Gewina 23 (2000) 247-265

BOSSCHA'S LEERBOEK EN VAN DER WAALS' PROEFSCHRIFT: AANTREKKENDE KRACHTEN IN DEN HAAG

FRANS VAN LUNTEREN*

De verschijning van Van der Waals' dissertatie *Over de continuïteit van den gas- en vloeistoftoestand* in juni 1873 geldt sinds jaar en dag als een mijlpaal. Deze gebeurtenis markeert in veler ogen de aanvang van een nieuwe bloeiperiode in de Nederlandse natuurwetenschappen.[1] Die visie wordt niet alleen gerechtvaardigd door de internationale uitstraling van dit werk, maar mede door de enorme invloed die Van der Waals' moleculaire benadering van thermische verschijnselen uitoefende op de Nederlandse natuur- en scheikunde. Merkwaardigerwijs weten we weinig over de achtergronden van het ontstaan van dit baanbrekende werk. De vraag naar de ontstaansgeschiedenis krijgt bovendien nog een extra gewicht door het gegeven dat Van der Waals pas op 35-jarige leeftijd promoveerde.

De bestaande literatuur concentreert zich voornamelijk op de internationale wetenschappelijke situering van de dissertatie; de meer persoonlijke, lokale context blijft goeddeels buiten beschouwing.[2] De voornaamste bron voor de ontstaansgeschiedenis is Van der Waals zelf. Hij verwijst in zijn proefschrift naar het werk van Laplace op het gebied der capillariteit als een belangrijke inspiratiebron.[3] Veel later, bij de uitreiking van de Nobelprijs in 1910, beweerde hij na zijn studie in Leiden getroffen te zijn door het klassieke artikel van Clausius van 1857 over de kinetische gastheorie.[4] Er is geen enkele reden om aan deze beweringen te twijfelen. Maar dat neemt niet weg dat de grote tijdsspanne tussen het verschijnen van deze inspiratiebronnen en de dissertatie nieuwe vragen oproept. Vormde het doctoraalexamen, dat immers de weg opende tot de promotie, de directe aanleiding tot het onderzoek van moleculaire verschijnselen, of had Van der Waals zich al langer actief met dit onderwerp beziggehouden? Had Van der Waals in Den Haag gemakkelijk toegang tot de internationale wetenschappelijke literatuur? Had Van der Waals contacten met andere Nederlandse fysici?

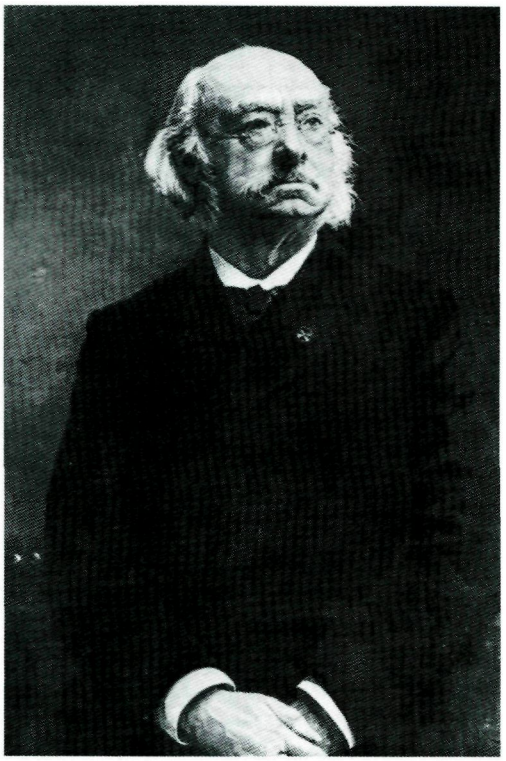
* Instituut voor Geschiedenis en Grondslagen van de Natuurwetenschappen, Buys Ballotlaboratorium, Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht

1 G.C. Gerrits, Grote Nederlanders bij de opbouw der natuurwetenschappen (Leiden 1948) 276, 301; K. van Berkel, *In het voetspoor van Stevin: Geschiedenis van de natuurwetenschap in Nederland* (Meppel 1985) 143-144; B. Willink, *De tweede Gouden Eeuw: Nederland en de Nobelprijzen voor natuurwetenschappen 1870-1940* (Amsterdam 1998) 11; A. Kox, 'Johannes Diderik van der Waals (1837-1923): Theoreticus van de Amsterdamse natuurkunde' in: J.C.H. Blom e.a. ed., *Een brandpunt van geleerdheid in de hoofdstad: De universiteit van Amsterdam rond 1900 in vijftien portretten* (Hilversum/Amsterdam 1992) 201.

2 Bijv. M.J. Klein, 'The historical origins of the Van der Waals equation', Physica 73 (1974) 28-47; J.S. Rowlinson, 'Van der Waals and the physics of Liquids: 1. The experimental and theoretical background' in: Rowlinson ed., J.D. van der Waals: On the continuity of the gaseous and liquid states (Amsterdam 1988) 3-10; zie echter A. Ya. Kipnis, B.E. Yavelov and J.S. Rowlinson, *Van der Waals and Molecular Science* (Oxford 196) 20-25.

3 J.D. van der Waals, *Over de continuïteit van den gas- en vloeistoftoestand* (Leiden 1873) v.

4 J.D. van der Waals, 'The equation of state for gases and liquids', in: *Nobel lectures: Physics 1901-1921* (Amsterdam 1967) 254.



Johannes Bosscha jr. (1831-1911)

Het Van der Waals-archief lijkt het aangewezen startpunt voor een zoektocht naar antwoorden op bovenstaande vragen.[5] De eerste daar opgedane indruk is enigszins teleurstellend. De omvangrijke correspondentie heeft vrijwel uitsluitend betrekking op de periode na 1873. De inventaris vermeldt slechts een enkele brief uit februari 1871, gericht aan Van der Waals en gesigneerd door ene B. Toch lijkt deze brief wel degelijk enig licht te werpen op de voorgeschiedenis van het proefschrift. De verhandeling heeft betrekking op het arbeidsvermogen (de energie) dat huist in het oppervlak van een vloeistof ten gevolge van de daar werkzame moleculaire krachten. Dit onderwerp komen wij tevens tegen in de dissertatie van Van der Waals. Wie is deze B?

De opsteller van de inventaris houdt het op Bakhuizen. Dat lijkt – en naar zal blijken *is* – een onjuiste gissing. Een meer voor de hand liggende kandidaat voor het auteurschap is de fysicus Johannes Bosscha, toentertijd eveneens woonachtig in Den Haag en werkzaam als inspecteur voor het middelbaar onderwijs. Zoals de recent verschenen biografie van Van der Waals aannemelijk maakt, bestond er een nauw contact tussen beide fysici. In het bijzonder verwijzen de auteurs naar een brief van Kamerlingh Onnes aan de Russische geleerde Kasterin, waarin de eerste stelt dat het Bosscha was die Van der Waals aanzette tot het schrijven van zijn dissertatie. Zij suggereren dan ook dat Bosscha zijn voornaamste wetenschappelijke contact was in de aanloop tot zijn proefschrift, maar voegen daaraan toe dat 'firm evidence is scanty'.[6]

5 Het Van der Waals-archief bevindt zich sinds kort in het Algemeen Rijksarchief in Haarlem.
6 Kipnis, Yavelov & Rowlinson, *Van der Waals and Molecular Science*, 24.

Het archief van Johannes Bosscha jr. is in bezit van een van de nazaten.[7] In dit archief blijkt zich een drietal brieven van Van der Waals aan Bosscha te bevinden, alsmede een aantal (concept?) antwoorden van Bosscha. Al deze brieven dateren van februari 1871. De met B. gesigneerde brief in het Van der Waals-archief maakt onmiskenbaar deel uit van deze briefwisseling. De brieven geven blijk van een gezamenlijke belangstelling voor moleculaire verschijnselen, in het bijzonder die der capillariteit. De discussie tussen beide scribenten draait om de vraag of het 'arbeidsvermogen van plaats' (wij zouden zeggen 'de potentiële energie') van een vloeistof enkel bepaald wordt door het vrije oppervlak van een zich in een vat bevindende vloeistof of tevens door het volume. Bosscha neigde tot het eerste standpunt, Van der Waals verdedigde de laatste visie.

Belangrijker dan de discussie op zich is de context waarin deze werd gevoerd. De directe aanleiding lijkt te moeten worden gezocht in Bosscha's werk aan zijn natuurkundeleerboek. Een afzonderlijk en zeer uitgebreid hoofdstuk in dit boek is gewijd aan moleculaire krachten. Dit lijkt niet geheel toevallig. In de periode 1870-1871 verscheen een aantal voordrachten en publicaties van Bosscha die alle betrekking hadden op onderzoek dat met dit thema verband houdt. Van der Waals stond dus allerminst alleen in zijn belangstelling voor dit onderwerp. Het directe contact met Bosscha vormde hoogstwaarschijnlijk een belangrijke stimulans om het in zijn dissertatie resulterende onderzoek ter hand te nemen.

Dit alles wettigt een nadere blik op Bosscha's onderzoek in deze periode, zijn uiterst succesvolle leerboek, de briefwisseling met Van der Waals en beider activiteiten in het Haagse genootschap *Diligentia*. Maar ook los van zijn invloed op Van der Waals verdient Bosscha meer aandacht van historici dan hij tot nog toe gekregen heeft. Dit artikel beoogt dan ook een aanzet te vormen tot verder onderzoek van Bosscha's betekenis voor de natuurkunde in Nederland. Alvorens in te gaan op de relatie tussen Bosscha en Van der Waals moeten wij allereerst de voornaamste ideeën memoreren die ten grondslag liggen aan het proefschrift van Van der Waals.

Van der Waals' dissertatie

Van der Waals' weg naar de wetenschap was een lange en moeizame. Gebrekkige financiële middelen leken een hogere opleiding aanvankelijk in de weg te staan. Geboren in Leiden in 1837 doorliep hij hier achtereenvolgens de lagere school en de MULO. Hij begon vervolgens zijn loopbaan als hulpleerkracht bij het lager onderwijs. Tegelijkertijd zette hij zijn studie voort en behaalde hij een aantal onderwijsakten, die hem in staat stelden zijn positie geleidelijk te verbeteren. Vanaf 1862 bezocht hij de Leidse universiteit, waar hij wiskundecolleges volgde bij Verdam en Bierens de Haan, astronomiecolleges bij Kaiser en, later, natuurkundecolleges bij Rijke. Door zijn onvoldoende vooropleiding was hij niet gerechtigd om universitaire examens af te leggen.

De oprichting van de HBS in 1863 bood Van der Waals de mogelijkheid tot een volgende carrièrestap. Hij had zijn zinnen gezet op een aanstelling als leraar wiskunde aan de HBS te Deventer. Na het behalen van de daartoe benodigde middelbare akte bleek deze post reeds bezet. Daarop behaalde hij een aantal aanvullende aktes waardoor zijn onderwijskwalificaties met betrekking tot de vakgebieden wiskunde en natuurkunde vergelijkbaar werden met die van een gepromoveerd academicus. In 1865 werd hij alsnog aangesteld in

7 Ik wil gaarne de heer dr. Bosscha Erdbrink te Baarn mijn erkentelijkheid betuigen voor de vriendelijke ontvangst en voor het reproduceren van de hier besproken brieven.

Van der Waals ten tijde van zijn promotie

Deventer zij het als leraar natuurkunde. Een jaar later kreeg hij met hulp van Kaiser een aanstelling in Den Haag als leraar natuurkunde aan zowel het gymnasium als de daaruit voortgekomen HBS. Over zijn Haagse periode is al even weinig bekend als over de daaraan voorafgaande tijd. Zeker is dat hij in maart 1871 het kandidaatsexamen in de wis- en natuurkunde aflegde. Nog in december van datzelfde jaar volgde het doctoraalexamen. Anderhalf jaar later, op 14 juni 1873, promoveerde hij in Leiden.

De grondgedachte in het proefschrift van Van der Waals is dat er geen wezenlijk verschil is tussen een gas en een vloeistof. In beide gevallen hebben we te maken met een systeem van deeltjes van eindige afmetingen die aantrekkende krachten op elkaar uitoefenen. Deze krachten manifesteren zich echter enkel op zeer geringe afstanden. Bij de overgang van gas naar vloeistof en andersom treden er geen veranderingen op in de eigenschappen van de bestanddelen, de moleculen. Zij ondergaan geen modificaties en ook komen er geen nieuwe krachten in het spel.

Deze aanname lijkt op het eerste gezicht strijdig met de opvallende en wezenlijke verschillen tussen gassen en vloeistoffen. Van der Waals beargumenteert dat deze uiterlijke verschillen voor rekening komen van de aantrekkende moleculaire krachten. Deze aantrekking levert een bijdrage aan de druk binnen het systeem. De grootte van die bijdrage is afhankelijk van de afstand tussen de moleculen. In een verdund gas is die afstand gemiddeld veel groter dan de reikwijdte van deze krachten en kan de bijdrage verwaarloosd worden ten opzichte van de externe druk. In een vloeistof daarentegen is de afstand tussen naburige moleculen doorgaans veel geringer dan de reikwijdte en is de externe druk juist verwaarloosbaar ten opzichte van de druk tengevolge van de moleculaire krachten.

Uit deze beschouwing volgt dat de wet van Boyle, volgens welke het product van de externe druk en het volume van een gas bij een bepaalde temperatuur constant is, een idealisering is die berust op de verwaarlozing van de rol der moleculaire krachten enerzijds en de eindige afmetingen der deeltjes anderzijds. Die laatste verkleinen immers het effectieve volume waarbinnen elk gasdeeltje zich kan bewegen. Door beide elementen in zijn beschouwing van gassen te verdisconteren kwam Van der Waals tot een wiskundige generalisatie van de wet van Boyle, heden ten dage bekend als de toestandsvergelijking van Van der Waals:

$(p + a/v^2)(v-b) = RT$

Hierbij zijn p, v en T, respectievelijk druk, volume en temperatuur en is a een maat voor de aantrekkende krachten en b voor het door de gasdeeltjes in beslag genomen volume.

De nieuwe vergelijking vond haar rechtvaardiging bovenal in het licht dat zij wierp op tal van empirische verschijnselen. Hierbij ging het niet primair om geconstateerde afwijkingen van de ideale gaswet, maar tevens om het gedrag van gassen bij temperaturen boven de zogenaamde 'kritische temperatuur', het temperatuurgebied waarbinnen het niet langer mogelijk is om gassen door volumeverkleining tot condensatie te dwingen. De damptoestand gaat bij vergroting van de dichtheid geleidelijk over in een vloeistoftoestand zonder dat er op enig moment sprake is van twee naast elkaar bestaande fasen. In het bijzonder volgde het bestaan van een kritische temperatuur onmiddellijk uit de theorie van Van der Waals.

Wat ons hier echter bovenal interesseert zijn niet zozeer de veel besproken consequenties van de theorie als wel de historische wortels. In het proefschrift zelf ging Van der Waals expliciet in op de vraag naar de oorspronkelijke motivatie van zijn werk. Deze was naar zijn zeggen gelegen in zijn behoefte een grootheid te leren kennen die een 'zonderlinge rol' speelde in de theorie van de capillariteit van Laplace.

> Het is de grootheid, die den molekulairen druk voorstelt, die door een plat vlak is begrensd. Ofschoon zij op rechtmatige wijze te voorschijn treedt, ziet men ze altijd uit de eindvergelijkingen verdwijnen. Niet dat zij zoo klein is, dat zij ten opzichte van de andere grootheden, welke behouden blijven, kan verwaarloosd worden. Zij is in tegendeel millioenen malen groter.[8]

Deze grootheid, K bij Laplace en Van der Waals, is een maat voor de kracht die een door een recht vlak begrensde vloeistof uitoefent op een vloeistofelementje gelegen in dat vlak. Deze resulterende kracht kan worden gezien als de som van alle krachten die het vloeistofelementje ondergaat van de naburige vloeistofmoleculen binnen de werkingssfeer der moleculaire aantrekking. In latere theorieën van capillaire verschijnselen kwam deze grootheid niet meer voor.[9] Maatgevend voor deze verschijnselen was enkel de tweede in de theorie van Laplace optredende grootheid H. Deze grootheid hangt anders dan de vorige samen met de specifieke vorm van het vloeistofoppervlak. Beschouw een gekromd vlak (denk aan de meniscus van een vloeistof), dat in een punt raakt aan een recht vlak. Vul de denkbeeldige tussenruimte met vloeistof. Dan geeft H een maat voor de kracht die een vloeistofelementje in het raakpunt ondervindt van de omringende vloeistof.

De grootheid H is nauw verwant aan de oppervlaktespanning en de waarde hiervan is tamelijk eenvoudig te bepalen uit tal van capillaire verschijnselen. De oppervlaktespan-

8 Van der Waals, *Over de continuïteit*, v.

9 Zie bijvoorbeeld A Rüger, 'Die Molekularhypothese in der Theorie der Kapillarerscheinungen (1805-1873)', *Centaurus* 28 (1985) 244-276.

ning immers bepaalt de vorm van het vrije oppervlakte van vloeistoffen. K daarentegen kon niet uit enig bekend verschijnsel worden afgeleid. Desalniettemin was Van der Waals geïntrigeerd door deze grootheid: 'Toch is het niet te ontkennen, dat voor een juiste kennis der verschillende vloeistoffen, men het bedrag van haar waarde noodzakelijk weten moet; zij toch is de maat voor de cohesie der stof.'[10]

Het was dan vooral met het doel om deze grootheid te bepalen dat Van der Waals zich zou hebben gezet aan de constructie van zijn theorie van de continuïteit van gassen en vloeistoffen. Immers, waar K niet of nauwelijks te bepalen viel uit het gedrag der vloeistoffen, zou K wellicht indirect kunnen worden afgeleid uit het gedrag der gassen. Afwijkingen van de ideale gaswet konden immers voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan de onderlinge aantrekking van de gasmoleculen. De interne druk in een gas was volgens Van der Waals gelijk aan het quotiënt van de constante a en het kwadraat van het volume. Indien er geen principieel verschil bestond tussen een gas en een vloeistof kon de interne druk in een vloeistof berekend worden uitgaande van die in een gas.

De toestandsvergelijking van Van der Waals maakte het hem mogelijk om via bestaande meetwaarden met betrekking tot de kritische temperatuur, volume en druk tot een schatting te komen van de waarden van K voor verschillende vloeistoffen. Hij vergeleek deze waarden met die volgend uit een aanvechtbare benadering van het verband tussen K en de samendrukbaarheid van vloeistoffen. Dit resulteerde in een bevredigende overeenkomst. Aldus was hij in staat een schatting te maken van K voor vloeistoffen waarvan de kritische waarden nog onbekend waren, zoals bijvoorbeeld water en kwik. Voor de eerste vond hij een interne druk van ongeveer 5000 atmosfeer; voor de laatste zelfs een van 12000 atmosfeer.

Bosscha's leerboek

De carrières van Bosscha en Van der Waals bieden een opvallend contrast. Waar de laatste, zoon van een timmerman, door het behalen van onderwijsaktes zijn maatschappelijke positie geleidelijk aan wist te verbeteren, leek de eerste, telg uit een geslacht van classici wiens vader het tot minister had gebracht, juist door zijn keuze voor een natuurkundestudie de hem toegedachte plek in de *Bildungsbürgertum*-elite in de waagschaal te stellen. Nog in 1849, één jaar voor de aanvang van Bosscha's studie in Leiden, merkte de Utrechtse hoogleraar Opzoomer op dat 'er ... geen betrekking [is] waarvoor de wet het doctoraat in de natuurkunde vordert'.[11] Voor de oprichting van de HBS in 1863 was er weinig emploi voor fysici.

Na zijn promotie in 1854 werkte Bosscha zes jaar lang als assistent van Rijke in het nieuwe laboratorium. Hier verrichtte hij als een der eerste Nederlanders experimenteel onderzoek op het gebied van het nieuwe principe van energiebehoud. Zijn onderzoek spitste zich toe op de vraag of de door een batterij geleverde energie, bepaald door bijvoorbeeld de warmteontwikkeling in een stroomketen, overeenkwam met het verlies aan chemische energie in de batterij. In een voordracht in Utrecht in 1858 benadrukte Bosscha het belang van de nieuwe behoudswet als een organiserend en samenbindend principe voor de gehele natuurkunde. In de gepubliceerde versie van deze lezing introduceerde Bosscha de in Nederland lange tijd in zwang gebleven term 'arbeidsvermogen' als

10 Van der Waals, *Over de continuïteit*, v.

11 Geciteerd in M. Groen, *Het wetenschappelijk onderwijs in Nederland van 1815 tot 1980. Een onderwijskundig overzicht* (Eindhoven 1987-1989) dl. 2, 9.

alternatief voor het misverstanden wekkende 'kracht' en het door de Britten voorgestelde 'energie'.[12]

In 1860 vertrok Bosscha naar de Militaire Academie te Breda waar hij benoemd was tot hoogleraar in de theoretische mechanica. Zijn reputatie was inmiddels zodanig dat hij in 1863 gevraagd werd voor het lidmaatschap van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen. Datzelfde jaar trok Thorbecke hem aan als inspecteur voor het middelbaar onderwijs in de provincies Utrecht, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg. In deze hoedanigheid was Bosscha betrokken bij de oprichting van de nieuwe burgerscholen, uitvloeisel van de nieuwe wet op het middelbaar onderwijs.

In 1864 vroeg de Leidse uitgever Sijthoff Bosscha om een natuurkundeleerboek samen te stellen voor het nieuwe schoolsysteem. Deze taak zou uiteindelijk bijna tien jaar in beslag nemen. Aanvankelijk wilde Bosscha volstaan met een bewerking van de *Cours élémentaire de physique* van A. Boutan en Ch. D'Almeida. Al spoedig kwam hij echter tot de overtuiging dat een grondige herziening van dit boek onvermijdelijk zou zijn. Het Franse werk ging grotendeels voorbij aan recente ontwikkelingen in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk op het gebied van met name de thermodynamica en de elektrodynamica. Bovendien meende hij dat zelfs een elementair leerboek een diepere theoretische samenhang niet kon ontberen. De noodzaak tot beperking tot de meest elementaire wiskunde resulteerde in het genre doorgaans in een verwaarlozing van de wiskundige theorieën.[13]

Zoals wellicht kon worden verwacht kende Bosscha in zijn leerboek een centrale positie toe aan het principe van 'behoud van arbeidsvermogen'. Het energiebegrip zorgde voor de gewenste samenhang, maar bezat daarnaast nog een ander voordeel. Met tamelijk elementaire energiebeschouwingen konden kwantitatieve resultaten worden onderbouwd en werden ingewikkelde wiskundige afleidingen veelal overbodig. Ongetwijfeld hing het grote succes van Bosscha's leerboek samen met zijn vermogen om complexe natuurkundige verschijnselen terug te brengen tot eenvoudige wiskundige verbanden. Dit gold in het bijzonder voor zijn behandeling van al die verschijnselen die samenhangen met de oppervlaktespanning van vloeistoffen.

De eerste druk van Bosscha's leerboek verscheen in vier opeenvolgende afleveringen. In het eerste deel, dat de algemene eigenschappen van lichamen behandelde en de verschillende aggregatietoestanden, volgde hij nauwgezet het Franse origineel. De bewerking van dit deel vergde dan ook betrekkelijk weinig tijd. Meer werk vereiste het tweede deel over de warmte, dat talloze aanvullingen behoefde.[14] Het was vermoedelijk de bewerking van deze materie die Bosscha inspireerde tot een nader onderzoek van de experimentele resultaten van de vermaarde Franse fysicus Regnault, dé expert op het gebied van nauwkeurige thermische metingen. Bosscha, die als onderwijsinspecteur niet langer over onderzoeksfaciliteiten beschikte, gebruikte de ruwe meetgegevens van Regnault om in zijn ogen noodzakelijke correcties aan te brengen in de berekende resultaten. De correcties golden in het bijzonder de temperatuurafhankelijkheid van de uitzetting van het kwik in de door Regnault gebruikte kwikthermometers. In december 1865 hield hij hierover een voordracht in de Koninklijke Akademie. Dit en aanverwante thema's vormden het onderwerp van een aantal publicaties in binnen- en buitenlandse tijdschriften.

12 J. Bosscha Jr., 'Het behoud van arbeidsvermogen in den galvanischen stroom', in: *Verspreide Geschriften van J. Bosscha* (Leiden 1903) dl. 1, 299-370.
13 J. Bosscha Jr., *Leerboek der natuurkunde en van hare voornaamste toepassingen* (Leiden 1875) dl. 1, v-viii.
14 *Ibid.*, vi-vii.

Nog drastischer was de herziening van het derde deel over elektriciteit en magnetisme. Hier volgde de Nederlandse bewerking slechts ten dele de oorspronkelijke opzet. Dit was het gebied waarop Bosscha bij uitstek deskundig was en hij besteedde dan ook ruim aandacht aan zijn eigen onderzoekingen. Vermoedelijk werd dit deel in 1868 voltooid. In dat jaar althans schonk Bosscha de eerste drie afleveringen van zijn leerboek aan de Akademie.[15]

In het vierde en laatste deel was het Franse origineel volledig losgelaten. Het verscheen in twee termijnen. Het eerste gedeelte werd eind september 1871 door Bosscha aan de Akademie aangeboden, het restant pas in januari 1874.[16] Dat eerste gedeelte opende met een uitvoerig hoofdstuk van 74 pagina's over onderwerpen als cohesie en capillariteit onder de titel 'de moleculaire krachten'. Ook in dit hoofdstuk hing Bosscha een aantal uiteenlopende verschijnselen op aan een energetische beschouwing. Het betrof hier 'het arbeidsvermogen van het oppervlak eener vloeistof' ten gevolge van de aantrekkende krachten van de vloeistofmoleculen.[17]

Waar de moleculen in het midden van de vloeistof in alle richtingen een even grote kracht ondergingen, gold dit niet voor die moleculen die zich op een afstand van het vloeistofoppervlak bevonden welke kleiner was dan de maximale afstand waarop de aantrekking zich deed gelden. Deze laatste moleculen bezaten volgens Bosscha een zekere hoeveelheid 'arbeidsvermogen van plaats' (potentiële energie) en wel des te meer naarmate zij zich dichter bij het oppervlak van de vloeistof bevonden. Hij beargumenteerde vervolgens dat het arbeidsvermogen dat een vloeistof door haar moleculaire krachten bezat evenredig moest zijn met het vrije oppervlak van een vloeistof. De evenredigheidsconstante duidde hij aan als de 'moleculaire constante der vloeistof'. Deze grootheid kon worden beschouwd als de arbeid die nodig was om het oppervlak van een vloeistof te vergroten met een eenheid van oppervlakte.[18]

Gewapend met dit inzicht beschouwde Bosscha een aantal methoden om de moleculaire constante experimenteel te bepalen, en besprak hij tal van verschijnselen die gerelateerd konden worden aan de eis dat de betreffende oppervlakte-energie een minimale waarde moest bezitten. Hij besteedde met name veel aandacht aan het werk van de Belgische onderzoekers Plateau en Van der Mensbrugghe en dat van de Duitser Quincke. Deze onderzoekingen hadden betrekking op de vorm van vloeibare vliezen en druppels. Vervolgens ging Bosscha over op capillaire verschijnselen, verband houdend met de wederzijdse aantrekking van vaste lichamen en vloeistofmoleculen, de menging van vloeistoffen en, tenslotte, de aantrekking uitgeoefend door vaste lichamen en vloeistoffen op gassen. Ook hier maakte Bosscha steeds gebruik van energiebeschouwingen bij de behandeling van de verschijnselen.[19]

Een dergelijk hoofdstuk, ingeklemd tussen uiteenzettingen over elektriciteit en magnetisme enerzijds en over akoestiek en optica anderzijds, was uiterst ongebruikelijk in natuurkundeleerboeken. Doorgaans werd een onderwerp als capillariteit zeer beknopt in een inleidend hoofdstuk over de algemene eigenschappen van lichamen behandeld of als onderdeel van een hoofdstuk over vloeistoffen. De theorie werd daarbij doorgaans geme-

15 *Processen-verbaal van de gewone vergaderingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Afdeeling natuurkunde* vergadering van 31-10-1868.
16 *Ibid.*, vergaderingen van 30-9-1871 en 31-1-1874.
17 Bosscha Jr., *Leerboek der natuurkunde*, dl. 3, 1-74, i.h.b. 19-23.
18 *Ibid.*
19 *Ibid.*, 23-53, 53-67.

den. Het bekende leerboek van Ganot, waarvan in 1873 een nieuwe vertaling verscheen, legitimeerde dit als volgt:

> De leer der capillariteit, eene der moeilijkste in de natuurkunde, kan alleen door de wiskundige analysis op eene volledige wijze behandeld worden: zij is dan ook voornamelijk door wiskundigen tot een voorwerp van studie gemaakt ...[20]

Bosscha was zich overigens bewust van het feit dat de diepgang en breedvoerigheid van zijn uiteenzettingen in een aantal gevallen niet spoorde met de leerstof van een vijf-jarige HBS. Maar het was in zijn ogen aan de leraar om hierin de juiste maat te bepalen. De lezer die zijn studie verder wilde verdiepen kon aldus eveneens met het boek zijn voordeel doen.[21] Bosscha rechtvaardigde de ongebruikelijke plaats van het hoofdstuk in zijn leerboek door te beargumenteren dat de leer der trillingen, immers de grondslag vormend voor de golftheorieën van geluid en licht, vooraf hoorde te worden gegaan door een beschouwing van de moleculaire krachten die deze trillingen veroorzaakten. Gezien de geringe samenhang tussen dit en de daaropvolgende hoofdstukken lijkt deze redenering niet veel meer dan een excuus om uitvoerig in te gaan op een onderwerp dat Bosscha zelf bijzonder interesseerde.[22]

De laatste paragraaf van het hoofdstuk anticipeerde direct op Van der Waals' dissertatie, zoals de titel 'onderlinge aantrekking van gasmoleculen', reeds doet vermoeden. Hij wees er hier op dat vrijwel alle gassen bij toenemende druk meer in volume verminderen dan de wet van Boyle voorschrijft. Deze afwijking schreef hij toe aan de onderlinge aantrekking van de moleculen die zich immers sterker manifesteerde naarmate de dichtheid van het gas groter werd.[23]

Bosscha's grote belangstelling voor moleculaire krachten blijkt tevens uit zijn publicaties en voordrachten in deze periode. In februari 1870 sprak hij in de Akademie over de grondvergelijkingen van de leer der capillariteit. In het bijzonder presenteerde hij een eenvoudige wijze om deze vergelijkingen af te leiden uit de werking van de moleculaire krachten. Het verslag van de betreffende vergadering van de Akademie geeft geen nadere bijzonderheden, maar het lijdt nauwelijks twijfel dat het hier ging om soortgelijke energiebeschouwingen als die, welke later in zijn leerboek beslag zouden krijgen.[24]

Op de vergadering van september 1871, dezelfde waarop hij het besproken deel van zijn leerboek aanbood, behandelde Bosscha een experiment om aan te tonen dat er, in strijd met de algemene opinie en in het bijzonder die van de Duitser Quincke, ook bij onderling mengbare vloeistoffen sprake kon zijn van een positieve capillariteitsconstante. Dit impliceerde dat het contactoppervlak, evenals het vrije oppervlak van een enkele vloeistof, in een evenwichtssituatie een minimale grootte zal aannemen. Menigeen concludeerde echter uit de diffusie van de ene vloeistof in de andere dat er veeleer sprake was van een streven naar een maximalisatie van het contactoppervlak. Teneinde dit standpunt te weerleggen had Bosscha vloeistofdruppels gecreëerd binnen een andere vloeistof, waarin de eerste

20 A. Ganot, *Leerboek der proefondervindelijke en toegepaste natuurkunde* (Gouda 1873) 109.
21 Bosscha Jr., *Leerboek der natuurkunde*, dl. 1, viii.
22 *Ibid.*, dl. 3, 1-2.
23 *Ibid.*, dl. 3, 73-74.
24 J. Bosscha, 'Over de grondvergelijkingen van de leer der capillariteit', in: *Processen-verbaal van de gewone vergaderingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Afdeeling natuurkunde*: vergadering van 26 februari 1870.

kon worden opgelost. Het simpele gegeven dat de betreffende vloeistof een druppelvorm aannam getuigde onmiddellijk van het streven naar een minimaal contactoppervlak.[25]

Bosscha publiceerde deze bevindingen eveneens in het Franse tijdschrift *Les Mondes*. Twee maanden later hield hij in de Akademie een voordracht over drupvorming, over evenwichtsfiguren van vloeistoffen onttrokken aan externe krachten en over de capillaire eigenschappen bij gasvormige substanties als rook en nevels. Deze laatste verschijnselen leverden indirecte ondersteuning voor de gedachte dat de aantrekkende krachten zich eveneens manifesteerden bij gasachtige substanties in de vorm van een oppervlaktespanning.[26]

In zijn proefschrift verwees Van der Waals uitdrukkelijk naar deze 'verrassende proeven door Bosscha in den laatsten tijd gedaan, waardoor het bestaan, dier spanning wordt aangetoond ook bij stoffen, waar men ze vroeger niet vermoedde.'[27] Weliswaar waren rook en waterdamp in nevelvorm geen eigenlijke dampen of gassen, 'maar toch moeten deze proeven als een belangrijke steun aangemerkt worden, voor de hier ontwikkelde theorie, dat vloeistoffen en dampen geen qualitatief verschillende aggregaatstoestanden zijn.'[28]

Van der Waals en Bosscha in Den Haag

Bosscha's aanstelling als onderwijsinspecteur had hem in 1863 naar Den Haag gebracht. Drie jaar later belandde, zoals we zagen, ook Van der Waals in de residentie. Bosscha en Van der Waals hadden, behalve hun woonplaats, nog tal van andere zaken gemeen. Ze hadden allebei gestudeerd in Leiden met Kaiser en Rijke als voornaamste leermeesters. Beiden waren beroepsmatig betrokken bij het middelbaar onderwijs, maar volgden nauwgezet de recente ontwikkelingen in het natuurkundig onderzoek. En ondanks het feit dat Bosscha reeds lang zijn sporen in de wetenschap had verdiend op een moment dat Van der Waals nog volstrekt onbekend was, was het leeftijdsverschil niet bijzonder groot: Bosscha was slechts zes jaar ouder dan Van der Waals.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat beide Hagenaren met elkaar in contact traden. Aanleidingen daartoe waren er voldoende. Beschouwen we bijvoorbeeld het onderwijs van Van der Waals. Het merendeel hiervan verzorgde hij op de Gemeentelijke HBS. Hier doceerde hij zowel natuurkunde als kosmografie. Het natuurkunde-onderwijs was verspreid over de laatste drie jaren van de vijf-jarige HBS. Bij dit onderwijs maakte Van der Waals van begin af aan gebruik van het leerboek van Bosscha. Dat is in die zin opmerkelijk dat in 1866 enkel de eerste twee delen van het werk gereed waren. Deze hadden betrekking op de algemene eigenschappen der lichamen en de zwaartekracht, onderwerpen die Van der Waals in de derde klas behandelde. De twee volgende jaren behandelde hij achtereenvolgens warmte, magnetisme en statische elektriciteit, en dynamische elektriciteit, geluid en licht.[29] Ook hier is de volgorde identiek aan die van Bosscha's leerboek in wording. Zoals we zullen zien heeft Van der Waals zijn stempel in ieder geval op één der latere delen van dit werk gedrukt.

25 *Ibid.*; vergadering van 30 september 1871.

26 J. Bosscha, 'Physique moléculaire', *Les Mondes* 26 (1871) 337-340; *Processen-verbaal van de gewone vergaderingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Afdeeling natuurkunde*: vergadering van 25 november 1871.

27 Van der Waals, *Over de continuïteit*, 37.

28 *Ibid.*, 38.

29 Zie de onderwijsbijlagen ('Programma der lessen voor de Hoogere Burgerschool met vijfjarigen cursus te 's-Gravenhage') van het *Algemeen verslag van den toestand der gemeente 's Gravenhage* (Den Haag 1868-1874) over respectievelijk 1867 tot en met 1873.

Daarnaast telde Van der Waals onder zijn HBS-leerlingen de oudste, naar zijn vader geheten zoon van Bosscha. Jan Bosscha toonde zich overigens een voorbeeldige leerling. De rapporten in zijn laatste schooljaar (1873/1874) vermelden voor zowel natuurkunde als kosmografie louter negens.[30] Vermoedelijk heeft Van der Waals Bosscha's zoon vanaf 1870 onderwezen. Een derde met het onderwijs verband houdend raakvlak was de examencommissie voor de 'acten van bekwaamheid bij het middelbaar onderwijs', waarvan Van der Waals in 1870 deel uitmaakte. Dit was voor een niet-academicus een bijzonder eervolle benoeming en een erkenning van zijn grote capaciteiten. Het lijdt nauwelijks twijfel dat Bosscha, de voorzitter van de commissie, verantwoordelijk was voor deze benoeming.[31]

Maar het voornaamste podium voor het contact tussen Bosscha en Van der Waals was waarschijnlijk het Haagse genootschap *Diligentia* of, voluit, *de Maatschappij voor Natuurkunde onder de zinspreuk Diligentia*. Het in 1793 opgerichte gezelschap telde rond 1870 ongeveer 250 leden waaronder een groot aantal adellijke lieden. De hoofdactiviteit werd gevormd door tweewekelijkse voordrachten tijdens het winterseizoen. Deze werden in de regel op vrijdagavond gehouden door genodigde 'vaderlandsche geleerden'. Diligentia bezat zowel een collectie natuurkundige instrumenten, waaronder enkele zeer kostbare, als een leesportefeuille van wetenschappelijke tijdschriften. Vooral dit laatste aspect was voor Bosscha en Van der Waals van evident belang.[32]

Van der Waals werd in 1868 lid van het genootschap, ruim een jaar nadat hij zich met zijn gezin had gevestigd in de Haagse Wagenstraat. Bosscha was toen reeds enkele jaren lid. In november 1869 trad Bosscha toe tot het negenkoppig bestuur van Diligentia. Het jaar daarop beet hij de spits af als eerste spreker in de nieuwe reeks voordrachten.[33] Enkele maanden later verzocht Van der Waals Bosscha de bij die gelegenheid gebruikte afbeeldingen en prisma te mogen lenen, alsmede enkele instrumenten van Diligentia. Hij wilde een en ander gebruiken voor twee eigen voordrachten op 27 februari en 13 maart. Gezien de data – het betreft hier twee maandagen – ging het vermoedelijk niet om lezingen in Diligentia, die immers op vrijdagavond gehouden werden. Pas na zijn promotie zou ook hij hier als spreker gevraagd worden.[34]

Het was in september 1870 dat Van der Waals zich tot de minister van Binnenlandse Zaken Fock richtte met een verzoek tot dispensatie van het admissie-examen dat toegang verschafte tot de academische examens. Daarnaast verzocht hij tevens om dispensatie van het kandidaatsexamen in de faculteit der wis- en natuurkunde. Hij ondersteunde zijn verzoek met een verwijzing naar vier jaar Leidse studie, de behaalde akten en de ministeriële erkenning die hem al ten deel was gevallen door zijn benoeming tot lid der genoemde examencommissie. Het eerste verzoek werd door de minister probleemloos gehonoreerd, vrijstelling van het kandidaatsexamen daarentegen was de minister te gortig.[35] In februari 1871 vernieuwde Van der Waals zijn inschrijving aan de Leidse universiteit en in maart legde hij zijn kandidaatsexamen af.[36]

30 Archief Eerste gemeentelijke Hogere Burgerschool, 1865-1984, Gemeente-archief Den Haag, beheersnummer 545, inv.nr. 74.

31 Zie brief van het Ministerie aan Van der Waals, 23-4-1870, Van der Waals-archief, ARA Haarlem.

32 R. Claassen en P. Wisse, *Tweehonderd jaar Diligentia 1793-1993* (Den Haag 1993) 27.

33 Zie lijsten van bestuurs- en commissieleden en gedrukte extracten uit het register der notulen (i.h.b. 12-11-1869), Archief Diligentia, Gemeente-archief Den Haag, beheersnummer 197, inv.nrs. 66 en 13.

34 Van der Waals aan Bosscha, 15-2-1871.

35 Van der Waals aan minister van Binnenlandse Zaken, 20-9-1870, en brieven minister van 1-10-1870 en 13-10-1870, Archief Binnenlandse Zaken, afdeling Onderwijs, ARA, Den Haag, toegangsnummer 2.04.08, inv.nr. 657. Van der Waals' biografen (noot 5, p. 24-25) plaatsen dit verzoek ten onrechte in 1871.

36 Zie het *Album studiosorum Academiae Lugduno Batavae MDLXXV-MDCCCLXXV* (Leiden 1875).

Klaarblijkelijk had Van der Waals reeds in 1870 het plan opgevat om een dissertatie te schrijven. Aangezien de door hem behaalde akten dezelfde onderwijsrechten gaven als een afgeronde studie, was dit de meest voor de hand liggende grond voor zijn verzoek aan de minister. Volgens Kamerlingh Onnes zou Bosscha Van der Waals hebben aangezet tot dit voornemen. In dat geval moeten de wetenschappelijke contacten tussen beiden teruggaan tot op zijn minst begin 1870, en vermoedelijk tot een nog vroeger tijdstip. Dit tijdschema spoort goed met andere gegevens. Twee artikelen die een cruciale rol spelen in de dissertatie van Van der Waals verschenen in 1870 in druk. De eerste is Thomas Andrews' 'On the continuity of the gaseous and liquid states of matter'. Dit artikel, waaraan Van der Waals de titel van zijn dissertatie ontleende, verscheen in 1869 in de *Philosophical Transactions*, maar pas in 1870 in het meer toegankelijke *Philosophical Magazine*. Clausius' 'Ueber einen auf die Wärme anwendbaren mechanischen Satz' verscheen in 1870 in de *Annalen der Physik und Chimie* en datzelfde jaar in vertaling in het *Philosophical Magazine*. En zoals we gezien hebben, sprak Bosscha in februari 1870 over zijn werk aan capillariteit, het onderwerp dat de aanzet vormde tot Van der Waals' dissertatie. Het ligt dan ook voor de hand dat Bosscha en Van der Waals zich gezamenlijk over dit onderwerp gebogen hebben. De Akademieverslagen geven nauwelijks informatie over de voordracht van Bosscha. Zij vermelden enkel dat Bosscha een eenvoudige methode presenteerde voor het afleiden van de resultaten van Laplace en Gauss uit de werking van moleculaire krachten.

De theorieën van genoemde geleerden verschillen in een aantal opzichten van elkaar. De theorie van Laplace is anders dan die van Gauss geënt op het bestaan van moleculaire krachten. De theorie van Gauss benadert in wezen de latere energetische afleidingen der evenwichtsvoorwaarden.[37] Deze theorie mist de constante K die in de theorie van Laplace zo nadrukkelijk naar voren komt. Het is zeer wel denkbaar dat Bosscha en Van der Waals beide theorieën gezamenlijk bestudeerd hebben en dat Van der Waals daarbij getroffen werd door dit opmerkelijke verschil. De meer empirisch ingestelde Bosscha volgde in zijn leerboek een aanpak die, ondanks zijn uitgangspunt van moleculaire krachten, dichter komt bij die van Gauss.

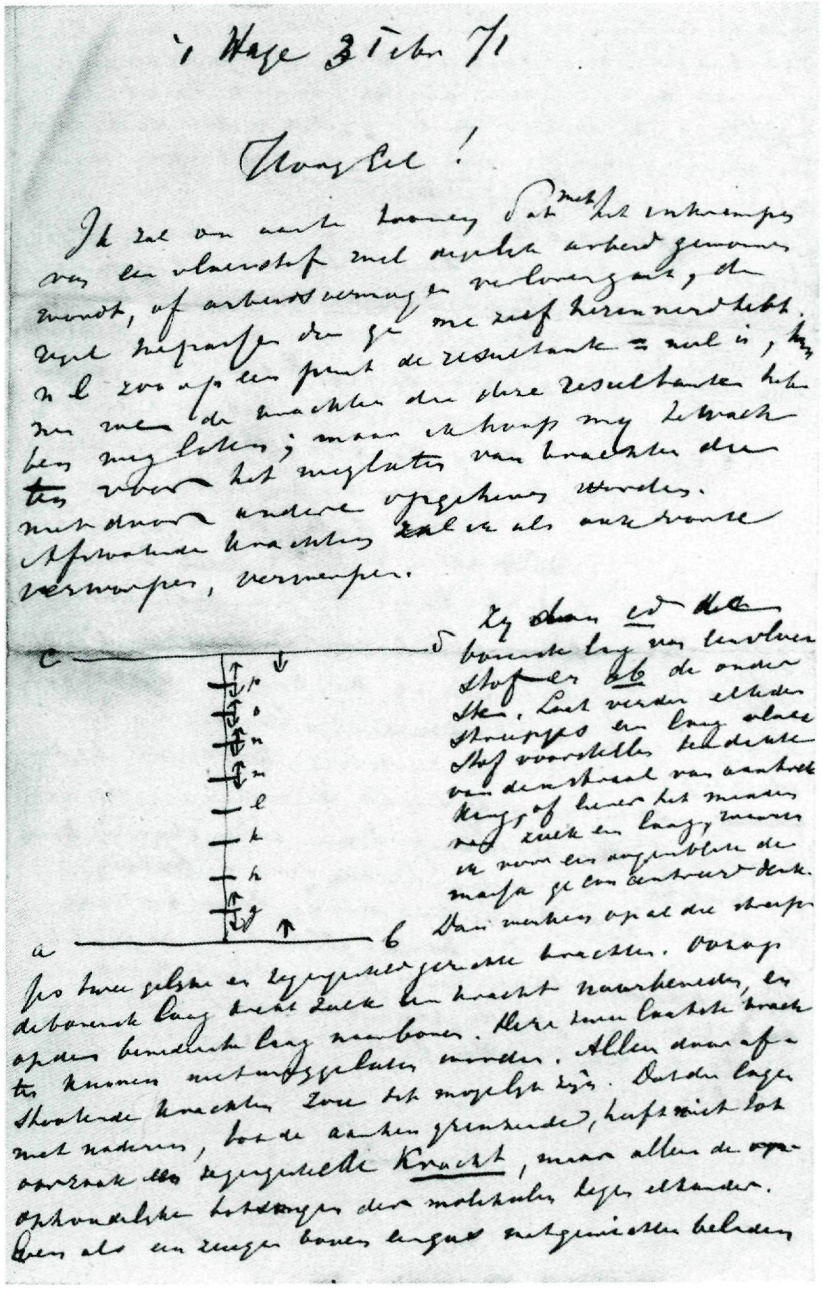
Een gezamenlijke studie van en belangstelling voor capillariteit en moleculaire krachten spreekt tenslotte uit het feit dat Bosscha eind 1870, begin 1871 het hierover handelende deel van zijn leerboek aan Van der Waals voorlegde ter becommentariëring. De resulterende correspondentie vormt het onderwerp van de volgende paragraaf.

De correspondentie

Het is wellicht enigszins overdreven om te spreken van een patronageverhouding, maar geheel gelijkwaardig was de verhouding tussen Bosscha en Van der Waals niet. Dit blijkt alleen al uit de aanhef van de brieven. Van der Waals gebruikt hierin de aanspreekvorm 'Hooggeleerde' of 'Hooggeleerde heer', waar Bosscha opent met het meer informele 'Amice'. En waar Van der Waals zijn brieven eindigt met 'Uw JdvdWaals', in een enkel geval voorafgegaan door 'Met Hoogachting', volstaat Bosscha met een beknopt 'B.'.

De correspondentie handelt, zoals gezegd, over de vraag naar de in een vloeistof aanwezige potentiële energie of, in de woorden van Bosscha en Van der Waals, het arbeidsvermogen van plaats. Er zijn twee aspecten die deze correspondentie interessant maken. In de eerste plaats toont ze, zoals gezegd, een gedeelde belangstelling voor de rol van moleculaire krachten in vloeistoffen en anticipeert zij in enkele opzichten op elementen

37 Zie Rüger, 'Die Molekularhypothese', 255-261.



Van der Waals aan Bosscha, 3 februari 1871 (bezit dr. Bosscha Erdbrink)

in het proefschrift van Van der Waals. In de tweede plaats geeft de correspondentie blijk van onduidelijkheden in het nog vrij jonge energiebegrip. Hoewel dit begrip geleidelijk aan zich een centrale positie in de natuurkunde verwierf, bestond er wijd en zijd veel onduidelijkheid over de interpretatie en toepassing van het concept.

Beide correspondenten waren het erover eens dat er binnen een vloeistof enkel sprake was van *aantrekkende* krachten tussen de deeltjes, en dat deze werden gecompenseerd door de warmtebeweging van de moleculen. Zoals Van der Waals opmerkte: 'Afstotende krachten zal ik als ook door u verworpen, verwerpen.'[38] Deze aanname speelde een belangrijke rol in Van der Waals' dissertatie. Het eerste hoofdstuk opende met een verwerping van afstotende krachten tussen de deeltjes van hetzij gassen, hetzij vloeistoffen, hetzij vaste stoffen. Deze claim was niet onomstreden. Enkele jaren eerder had Maxwell zijn gasmodel gebaseerd op de aanname van een afstotende kracht. Van der Waals' argumenten tegen afstotende krachten hadden strikt genomen enkel betrekking op oudere theorieën die de elasticiteit van gassen toeschreven aan afstotende krachten, in plaats van aan de beweging der deeltjes. In Maxwells geval was daarvan geen sprake en zijn repulsieve krachten waren dan ook immuun voor Van der Waals' kritiek. Het is niet duidelijk of Van der Waals het betreffende artikel kende. Clausius, veeleer dan Maxwell, was Van der Waals' mentor waar het ging om de nieuwe kinetische theorie van gassen.

Maar deze eensgezindheid tussen Bosscha en Van der Waals leidde niet tot overeenstemming over de energieverdeling binnen de vloeistof. Dit blijkt al uit de opening van de vroegste nog aanwezige brief van Van der Waals, gedateerd 2 februari 1871.

> Ik geloof dat het volgende de zaak besluiten zal, in uw voordeel voor zoover ge beweert, dat alleen in de oppervlakte molekulaire krachten heerschen – in mijn voordeel als ik beweer dat een vloeistof behalve een arbeidsvermogen evenredig aan het oppervlak, ook nog een veel grootere hoeveelheid evenredig aan de massa bezit.[39]

De discussie viel voor een belangrijk deel terug te voeren op onduidelijkheden ten aanzien van het begrip 'arbeidsvermogen van plaats', oftewel potentiële energie. In de eerste plaats beschouwden zowel Van der Waals als Bosscha energie als een absolute grootheid, die enkel positieve waarden kan aannemen. Deze visie deelden ze overigens met vrijwel al hun tijdgenoten. Tegenwoordig is het gebruikelijk om energie als een relatieve grootheid te zien, waarbij het enkel aankomt op de energietoename of -afname. Een systeem van deeltjes die bewegen onder invloed van aantrekkende krachten schrijft men hedentendage doorgaans een *negatieve* potentiële energie toe. Voor Van der Waals en Bosscha waren negatieve energieën vermoedelijk iets absurds.[40] In Van der Waals' optiek was de potentiële energie nul wanneer de deeltjes met elkaar in contact waren, oftewel als zij elkaar niet verder konden naderen:

> Daarenboven heeft zij [de vloeistof] een nog veel grotere [hoeveelheid arbeidsvermogen] evenredig aan de massa, die ... nul is als de molekulen zoo ver elkaar genaderd zijn dat de punten waar terugkaatsing plaats heeft als zij tegen elkander botsen, elkander raken.[41]

38 Van der Waals aan Bosscha, 3-2-1871.
39 Van der Waals aan Bosscha, 2-2-1871.
40 Dit standpunt was tamelijk algemeen in die tijd, zie bijv. J.C. Maxwell, 'A dynamical theory of the electromagnetic field' (1865) in: *The scientific papers of James Clerk Maxwell* (New York 1965) 571: 'energy is essentially positive'.
41 Van der Waals aan Bosscha, 15-2-1871.

Een ander verschil was het volgende. Waar wij potentiële energie toeschrijven aan een *systeem* van elkaar aantrekkende deeltjes, neigden Bosscha en Van der Waals er soms toe de potentiële energie aan de afzonderlijke deeltjes zelf toe te kennen. Bosscha's probleem nu was het volgende. Een molecuul in de vloeistof ondergaat krachten van alle naburige moleculen die zich bevinden binnen het bereik van de aantrekkende kracht van dat molecuul. Aangezien deze krachten elkaar opheffen ondervindt het molecuul geen netto krachtresultante. Bosscha begreep niet hoe moleculen die geen netto kracht ondervonden toch een zekere potentiële energie zouden kunnen bezitten. De moleculen konden immers vrijelijk door de vloeistof bewegen zonder dat dit met energieveranderingen gepaard ging.

Anders was dit met de moleculen die zich in de oppervlaktelaag bevonden. De aantrekkende krachten van de daaronder gelegen moleculen werden niet volledig gecompenseerd door die van erboven gelegen moleculen, waardoor zij een neerwaartse krachtresultante ondervonden. Verandering van plaats in een richting loodrecht op het oppervlak van de vloeistof moest dus gepaard gaan met energieveranderingen. Dit gold in het bijzonder voor deeltjes die zich uit de vloeistof losmaakten of voor deeltjes die van buiten de vloeistof deze binnendrongen. Aan deze krachtresultante ontleende de oppervlaktelaag een potentiële energie die evenredig moest zijn met het vrije oppervlak van de vloeistof. De evenredigheidsconstante was niets anders dan de oppervlaktespanning.

Van der Waals argumenteerde daarentegen dat op de gehele oppervlaktelaag een neerwaartse kracht werkte, en dat dus daling van die laag bij inkrimping van de vloeistof (bijvoorbeeld door afkoeling) een energieverandering impliceerde die evenredig moest zijn met het afgenomen volume. Maar zelfs toen Van der Waals Bosscha had overtuigd dat niet alleen verandering van het oppervlak, maar ook verandering van het volume van een vloeistof energie vereiste, bleef Bosscha volhouden dat desalniettemin de energie alleen in het oppervlak gezocht moest worden.

> Uwe beschouwing heeft mij nu wel overtuigd dat volume vermeerdering van arbeid eischt, maar juist nu daaruit blijkt waardoor dit komt, blijf ik volhouden dat het arbeidsvermogen alleen in het oppervlakte huist. Immers de tusschen liggende moleculen vallen ook bij uwe beschouwing weg, en juist hierdoor schijnt mij de tegenstrijdigheid weggenomen dat moleculen, waarop eene kracht = o werkt arbeidsvermogen zouden kunnen bezitten, eene moeilijkheid waarvan ge mij te voren geen opheldering gaaft, en die zolang zij bestond mijns inziens het aannemen dat er ander arbeidsvermogen dan KO [arbeidsvermogen in het oppervlak] bestond tot een ongerijmdheid maakte.[42]

Bosscha twijfelde zelfs of de oorzaak van de cohesie van een vloeistof niet enkel in oppervlaktewerkingen moest worden gezocht. Van der Waals echter zag in de aantrekkende krachten van de moleculen in het binnenste van de vloeistof de oorzaak van de cohesie. Het waren de effecten van deze krachten die hij in zijn dissertatie wilde onderzoeken.

De uitkomst van de discussie vinden we in het leerboek van Bosscha en de dissertatie van Van der Waals. In het voorwoord van de in 1875 gepubliceerde tweede, ongewijzigde druk van het leerboek bedankt Bosscha Van der Waals uitdrukkelijk voor zijn hulp in 'het bijeenbrengen van het omvangrijke materiaal dat de behandeling van de leer der moleculaire krachten ... vereischt'.[43] Zoals gezegd vormde de compositie van dit leerboek

42 Bosscha aan Van der Waals, 4-2-1871.
43 Bosscha Jr., *Leerboek der natuurkunde*, dl. 1, viii.

de vermoedelijke aanleiding tot de correspondentie. Van der Waals deed in een van de brieven een aantal concrete suggesties voor verheldering van de tekst en deze zijn in de gepubliceerde tekst overgenomen. Zo niet echter Van der Waals' visie op de potentiële energie van een vloeistof. Bosscha volhardde in zijn standpunt: 'Daar de binnenste vloeistofdeelen geen arbeidsvermogen bezitten, zoo komen wij tot de volgende stelling: het arbeidsvermogen, dat eenen vloeistof door haar molekulaire krachten bezit, is evenredig met haar vrij oppervlak'[44] In een van zijn brieven had Van der Waals nog uitdrukkelijk bezwaar gemaakt tegen deze formulering. Die zou in zijn ogen 'doen vergeten dat de elkander aantrekkende watermolekulen nog een veel grootere hoeveelheid arbeidsvermogen van plaats bezitten, die alleen door de reactie der warmte niet voor ons beschikbaar is.'[45]

In zijn dissertatie wijdt Van der Waals een geheel hoofdstuk aan deze kwestie. Hierin beargumenteert hij zeer uitvoerig dat ook de binnenste vloeistofdelen potentiële energie bezitten. Het feit dat de op een deeltje werkende krachten elkaar in evenwicht houden doet hier zijns inziens niets aan af. Hetzelfde geldt immers voor een gewicht dat zich op een horizontaal platform bevindt. Verwijdering van deze ondersteuning verbreekt het krachtenevenwicht, maar verandert in eerste instantie niets aan de potentiële energie van het gewicht.

Voor de totale potentiële energie in een vloeistof komt Van der Waals uit op de volgende uitdrukking:

$$A=\{v(C-K)+1/2HO\}$$

Hierbij zijn K en H de bekende constanten uit de theorie van Laplace. Het product van het volume v en de constante C is volgens Van der Waals de hoeveelheid potentiële energie die de deeltjes zouden bezitten als ze buiten elkaars invloedssfeer zouden worden gebracht.[46]

Uiteindelijk raakte ook Bosscha overtuigd van Van der Waals' gelijk. In een in 1883 gepubliceerde nieuwe druk van zijn leerboek corrigeerde hij de boven geciteerde uitspraak over het arbeidsvermogen van een vloeistof. Hij sprak nu niet meer over het arbeidsvermogen van een plaats als een exclusieve verworvenheid van de moleculen in de oppervlaktelaag, maar van een '*overmaat* van arbeidsvermogen', die de moleculen in de grenslaag bezitten 'boven een gelijk aantal moleculen uit het binnenste der vloeistof'. Het is ook in deze druk dat Bosscha uitvoerig de theorie van Van der Waals behandelt. Hierbij ging hij tevens in op Van der Waals' recente onderzoek, resulterend in diens *wet der overeenstemmende toestanden.*[47]

Eén punt uit de correspondentie kan hier nog kort gememoreerd worden. Van der Waals maakte bij zijn beschouwingen de kanttekening dat die slechts gelden onder de aanname dat de dichtheid van de vloeistof in de oppervlaktelaag gelijk is aan die in het binnenste der vloeistof. Hij voegde hieraan toe dat deze aanname vermoedelijk onjuist is, een mening die hij ook aan Bosscha toeschreef. Merkwaardigerwijs vermoedde hij dat de dichtheid in de oppervlaktelaag toeneemt.[48] Juist deze veranderlijke dichtheid der mole-

44 *Ibid.*, dl. 3, 22.
45 Van derWaals aan Bosscha, 15-2-1871.
46 Van der Waals, *Over de continuïteit*, hfdst. 4: 'Over de hoeveelheid arbeidsvermogen van plaats die een vloeistof bezit', 33-37.
47 Bosscha Jr., *Leerboek der natuurkunde* (Leiden 1883[3]) dl. 3, 24; *ibid.*, dl. 1, 224-231.
48 Van der Waals aan Bosscha, 3-2-1871.

culen (zij het nu een afnemende) rond het scheidingsvlak tussen vloeistof en gas vormde het uitgangspunt voor Van der Waals' latere, tussen 1888 en 1893 uitgewerkte theorie van de capillariteit.[49]

Epiloog: Bosscha als wetenschapspatroon

Zonder briljante wetenschappers als Lorentz, Kamerlingh Onnes en Van der Waals was er geen sprake geweest van een tweede Gouden Eeuw, dat moge duidelijk zijn. Maar zonder de inzet en stimulans van mensen als Van Bemmelen en zijn studievriend Bosscha waren er evengoed geen Lorentz, Van der Waals en Kamerlingh Onnes geweest. Hun rol en betekenis wordt vaak genoemd, maar zelden in detail bekeken. Zoals we hier tot slot zullen benadrukken vormden Bosscha's Haagse bemoeienissen met Van der Waals geen incident.

Bosscha heeft als natuurkundige geen grote internationale reputatie opgebouwd. Maar zijn betekenis voor de Nederlandse fysica kan nauwelijks overschat worden. Hij speelde een belangrijke rol in de oprichting van de HBS. Zijn leerboek heeft meer dan één generatie natuurkundigen in contact gebracht met de natuurkunde. De twee voornaamste Nederlandse experimentatoren aan het eind van de negentiende eeuw, de hoogleraren Kamerlingh Onnes en Haga, zijn beiden, zoals elders beargumenteerd, in sterke mate door hem beïnvloed.[50] De een was enige tijd zijn assistent, de ander bood hij de mogelijkheid tot het doen van onderzoek. Hij heeft zich bovendien persoonlijk sterk gemaakt voor de aanstelling van Kamerlingh Onnes als Leids hoogleraar. Andere jonge Nederlandse experimentele fysici getuigden eveneens van zijn steun en inspirerende rol.

Maar ook met de voornaamste theoretici onderhield hij warme betrekkingen. Met Lorentz was hij buitengewoon goed bevriend. Zo toonde hij zich bereid om zijn positie als secretaris van de Hollandse Maatschappij van Wetenschappen over te dragen aan Lorentz, om deze laatste te ontlasten van diens grote onderwijstaak. Daarnaast was hij de drijvende kracht achter de uitgebreide viering van Lorentz' 25-jarige doctoraat en het bij die gelegenheid aan Lorentz bewezen eerbetoon.[51]

Zowel Bosscha's leerboek als Van der Waals' proefschrift vertoont overduidelijke sporen van het wetenschappelijk contact tussen beide auteurs. De hier beschouwde brieven onderstrepen dit beeld. Als theoreticus lijkt de jongere Van der Waals de meerdere te zijn geweest van de meer experimenteel ingestelde Bosscha. Maar daaruit mag zeker niet geconcludeerd worden dat Van der Waals op generlei wijze baat had bij het contact met Bosscha. Zo moet hun gedeelde belangstelling voor natuurkundige problemen en met name voor moleculaire krachten een grote stimulans zijn geweest voor de HBS-leraar. Van der Waals schreef de uitwerking van zijn theorie toe aan zijn oorspronkelijke belangstelling voor de theorie van de capillariteit en dit was juist het onderwerp waarmee Bosscha zich in 1870 intensief bezighield.

Beide fysici hadden ruwweg een zelfde beeld van gassen en vloeistoffen als opgebouwd uit deeltjes die enkel aantrekkende krachten op elkaar uitoefenden. Deze werden in beider optiek gecompenseerd door de thermische beweging der deeltjes. Maar waar de experimenteel ingestelde Bosscha zich daarbij concentreerde op de empirische grootheid der oppervlaktespanning, en ertoe neigde die tevens verantwoordelijk te houden voor de

49 Kipnis, Yavelov &. Rowlinson, *Van der Waals and Molecular Science*, 116-119.

50 F. van Lunteren, '"Van meten tot weten". De opkomst van de experimentele fysica aan de Nederlandse universiteiten in de 19de eeuw' in: F. van Lunteren en L. Palm ed., *De natuurwetenschappen in Nederland in de negentiende eeuw. Studies voor Harry Snelders.* Themanummer van *Gewina* (Rotterdam 1995) 102-138.

51 G.L. de Haas-Lorentz ed., *H.A. Lorentz: Impressions of his life and work* (Amsterdam 1957) 99.

cohesie van vloeistoffen, neigde de meer theoretisch ingestelde Van der Waals er meer toe het belang van de niet-meetbare 'moleculaire druk' te benadrukken en te zoeken naar verschijnselen waarin deze grootheid zich indirect openbaart. Bij dit alles kwam dat Bosscha door zijn vroegere onderzoek als geen ander kennis bezat van experimenteel werk op het gebied van de warmtetheorie, met name van dat van de Fransman Regnault. Regnaults meetresultaten spelen een belangrijke rol in het proefschrift van Van der Waals. In de correspondentie tussen Van der Waals en Bosscha verwijst de laatste naar niet-gepubliceerde experimenten van Regnault in reactie op enkele bespiegelingen over latente warmten van Van der Waals.[52]

Maar het is bovenal Kamerlingh Onnes' bewering dat Bosscha Van der Waals had aangezet tot de promotie die het grote belang van het contact tussen beide fysici onderstreept. In het licht van de verdere gegevens over de relatie tussen Bosscha en Van der Waals is deze claim alleszins aannemelijk. Daarenboven was het ongetwijfeld Bosscha die zijn correspondent Plateau, hoogleraar te Gent, attendeerde op het proefschrift van Van der Waals, zodat dit boek nog in 1873 zijn eerste internationale vermelding kreeg in Plateau's invloedrijke overzichtswerk *Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires.*[53]

Ook na de dissertatie bleven hun paden elkaar kruisen. In 1873 werd Bosscha benoemd als hoogleraar natuurkunde in Delft. Vier jaar later werd hij gevraagd om hoogleraar natuurkunde te worden aan de nieuwe universiteit van Amsterdam. Zijn uiteindelijke weigering opende de weg voor de benoeming van Van der Waals. Onduidelijk is of Bosscha zich tevens actief heeft ingezet voor de kandidatuur van Van der Waals voor de Amsterdamse leerstoel. Inmiddels was ook Van der Waals benoemd tot lid van de Koninklijke Akademie. In die hoedanigheid maakte hij samen met Bosscha deel uit van de commissie die in de jaren tachtig de overheid zes keer van advies diende bij de plaatsing van bliksemafleiders.[54]

Het was Bosscha's assistent, Kamerlingh Onnes, die in 1880 een meer algemene fundering gaf aan de eerder door Van der Waals afgeleide wet der overeenstemmende toestanden. Deze bijdrage werd door Van der Waals in de Akademie gepresenteerd. Bosscha zelf droeg zorg voor de Franse vertaling van Van der Waals' in 1891 in de *Archives Néerlandaises* gepubliceerde onderzoekingen aan binaire mengsels.[55] Omgekeerd was het een medewerker van Van der Waals, Sissingh, die zorg droeg voor een nieuwe bewerking van een deel van Bosscha's leerboek.[56] In 1897 was Bosscha een van de drijvende krachten achter de oprichting van het Van der Waals Fonds ter ere van Van der Waals' zestigste verjaardag. Oogmerk van het fonds was het leveren van financiële ondersteuning voor experimenteel werk dat verband hield met het theoretische werk van Van der Waals.[57]

Bosscha's onophoudelijke inspanningen voor de bloei van de Nederlandse fysica waren niet in de laatste plaats ingegeven door een fervent nationalisme. Reeds in de eerste editie van zijn leerboek droeg hij zorg voor de uitdrukkelijke vermelding van de bijdragen van Nederlandse onderzoekers. Ten tijde van de vacature Rijke in Leiden verzette hij zich met

52 Bosscha aan Van der Waals, 4-2-1871.

53 J. Plateau, *Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires*, dl. 2 (Parijs/Londen 1873) 508. Op dezelfde pagina wordt ook Bosscha's werk vermeld.

54 Bosscha, *Verspreide geschriften*, dl. 2, 426-427.

55 Van der Waals, 'The equation of state', 262.

56 J. Bosscha, *Leerboek der natuurkunde*, vierde boek: *Licht*, bewerkt door R. Sissingh (Leiden 1902-1907).

57 Kipnis, Yavelov &. Rowlinson, *Van der Waals and Molecular Science*, 124-125.

58 J.L. Oosterhoff, 'De opkomst van een "vaderlandsche natuurkunde" aan de Leidse Universiteit in de tweede helft van de negentiende eeuw' in: W. Otterspeer, *Een universiteit herleeft. Wetenschapsbeoefening aan de*

klem tegen de benoeming van een buitenlander.[58] Eind negentiende eeuw ontpopte hij zich als de waakhond van de nagedachtenis van Nederlandse wetenschappers als Van Marum en bovenal Huygens. In Bosscha's historische werk 'steekt Van Marum hier en daar zijn hoofd boven Lavoisier uit en naast Huygens neemt Newton bijkans een tweede plaats in', zoals de Leidse fysicus Kuenen het later enigszins ongelukkig – Lavoisier werd tijdens de Franse revolutie onthoofd – formuleerde.[59]

Deze toewijding aan de nationale zaak was hem met de paplepel ingegoten. Zijn vader, de historicus en staatsman Johannes Bosscha senior, dankte zijn naam bovenal aan zijn uitvoerige en tamelijk ronkerige overzicht van de Nederlandse krijgsgeschiedenis: *Neerland's heldendaden te land, van de vroegste tijden af tot op onze dagen.* Daarnaast was hij de officiële biograaf van Willem II. Bij de zoon maakte het militaire wapengekletter plaats voor intellectuele heldendaden. Mocht Nederland zich dan in politiek opzicht niet langer tussen de grootmachten kunnen scharen, in wetenschappelijke betekenis hoefde het land niet voor zijn grotere buren onder te doen.

Dit ideaal deelde Bosscha aan het eind van de eeuw met steeds meer Nederlandse geleerden. Het in 1887 opgerichte Nederlands Genees- en Natuurkundig congres verschafte dergelijke gevoelens een officieel platform.[60] Uiteraard toonde Bosscha zich in dit forum uiterst actief. Ook Van der Waals, minder naar buiten tredend dan Bosscha, toonde zich niet ongevoelig voor de nationale zaak. Als secretaris van de Academie zette hij zich ten volle in voor de belangen van Nederlandse wetenschap. En hij was het die, verwijzend naar de groeiende samenwerking tussen Nederlandse fysici, nadrukkelijk sprak van een 'vaderlandsche natuurkunde'.[61]

SUMMARY

Bosscha's textbook and Van der Waals' dissertation: attractive forces in The Hague
The aim of this article is to shed some light on the genesis of Van der Waals' famous dissertation 'On the continuity of the gaseous and liquid states', published in 1873. As was pointed out in a recent biography of Van der Waals, the Dutch physicists Johannes Bosscha, at the time a secondary school inspector, was Van der Waals' main mentor during the years preceding the materialization of this work. In this period both men resided in The Hague, where Van der Waals made his living as a secondary school teacher. Some recently found letters, all dating from february 1871, testify to their mutual interest in molecular forces. The correspondence deals with the energy in the surface layer of a liquid due to these attractive forces. The immediate occasion for their concern with this topic was Bosscha's textbook in the making. The book contained an unusually extensive discussion of capillarity and other related phenomena, which were then at the focus of Bosscha's own research. Echoes of the correspondence can be found both in Bosscha's highly influential textbook and Van der Waals' dissertation.

Leidse Universiteit vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw (Leiden 1984).

59 J.P. Kuenen, *Het aandeel van Nederland in de ontwikkeling der natuurkunde gedurende de laatste 150 jaren: Gedenkboek van het Bataafsch Genootschap der proefondervindelijke wijsbegeerte te Rotterdam, 1769-1919* (Rotterdam 1919) 105.

60 R.P.W. Visser, 'Het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres' over de relatie natuurwetenschap en maatschappij, 1887-1900' in: J.J. Kloek en W.W. Mijnhardt ed., *Balans en Perspectief van de Nederlandse cultuurgeschiedenis. De productie, distributie en consumptie van cultuur* (Amsterdam 1991) 37-48.

61 J.D. van der Waals, 'De arbeid van Kamerlingh Onnes voor de Vaderlandsche natuurkunde' in: *Het natuurkundig laboratorium der Rijks-Universiteit te leiden in de jaren 1882-1904* (Leiden 1904) 73-75.