

Het ontstaan van het systeem van bètadisciplines: de natuurkunde

FRANS VAN LUNTEREN*

ABSTRACT

The emergence of the system of scientific disciplines: the case of physics

This essay aims to contribute to a better understanding of the emergence of academic disciplines in the course of the nineteenth century. Being largely based upon Rudolf Stichweh's 1984-exemplary study *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland 1740–1890*, this essay takes an academic discipline to comprise a well-defined body of knowledge, a corresponding field of research, a set of institutions and a community of representatives, who owe their access to this community to expert skills acquired through an academic education. It describes the emergence of these different facets in the case of physics. This process involved the gradual emergence of a clear demarcation with respect to bordering fields like chemistry and mathematics, the rise of vocational training at the universities, the emergence of specialized journals and of disciplinary communities. Seen from this perspective and in contrast to the received view the modern system of academic disciplines only emerged in the second half – or rather, the last third – of the nineteenth century.

Keywords: discipline formation; physics

Inleiding

De omvangrijke literatuur over wetenschappelijke disciplinevorming valt ruwweg uiteen in twee categorieën. De eerste richt zich op het ontstaan van het moderne systeem van wetenschappelijke disciplines, de tweede op de vorming van nieuwe disciplines binnen het al bestaande systeem.¹ Deze gevallen dienen goed onderscheiden te worden aangezien de dynamiek in beide gevallen nogal verschilt. Deze bijdrage richt zich primair op het eerst

* Vrije Universiteit Amsterdam & Universiteit Leiden. E-mail: f.h.van.lunteren@vu.nl

¹ Zie met betrekking tot de natuurwetenschappen voor de tweede categorie met name R.E. Kohler, *From Medical Chemistry to Biochemistry. The making of a Biomedical Discipline* (Cambridge 1982); T. Lenoir, *Instituting Science. The Cultural Production of Scientific Disciplines* (Stanford 1997); zie voor de eerste categorie ook D. Wegener, 'Wetenschapsgeschiedenis op lange termijn: flexibiliteit en fragiliteit van disciplines', *Studium* 4 (2011) 16–30; D.R. Shumway & E. Messer-Davidow, 'Disciplinarity: an introduction', *Poetics Today* 12 (1991) 201–225, en J. Golinski, *Making natural knowledge. Constructivism and the history of science* (Chicago 1998) 69–78.

genoemde proces. In dit proces speelden bètawetenschappen een voortrekkersrol, die hier echter niet in zijn volle omvang geanalyseerd kan worden. De hier beschouwde casus heeft voornamelijk betrekking op de natuurkunde. Daarmee is niet gezegd dat het ontwikkelingsproces van de natuurkunde als discipline exemplarisch is voor dat van andere natuurwetenschappen. Opmerkelijk is juist dat elk van de negentiende-eeuwse bètadisciplines één of meer onderscheidende karakteristieken bezat en mede daardoor ook een geheel eigen ontwikkelingsgang kende, die bovendien nog per land verschilde. De combinatie van deze factoren maakt het vooralsnog moeilijk om tot een eenduidig en samenhangend beeld te komen.

Een tot voor kort gangbare visie bracht het ontstaan van wetenschappelijke disciplines in direct verband met de Pruisische onderwijshervormingen van de vroege negentiende eeuw in combinatie met het grote aantal Duitse staten en de daarmee gepaard gaande competitie tussen Duitse universiteiten. Deze factoren zouden de autonomie van de wetenschap hebben vergroot en specialisering in de hand gewerkt, bijvoorbeeld door de inperking van de leeropdrachten tot een enkel vakgebied.² Hoewel deze visie niet geheel ongegrond is, valt er het nodige op af te dingen. Critici hebben erop gewezen dat de onderwijshervormingen van Alexander von Humboldt tal van precedentes kenden, dat het *Bildungs*-ideaal op gespannen voet stond met specialisatie, dat het Pruisische model weinig navolging vond in andere staten, dat verantwoordelijke ministers zich ingrijpend bemoeiden met hoogleraarbenoemingen en dat vakspecifieke leeropdrachten lange tijd uitzonderlijk bleven.³ Dit alles impliceert niet zozeer een devaluatie van de rol van de Duitse universiteit in het proces van disciplinevorming als wel de noodzaak ons te realiseren dat dit proces later in de tijd moet worden gesitueerd en dat het gekenmerkt werd door meer contingentie dan aanvankelijk gedacht.

De hier volgende analyse van het ontstaan van wetenschappelijke disciplines leunt sterk op het werk van de Duitse socioloog Rudolf Stichweh. Zijn in 1984 verschenen *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland* is tot nog toe de meest grondige en diepgravende studie op dit gebied.⁴ Stichweh baseert zijn analyse grotendeels op Niklas Luhmanns theorie van functionele differentiatie. Die theorie beschrijft de wijze waarop traditionele hiërarchische ordeningen in de maatschappij plaats maken voor een moderne opsplitsing in deelgebieden of systemen die gericht zijn op de oplossing van specifieke problemen.⁵ De waarde van het boek ligt echter vooral in de

2 Zie vooral J. Ben-David, *The Scientists' Role in Society* (Edgewood Cliffs 1971).

3 R.S. Turner, 'The Growth of Professorial Research in Prussia, 1818–1848: Causes and Context', *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971) 137–182; idem, 'The Prussian Professoriate and the Research Imperative', in: H.N. Jahnke & M. Otte (ed.), *Epistemological and Social Problems of the Sciences in the Early Nineteenth Century* (Dordrecht 1981) 109–121; L.K. Nyhart, *Biology takes form: Animal morphology and the German Universities, 1800–1900* (Chicago 1995) 12–16; zie ook J. Wachelder, 'De "Duitse Universiteit": idee en geschiedenis', in: B. Theunissen & C. Hakfoort (red.), *Newtons. God en Mendels bastaarden: Nieuwe visies op de 'helden van de wetenschap'* (Amsterdam 1997) 171–198; M.G. Ash (red.), *Mythos Humboldt-Vergangenheit und Zukunft der deutschen Universitäten* (Wien 1999).

4 R. Stichweh, *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland 1740–1890* (Frankfurt a.M. 1984). Tevens is dankbaar gebruik gemaakt van de studie van D. Wegener, 'Disciplinevorming in de bètawetenschappen: een vooronderzoek' (april 2010), te raadplegen via internet.

5 Zie bijvoorbeeld N. Luhmann, 'Differentiation of society', *Canadian Journal of Sociology* 2 (1977) 29–53; N. Luhmann, *Gesellschaftsstruktur und Semantik. Studien zur Wissenssoziologie der modernen Gesellschaft* (Frankfurt 1980).

uitvoerige empirische uitwerking van deze visie in het concrete geval van de natuurkunde. Daarin besteedt hij uitgebreid aandacht aan de wijze waarop de natuurkunde een eigen identiteit krijgt in wisselwerking met andere uitkristalliserende disciplines, aan de rol van specifieke onderwijsinnovaties, en vooral aan het vaktijdschrift als samenbindend vehikel voor de opkomende disciplines. Daarbij toont hij in alle gevallen opmerkelijk veel gevoel voor die eerder genoemde historische contingentie.

Mogelijk door gebrek aan een Engelse vertaling heeft Stichwehs boek nooit die bekendheid en invloed gekregen die het verdient.⁶ Deze bijdrage kan dan ook worden gezien als een parafrase van Stichwehs werk, aangevuld met meer recente literatuur, in het bijzonder het monumentale boekwerk over de negentiende-eeuwse Duitse fysica *Intellectual Mastery of Nature* van Christa Jungnickel en Russel McCormmach.⁷ Waar mogelijk zal het beeld worden verruimd door ook Franse, Britse en Nederlandse voorbeelden in het verhaal in te passen. De bedoeling van deze bijdrage is driedelig. In de eerste plaats beoogt het stuk wat meer helderheid te creëren ten aanzien van zowel de aard van disciplines als het proces van disciplinevorming. Het belangrijkste punt dat hier gemaakt wordt is dat er verschillende aspecten gemoeid zijn met (het ontstaan van) een discipline, namelijk zowel vakinhoudelijke, communicatieve, sociale, institutionele als maatschappelijke. In de tweede plaats wil dit stuk de strijd aangaan met het wijd verbreide beeld dat het systeem van natuurwetenschappelijke disciplines al vroeg in de negentiende eeuw is ontstaan. Hier zal worden betoogd dat dit pas in de tweede helft van de eeuw gebeurde. En ten slotte wil deze bijdrage uitnodigen tot onderzoek naar het ontstaan van andere disciplines langs de hier gepropageerde weg.

Wat is een wetenschappelijke discipline?

De term ‘discipline’, afgeleid van het Latijnse *discipere*, ‘leren’, wordt sinds de Oudheid gebruikt als term voor de ordening van over te dragen kennis, namelijk als aanduiding voor een op zich staand onderdeel van die kennis. In de Middeleeuwen kreeg het begrip tevens een meer pedagogische betekenisinhoud, in de zin van vermaning en straf (denk aan het huidige ‘disciplineren’), en die dubbele betekenis is sindsdien blijven bestaan.⁸ Onder ‘wetenschappelijke disciplines’ verstaan we tegenwoordig iets dat de pedagogische en didactische elementen overstijgt. In wezen bezit het begrip twee betekenismomenten, namelijk enerzijds die van een afgegrensd en specialistisch onderzoeks- en onderwijsveld, en anderzijds die van een al evenzeer afgegrensde sociale groep, die verbonden is via gemeenschappelijke instituties en communicatiemiddelen en een gedeelde cultuur en identiteit. De groep is autonoom in zoverre dat zij haar eigen regels en doelen bepaalt en tevens zelf de toegang tot de groep reguleert via specifieke in – en uitsluitingmechanismen.⁹

6 Het boek ontbreekt bijvoorbeeld in Ch. Jungnickel & R. McCormmach, *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical Physics from Ohm to Einstein* (2 vols, Chicago 1986) en in het enigszins vergelijkbare Nyhart, *Biology takes form* (n. 3) alsmede in het historiografisch overzicht over het ontstaan van de natuurkundediscipline in: J.Z. Buchwald & S. Hong, ‘Physics’, in: D. Cahan (eds.), *From Natural Philosophy to the Sciences* (Chicago 2003) 166–169.

7 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6).

8 Shumway & Messer-Davidow, ‘Disciplinarity’ (n. 1) 202; Stichweh, ‘History of Scientific Disciplines’, in: N.J. Smelser & P.B. Baltes (eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Oxford 2002) 13727–13728.

9 Zie bijv. A. Abbott, *The chaos of disciplines* (Chicago 2001) 122–144.

Er is een interessante parallel met een ander product van de negentiende eeuw, namelijk de moderne natiestaat.¹⁰ Die wordt op een vergelijkbare wijze gekenmerkt door een combinatie van een helder omschreven grondgebied, een identificeerbare groep mensen met een zekere linguïstische en culturele homogeniteit, en een reeks van gemeenschappelijke instituties, bijvoorbeeld regering, leger en rechterlijke macht. Het zijn ook hier vooral opleidingen en communicatiemiddelen als kranten en tijdschriften (en later radio en televisie), die zorg hebben gedragen voor die culturele homogenisering. Net als wetenschappelijke disciplines maken staten deel uit van grotere eenheden, namelijk werelddelen (als analogon van bijvoorbeeld de *humaniora*, de sociale wetenschappen of de natuurwetenschappen), en zijn ze onderverdeeld in kleinere eenheden als provincies of deelstaten (subdisciplines of specialismes). Als identiteitsbepalende factor waren en zijn echter in beide gevallen de middenniveaus dominant.

Hoewel de moderne natiestaat gezien wordt als een product van de negentiende eeuw, is er geen specifiek moment aan te wijzen waarop dit fenomeen zijn intrede doet. Natievorming in staatsverband (en staatsvorming op grond van culturele verwantschap) is, net als disciplinevorming, een proces dat geen natuurlijke afronding kent en dat zich niet overal in hetzelfde tempo voltrekt. Dat neemt niet weg dat na de eenwording van Italië en Duitsland, dus na 1871, de meeste Europese staten voldoende culturele en politieke homogeniteit bezaten om te kunnen spreken van het Europa van natiestaten. Voor het systeem van wetenschappelijke disciplines geldt iets soortgelijks. Ook dit vertoonde pas vanaf ruwweg 1870 een enigszins uitgekristalliseerde vorm, gekenmerkt door bijvoorbeeld voldoende scherp afgegrensde disciplinaire gemeenschappen.¹¹ Hier is overigens sprake van meer dan enkel een analogie, want het proces van disciplinevorming voltrok zich in de regel in een nationale context.

Wat disciplines tevens gemeen hebben met natiestaten is dat zij omringd worden door aangrenzende gebieden en dat de territoriumafbakening dus altijd plaatsvindt in samenhang met die van de buren. Zoals we zullen zien heeft de fysica enig terrein moeten veroveren op de scheikunde en vooral de wiskunde om überhaupt tot een volwaardige discipline te kunnen uitgroeien. Ook kan er in beide gevallen sprake zijn van intensief grensverkeer en in uitzonderlijke gevallen van emigratie. Hoewel ook landsgrenzen in de loop van de geschiedenis kunnen veranderen zijn deze in de regel echter veel statischer dan disciplinaire grenzen. In dit opzicht bezitten disciplines een veel organischer karakter.

10 Voor de constructie van de natiestaat in de negentiende eeuw, zie: B. Anderson, *Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism* (London 1983), en E.J. Hobsbawm, *Nations and Nationalism Since 1780: Programme, Myth, Reality* (Cambridge 1990). Zie ook Wegener, 'Disciplinevorming bètawetenschappen' (n. 4) 25–27.

11 Door historici wordt het ontstaan van het systeem van disciplines doorgaans wel in de eerste helft van de negentiende eeuw gesitueerd. Zie C. Smith, 'Mechanical philosophy' and the emergence of physics in Britain 1800–1850', *Annals of Science* 33 (1976) 3–29; S.F. Cannon, 'The invention of physics', in: S.F. Cannon, *Science in Culture* (Camden, MA 1978) 111–137; R.H. Silliman, 'Fresnel and the emergence of physics as a discipline', *Historical Studies in the Physical Sciences* 4 (1973) 137–162; S. Schaffer, 'Scientific discoveries and the end of natural philosophy', *Social Studies of Science* 16 (1986) 387–420; Buchwald & Hong, 'Physics' (n. 6); Deze literatuur wordt beknopt samengevat in Wegener, 'Wetenschapsgeschiedenis op lange termijn' (n. 1), 21. Zie daarentegen Th. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago 1996) 179: 'There was [...] no physics community before the mid-nineteenth century, and it was then formed by the merger of two previously separate communities, mathematics and natural philosophy (*physique expérimentale*)'. Vgl. Wegener, 'Disciplinevorming bètawetenschappen' (n. 4) 7.

Er is nog een ander belangrijk verschil. Disciplines verkrijgen hun vorm niet alleen in onderlinge afstemming, maar ook en vooral door zich (gedeeltelijk) te isoleren ten opzichte van de samenleving, oftewel het publieke domein.¹² Die afzondering kan uiteraard niet volledig zijn. Om te kunnen bestaan heeft een discipline de steun en erkenning van die samenleving nodig. Dat vereist weer dat de discipline datgene kan bieden wat die samenleving wenst, bijvoorbeeld prestige, gezondheid, welvaart of macht en veiligheid. Zo'n breder referentiekader ontbreekt in het geval van staten.

Een laatste overeenkomst is dat in beide gevallen sprake is van een lange voorgeschiedenis, waarbij het moeilijk is een beginpunt te bepalen. Nederland, Frankrijk en Spanje bestonden ook voor de negentiende eeuw en datzelfde kan worden gezegd van de wiskunde, natuurkunde en scheikunde. Dit gegeven maakt het nodig om kort in te gaan op vroegmoderne classificaties van hogere vormen van kennis en meer specifiek op de verschillen in betekenislagen tussen vroegmoderne 'natuurkunde' en de laat negentiende-eeuwse natuurkunde.

Het onderzoeksveld: wiskunde, scheikunde en natuurkunde

Eind achttiende eeuw bezat de term natuurkunde geen eenduidige betekenis. De inhoud van het begrip varieerde van het op verklaring gerichte deel van de natuurwetenschap (*Naturlehre*, *natural philosophy*), als complement van de beschrijvende natuurlijke historie (*Naturgeschichte*, *natural history*) en de kwantitatieve, op de natuur toegepaste wiskunde (*angewandte Mathematik*, *mixed mathematics*), tot de proefondervindelijke natuurkunde in engere zin, die zich vooral richtte op verschijnselen die met natuurkundige apparaten zoals de luchtpomp of de elektriseermachine konden worden gedemonstreerd en onderzocht.¹³ Door de opmars aan het eind van de achttiende eeuw van kwantitatieve meetinstrumenten binnen de proefondervindelijke natuurkunde en de toenemende expansie van de scheikunde in diezelfde periode vertoonde die proefondervindelijke natuurkunde een steeds grotere overlap met de aangrenzende wiskunde en scheikunde.

De terminologische dubbelzinnigheid manifesteerde zich op tal van manieren. De 'pensionnaires' van de Parijse Académie waren verdeeld over twee afdelingen, een 'wiskundige' en een 'natuurkundige'. In 1785 werden er twee nieuwe secties toegevoegd, de 'proefondervindelijke natuurkunde' en de 'natuurlijke historie'. De eerste belandde in de wiskundige afdeling, de tweede in die der natuurkunde.¹⁴ In zijn *Physikalisches Wörterbuch* (1790) kenmerkte de Duitse geleerde Johann Gehler de 'eigenlijke natuurkunde' als datgene wat overbleef na verwijdering van alle andere gebieden. Dat residu achtte hij echter dermate gering dat hij zich genoodzaakt zag de scheikunde en toegepaste wiskunde toe te voegen. Zijn collega Friedrich Gren omschreef het domein van zijn in 1791 opgerichte *Journal der Physik* als het 'mathematische und chemische Fach der Naturlehre'.¹⁵

Toonaangevende experimentatoren in de fysica van de eerste helft van de negentiende eeuw hadden doorgaans een chemische achtergrond.¹⁶ Bekende voorbeelden zijn de Britten Humphrey Davy, Michael Faraday en James Prescott Joule, de Duitsers Johann Christian

12 Stichweh spreekt in dit verband van *Innendifferenzierung* en *Ausdifferenzierung*. Zie: Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 39–42.

13 Ibidem 14–21.

14 J.L. Heilbron, *Elements of Early Modern Physics* (Berkeley 1982) 4–5.

15 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 108.

16 R. McCormmach, 'Editor's foreword', *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971) xi–xii.

Poggendorff en Gustav Magnus, en de Fransen Louis Joseph Gay-Lussac en Henri Victor Regnault.¹⁷ Dit gegeven illustreert de innige relatie tussen natuur- en scheikundig onderzoek in deze periode. Die komt ook tot uiting in het feit dat het tijdschrift *Annalen der Physik* in 1819 werd omgedoopt in de *Annalen der Physik und physikalische Chemie*, en weer vijf jaar later in de *Annalen der Physik und Chemie*. In diezelfde tijd werd de titel van het door Antoine Lavoisier opgerichte *Annales de Chemie* in 1816 veranderd in *Annales de Chemie et de Physique*.¹⁸ Halverwege de eeuw was de er nog sprake van intensief grensverkeer tussen de natuur- en scheikunde.¹⁹

Omgekeerd waren het vooral Franse wiskundigen (en wiskundig geschoolde ingenieurs) die in het begin van de eeuw de experimentele natuurkunde aan het mathematische regime van de partiële differentiaalvergelijkingen onderwierpen. Pierre-Simon Laplace, Siméon-Denis Poisson, Joseph Fourier en zelfs de latere hoogleraar natuurkunde André-Marie Ampère waren in de eerste plaats wiskundigen.²⁰ En net als in Engeland bleef in Frankrijk de mathematische fysica gedurende de gehele eeuw veeleer onderdeel van de wiskunde dan van de natuurkunde. In Engeland werd deze traditie bestendigd door de dominantie van Cambridge en de rol van het centrale wiskundige examen, de *Mathematical Tripos*, in de bacheloropleiding aldaar. In dit universiteitsbrede examen lag de nadruk op de zogenaamde 'mixed mathematics', die in het tweede kwart van de eeuw werd uitgebreid met de Franse elektrodynamica, golvenoptica en warmteleer.²¹

Leek het er in het begin van de negentiende eeuw op of de natuurkunde in engere zin vermalen zou worden tussen de scheikunde en de wiskunde, eind negentiende eeuw had diezelfde natuurkunde zich ontwikkeld tot een volwaardige discipline die in prestige de zusterdisciplines leek te overvleugelen.²² Deze emancipatie was minder een gevolg van natuurkundige expansiedrift als wel van een geleidelijke terugtocht van zowel chemici als wiskundigen uit onderzoeksgebieden die betrekking hadden op thermische en vooral elektrische verschijnselen. Stimuleerde de voltaïsche zuil aanvankelijk vooral onderzoekingen op het terrein van de elektrochemie, na Hans Christian Ørstedts ontdekking van het elektromagnetisch effect in 1820 en het daaropvolgende werk van Ampère, ontstond er met de elektrodynamica een rijk onderzoeksgebied voor natuurkundigen.²³

De snelle mathematisering van onderzoeksgebieden als warmte, licht, elektriciteit en magnetisme had als effect dat chemici geleidelijk hun belangstelling voor deze gebieden verloren.²⁴ Hoewel ook chemici in toenemende mate gebruik maakten van kwantitatieve bepalingen, schuwden zij tot ver in de negentiende eeuw het gebruik van differentiaalvergelijkingen. Datzelfde gold echter ook voor experimenteel ingestelde natuurkundigen als

17 Zie de betreffende biografische artikelen in C.C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography* (16 vols., New York 1970–1980).

18 F. van Lunteren, 'Van meten tot weten: de opkomst van de experimentele fysica aan de Nederlandse universiteiten in de negentiende eeuw', *Gewina* 18 (1995) 46–49.

19 M. Dörries, 'Easy transit: Crossing boundaries between physics and chemistry in mid-nineteenth century France', in: C. Smith & J. Agar (eds.), *Making space for science: terrestrial themes in the shaping of knowledge* (London 1998) 246–262.

20 Gillispie, *Dictionary of Scientific Biography* (n. 17).

21 A. Warwick, *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics* (Chicago 2003).

22 Deze verandering vormt de rode draad in I.R. Morus, *When Physics Became King* (Chicago 2005).

23 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 306–317.

24 De opkomst van de organische chemie met haar vele industriële toepassingen zal hier ook een rol in gespeeld hebben.

Poggendorff en Magnus die zich meer verwant voelden met chemici dan met wiskundigen.²⁵ Zolang wiskundige theorievorming op het gebied van genoemde natuurverschijnselen geen uitdrukkelijke positie bezat binnen de natuurkunde was het mogelijk voor natuurkundigen deze theorieën, als wiskundige toepassingen, te negeren in hun onderzoek. De vraag is dan ook vooral hoe mathematische fysica theoretische fysica werd, oftewel hoe deze praktijk verschoof van de wiskunde naar de natuurkunde.

Een belangrijke factor in deze verandering is de opmerkelijke heroriëntatie van de wiskunde in de handen van vooral Duitse wiskundigen. In het tweede kwart van de negentiende eeuw verschoof het zwaartepunt binnen de academische wiskunde zich naar de zuivere wiskunde.²⁶ Al in 1825 werd in het Duitse academische discours een scherp onderscheid gemaakt tussen ‘zuivere’ en ‘toegepaste’ wiskunde, waarbij de eerste de kern van de zich geleidelijk vormende wiskundediscipline ging uitmaken. Het middelbaar onderwijs volgde deze ontwikkeling weer op de voet, waardoor een snelle stabilisatie optrad.²⁷ Hierdoor trokken Duitse wiskundigen zich geleidelijk terug uit de mathematische fysica.

In deze zelfde tijd begonnen Duitse natuurkundigen het vrijkomende gebied te veroveren. Pioniers op dit gebied waren Ernst Chladni, Georg Ohm, Gustav Fechner, Franz Ernst Neumann en Wilhelm Weber. Karakteristiek voor deze natuurkundigen is dat zij zich op jonge leeftijd richtten op het werk van eerder genoemde Franse wiskundigen en zich dit door zelfstudie eigen maakten. Met name Chladni's werk op het gebied van de akoestiek is interessant omdat hij een tot dan toe wiskundig onderzoeksgebied een experimentele onderbouwing gaf en daarmee een tak van wiskunde ‘fysicaliseerde’. Zijn werk werd voortgezet door de gebroeders Weber, Heinrich en Wilhelm, culminerend in hun fameuze *Wellenlehre*.²⁸ Wilhelm Weber in Göttingen en Franz von Neumann in Königsberg ontwikkelden zich tot de grondleggers van een nieuwe soort natuurkunde. Beiden deden dit in nauwe samenwerking met astronomen, namelijk Carl Friedrich Gauss en Friedrich Bessel, en wiskundigen. Wat zij van de astronomen overnamen was zowel de wiskundige theorievorming als de systematische precisieingen en de daarmee verbonden foutenrekening.²⁹

Aldus ontstond er in het tweede kwart van de eeuw een rivaliteit tussen de aan de scheikunde verwante experimentele fysica van natuurkundigen als Poggendorff en Magnus, die wiskundige theorievorming beschouwden als een externe, wiskundige activiteit en die veelal een explorerend karakter bezat, en de naar de astronomie gemodelleerde exacte natuurkunde van Neumann en Weber, die wiskundige analyse en precisieingen combineerden. Het is uiteindelijk deze tweede vorm van natuurkundebeoefening die bepalend is geworden voor de in de tweede eeuw helft uitkristalliserende natuurkundediscipline.³⁰ Het succes van deze nieuwe invulling van de natuurkunde werd mede bepaald door twee fac-

25 McCormach, ‘Editor’s foreword’ (n. 16), xi–xii.

26 G. Schubring, ‘The conception of pure mathematics as an instrument in the professionalization of mathematics’, in: H. Bos, H. Mehrrens & I. Schneider (eds.), *Social History of Nineteenth-Century Mathematics* (Boston 1981) 111–134; A. Alexander, *Duel at Dawn. Heroes, Martyrs, and the Rise of Modern Mathematics* (Cambridge, Mass. 2010).

27 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 188–199.

28 Ibidem 200–205.

29 Ibidem 218–220; K.M. Olesko, *Physics as a Calling. Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics* (Ithaca & London 1991) 65–80, 128–171; K.M. Olesko, ‘The meaning of precision: the exact sensibility in early nineteenth-century Germany’, in: M.N. Wise, *The values of precision* (Princeton 1995) 103–134.

30 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 355–356; D. Cahan, ‘From dust figures to the kinetic theory of gases: August Kundt and the changing nature of experimental physics in the 1860s and 1870s’, *Annals of Science* 47 (1990) 151–172.

toren. De eerste is de opkomst van de elektrotechniek en de daarmee verbonden industrie, die vroeg om nauwkeurige bepaling van eenheden en meetsystemen.³¹ De tweede factor is vooral van onderwijskundige aard. Zowel Weber als Neumann bracht een aantal succesvolle vernieuwingen aan in het universitaire onderwijs, die bijdroegen aan een grote schare leerlingen. De invloed van vooral Neumann als opleider van een hele generatie Duitse fysici valt nauwelijks te overschatten.

Onderwijsvernieuwingen

Het systeem van wetenschappelijke disciplines is grotendeels ontstaan in een onderwijskundige context, namelijk die van de universitaire opleidingen, en wel binnen de filosofische faculteit. Noch de nationale academies, noch de Parijse *Grandes Écoles* hebben een zichtbare bijdrage geleverd aan dit proces. Beiden boden onvoldoende ruimte voor differentiatie. Clusters van cultureel verwante universiteiten, zoals die in het Duitse taalgebied, boden die ruimte uiteindelijk wel.³² Belangrijke voorwaarden daarvoor waren enerzijds personele uitbreiding en anderzijds het zich toe-eigenen van het onderzoek. Dat resulteerde in een rolwisseling met de academie. Was deze oorspronkelijk brandpunt van onderzoek en de universiteit een verzamelplaats van geleerdheid, eind negentiende eeuw waren die rollen omgedraaid.³³

De filosofische faculteit verloor in het begin van de negentiende eeuw haar propedeutische functie voor de hogere faculteiten en werd nu, al dan niet in opgesplitste vorm, gelijkgeschakeld met die faculteiten. Daarbij werden ‘hulpwetenschappen’ voor de geneeskunde als scheikunde en botanie overgebracht van de medische naar de filosofische faculteit. In de praktijk had dat aanvankelijk nauwelijks consequenties, daar de filosofische faculteit, anders dan de drie andere, weinig zicht bood op een maatschappelijke carrière. Het bleven voornamelijk voornamelijk medische studenten die de natuurwetenschappelijke colleges bezochten.

Zelfs die weinigen die een academische carrière beoogden, hadden daarbij aanvankelijk geen monodisciplinaire carrière voor ogen. Hoogleraren die uitsluitend wiskunde, sterrenkunde of scheikunde doceerden waren zeer uitzonderlijk. Tot ver in de negentiende eeuw bleef een combinatie van wiskunde, natuurkunde en sterrenkunde, of van natuur- en scheikunde gebruikelijk.³⁴ Ook werden deze colleges verzorgd door hoogleraren die zelf veelal in een van de ‘hogere’ faculteiten gepromoveerd waren. Hoogleraren maakten dan ook deel uit van een brede geleerdencultuur. Veelal combineerden zij aanvankelijk ook verschillende rollen: een onderwijsrol als docent in een of meerdere instituties, een onderzoeksrol als lid van een genootschap, en een beroepspraktijk, bijvoorbeeld als arts of apotheker.³⁵

31 D. Cahan, *An Institute for an Empire: the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1871–1918* (Cambridge 1989); N. Wise, ‘Precision: agent of unity and product of agreement. Part II – The age of steam and telegraphy’, in: Wise, *The values of precision* (n. 29) 224–226.

32 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 67–75.

33 Ibidem 73–74.

34 Ibidem 331–334; Van Lunteren, ‘Van meten tot weten’ (n. 18); voor een vergelijkbare situatie binnen de geneeskunde, zie H.H. Eulner, *Entwicklung der medizinischen Spezialfächer an den Universitäten des Deutschen Sprachgebietes* (Stuttgart 1970).

35 Jungnickel & McCormach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 1, 8–9; Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 318–334; voor Nederland zie: F. van Lunteren, ‘Van meten tot weten’ (n. 18) 46–49.

Het leidt geen twijfel dat het bovenal het Duitse universitaire systeem was dat de belangrijkste aanzetten gaf tot het proces van disciplinevorming. Een aantal aspecten maakte dit systeem uniek. Een daarvan was het belang van de universiteiten voor de afzonderlijke Duitse staten, die hen beschouwden als opleidingscentra voor staatsbeambten en als belangrijke symbolen van hun politiek-culturele aspiraties. Dit garandeerde het voortbestaan, evenals de voortdurende zorg van de staat voor deze instellingen. Eveneens belangrijk was de decentrale politieke structuur van Duitsland, oftewel het grote aantal Duitse staten en staatjes. Deze pluriformiteit zorgde voor een relatief groot aantal universiteiten (en een relatief hoog percentage studerenden), en maakte tevens lokale experimenten met onderwijshervormingen mogelijk. En ten slotte was er sprake van een grote mate van culturele homogeniteit in het Duitse taalgebied, nog versterkt door het proces van natievorming. Dit laatste gegeven zorgde voor een snelle verspreiding van succesvolle onderwijsinnovaties, en bood ruimte voor een hoge mate van mobiliteit onder zowel docenten als studenten.³⁶

Sommige universitaire onderwijshervormingen hingen samen met veranderingen in het middelbaar onderwijs, zoals de groei van de gymnasia en een toenemende vraag naar gekwalificeerde leraren aan het begin van de negentiende eeuw. Waren gymnasiumleraren aanvankelijk vooral beginnende theologen, nu werd de filosofische faculteit de voornaamste leverancier van dit lerarenkorps.³⁷ Enkele universiteiten reageerden hierop door speciale seminaria in te stellen voor de opleiding van deze leraren. Aanvankelijk betrof dit uitsluitend klassieke filologen, die immers het meest hun stempel drukten op het gymnasiumonderwijs, maar gedurende het tweede kwart van de negentiende eeuw ontstonden er tevens mathematisch-fysische seminaria. Deze seminaria onderscheidden zich van de gebruikelijke hoorcolleges door selectie van toegelaten studenten, intensief contact tussen docent en studenten en een nadruk op het zelfstandig oplossen van door de docent aangereikte problemen. Pioniers op dit gebied waren Franz Neumann in Königsberg en Wilhelm Weber in Göttingen.³⁸

Aanvankelijk diende deze onderwijsvorm vooral het wegwerken van deficiënties en de behandelde problemen waren dan ook tamelijk elementair. Maar in de tweede helft van de eeuw evolueerde het seminarium tot een aanzet tot zelfstandig onderzoek, resulterend in originele bijdragen aan wetenschappelijke kennis.³⁹ Het ging hier om een zelfversterkend proces, omdat het seminarium steeds beter gekwalificeerde leraren opleverde, die bovendien doordrongen raakten van een onderzoeksethos, dat zij doorgaven aan hun scholieren. Het resultaat, een nieuwe lichtung van beter geprepareerde studenten, bood weer ruimte aan een verhoging van het niveau van het onderwijs. In de tweede eeuw helft resulteerde de snel groeiende vraag naar gekwalificeerde vakleraren op de gymnasia en de nieuwe *Realschulen* en *Burgerschulen* in een corresponderende groei van het aantal gepromoveerde fysici. De professionalisering van het leraarsvak kwam onder meer tot uiting in de oprichting van tijdschriften en verenigingen voor leraren in de exacte wetenschappen.⁴⁰

36 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 75–78. Zie ook K.M. Olesko, 'Physics Instruction in Prussian Secondary Schools before 1859', *Osiris* 5: *Science in Germany. The Intersection of Institutional and Intellectual Issues* (1989) 94–120.

37 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 79–80.

38 Ibidem 364–375; Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 1, 78–86; Olesko, *Physics as a Calling* (n. 29) in het bijzonder hoofdstuk 1 & 2.

39 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 367–368.

40 H. Kant, 'Disziplinäre Gesellschaften als Träger von Fachzeitschriften. Einige Anmerkungen zur Entstehung physikalischer Zeitschriften im 19. Jahrhundert in Deutschland', in: H.P.W. Umstätter (red.), *Wissenschaftliche Zeitschrift und Digitale Bibliothek* (Berlin 2002) 61–82.

Het effect van de nieuwe seminaria werd versterkt door veranderingen in de hoorcolleges zelf. Een voorbeeld hiervan zien we in Königsberg waar Neumann het traditionele hoorcollege in de experimentele fysica overdroeg aan een assistent en zich zelf richtte op meer wiskundige en thematische colleges voor gevorderde studenten. Ook elders werden dergelijke theoretische colleges geïntroduceerd. Doorgaans werden deze echter verzorgd door beginnende fysici, veelal privaattochters of buitengewoon hoogleraren. Waar de colleges experimentele fysica zich richtten op een breed publiek, bestaande uit geneeskundestudenten en tevens 'filosofische' studenten in brede zin, richtten deze colleges zich bovenal op studenten die zich wilden toeleggen op de fysica. Aldus veranderde de opleiding geleidelijk in de richting van een vakstudie.⁴¹

Wellicht de belangrijkste didactische innovatie was de introductie van het onderwijslaboratorium.⁴² Het aloude fysische kabinet was weinig meer dan een collectie demonstratie-instrumenten ten behoeve van het college in de proefondervindelijke wijsbegeerte. Meestal ging het om het persoonlijk eigendom van de hoogleraar. Natuurkundige laboratoria bestonden goed beschouwd niet in de vroege negentiende eeuw. Waar, buiten de universiteit, sprake was van laboratoria ging het om chemische ofwel apothekerslaboratoria. Mede door de groeiende overlap van experimentele fysica en scheikunde werd in deze laboratoria onderzoek verricht dat nauwelijks als chemisch te herkennen is. Dit gold bijvoorbeeld voor een deel van het onderzoek van Davy en Faraday in het laboratorium van de *Royal Institution* en voor dat van de leden van *Société d'Arceuil* in Bertholets privélaboratorium.⁴³

Een meer exclusief natuurkundige onderzoeksinrichting ontstond aan de universiteit van Göttingen, waar Gauss en Weber een aardmagnetisch observatorium oprichtten. Deze instelling was gemodelleerd naar een astronomisch observatorium. Ook hier ging het om een vaste, zo veel mogelijk trillingsvrije opstelling van nauwkeurige meetinstrumenten, en om precisieingen aan verschijnselen die niet gemanipuleerd konden worden. Weber zag zijn observatorium als exemplarisch voor toekomstige natuurkundige onderzoeksfaciliteiten.⁴⁴ Een soortgelijke voorziening volgde inderdaad voor galvanische metingen in Göttingen. Ook andere Duitse universiteiten openden natuurkundige laboratoria, waarbij echter, anders dan in Göttingen, de nadruk lag op praktische oefeningen voor studenten. Het model voor deze onderwijslaboratoria was niet zozeer het astronomisch observatorium, als wel Justus [von] Liebig's chemische laboratorium in Giessen.⁴⁵

Aanvankelijk golden dergelijke natuurkundige practica slechts kleine aantallen studenten die veelal zelfgekozen problemen oplosten. Een volgende stap was de introductie van speciaal ontwikkelde practicumproeven voor grote groepen beginnende studenten, onder wie dus ook de geneeskundestudenten, en die van vervolgpactica voor gevorderden. In het verlengde hiervan werden studenten geacht hun studie af te sluiten met zelfstandig

41 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 356–364.

42 Ibidem 367–381; S. Schaffer, 'Late Victorian Metrology and Its Instrumentation. A Manufactory of Ohms', in: M. Biagioli (ed.), *The Science Studies Reader* (New York 1999) 457–478; vgl. McCormmach, 'Editor's foreword' (n. 16), xiv: 'The standardization of laboratory training was important for the consolidation of the physics discipline.'

43 M. Crosland, *The Society of Arcueil: A View of French Science at the Time of Napoleon I* (London 1967); idem, 'Early Laboratories c.1600–c.1800 and the Location of Experimental Science', *Annals of Science* 62 (2005) 233–253.

44 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 379–380; Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 1, 70–77.

45 W.H. Brock, *Justus von Liebig: the Chemical Gatekeeper* (Cambridge 1997).



Fig. 1: Michael Faraday in zijn laboratorium in de 'Royal Institution'. Schilderij door Harriet Moore (Chemical Heritage Foundation).

onderzoek. In Berlijn introduceerde Magnus wekelijkse colloquia waarin recente ontwikkelingen in de experimentele fysica en aanverwante vakgebieden werden besproken door een selecte groep leerlingen. Ook deze vernieuwing, die snel haar weg vond naar andere universiteiten, wakkerde de onderzoeksgeest onder de studenten aan.⁴⁶

Hét prototype van de nieuwe specialist in precisiemetingen was Friedrich Kohlrausch. In 1866 was hij door zijn voormalige leermeester Wilhelm Weber naar Göttingen gehaald om als buitengewoon hoogleraar het natuurkundig laboratorium grondig te reorganiseren. Hij ontwierp een sequentie van in moeilijkheidsgraad oplopende practicumproeven die gezamenlijk de gehele natuurkunde besloegen. Daarnaast publiceerde hij in 1870 de eerste praktische handleiding voor fysici voor gebruik in het laboratorium, zijn *Leitfaden der praktischen Physik*. Dit boek ontwikkelde zich snel tot een standaardwerk dat in 1910 de elfde en laatste druk onder Kohlrausch' supervisie beleefde. Otto Wiener benadrukte later de twee voornaamste karakteristieken van het Göttinger practicum: een 'scharfe Kritik der Messungen' en een 'militarische Disziplinierung des Beobachters'. Hierin herkennen we de invloed van oudere sterrenkundige tradities. Ook dit regime droeg sterk bij aan het ontstaan van een vakstudie.⁴⁷

Deze standaardisering en disciplinering middels voorgeschreven oefeningen werd ook elders gebruikelijk. Geheel onomstreden was die ontwikkeling niet. Oudere fysici spraken

46 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), 109–111.

47 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 385–386.

later met weemoed over de gewoonte van Magnus om alleen die studenten in zijn laboratorium toe te laten die met eigen onderzoekplannen kwamen en die op geheel eigen wijze wilden uitvoeren. Dat kweekte in hun ogen zelfstandigheid en daarmee persoonlijkheid. De laat negentiende-eeuwse gewoonte van hoogleraren om zelfs het onderwerp en de methode van het onderzoek ter afsluiting van de studie voor te schrijven werd vanuit die zienswijze afgekeurd. Veel effect had dergelijke kritiek niet.⁴⁸

Het resultaat van bovengenoemde ontwikkelingen was het ontstaan, vanaf 1870, van grootschalige instituten, met meerdere laboratoriumruimtes voor onderwijs en onderzoek. Een tweede gevolg was de behoefte aan ondersteunend personeel, zowel technisch (amanuensis, instrumentmaker) als onderwijskundig.⁴⁹ Halverwege de eeuw werd het gebruikelijk assistenten aan te stellen voor het ondersteunen van de hoogleraar die zich op steeds meer universiteiten exclusief op de fysica kon richten. De voornaamste taak van de assistenten bestond in het begeleiden van de practica. Het ging hier doorgaans om gevorderde of pas gepromoveerde studenten. In het laatste geval functioneerden zij tevens als privaatchocenten. Het assistentschap werd de eerste stap in een academische carrière. Daarnaast ontstond het gebruik om een extraordinarius te belasten met de theoretische colleges voor gevorderden. Het buitengewoon hoogleraarschap in de theoretische natuurkunde gold weer als een opstap naar het meer prestigieuze hoogleraarschap in de experimentele fysica dat gepaard ging met het directoraat van het natuurkundig instituut.⁵⁰

De bereidheid van overheden om al deze kostbare veranderingen te financieren hing nauw samen met de snelle opkomst van de elektrotechnische industrie in de tweede eeuwheft. Specialiseerden deze bedrijven zich aanvankelijk in telegrafie, na 1860 ontwikkelden zij tevens dynamo's, elektromotoren en elektrische verlichting. Universitaire hoogleraren slaagden erin de rappe elektrisering van de samenleving te verzilveren in termen van snel groeiende onderzoeksfaciliteiten. De groeiende samenhang tussen natuurkunde en elektrotechnische industrie kwam ondermeer tot uiting in de betrokkenheid van de leden van het Berlijnse *Physikalische Gesellschaft* bij de oprichting van de *Elektrotechnische Verein* in 1879. De elektrotechnisch industrieel Werner von Siemens bekroonde deze samenhang door het Duitse keizerrijk in de jaren tachtig een indrukwekkend onderzoeksinstituut te schenken ten behoeve van zowel natuurkundig als industrieel onderzoek: de eerder genoemde *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*.⁵¹

De oprichting van de universitaire laboratoria impliceerde een monopolisering van het natuurkundig onderzoek door universitaire onderzoekers. Buitenstaanders hadden geen toegang tot de faciliteiten die nodig waren voor de precisieingen, die steeds meer de toon aangaven binnen het fysisch onderzoek. Tevens misten zij de daarvoor vereiste vaardigheden, die enkel in het laboratorium konden worden aangeleerd. De opkomst van het laboratorium bezegelde dan ook de kloof tussen de 'liefhebber' en de 'vakwetenschapper'. Het moet hierbij echter benadrukt worden dat het ontstaan van een 'vakstudie', gericht op

48 W. Schreier, 'Gustav Magnus und die Physikalische Gesellschaft zu Berlin – ein ambivalentes Verhältnis?' in: D. Hoffmann (red.), *Gustav Magnus und sein Haus* (Stuttgart 1995) 55–56.

49 D. Cahan, 'The institutional revolution in German physics, 1865–1914', *Historical Studies in the Physical Sciences* 15 (1985) 1–65. Zuidervaart wijst in dit verband op het verdwijnen van instrumentencollecties in deze tijd, zie H.J. Zuidervaart, 'Cabinets for Experimental Philosophy in the Netherlands', in: J.A. Bennet & S. Talas, *Cabinets of Experimental Philosophy in Eighteenth-Century Europe* (Leiden 2013) 19.

50 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 2, 33–43.

51 Cahan, *An Institute for an Empire* (n. 31); Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 468–470.

het opleiden van onderzoekers, een grotendeels onbeoogd proces was dat verliep langs verschillende, onderling onafhankelijke lijnen.⁵²

Karakteristiek in dit opzicht is een verzoek in 1870 van de Utrechtse studenten aan de curatoren van de universiteit. Zij drongen aan op de inrichting van een natuurkundig laboratorium om zich te kunnen bekwamen in experimentele vaardigheden. Zij motiveerden dit verzoek met een verwijzing naar hun toekomstige betrekking als leraar aan de Hogere Burger School (HBS). In die hoedanigheid moesten zij practica organiseren voor hun leerlingen, die werden voorbereid op een carrière in handel of industrie. In de praktijk ontpopte de HBS zich als een ideale leerschool voor academische natuurwetenschappers en letterkundigen en leidde de universiteit veeleer onderzoekers dan leraren op.⁵³

Tijdschriften

Bood de universitaire opleiding eind negentiende eeuw toegang tot een gemeenschap van natuurkundigen, het voornaamste samenbindend middel in die opkomende gemeenschap was het wetenschappelijk vaktijdschrift. Specialistische tijdschriften ontstonden eind achttiende, begin negentiende eeuw en kregen in de loop van de eeuw een gezichtsbepalende rol voor de afzonderlijke vakgebieden. In de achttiende eeuw verschenen toonaangevende onderzoekspublicaties of in boeken of in de organen van de wetenschappelijke academies. Doorgaans ging het in het laatste geval om de schriftelijke neerslag van op de vergaderingen gepresenteerde voordrachten en in die zin hadden deze publicaties dan ook deels een archiveringsfunctie. De academietijdschriften kampten in de regel met twee bezwaren. Ze waren kostbaar wat resulteerde in een kleine oplage, en de verschijningstijd was buitengewoon lang, vaak zelfs enkele jaren. Hierdoor legden ze het uiteindelijk af tegen de vaktijdschriften en hetzelfde gold voor publicatie in boekvorm.⁵⁴

Vaktijdschriften werden in de regel opgericht als private ondernemingen. Dat vereiste een streven naar een maximale oplage. Een voldoende aanbod aan artikelen en toegankelijkheid van die artikelen voor een breed publiek waren daarom aanvankelijk een eerste vereiste. Dit impliceerde de noodzaak om concessies te doen aan het niveau van deze bijdragen. Eerdere pogingen om specialistische tijdschriften op te zetten waren gestrand door een gebrek aan aanbod van artikelen. Rond 1800 bleken dergelijke pogingen meer succesvol. Een vroeg voorbeeld is Grens eerder genoemde *Journal der Physik*, voorloper van de *Annalen der Physik*. De inhoud bestond behalve uit originele bijdragen (oorspronkelijk vooral van eigen hand), tevens uit excerpten of bijdragen uit de academietijdschriften en vertalingen uit buitenlandse, vooral Franse, tijdschriften. De uitdrukkelijke bedoeling van Gren was om zijn lezerskring op de hoogte te houden van de nieuwste ontdekkingen en hen tevens zelf daartoe aan te zetten. Vanaf 1799 werd het tijdschrift voortgezet als *Annalen der Physik* onder redactie van Ludwig Wilhelm Gilbert, die in 1824 werd opgevolgd door de Berlijnse fysicus Poggenorff.⁵⁵

Soortgelijke tijdschriften met een duidelijk nationaal karakter, onder andere blijkend uit de praktijk van het vertalen van belangrijke buitenlandse artikelen, ontstonden ook in andere landen. Daarmee verdween grotendeels het internationalisme dat de achttiende-eeuwse

52 Ibidem 356–357.

53 Van Lunteren, 'Van meten tot weten' (n. 18) 113–114, 119–120.

54 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 401–419.

55 Ibidem 419–434.

Republiek der Letteren kenmerkte. Dit effect werd versterkt doordat de redacteurs van deze tijdschriften selectief te werk gingen in hun keuzes en hun wijze van vertalen. Poggendorf nam bijvoorbeeld enkel Faraday's ontdekkingen op in zijn *Annalen der Physik* en negeerde diens voor Duitse begrippen exotische theoretische beschouwingen. Bovenal droegen deze tijdschriften bij aan het creëren van een gemeenschap met een gedeelde belangstelling voor een beperkt aantal onderwerpen, waarbij de lezers tevens potentiële auteurs waren.⁵⁶

Ook onder Poggendorff behield het tijdschrift aanvankelijk zijn fysisch-chemische karakter, wat onder meer tot uiting kwam in de toevoeging van de *Chemie* aan de titel. Vooraanstaande chemici als Jöns Jakob Berzelius, Justus [von] Liebig en Friedrich Wöhler publiceerden met grote regelmaat in Poggendorffs *Annalen*. Nadat [Von] Liebig in 1832 een eigen tijdschrift had opgericht, de *Annalen der Pharmazie* (vanaf 1839 *Annalen der Chemie und Pharmazie* en vanaf 1873 *Annalen der Chemie*), nam het aantal chemische artikelen in Poggendorffs *Annalen* geleidelijk af. Een toenemend aantal bijdragen in de *Annalen* had daarentegen betrekking op het onderzoek van elektrische (of liever: galvanische) verschijnselen. Hun aantal steeg dusdanig snel dat ze al gauw het grootste deel van het tijdschrift besloegen. Redacteurs als Gilbert en Poggendorff zorgden ervoor dat die bijdragen toegankelijk bleven voor een breed lezerspubliek en dat het accent lag bij experimentele resultaten. Filosofische bespiegelingen en wiskundige afleidingen los van experimenten werden zoveel mogelijk geweerd. Ohms wiskundige werk op gebied van elektrische stromen verscheen bijvoorbeeld voornamelijk in andere tijdschriften. Later beroemd geworden stukken van Julius Robert Mayer en Hermann von Helmholtz, die de grondslag legden voor de wet van energiebehoud, werden door Poggendorff als te theoretisch afgewezen.⁵⁷

Omdat wiskundige tijdschriften zich steeds meer gingen richten op de zuivere wiskunde, konden auteurs als Ohm, Weber en Neumann hun lange, wiskundig getinte artikelen enkel nog kwijt in de oudere en traag verschijnende academietijdschriften.⁵⁸ Pas in de tweede eeuwheft veranderde dit toen aan wiskundige theorievorming gekoppelde precisieingen in universitaire laboratoria het experimentele onderzoek in de fysica gingen domineren. In die periode nam het aantal theoretische bijdragen in de *Annalen der Physik* geleidelijk toe. Uiteindelijk zou er zelfs een tweede redacteur worden belast met de verantwoordelijkheid voor de theoretische, meer wiskundige artikelen. Deze verandering was het gevolg van de verschuiving in de aard van het natuurkundig onderzoek in de tweede helft van de eeuw.⁵⁹

Ook andere natuurwetenschappelijke disciplines in wording kenden hun 'eigen' tijdschrift. Voor de wiskundigen was dit August Leopold Crelle's *Journal für reine und angewandte Mathematik* (1826) en voor de chemici Liebig's eerder genoemde *Annalen der Chemie und Pharmazie*. Ten overvloede zij hier opgemerkt dat strikt genomen geen van deze tijdschriften strikt monodisciplinair was. Dat werden zij zoal niet in naam, dan toch in de praktijk in de tweede eeuwheft. In die tijd kregen de Duitse vaktijdschriften geleidelijk aan concurrentie van nieuwe vaktijdschriften die een snellere publicatie mogelijk maakten. Een vroeg voorbeeld hiervan is de *Berichten der Deutschen Chemische Gesellschaft*, het orgaan

56 Ibidem 435–437.

57 Ibidem 438–439; Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 1, 157.

58 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 439.

59 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 2, 1–6, 98–100.

van de in 1867 opgerichte *Deutsche Chemische Gesellschaft zu Berlin*.⁶⁰ De *Annalen* kregen in 1899 concurrentie van het door Göttinger fysici opgerichte *Physikalische Zeitschrift*. Dit tijdschrift legde zich toe op kortere, samenvattende stukken over nieuwe onderzoekingen en verschaft informatie over ontwikkelingen binnen het vakgebied. Anders dan de *Annalen* verscheen dit tijdschrift elke twee weken.⁶¹ In 1900 besloot de hoofdredacteur Paul Drude overigens de naam van de *Annalen der Physik und Chemie* aan te passen aan de bestaande praktijk door de scheikunde uit de titel te verwijderen.

In Groot-Brittannië speelde de *Philosophical Magazine* een enigszins vergelijkbare rol. Dit in 1798 opgerichte tijdschrift had aanvankelijk een nog veel bredere reikwijdte dan de *Annalen der Physik*. Halverwege de eeuw was het al voornamelijk een natuurkundig tijdschrift (in engere zin) geworden en dat zou het ook blijven. In de tweede eeuwhelft vinden we onder de redacteurs vooraanstaande fysici als John Tyndall en Joseph John Thomson. In Frankrijk behield het tijdschrift van de Parijse academie (de *Compte-Rendus*) nog lang haar dominante positie in de natuurwetenschappelijke wereld. In 1872 werd daar het *Journal de Physique* opgericht door Charles d'Almeida om na de verloren oorlog de Franse fysica nieuw leven in te blazen.⁶²

Een natuurkundige gemeenschap

Het is vooral de *Annalen der Physik* geweest die in Duitsland functioneerde als kristallisatiepunt van een zich geleidelijk vormende nationale fysieke gemeenschap. Een eerste podium kreeg die gemeenschap in wording op de jaarlijkse bijeenkomsten van het in 1822 opgerichte *Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte* (GDNÄ). In 1828 werden op voorstel van de voorzitter Alexander von Humboldt binnen het gezelschap verschillende vaksecties opgericht, waaronder ook een voor de fysica. Deze differentiatie was allerminst onomstreden. Het streed met een gekoesterd beeld van de eenheid van de wetenschap.⁶³ Hoe dit ook zij, volgens de Berlijnse fysicus Heinrich Wilhelm Dove werd dit 'specialistische' podium vooral benut door diegenen die geen toegang hadden tot de wetenschappelijke tijdschriften. In dit verband is het veelzeggend dat aan het einde van de eeuw Friedrich Kohlrausch over de *Annalen* zei: 'sie allein repräsentierte in sichtbare Weise das Band, welches die Physiker deutscher Sprache umfasste'.⁶⁴

Invloedrijker dan de GDNÄ waar het ging om de opkomst van de discipline was het *Physikalische Gesellschaft zu Berlin*. Dit lokale genootschap was in 1845 opgericht door een zestal jeugdige Berlijnse deelnemers aan Magnus' colloquium, onder wie twee fysiologen en een chemicus. In lijn met de democratische idealen van die tijd was de vereniging, anders dan het laboratorium of het colloquium, voor iedereen toegankelijk en waren de tweewekelijkse bijeenkomsten openbaar. Vanaf de oprichting gaf het gezelschap jaarlijks een referaattijdschrift uit, waarin zoveel mogelijk natuurkundige artikelen in zowel Duitse als

60 Kant, 'Disziplinäre Gesellschaften' (n. 40) 78.

61 Ibidem 78; Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 441.

62 E.A. Davis, *Science in the making: Scientific developments as chronicled by historic papers in the "Philosophical Magazine"*. Vol. 1: 1798–1850 (London 1995) & Vol. 2: 1850–1900 (London 1997); zie het redactioneel van d'Almeida in *Journal de Physique* 1 (1872).

63 I. Jahn, 'Gründung und Spezialisierung der Gesellschaft Deutscher Naturforschung und Ärzte im 19. Jahrhundert – eine Neubewertung', in: D. von Engelhardt, *Zwei Jahrhunderte Wissenschaft und Forschung in Deutschland: Entwicklungen – Perspektiven* (Stuttgart 1998) 101–121.

64 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 440.

buitenlandse tijdschriften kort werd besproken of ten minste vermeld, de *Fortschritte der Physik*.⁶⁵ Deze activiteit waarbij veel leden betrokken werden, tilde het gezelschap uit boven een lokaal genootschap. Na de Duitse eenwording kreeg het Berlijnse gezelschap steeds meer een 'nationale' uitstraling. De komst van Helmholtz, en later Kirchhoff, naar Berlijn, maakten de hoofdstad tot het centrum van de Duitse fysica. Na de dood van Poggenдорff in 1877 nam het gezelschap de verantwoordelijkheid voor Europa's toonaangevende natuurkundige tijdschrift over. Gustav Wiedemann werd de hoofdredacteur van de *Annalen* en Helmholtz de voornaamste adviseur voor theoretische artikelen.⁶⁶

Meer dan wie ook vertegenwoordigde Helmholtz het ideaal van de moderne hoogleraar in de natuurkunde: een succesvol experimentator, die leiding gaf aan talloze onderzoeken, en daarnaast een verdienstelijk theoreticus en wiskundige. Dat hij een matig docent was, gold als een onbetekenend detail. Opmerkelijke genoeg was Helmholtz, de *Reichskanzler der Physik*, voor zijn terugkomst naar de hoofdstad nog hoogleraar in de fysiologie. Het illustreert eens te meer hoezeer de natuurkunde als discipline een product was van de tweede eeuwhelft.

Het door Helmholtz geïntroduceerde energiebegrip, aanvankelijk vooral een wapen voor de hervorming van de fysiologie, zou steeds meer een samenbindende rol gaan spelen in de nieuwe natuurkundediscipline.⁶⁷ Het begrip en de daaraan gekoppelde behoudswet verbonden elektrische, magnetische, thermische, optische en mechanische verschijnselen met elkaar. Natuurkunde werd de wetenschap van de verschillende vormen en omzettingen van energie, waarbij wiskundige theorievorming en experimentele precisie met hand in hand gingen. Hiermee kreeg de natuurkunde voor het eerst een duidelijke en samenhangende identiteit.

Studenten werden gedisciplineerd in de laboratoria en de seminaria, waarbij de opleiding volledig in het teken stond van het zelfstandig verrichten van onderzoek. Het daarmee verbonden waardepatroon werd aangevuld met de steeds sterker wordende aanspraak op status van de meest fundamentele natuurwetenschap. Opvallend is namelijk dat ondanks de groeiende banden met de elektrotechnische industrie de natuurkunde erin slaagde haar imago van fundamentele wetenschap te versterken. Bij het incorporeren van grote delen van de (toegepaste) wiskunde in de eerste eeuwhelft werd de werktuigkunde al consequent uitgezonderd. De afstand tot de techniek werd ook later gecultiveerd, bijvoorbeeld door het retorische onderscheid tussen zuivere en toegepaste wetenschap, waardoor de demarcatie tussen de 'wetenschappelijke' elektrodynamica en de 'praktische' elektrotechniek in stand gehouden werd.⁶⁸ In de tweede helft van de eeuw slaagde de fysica erin de scheikunde te passeren waar het ging om de ultieme bestanddelen van de materie, dat wil zeggen moleculen en atomen.⁶⁹ De toenemende betekenis van fysische principes voor omringende disciplines als fysiologie, scheikunde, astronomie en geologie leverde verdere ondersteuning voor de aanspraak op fundamentele kennis.⁷⁰ Die aanspraak culmineerde aan het eind van de eeuw in debatten over de status van theoretische concepten en natuurkundige wereldbeelden, in

65 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 2, 108–111.

66 Ibidem 4.

67 P. Harman, *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics* (Cambridge 1982) 1.

68 Stichweh, *Entstehung* (n. 4) 462–471.

69 Ibidem 492–497.

70 Ibidem 487.

de vorm van samenhangende visies op de natuur gekenmerkt door een diepere eenheidgedachte.⁷¹

Het is in dit verband opvallend dat Duitse fysici rond 1900, anders dan Duitse chemici, in meerderheid afkomstig waren van de gymnasia en niet van de *Real-* of *Bürgerschulen*.⁷² Mogelijk kende men de fysica meer *Bildungswert* toe dan de sterker met de industrie geassocieerde scheikunde. Net als de wiskunde leek de natuurkunde ook directer de concurrentie aan te gaan met de klassieke filologie waar het ging om de vorming van de jeugd. Het is in dit verband veelzeggend dat in de jaren negentig de term ‘klassieke fysica’ werd geïntroduceerd. Dat gebeurde dus al voor het ontstaan van de nieuwe, als ‘moderne fysica’ geïficeerde relativiteit- en kwantumtheorieën, die de oorspronkelijke betekenis van ‘klassiek’ al spoedig veranderden in premodern. Volgens Lewis Pyenson moeten we in het geïdealiseerde natuurkundige wereldbeeld dan ook een tegenhanger zien van het in de klassieke cultuur tot uiting komende geïdealiseerde mensbeeld.⁷³

In 1900 nam de voorzitter van het Berlijnse *Physikalische Gesellschaft* Max Planck het besluit om de naam van de vereniging meer in overeenstemming te brengen met haar geleidelijk gegroeide rol als nationale vereniging. Het werd nu het *Deutsche Physikalische Gesellschaft* en daarmee ook officieel de vertegenwoordiger van de Duitse fysische gemeenschap. Daarnaast beijverde Planck, die als een van de weinige Duitse fysici een ordinariaat in de theoretische fysica combineerde met een eigen instituut, zich om de theorie een gelijkwaardige plaats te bezorgen naast de experimentele fysica. Zijn grootste succes op dit gebied was de door hem geïnitieerde komst van Einstein naar Berlijn in 1914 als directeur van een nog op te richten *Kaiser Wilhelm Institut für Physik*. Maar belangrijker nog voor de toenemende betekenis van de theoretische fysica was zijn pionierswerk op het gebied van de quantumtheorie. Het was vooral op dit terrein dat de theoretische fysica haar belang zou bewijzen, waarmee tevens een geleidelijke tweedeling in de natuurkunde werd ingezet.⁷⁴

Planck zelf heeft geprobeerd de eenheid in de natuurkunde zo lang mogelijk te bewaken. Zo was hij tegen het oprichten van eigen tijdschriften voor hetzij de experimentele, hetzij de theoretische fysica.⁷⁵ Maar de door hem ingezette Duitse praktijk van eigen instituten voor theoretische fysica heeft onmiskenbaar bijgedragen aan de groeiende kloof tussen experiment en theorie. Zo vervulde Planck een dubbelrol: hij verenigde de Duitse fysica maar werkte tegelijkertijd mee aan de splitsing daarvan. In de twintigste eeuw werd het oude ideaal van een fysicus die zowel een succesvol experimentator als een verdienstelijk theoreticus is al spoedig opgegeven. Al tijdens hun studie dienden studenten een keuze te maken die beslissend zou zijn voor hun verdere loopbaan.

Internationalisering

Keken Europese natuurwetenschappers in de eerste helft van de negentiende eeuw vooral naar Frankrijk als toonaangevende natie, in de tweede helft van de eeuw nam Duitsland deze rol over. Ook Britse en Nederlandse fysici hadden zich aanvankelijk zelfstandig het wiskundige werk van Franse geleerden eigen gemaakt. William Thomson bestudeerde met

71 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 2, 211–245.

72 L. Pyenson & D. Skopp, ‘Educating physicists in Germany circa 1900’, *Social Studies of Science* 7 (1977) 338–343.

73 L. Pyenson, *The Young Einstein: The Advent of Relativity* (Bristol 1985) 162–166.

74 H. Kragh, *Quantum Generations. A History of Physics in the Twentieth Century* (Princeton 1999) 171.

75 Jungnickel & McCormmach, *Intellectual Mastery* (n. 6), vol. 2, 311.

vrucht publicaties van Fourier; Johannes Diderik van der Waals en Hendrik Lorentz deden hetzelfde met het werk van Laplace en Fresnel. Thomson was in de jaren veertig nog naar Parijs getogen om zich in het laboratorium van Regnault, gericht op precieze warmtemetingen ter verbetering van warmtemachines, te bekwamen in het experimentele werk. Eenmaal hoogleraar in Glasgow zou hij zelf een laboratorium inrichten in een oude wijnkelder. Na zijn pionierswerk op het gebied van de thermodynamica trainde hij daar studenten in elektrische metingen, waarna velen hun weg vonden in de elektrotechnische industrie.⁷⁶

Na 1850 gingen tal van Britse en Amerikaanse studenten naar Duitsland om zich in de Duitse laboratoria verder in de natuurwetenschappen te bekwamen.⁷⁷ Dat gold ook voor die Nederlandse hoogleraren die hun sporen zouden verdienen in het experimentele onderzoek. Johannes Bosscha had na zijn promotie in 1854 enige tijd in Berlijn doorgebracht. Heike Kamerlingh Onnes was nog tijdens zijn studie in Heidelberg bij Neumanns leerling Gustav Kirchhoff in de leer gegaan. Herman Haga werkte na zijn promotie enige tijd in Straatsburg onder toonaangevende Duitse experimentatoren als August Kundt en Wilhelm Conrad Röntgen. Theoretici als Van der Waals en Lorentz baseerden hun dissertaties op recente onderzoeken van Rudolf Clausius en Hermann von Helmholtz.⁷⁸ In deze tijd namen andere landen veel aspecten van de Duitse universitaire opleidingen over, waaronder de practica, de assistenten en het laboratoriumonderzoek als afsluiting van de opleiding.

Dit laboratoriumonderzoek werd vanaf de jaren zeventig eveneens gekenmerkt door een nadruk op precisiemetingen.⁷⁹ Als directeur van het nieuwe Cavendish-laboratorium in Cambridge richtte James Clerk Maxwell zich vooral op het onderzoek aan elektromagnetische standaarden. Zoals hij benadrukte vertegenwoordigden precisiemetingen niet alleen wetenschappelijke, maar ook pedagogische en commerciële waarden. In dit opzicht sloot hij zich aan bij de visie van zijn oudere landgenoot William Thomson.⁸⁰ Het is ook vanaf de jaren zeventig dat de Britten de aloude term *natural philosophy* inruilden voor het moderne *physics*.

De nieuwe invulling van het vakgebied klonk ook door in Nederland. Hier was de nadruk op precisiemetingen mede ingegeven door de invloed van astronomen, bovenal de Leidse astronoom Frederik Kaiser en zijn leerling en opvolger Hendricus Gerardus van de Sande Bakhuyzen. Toonaangevende fysici in de tweede eeuwhelft als Volkert van der Willigen, Johannes Bosscha, Herman Lorentz en Heike Kamerlingh Onnes waren sterk door hen beïnvloed. Die invloed klonk helder door in de Leidse oratie van Kamerlingh Onnes van 1882. Met betrekking tot de eisen van nauwkeurigheid moest, zo stelde Onnes, 'tegenwoordig een deel van een fysisch laboratorium op astronomische leest geschoeid zijn'.⁸¹

Onnes' oratie, getiteld *De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde*, ademde van begin tot eind de nieuwe geest. Onnes maakte er geen geheim van zijn studenten

76 C. Smith & M.N. Wise, *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin* (Cambridge 1989) 120–134.

77 C. Diehl, *American and German Scholarship, 1770–1870* (New Haven, Conn., 1978).

78 Van Lunteren, 'Meten tot weten' (n. 18) 116, 121, 131; idem, 'Bosscha's leerboek en Van der Waals proefschrift: aantrekkende krachten in Den Haag', *Gewina* 23 (2000) 258.

79 R. Sviedrys, 'The rise of physics Laboratories in Britain', *Historical Studies in the Physical Sciences* 7 (1976) 405–436; G. Gooday, 'Precision Measurement and the Genesis of Teaching Laboratories in Victorian Britain', *British Journal for the History of Science* 23 (1990) 25–51.

80 Schaffer, 'Late Victorian Metrology'; idem, 'Accurate measurement is an English science', in: M.N. Wise, *The Values of Precision* (n. 29) 135–172. Zie ook: Wise, 'Introduction' en 'Precision', in: idem, 5–6, 225.

81 H. Kamerlingh Onnes, *De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde* (Leiden 1882) 32.

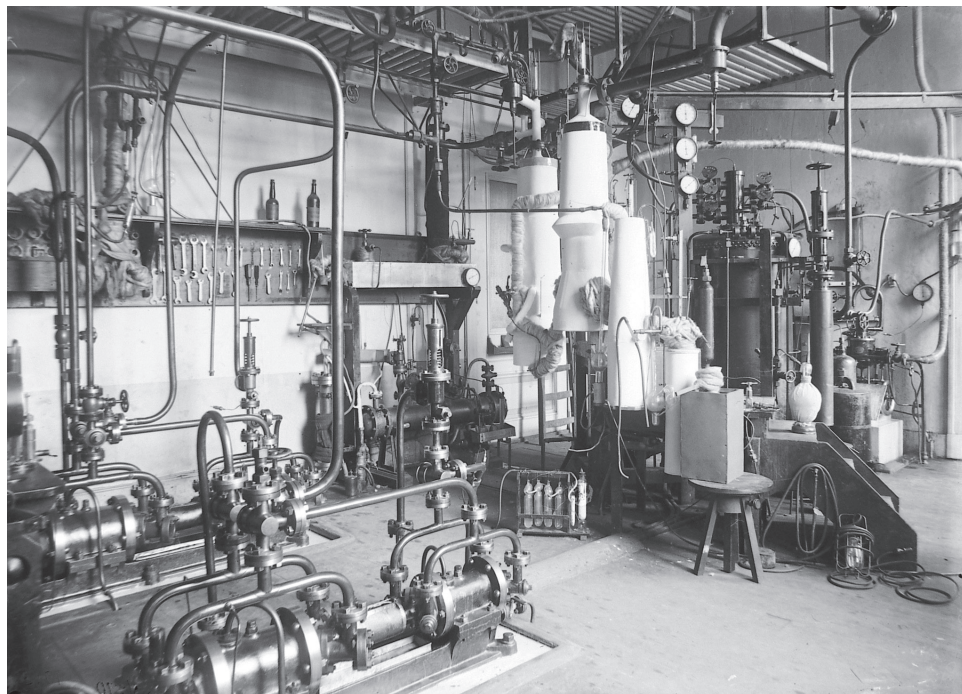


Fig. 2: In de tweede helft van de negentiende eeuw onderging het onderzoek in de experimentele fysica grote veranderingen. Hier afgebeeld is de installatie voor vloeibaar zuurstof in het Leidse laboratorium van Kamerlingh Onnes, circa 1895 (Foto: Leiden Institute of Physics).

te willen opleiden tot onderzoekers. Hij benadrukte daarbij de vormende waarde van het metende onderzoek. Metingen vormden 'de beste leerschool voor opleiding tot natuurkundige in den waren zin des woords'. Zij leerden de onderzoeker degelijkheid, zorgvuldigheid, volharding en wetenschappelijk plichtsgevoel. Tevens benadrukte Kamerlingh Onnes het belang van nauwkeurige eenheden en het onlosmakelijk verband tussen experiment en theorie.⁸² Onnes' Groningse collega Herman Haga legde een nog sterkere nadruk op precisie metingen. Onder zijn leiding verrees in Nederland naar Duits voorbeeld een ijzer vrij laboratorium met massieve peilers voor een trillingsvrije opstelling van de precisie-instrumenten. Zijn leerlingen verrichtten echter geen metingen aan natuurverschijnselen, maar vooral aan de instrumenten zelf, ter vergroting van hun nauwkeurigheid.⁸³

Rond 1900 kende ook Nederland een kleine, maar hechte natuurkundige gemeenschap. Deze vond haar voornaamste podium in de tweejaarlijkse bijeenkomsten van het in 1887 opgerichte *Natuur- en Geneeskundig Congres*. Het was in deze vereniging dat de Nederlandse fysici zich voor het eerst als zodanig organiseerden. Na aanvankelijk samen met de chemici vergaderd te hebben, creëerden zij in 1897 op initiatief van Kamerlingh Onnes een eigen subsectie. Al in 1891 werd het initiatief genomen tot een tweejaarlijks overzicht van

⁸² Ibidem 35–36.

⁸³ Van Lunteren, 'Van meten tot weten' (n. 18) 131–133.

alle Nederlandse onderzoeken op natuurkundig gebied.⁸⁴ Het zou echter tot 1921 duren voordat een *Nederlandse Natuurkundige Vereniging* werd opgericht. In dat opzicht waren grotere landen als Frankrijk (1873), Groot-Brittannië (1874), Italië (1897), Amerika (1899) Nederland voor geweest. Al deze verenigingen initieerden of adopteerden vaktijdschriften die veelal toonaangevend werden in binnen- en, zoals bij de Amerikaanse *Physical Review*, buitenland.

Net als in Duitsland hing de snelle groei van het aantal gepromoveerde natuurkundigen na 1860 nauw samen met de sterk groeiende vraag naar academisch gevormde vakleraren binnen het middelbaar onderwijs, vooral als gevolg van de oprichting van de HBS in 1863.⁸⁵ Anders dan in Duitsland en Groot-Brittannië was er van enige relatie met de elektrotechnische industrie hier nauwelijks sprake. Het leraarschap bleef, anders dan bij chemici, voor natuurkundigen het enige carrièreperspectief. Dit veranderde pas met de oprichting van het Philips Natuurkundig Laboratorium in de jaren tien van de twintigste eeuw. Na de Eerste Wereldoorlog vonden steeds meer afgestudeerde fysici hun weg naar het NatLab.⁸⁶ In deze tijd van groei en diversificatie werd niet alleen een Nederlandse natuurkundige vereniging opgericht, maar tevens het eerste Nederlandse natuurkundige tijdschrift, dat later weer door die vereniging overgenomen werd.

Dat het proces van disciplinevorming zich vooral langs nationale lijnen voltrok kwam op verschillende wijzen tot uiting.⁸⁷ Diverse naties zochten in hun eigen verleden naar vroegmoderne grondleggers van de discipline, zoals Newton in het Verenigd Koninkrijk, Galilei in Italië en Huygens in Nederland. De Fransen doken nog verder in het verleden om met Parijse scholastici als Oresme en Buridan op de proppen te komen. Prioriteitsaanspraken, zoals die van de ontdekking van het mechanisch warmte-equivalent, werden door wetenschappers uitgevochten als ging het om een zaak van nationale eer. Ten slotte cultiveerden veel wetenschappers de notie van een nationale wetenschapstijl die zij zowel zichzelf als andere naties toekenden. Zo begrepen de 'rationele' Fransen niets van de Britse modellenmanie of het Duitse precisiefanatisme, beschouwden de Britten de Duitsers als gortdroge boekhouders, hekelden de Duitsers het gebrek aan precisie bij zowel Fransen als Britten, en contrasteerden de Nederlanders hun eigen nuchterheid met de soms wat grenzeloze verbeeldingskracht van hun oosterburen.⁸⁸

Hoewel natuurkundigen in verschillende landen goed op de hoogte bleven van elkaars werk, was er lange tijd niet werkelijk sprake van een internationalisering van het onderzoek zoals we die wel zien in de zogenaamde Humboldtiaanse onderzoeken op het gebied van de sterrenkunde, geodesie, aardmagnetisme, meteorologie en oceanografie.⁸⁹ Hier kwam

84 Ibidem 136.

85 Ibidem 113–114.

86 Zie: F.K. Boersma, *Inventing Structures for Industrial Research. A history of the Philips Nat. Lab., 1914–1946* (Amsterdam 2002).

87 Vgl. ook McCormach, 'Editor's foreword' (n. 16) xv: 'Leading German physicists such as Helmholtz and Neumann were intensely nationalistic; they were sincere in their identification of German physics with German power in both its cultural and material aspects.'

88 Zie: M.J. Nye, 'National Styles? French and English Chemistry in the nineteenth and early twentieth centuries', *Osiris* 8 (1993) 33–35; E. Crawford, *Nationalism and Internationalism in Science, 1880–1939* (Cambridge 2002); F. van Lunteren, 'Wetenschap voor het vaderland: J.D. van der Waals en de Afdeling Natuurkunde', in: K. van Berkel (red.) *De Akademie en de Tweede Gouden Eeuw* (Amsterdam 2004) 50–51.

89 Bijvoorbeeld: J. Cawood, 'Terrestrial magnetism and the development of international collaboration in the early nineteenth century', *Annals of Science* 34 (1977) 551–587.

internationale samenwerking al in de eerste helft van de negentiende eeuw op gang, om in de tweede helft een enorme vlucht te nemen. Het voornaamste punt dat laboratorium-wetenschappers als scheikundigen en natuurkundigen uit verschillende landen tot elkaar bracht was dat van standaardisering van namen en vooral eenheden. Vooral dit laatste was essentieel voor de beoogde precisie metingen. Werd de oprichting in 1875 van het Internationale bureau van maten en gewichten in Parijs nog geïnitieerd door vertegenwoordigers van de Humboldtiaanse wetenschappen, de internationale conferentie van 1881 over elektromagnetische eenheden in Parijs bracht voor het eerst natuurkundigen uit verschillende landen bij elkaar.⁹⁰ In 1893 werd in Chicago een internationaal systeem van elektromagnetische eenheden tot stand gebracht. Ook hier speelde op de achtergrond voortdurend de enorme betekenis van de elektrotechnische industrie.⁹¹ In 1900 tenslotte vond het eerste internationale congres voor natuurkunde plaats in Parijs, ter gelegenheid van de toenmalige wereldtentoonstelling.

Conclusie

Kijken we naar de talloze namen van geleerden die figureren in historische overzichten van de ‘natuurkunde’ in de eerste helft van de twintigste eeuw, dan komen we vrijwel geen wetenschappers tegen die gepromoveerd zijn op natuurkundig onderzoek. Na 1870 zijn de rollen omgedraaid. Het natuurkundig onderzoek wordt dan gemonopoliseerd door gepromoveerde fysici. Die fysici ontleen, als uitgesproken vakwetenschappers, hun identiteit primair aan de nieuwe discipline. In deze tijd – en niet eerder – is het systeem van disciplines voldoende uitgekristalliseerd om te kunnen fungeren als een mal waarbinnen uitbreiding en verdere differentiatie gestalte kunnen krijgen. Vanaf dat moment krijgt het proces van disciplinevorming een meer bewust en strategisch karakter.⁹²

Het ontstaan van het moderne systeem van natuurwetenschappelijke disciplines, zoals hier geïllustreerd aan de fysica, heeft een aantal onlosmakelijk met elkaar verbonden kanten. Het vereist de ontwikkeling van vakspecifieke instituties, opleidingen, onderzoeksvragen, communicatiemiddelen en grotendeels autonome gemeenschappen met eigen rituelen en waardepatronen, waarbij de (bijna) exclusieve toewijding aan en vereenzelviging met de eigen discipline een centrale plaats inneemt. Het is vooral dit laatste aspect dat zorg draagt voor een door een gemeenschap gedeelde identiteit. Uiteraard speelt het onderwijs een belangrijke rol in de vorming van die identiteit en zorgden de nationale verenigingen voor een institutionele inbedding van de betreffende gemeenschap. Zoals we hebben gezien waren in de tweede helft van de negentiende eeuw, en niet eerder dan toen, al deze aspecten in afdoende mate aanwezig om van een discipline te kunnen spreken.

Ditzelfde geldt ook voor andere bètadisciplines. Helaas is aan het proces van disciplinevorming bij die vakgebieden relatief weinig aandacht besteed.⁹³ Sommige, zoals de sterrenkunde, de scheikunde en de wiskunde lijken zich iets sneller te hebben ontwikkeld

⁹⁰ Smith & Wise, *Energy and Empire* (n. 76) 684–697.

⁹¹ Schaffer, ‘Accurate measurement’ (n. 80) 136.

⁹² Voor de opkomst van de biochemie, zie Kohler, *From Medical Chemistry to Biochemistry* (n. 1). Voor de genetica zie J. Sapp, ‘The struggle for authority in the field of heredity, 1900–1932: new perspectives on the rise of genetics’, *Journal of the History of Biology* 16 (1983) 311–342.

⁹³ Met uitzondering wellicht van de scheikunde, zie voor literatuur: B. Bensaude-Vincent, ‘Chemistry’, in: Cahan (ed.), *From Natural Philosophy to the Sciences* (n. 6) 196–220, i.h.b. 207–214. Zie ook J. Johnson, ‘Academic Chemistry in Imperial Germany’, *Isis* 76 (1989) 500–524.

tot zelfstandige vakgebieden dan de natuurkunde, bij andere zoals de biologie verliep het proces juist trager. Bij de biologie deed zich de bijzondere situatie voor dat de bestanddelen van het vakgebied-in-wording verdeeld waren over twee faculteiten, namelijk de wis- en natuurkundige enerzijds en de medische anderzijds. Bovendien behield het veldwerk, en daarmee de inbreng van ‘amateurs’, ook na de oprichting van universitaire laboratoria en proefstations, een niet-verwaarloosbare positie binnen het vakgebied. Toch is er veel voor te zeggen om ook hier de cesuur te leggen bij de oprichting van de laboratoria. Anders dan het veldwerk vereiste het laboratoriumwerk in onderzoeksgebieden als experimentele embryologie en de genetica een specialistische academische training. Diegenen die zo’n training niet hadden ondergaan en geen toegang hadden tot de laboratoria werden weliswaar niet volledig uitgesloten, maar wel naar het tweede plan verwezen.⁹⁴

Ondanks de toenemende verzelfstandiging van de natuurwetenschappelijke disciplines, zijn ze altijd nauw met elkaar verbonden gebleven. In die zin kunnen we dan ook spreken van een systeem. Waar de natuurkundigen een deel van hun onderzoeksmethode ontleenden aan de astronomen, maakten de sterrenkundigen in de tweede helft van de eeuw op hun beurt gebruik van fysische methoden als spectraalanalyse. Chemici maakten weer gebruik van fysische theorieën voor het begrijpen van reactiesnelheden en fysiologen gebruiken zowel natuurkundige als chemische inzichten en methoden. Astronomen en fysici deden weer een beroep op wiskundigen. Het systeem van bètadisciplines ontleende een groot deel van haar dynamiek aan juist dit soort interacties. Bovendien versterkte de bruikbaarheid van elk van de disciplines in naburige vakgebieden de legitimiteit, oftewel het bestaansrecht, van elk afzonderlijk vakgebied. Alleen al daarom is het twijfelachtig of het gegeven dat veel vernieuwing plaats vindt door kruisbestuiving en door interdisciplinaire samenwerking gezien moet worden als een argument voor het loslaten van de disciplines.

⁹⁴ Nyhart, *Biology takes form* (n. 3); D.E. Allen, ‘Amateurs and Professionals’, in: *The Cambridge History of Science: 6. The modern biological and earth science* (Cambridge 2009) 15–33.