

Wetenschapsgeschiedenis op lange termijn: flexibiliteit en fragiliteit van disciplines

DAAN WEGENER*

Inleiding

De grote populariteit van ‘interdisciplinair’ en ‘transdisciplinair’ onderzoek laat er geen twijfel over bestaan: disciplines zijn uit de mode. In de eenentwintigste eeuw is de onderverdeling van bètawetenschappen in disciplines als de biologie, geologie en de natuurkunde niet langer vanzelfsprekend. Mede vanwege dit groeiende besef van het episodische karakter van disciplines, is ook de belangstelling voor hun geschiedenis gegroeid. Dit artikel gaat over de geschiedenis van de natuurkunde. Aan de hand van een historiografische casestudy zal ik een aantal samenhangende vragen aan de orde stellen. In welke periode zijn de moderne disciplines ontstaan? Wat zijn de constituerende principes van disciplines? Is er een kern waar onder alle omstandigheden aan vast wordt gehouden? Wat zijn de functies van disciplines? Hoe behouden zij hun identiteit op de lange termijn? Hoe overleven zij bijvoorbeeld wetenschappelijke revoluties?

In de zeventiende en achttiende eeuw bestond er nog geen natuurkunde. Isaac Newton was een wiskundige; de titel van zijn beroemde *Principia* luidt (in vertaling): *De wiskundige beginselen van de natuurfilosofie*. In de zeventiende eeuw werd kennis over de natuur onderverdeeld in natuurlijke geschiedenis, natuurfilosofie en gemengde wiskunde. Dit veranderde rond 1800. Nieuwe disciplines zoals de natuurkunde combineerden gemengde wiskunde, natuurfilosofie en natuurlijke geschiedenis. Op basis van secundaire literatuur beschrijf ik in de eerste paragraaf hoe, waar, wanneer, en waarom deze transformatie zich voltrok. Hoewel de historici allemaal hun eigen opvatting hebben over het verloop van de transformatie, zijn zij het eens over het eindresultaat: de nieuwe discipline werd gekenmerkt door een combinatie van precisie metingen en wiskundige theorievorming. Sindsdien heeft de natuurkunde zich circa twee eeuwen weten te handhaven.

De lange levensduur van disciplines vraagt om een lange-termijn-geschiedenis. Hier ligt meteen een grote uitdaging voor wetenschapshistorisch onderzoek. Zoals bekend is ‘big picture’ wetenschapsgeschiedenis sinds het baanbrekende werk van Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, op losse schroeven komen te staan.¹ Zijn analyse van paradigma’s suggereerde dat het niet mogelijk is om een theoretische of methodologische essentie aan wetenschappelijke disciplines toe te kennen. Tijdens wetenschappelijke revoluties ondergaan zij namelijk radicale veranderingen. Verwerping van essentialisme en historische continuïteit hangen bij Kuhn dus nauw met elkaar samen. Recentelijk zijn echter diverse pogingen ondernomen om de wetenschapsgeschiedenis op de lange termijn te beschrijven, zonder terug te vallen in essentialistische en presentistische geschiedschrijving.² De tweede paragraaf

* F. Daan A. Wegener, Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Exacte Wetenschappen / Universiteit Utrecht, Descartes Centre.

1 T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago 1996).

Wetenschapsgeschiedenis op lange termijn: flexibiliteit en fragiliteit van disciplines

maakt van deze literatuur gebruik, om te beargumenteren dat de stabiliteit van disciplines juist vanuit een anti-essentialistisch perspectief goed te begrijpen valt. Omdat disciplines geen kern hebben, zijn ze flexibel genoeg om zich aan te passen.

Flexibiliteit alleen is echter geen garantie voor succes. Disciplines kunnen alleen voortbestaan als kennis van generatie op generatie wordt overgedragen. Het onderwijs kun je zien als de ‘levenslijn’ van disciplines. Daarin schuilt zowel hun kracht als hun kwetsbaarheid. Dat geldt ook voor de natuurkunde, zoals we in de derde paragraaf zullen zien. Het onderwijs verdient daarom een centrale plaats in analyses van en discussies over disciplines.

Het ontstaan van disciplines: de opkomst van de natuurkunde

Classificatie van kennis is er altijd geweest. Maar de huidige disciplines zijn van betrekkelijk recente oorsprong. Ergens tussen 1750 en 1850 ontstonden de moderne wetenschappelijke disciplines. Dit was niet slechts een institutionele hervorming van de universiteit, noch een zuiver filosofische herverdeling van het systeem der wetenschap. Wat veranderde was het begrip van wetenschap en de wijze waarop deze werd beoefend. Volgens Andrew Cunningham ontstond de natuurwetenschap pas in deze periode. ‘For hundreds of years before this time, when western people studied the natural world they did so not as ‘science’ but within [...] either ‘natural history’, or ‘mixed mathematics’ or especially ‘natural philosophy’.³ Een bundel met historiografische studies over de negentiende eeuw heeft dan ook de toepasselijke titel *From Natural Philosophy to the Sciences*.⁴

De veranderingen waren ingrijpend. In dit ‘tijdperk van revoluties’ ontstonden de eerste universitaire laboratoria. Professionele organisaties zoals de *Geological Society of London* (1807), het *Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte* (1822) en de *British Association for the Advancement of Science* (1831) werden opgericht. Natuuronderzoek werd een overwegend seculiere activiteit. Daarbij werd ook een nieuwe sociale identiteit in het leven geroepen, dat van de ‘scientist’, met een bijbehorend ethos en waardesysteem: genialiteit, discipline, vrij onderzoek, open uitwisseling van ideeën, eenheid van onderzoek en onderwijs, onpartijdigheid, etc. De hervorming van de universiteit, volgens het model van Humboldt, was mogelijk de meest ingrijpende verandering. Binnen de universiteiten werd het nieuwe ‘disciplinaire stelsel’ geïnstitutionaliseerd, bestaande uit de sindsdien vertrouwde vakgebieden als de biologie, geologie, chemie en natuurkunde.⁵

Wat waren de kenmerken van dit ‘disciplinaire stelsel’? In welk opzicht verschilde het van eerdere vormen van kennisclassificatie? Volgens Rudolf Stichweh veranderde tussen 1750 en 1850 de disciplinaire classificatie van de wetenschappen van indeling naar *methode* naar indeling naar *onderzoeksgebied*. Natuurlijke historie draaide om de verzameling van feitenkennis, gemengde wiskunde was de wetenschap van maat en getal oftewel kwantitatieve kennis, en de natuurfilosofie, tot slot, probeerde natuurverschijnselen te verklaren aan de hand van achterliggende oorzaken. De traditionele disciplines werden dus opgedeeld naar methoden die in principe universeel toepasbaar waren. Voor de moderne natuurwetenschappelijke

2 Ed Jonker beargumenteert in zijn bijdrage aan dit themanummer dat wetenschapsgeschiedenis op lange termijn *veronderstelt* dat wetenschappelijke kennis een bijzonder soort kennis is.

3 A. Cunningham en P. Williams, ‘De-centring the “Big Picture”: The Origins of Modern Science and the Modern Origins of Science’, in: M. Hellyer (red.), *The Scientific Revolution. The Essential Readings* (Berlin 2003) 233.

4 Zie: D. Cahan (red.), *From Natural Philosophy to the Sciences. Writing the History of Nineteenth-Century Science* (Chicago 2003).

5 Cunningham en Williams, ‘De-centring the “Big Picture”’ (n. 3) 218-246.

disciplines geldt eerder het omgekeerde: eigenheid in onderzoeksveld, met potentiële universaliteit in methode.⁶

Voor de fysica was deze transformatie van cruciaal belang. Was natuurkunde in het begin van de negentiende eeuw nog synoniem voor natuurwetenschap, aan het eind van de eeuw was het daar een autonoom deelgebied van. Zoals John Heilbron het samenvat:

In 1700 traditional physics, the physics of the schools, was inclusive, qualitative and literary. It covered all branches of natural science from celestial mechanics through biology to psychology. It sought the essences or principles of things, not information about their sizes, speeds positions or other 'accidents'. Those whose primary concern was measurement or calculation did mixed mathematics, not physics. No more did the traditional physics authorize prolonged and promiscuous experiment. It had no need for special apparatus for exploring nature, and even good reason to eschew it. By making nature act unnaturally, that is, uncommonly, instruments might mislead physicists intent on knowing how she acts habitually, 'or for the most part'. By 1800 physics had jettisoned the biological sciences and distanced itself from chemistry. Physicists contested jurisdiction over former branches of applied mathematics, such as optics and mechanics. And, above all, they insisted upon subjecting to measurement and experiment everything they could lay their hand on.⁷

Hoe kan deze ingrijpende omslag verklaard worden? Op deze vraag zijn verschillende antwoorden gegeven, meestal hypothetisch van aard.⁸ Over de achtergrond van de transformatie bestaat echter consensus. Door twee ontwikkelingen kwam de traditionele driedeling tussen de historische, filosofische en wiskundige wetenschappen in de zeventiende eeuw onder druk te staan. Dankzij het werk van René Descartes, Galileo Galilei, Christiaan Huygens en Isaac Newton groeiden de status en het domein van de wiskunde. Daardoor werd de grens tussen wiskunde en wijsbegeerte ondermijnd.⁹ De opkomst van de proefondervindelijke wijsbegeerte, het Baconiaanse programma, creëerde een spanning tussen natuurlijke historie en filosofie.¹⁰

6 Stichweh beschrijft de traditionele indeling als volgt: 'Das Spezifische des zugrunde gelegten Einteilungsprinzips ist, dass es die Einteilung des Wissens nicht durch eine Klassifikation von Gegenstandsbereichen, Erkenntnisobjekten etc., also nicht vom Objekt der Erkenntnis her gewinnt. Vielmehr handelt es sich um eine Unterscheidung dreier verschiedener Zugangsweisen oder Methoden der Wissensgewinnung, deren jede auf das Gesamt möglicher Gegenstände menschlichen Wissens angewandt werden kann'. En voor het moderne systeem: 'Die entstehenden naturwissenschaftlichen Disziplinen konstituieren sich über *Spezifität in Gegenstandsbezug und Problemstellung und potentielle Universalität im Verfügen über wissenschaftliche Methoden*'; R. Stichweh, *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen: Physik in Deutschland 1740-1890* (Frankfurt am Main 1984) 14, 29.

7 J. Heilbron, 'Experimental Natural Philosophy', in: G.S. Rousseau and R. Porter eds., *The Ferment of Knowledge. Studies in Historiography of Eighteenth-Century Science* (Cambridge 1980) 361-2. Stichweh stelt vast dat in het taalgebruik de identificatie van natuurkunde en natuurwetenschap ook in negentiende eeuw behouden bleef: 'Diese Synonymie von 'Physik' und 'Naturlehre bleibt trotz progressiver Spezifikation des Begriffs 'Physik' im 19. Jahrhundert erhalten'. Stichweh, *Zur Entstehung* (n. 6) 95.

8 Deze literatuur wordt grotendeels samengevat in J.Z. Buchwald en S. Hong, 'Physics', in: Cahan, *From natural philosophy to the sciences* (n. 4) 163-195; I.R. Morus, *When Physics Became King* (Chicago 2005); F. van Lunteren, *Geschiedenis van de moderne natuurkunde* (collegedictaat Utrecht), i.h.b. het eerste hoofdstuk.

9 'A process of disciplinary imperialism, where by subject matter usually regarded as part of physics [i.e. natural philosophy, D.W.] was taken over by mathematics, operated to upgrade the status and explanatory power of the mathematical sciences'. P. Dear, *Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution* (Chicago 1995) 172. Geciteerd in A. Warwick, *Masters of Theory. Cambridge and the Rise of Mathematical Physics* (Chicago 2003) 28.

10 De controverse tussen Robert Boyle en Thomas Hobbes was hier een product van. Laatsgenoemde benadrukte keer op keer dat het experimentele programma geen filosofie was. S. Shapin & S. Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton 1985) i.h.b. 110-154.



Figuur 1: De klassieke 'disciplines' verbeeld: de grammatica opent de deur naar het kasteel met de 'vrije kunsten'. Uit: Gregor Reisch, *Margarita philosophica* (Freiburg 1503).

In navolging van Kuhns klassieke artikel 'Mathematical versus experimental traditions in the development of physical science'¹¹ zien de meeste historici het ontstaan van de moderne natuurkunde als het samenkomen van de experimentele ('Baconiaanse') en de wiskundige ('klassieke') tradities. Zij vermelden de steeds verdergaande mathematisering van de proefondervindelijke wijsbegeerte die vaak gepaard ging met een vrij positivistische instelling. Wat zich niet kwantificeren liet, zou buiten het uiteindelijke domein van de fysica vallen. Zo verklaart Heilbron de succesvolle kwantificering van de elektrische verschijnselen door het 'mathematical instrumentalism' van F.U.T. Aepinus, John Robison, Henry Cavendish en C.A. Coulomb. In hun ogen hadden de metafysische debatten tussen newtonianen en cartesianen weinig bijgedragen aan het begrijpen van elektriciteit en magnetisme. 'Their mathematical instrumentalism was a *pis aller* resorted to after other approaches had failed'.¹² Tussen 1800 en 1830 liep de Franse wetenschap voorop in het onderwerpen van nieuwe verschijnselen aan wiskundige wetmatigheid. Het 'Newtoniaanse' programma van Pierre-Simon Laplace, het positivisme van Jean-Baptiste Fourier en het moeilijker te categoriseren werk van Augustin Jean Fresnel waren hier de voornaamste exponenten van. Daarna kwam snel een einde aan de bloeiperiode van de mathematische fysica in Frankrijk.¹³ Tussen 1840 en 1850 werd het initiatief overgenomen door Duitse en Britse wetenschappers, al dan niet geïnspireerd door het Franse model. Russel McCormach wijst op het vernieuwende en unificerende karakter van

11 T. Kuhn, 'Mathematical versus experimental traditions in the development of physical science', in: idem, *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (Chicago 1977) 31-65.

12 Heilbron 'Experimental Natural Philosophy' (n. 7) 373-375, citaat 380.

13 R. Fox, 'The Rise and Fall of Laplacean Physics', *Historical Studies in the Physical Sciences* 4 (1974) 89-136; R.H. Silliman, 'Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline', *Historical Studies in the Physical Sciences* 4 (1974) 137-162; Kuhn, 'Mathematical versus experimental traditions' (n. 11) 63.

de theoretische methode van Franz Neumann, '[which] proceeded from purely observable properties of matter'.¹⁴ Kenneth Caneva spreekt van de overgang van de wetenschap van het concrete naar de wetenschap van het abstracte.¹⁵ Zo werd theorievorming in de natuurkunde losgekoppeld van metafysica en verbonden aan empirisch onderzoek. Crosbie Smith brengt het 'positivisme' van William Thomson en MacQuorn Rankine in verband met de Schotse common-sensefilosofie, die een sceptische houding tegenover niet observeerbare krachten voorschreef.¹⁶

Op de tweede plaats besteden de meeste historici ook aandacht aan de inkrimping van het domein van de natuurkunde. Volgens Heilbron speelde de materiële beperking van instrumenten een belangrijke rol. In principe was het domein van de proefondervindelijke wijsbegeerte universeel, maar niet alle verschijnselen leenden zich voor kwantitatieve demonstratieproeven en precisieingen. Door de gelimiteerde beschikbaarheid van 'filosofische instrumenten' ontstond in de achttiende eeuw een inkrimping van het domein van de natuurwetenschap.¹⁷ Vaker wordt de aandacht gevestigd op de ontwikkelingen in aangrenzende disciplines, zoals de chemie en de wiskunde. 'Physics emerged comparatively late,' schrijft McCormmach, 'as the residue of natural philosophy, after its other branches had organized as separate specialties'.¹⁸ Rond 1800 dreigde de natuurkunde zelfs volledig te worden verdeeld tussen scheikunde en wiskunde.¹⁹ De verschuiving van het zwaartepunt van de wiskunde, in de loop van de negentiende eeuw, van gemengde naar zuivere wiskunde, zou uiteindelijk ruimte vrijmaken voor de mathematische natuurkunde.²⁰ Smith heeft de inkrimping van natuurkunde juist beschreven als een vorm van afbakening van binnen uit. Hij laat zien dat de Schotse *natural philosophy* van Robinson tot Lord Kelvin de fysica duidelijk afgebakende van de scheikunde: de chemie formuleerde hypothesen over de eigenschappen van de materie; de natuurkunde onderzocht de dynamica van de observeerbare lichamen.²¹

Op de derde plaats wordt het ontstaan van de natuurkunde meestal in verband gebracht met een unificerend principe, zoals de elektromagnetische ether of de wet van behoud van energie. 'To many physicists by the end of the nineteenth century – probably to most British physicists – the ether was physics,' stelt Iwan Rhys Morus.²² En Peter Harman schrijft: 'in the nineteenth century the science of physics came to be defined in terms of the unifying role of energy and the programme of mechanical explanation'.²³ Een tijdgenoot schreef in het

14 R. McCormmach, 'Editor's Foreword', *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971) xi-xii; K. Olesko, *Physics as a Calling. Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics* (London 1991).

15 K. Caneva, *Conceptual and Generational Change in German Physics: The Case of Electricity, 1800-1846* (Princeton 1975).

16 C. Smith, 'Mechanical philosophy' and the emergence of physics in Britain: 1800-1850', *Annals of Science* 33 (1976) 3-29.

17 Heilbron spreekt zelfs van 'the initiative of instruments'. Heilbron, 'Experimental Natural Philosophy' (n. 7) 376-380.

18 McCormmach, 'Editor's Foreword' (n. 14) xi. Vgl. Kuhn, 'Mathematical versus experimental traditions' (n. 11) 60; Silliman, 'Fresnel' (n. 13) 140: 'Specialization within science began to promote a more restricted conception of physics [...]. Other sciences were becoming specialized and breaking away from natural philosophy; physics was simply what remained'. Vanuit dit perspectief is de natuurkunde, zoals Stichweh het noemt, een 'Residual-disziplin'. Stichweh, *Zur Entstehung* (n. 6) 96.

19 Silliman, 'Fresnel' (n. 14) 143; Stichweh, *Zur Entstehung* (n. 6) 106-112, Van Lunteren, *Geschiedenis* (n. 8) 12-13.

20 Kuhn, 'Mathematical versus experimental traditions' (n. 11) 60-61.

21 Smith, 'Mechanical philosophy' (n. 16).

22 Morus, *When Physics became King* (n. 8) 18.

23 P.M. Harman, *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics* (Cambridge 1982) 1. In de sociale wetenschappen zijn theoretische concepten niet minder belangrijk. Zie voor de bindende rol van het concept 'sociale kracht' in de Amerikaanse sociologie: R. de Wilde, *Discipline en Legende. De Identiteit van de Sociologie in Duitsland en de Verenigde Staten 1870-1930* (Amsterdam 1992) 182.

midden van de negentiende eeuw: 'erst durch sie [de wet van behoud van kracht, D.W.] wird für die Physik ein Anhalt gewonnen, der für letztere die nämliche Bedeutung hat, wie der von Lavoisier getane Schritt für die Chemie'.²⁴ Het citaat herinnert ons er terloops aan dat de natuurkunde een jongere discipline is dan de chemie.

Samenvattend komt uit de secundaire literatuur het volgende beeld naar voren. De natuurkunde is tussen 1750 en 1850 ontstaan uit een combinatie van experimentele en wiskundige tradities. Het vakgebied heeft minimaal drie inhoudelijke grondslagen. (1) Een eigen methode: de combinatie van precisieingen en wiskundige theorievorming. (2) Een afgebakend onderzoeksobject: dynamische systemen in de levenloze natuur. (3) Fundamentele theoretische concepten: de ether en de wet van behoud van energie. In elk geval in de negentiende eeuw werden deze eigenschappen gezien als de essentie van de discipline.

Theoretische omwentelingen en praktische continuïteit

Historische ontwikkelingen in de twintigste eeuw hebben ons doen twijfelen aan dit essentialistische beeld van de natuurkunde. Hoewel theoretische concepten het zelfbeeld van de natuurkunde grotendeels bepalen, laten de revoluties van de relativiteitstheorie en de quantummechanica zien dat zij niet van vitaal belang zijn voor het voortbestaan ervan. Volgens Morus is het ironisch dat instituties theorieën overleefden. Refererend aan de situatie rond 1914, zegt hij:

Within a few years the grand consolidation of physics that had emerged around the ether at the end of the nineteenth century, and which many regarded as the end of physics, was in tatters. Ironically, the very aspect of physicists' culture about which they felt most secure proved fallible, while the institutional structures that still seemed very fragile to many of them survived and prospered.²⁵

Dankzij dit inzicht is de historische belangstelling voor instituties toegenomen. Kennelijk vormen niet ideeën maar instellingen de grondslag van disciplines. Deze gedachte wordt ondersteund door Robert Kohlers vergelijkende geschiedenis van de biochemie. Niet in staat om de verschillende manieren waarop de discipline zich in Duitsland, Engeland en de Verenigde Staten heeft ontwikkeld door inhoudelijke factoren te verklaren, trekt Kohler de volgende conclusie:

I do not believe, as I once did, that particular theories have, in general, a causal role in the creation of disciplinary institutions. Some minimal level of intellectual achievement is, of course, a necessary condition for institution building. But intellectual achievement or the lack of it is not the reason why biochemists failed to build a discipline in nineteenth-century Germany or why they succeeded in America, a provincial backwater if judged by research output. Differences in achievement cannot explain why the timing, location, and character of discipline building differed so markedly in the United States, Britain, and Germany. These patterns have to do with the political and economic support system of science: movements for reform of universities and medical schools, changing hospital practices, expanding markets for scientific professionals, and evolving division of labor among disciplines.²⁶

²⁴ Du Bois-Reymond, geciteerd in D. Wegener, *A True Proteus. A History of Energy Conservation in German Science and Culture* (Utrecht 2009) 48.

²⁵ Morus, *When Physics became King* (n. 8) 18.

²⁶ R.E. Kohler, *From medical chemistry to biochemistry: the making of a biomedical discipline* (Cambridge 1982) 3-4.

Kohlens conclusie is een welkome correctie op het oude beeld dat disciplines een vakinhoudelijke kern hebben, maar schiet naar mijn mening te ver naar het andere uiterste door. De volgende analyse heeft niet de bedoeling om de suggestie wekken dat institutionele factoren onbelangrijk zijn. Ik wil laten zien dat uit het feit dat disciplines geen inhoudelijke essentie hebben, niet volgt dat de inhoud geen cruciale rol speelt. Het lijkt mij daarom ook voorbarig om disciplines terug te brengen tot hun institutionele inbedding. Dat zou slechts het ene essentialistische beeld door het andere vervangen. Een meer subtiele en evenwichtige benadering van disciplines is te vinden in Rein de Wilde's vergelijkende analyse van de sociologie in Duitsland en de Verenigde Staten. Volgens hem hangt het van de context af of disciplines hun identiteit ontlenen aan theoretische concepten of aan culturele of institutionele factoren.²⁷ Daarmee wijst hij op de flexibiliteit van disciplines. In afwezigheid van institutionele samenhang, kan theorie een bindende factor zijn – en omgekeerd. In het vervolg van deze paragraaf zal ik betogen dat ook in uitsluitend vakinhoudelijke termen disciplines niet van één methode, één onderzoeksobject, of één theorie afhankelijk zijn. Hierdoor zijn disciplines in staat zich steeds opnieuw aan te passen. (Gezien dit amorfe karakter heeft het mijns inziens geen zin, en is het onnodig beperkend, om het begrip discipline van te voren met een definitie af te bakenen.) Om deze positie plausibel te maken, moet eerst dieper worden ingegaan op het werk van Thomas Kuhn.

Naast de twintigste-eeuwse revoluties in de fysica heeft namelijk ook Thomas Kuhns *The Structure of Scientific Revolutions* een bijdrage geleverd aan het verdwijnen van een essentialistische kijk op wetenschap. Dit grijpt aan op twee niveaus. Ten eerste beargumenteert hij dat in periodes van paradigmatische of normale wetenschap, onderzoekers zich niet of nauwelijks bekommeren om de conceptuele en methodologische regels van hun vakgebied. Paradigma's hebben geen grondslag of essentie, maar vormen een samenhangend geheel van experimentele en theoretische praktijken en overtuigingen. Ten tweede wordt de ontwikkeling van wetenschap gekenmerkt door een opeenvolging van revoluties. Onderzoek voor en na deze breuken zou onvergelijkbaar of incommensurabel zijn. In de geschiedenis van de wetenschap is alles aan verandering onderhevig.²⁸ Als dit beeld klopt en de discontinuïteit tussen paradigma's inderdaad compleet is, dan lijkt het beeld gerechtvaardigd dat na dergelijke revoluties alleen de naam en institutionele inbedding van disciplines behouden blijft.

Hoewel Kuhn in *The Structure of Scientific Revolutions* vooral de nadruk legde op de radicale discontinuïteit in de geschiedenis van de wetenschap, heeft hij in hetzelfde werk suggesties gegeven hoe disciplines revoluties overleven. Ten eerste moet onderscheid tussen disciplines en paradigma's gemaakt worden. Disciplines kunnen van het preparadigmatische naar het paradigmatische stadium gaan. Paradigma's zijn ingebed in de discipline; onderzoeksgroepen maken deel uit van een overkoepelende onderzoeksgemeenschap. Ze komen en gaan zonder dat de discipline verdwijnt. Elke natuurkundestudent maakt in de beginfase van zijn of haar studie kennis met de wetten van de quantummechanica. Kuhn beschrijft dat wanneer zij zich verder specialiseren, de theorie iets anders voor ze gaat betekenen. Er vallen meerdere, relatief onafhankelijke paradigma's onder de paraplu van de quantummechanica. Lokale revoluties hebben daardoor niet altijd ingrijpende gevolgen voor de andere onderzoeksgroepen.²⁹ Kuhn roept daarmee de interessante vraag op, onder welke omstandigheden bepaalde theoretische verschuivingen op het niveau van de onderzoeksgroep de disciplinaire gemeenschap als geheel beïnvloeden.

²⁷ De Wilde, *Discipline en Legende* (n. 23) 174-182.

²⁸ Kuhn, *Scientific Revolutions* (n. 1).

²⁹ Ibidem 49-51.

Ten tweede zijn er weliswaar bredere en meer ingrijpende revoluties in de wetenschapsgeschiedenis, maar ook die zijn nooit volledig. Theorie en meetresultaten mogen dan veranderen, maar op andere niveaus, zoals die van de dagelijkse onderzoekspraktijk en materiële cultuur, is er continuïteit:

After a scientific revolution many old measurements and manipulations become irrelevant and are replaced by others instead. One does not apply all the same tests to oxygen as to dephlogisticated air. But *changes of this sort are never total*. Whatever he may then see, the scientist after a revolution is still looking at the same world. Furthermore, though he may previously have employed them differently, much of his language and most of his laboratory instruments are still the same as they were before. As a result, postrevolutionary science invariably includes many of the same manipulations, performed with the same instruments and described in the same terms, as its prerevolutionary predecessor.³⁰

Omgekeerd zijn er ook paradigmatische veranderingen op experimenteel niveau, die niet direct theoretische gevolgen hebben. Vanwege Kuhns nadruk op het theoriegeladen karakter van de waarneming is de indruk ontstaan dat hij geen enkele autonomie aan experimenten toekent. In feite is de argumentatie van Kuhn veel subtieler. Zo stelt hij de vraag waarom de ontdekking van röntgenstraling zo'n schok teweegbracht, terwijl het *niet* in strijd was met heersende theoretische opvattingen.³¹ Zijn antwoord is dat het niet-bestaan van Röntgenstraling impliciet was aangenomen in het laboratoriumonderzoek aan het einde van de negentiende eeuw. 'There are instrumental as well as theoretical expectations', schrijft Kuhn.³²

De experimentele (niet zozeer de theoretische) verwachtingen werden door de ontdekking geschonden. Hier was sprake van een paradigmaverandering op experimenteel niveau. De directe theoretische implicaties waren gering. Toch maakte de schok die de ontdekking teweegbracht volgens Kuhn op termijn de weg vrij voor de twintigste-eeuwse revoluties.³³

Een sterk vergelijkbare argumentatie is te vinden bij Peter Galison. (Het is daarom merkwaardig dat hij zich herhaaldelijk tegen Kuhn afzet.) In *How Experiments End*, een studie naar de ontwikkeling van de experimentele natuurkunde in de twintigste eeuw, maakt hij onderscheid tussen lange, middellange- en korte termijn *constraints* (inperkingen, grenzen van het onderzoekskader). Unificerende principes zoals de wet van behoud van energie zijn voorbeelden van theoretische overtuigingen die gelden op de lange termijn. 'Such propositions [...] are not attached to the goals of any single research group and frequently not even to a single scientific specialty'.³⁴ Een niveau daaronder heb je de meer programmatische theorieën, die het werk van een onderzoeksgroep structureren. Op de korte termijn werken wetenschappers met modellen, fenomenologische regelmatigigheden en *rules of thumb*. Interessant is dat Galison niet alleen aandacht heeft voor theoretische overtuigingen, maar ook voor de materiële cultuur van het laboratorium. Hier is een corresponderend onderscheid aan te brengen tussen lange, middellange en korte termijn *constraints*: algemene instrumentatie, het gebruik van specifieke apparaten en individuele meetseries.

Hoe is disciplinaire continuïteit mogelijk? Galison geeft meerdere suggesties. Ten eerste valt te denken aan de lange termijn *constraints*. Vernieuwing op middellange termijn, d.w.z. op het niveau van de onderzoeksgroep, veroorzaakt nog geen omwenteling op disciplinair

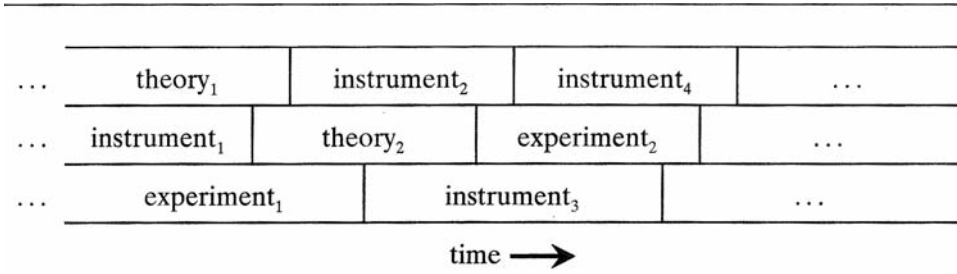
³⁰ Ibidem 129-130. cursief toegevoegd

³¹ Ibidem 58.

³² Ibidem 59.

³³ Ibidem 61.

³⁴ P. Galison, *How Experiments End* (Chicago 1987) 243-255, citaat op 246-247.



Figuur 2: Galisons ‘critical postmodern periodization’. The brick model may suggest how the practice of physics can involve discontinuities at so many levels and yet not disintegrate into isolated blocks of noncommunicating clay. When masons build real walls they know better than to stack bricks up one directly on top of another: the fault line of the masonry would leave the wall all too vulnerable to shock along the alignment. Only in an intercalated arrangement do the bricks give the edifice strength.³⁶

niveau. Ten tweede vallen theoretische en instrumentele vernieuwingen niet altijd samen. ‘Experimental work does not change radically with each theoretical innovation – very frequently the same people using similar apparatus continue their work across the theoretical divide’.³⁵ De discontinuïteit is daarom zelden compleet. Lange-termijn-continuïteit in de wetenschap kan volgens Galison alleen begrepen worden wanneer aan theorie, experiment en instrumentatie een zekere mate van autonomie wordt toegekend. Hij verlaat daarmee de meer hiërarchische modellen van de positivisten (ervaring eerst) en de anti-positivisten (theorie eerst). Theoretische en experimentele fysica zijn twee, gedeeltelijk onafhankelijke, subculturen in de twintigste-eeuwse natuurkunde. Hun onderlinge relatie en hiërarchie ligt niet vast, maar wisselt van tijd tot tijd. Galison, die grossiert in het gebruik van metaforen, stelt zich de natuurkunde voor als een gebouw dat bestaat uit onregelmatig gerangschikte stenen (zie figuur 2). Gelijktijdige discontinuïteit op alle niveaus komt nauwelijks voor:

Tegenwoordig spelen revoluties niet meer zo’n centrale rol in de wetenschapsstudies als in de decennia na het verschijnen van *The Structure of Scientific Revolutions*. Galison meent dat Kuhns idee van revoluties een artefact is van diens anti-positivistische nadruk op theorie. (Daarbij gaat hij voorbij aan Kuhns symmetrische benadering van theoretische en experimentele verwachtingen en de wijze waarop hij zowel theorie en experiment onder de noemer van ‘praktijk’ brengt.) Vanuit een minder hiërarchisch en meer pluralistisch perspectief is echter meer plaats voor continuïteit in de wetenschap. Het verklaart waarom disciplines zo’n grote flexibiliteit hebben. Ook Kuhns notie van normale wetenschap is uit de wetenschapsgeschiedenis verdwenen en heeft plaatsgemaakt voor een meer dynamisch beeld. Kort na het verschijnen van *The Structure of Scientific Revolutions* zagen wetenschapshistorici overall controverses en paradigmaveranderingen. Onbedoeld ondermijnden deze studies Kuhns theorie, omdat ze lieten zien dat wetenschappers vrijwel altijd ruziën over de grondslagen van hun vakgebied. In postmoderne kringen wordt het idee van autonome subculturen inmid-

³⁵ Ibidem 248.

³⁶ Galison, ‘History, Philosophy and the Central Metaphor’, *Science in Context* 2 (1988) 210; Galison *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics* (Chicago 1997) 7-19, 780-803. De term ‘critical postmodern periodization’ wordt door Galison gebruikt.

dels principieel verworpen: ‘cultures are contradictory, loosely integrated, contested, and subject to constant change’.³⁷ Wetenschapshistorici laten zich in soortgelijke bewoordingen uit. Trevor Pinch zegt dat ‘we should not regard disciplines and the knowledge they produce as fixed and rigid structures – disciplines, their boundaries and the knowledge produced are constantly being redefined in the course of doing science’.³⁸ En over de experimentele fysica schrijft Galison zelfs: ‘When norms, values, and standards of experimentation stagnate for 50 years, when they *stop* changing, then the discipline is dead’.³⁹ Disciplines zijn amorf en veranderlijk: dat is geen zwakte, daarin schuilt hun kracht.⁴⁰ Zo is, althans in principe, de weg weer geopend voor wetenschapshistorische studies naar disciplinaire continuïteit op lange termijn.

Onderwijs: levenslijn en achilleshiel van disciplines

In de vorige paragraaf heb ik laten zien hoe het mogelijk is dat hoewel disciplines geen vakinhoudelijke kern hebben, internwetenschappelijke aspecten toch constitutief kunnen zijn voor disciplines. Vanuit een holistisch perspectief valt te begrijpen hoe disciplines zich steeds aan hun omgeving kunnen aanpassen. Hun overlevingskracht zit hem dus niet uitsluitend, of misschien zelfs niet zozeer, in zuiver institutionele factoren. Toch zijn institutionele factoren zeker niet onbelangrijk voor het voortbestaan van disciplines. Deze paragraaf gaat over het belang van onderwijs. De institutionele en inhoudelijke aspecten van disciplines zijn hierin onlosmakelijk met elkaar verbonden.

Disciplines mogen vanwege hun grote flexibiliteit dan wel *in principe* in staat zijn om zich voortdurend aan te passen, zij kunnen niet blijven voortbestaan als kennis niet van generatie op generatie wordt overgedragen. Onderwijs verdient daarom een centrale plaats in elke langetermijngeschiedenis van disciplines. Als ‘levenslijn’ van disciplines, vormt het onderwijs zoals we zullen zien ook hun meest kwetsbare kant.

De afgelopen decennia is de wetenschapshistorische belangstelling voor onderwijs toegenomen.⁴¹ Diverse historici hebben gewezen op de etymologie en de verschillende connotaties van het disciplinebegrip. Discipline staat zowel voor een (domein van) kennis als een specifieke vorm van machtsuitoefening.⁴² Wederom was het werk van Kuhn een belangrijk uitgangspunt. Hij deed op zijn beurt een beroep op Ludwig Fleck, die in zijn ideeënrijke *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* het onderwijs beschreef als een soort rituele initiatie in de discipline. Didactische of autoritaire introducties in een vakgebied hebben altijd een niet gelegitimeerd of dogmatisch element. Toch zijn ze onontbeerlijk om het vak te leren. De dogmatische aspecten worden later niet kritisch aan de kaak gesteld, maar worden als vanzelfsprekend ervaren. Daar maakt de vakman zich niet van los, het *kenmerkt* hem of haar.⁴³

37 De postmoderne consensus, zoals samengevat door W.H. Sewell, Jr., ‘The Concept(s) of Culture’, in: V. Bonnell en L. Hunt (red.), *Beyond The Cultural Turn. New Directions in the Study of Society and Culture* (Berkeley 1999) 53-54.

38 T. Pinch, ‘The Culture of Scientists and Disciplinary Rhetoric’, *European Journal of Education* 25 (1990) 295-304.

39 Galison, *Image and Logic* (n. 36) 838-839.

40 Vergelijk Gert-Jan Johannes’ beschrijving in dit themanummer van de conflicterende strategieën van zelflegitimatie van de negentiende-eeuwse neerlandistiek.

41 In zijn bijdrage aan dit nummer betoogt Johannes dat het middelbaar onderwijs van vitaal belang is geweest voor de neerlandistiek.

42 Zie bijvoorbeeld: J. Goldstein, ‘Foucault among the Sociologists: The “Disciplines” and the History of the Professions’, *History and Theory* 23 (1984) 178. J. Golinski, *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science* (Chicago 2005) 69. Zie ook de bijdrage van Ed Jonker in dit nummer.

43 L. Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv* (Frankfurt am Main 1980) 73-74.

Kuhn analyseerde het wetenschappelijke onderwijs om inzicht te krijgen in de aard van paradigma's. Het onderwijs toont volgens hem aan dat paradigma's niet *rule-governed* zijn. In niet meer dan twee pagina's wijst hij erop dat theorieën altijd in combinatie met concrete toepassingen worden onderwezen.⁴⁴ De praktijk van het oplossen van opgaven en het uitvoeren van standaardproefjes staat centraal in het leerproces. Het begrip dat een student heeft van het elektromagnetische veld is op de eerste plaats afhankelijk van het soort van problemen dat hij of zij ermee heeft opgelost. Een enkeling leert ze later vanuit een geschiedenis-en-grondslagen-perspectief te begrijpen. Maar het is opvallend dat veel natuurkundigen hier het nut niet zo van inzien.

[Thus] that process of learning by finger exercise or by doing continues throughout the process of professional initiation. As the student proceeds from his freshman course to and through his doctoral dissertation, the problems assigned to him become more complex and less completely precedented. But they continue to be closely modeled on previous achievements as are the problems that normally occupy him during his subsequent independent scientific career. One is at liberty to suppose that somewhere along the way the scientist has intuitively abstracted rules of the game for himself, but there is no reason to believe it.⁴⁵

Wetenschapshistorici na Kuhn hebben ingezien dat onderwijs cruciaal is voor de langetermijngeschiedenis van de discipline. Peter Galison spreekt van het onderwijs als een 'hidden history of physics', achter de opeenvolging van grote theorieën: 'For a proper long-term history of experimental culture, we must descend [...] to the instrumental practices conveyed through apprenticeship from one scientific generation to the next'.⁴⁶ Hij heeft dit idee vormgegeven in *Image and Logic*, een studie naar de de twintigste-eeuwse deeltjesfysica. Dit vakgebied werd beoefend vanuit twee relatief onafhankelijke onderzoekstradities: de ene traditie ging uit van de overtuigende kracht van het beeld (*image*), de andere van statistiek (*logic*). Binnen elk van deze tradities constateert Galison 'three superimposed historical continuities'. Op de eerste plaats was er een pedagogische traditie. Zo werd in de *image*-traditie kennis overgedragen van Charles Wilson op Robert Millikan op Carl Anderson, en zo voorts. Daarnaast was er ook een vorm van technische continuïteit. De praktijk van de *logic*-traditie werd gekenmerkt door werk met elektronica en ontwerp van logische kringen. Ten derde golden binnen de verschillende tradities andere opvattingen van wat een wetenschappelijk bewijs was: een helder beeld of de grote getallen. Dit noemt Galison epistemologische of demonstratieve continuïteit. Ondanks de grote vernieuwingen op theoretisch gebied, zoals de formulering van de quantumelektrodynamica, kon op deze drie niveaus continuïteit bestaan. Wel waren de tradities voortdurend in ontwikkeling.

Antropoloog Sharon Traweek is zich bewust van het belang van educatie voor het voortbestaan van de (sub)discipline. 'Like many social groups that do not reproduce themselves biologically, the experimental particle physics community renews itself by training novices'.⁴⁷ Zij heeft onderzoek gedaan naar de wijze waarop onderwijs de identiteit van een wetenschapper kan vormen. In overeenstemming met haar antropologische benadering, beschrijft zij dit '[as a] tale of a pilgrim's progress in physics'.⁴⁸ De onderwijs carrière van een fysicus

44 Kuhn, *Scientific Revolutions* (n. 2) 47-48, 187-91.

45 Ibidem 47.

46 Galison, *How Experiments End* (n. 35) 249. Vgl. Galison, *Image and Logic* (n. 36) 21-30.

47 S. Traweek, *Beamtimes and Lifetimes. The World of High Energy Physics* (London 1988) 75.

48 Ibidem 75.

kent drie stadia: ‘undergraduate training, graduate school, and research associate appointment’.⁴⁹ Elke periode heeft zijn eigen intellectuele en morele waardesysteem en brengt zijn eigen angsten met zich mee. De eerste twee stadia zijn het meest interessant. In het eerste krijgt de student allerlei standaardvragen voorgeschoteld. Kritisch denkvermogen wordt hier minder gewaardeerd dan het snel herkennen van analoge problemen. Studenten krijgen in korte tijd een feilloos gevoel van wat hun discipline van anderen onderscheidt. Zo brengen handboeken de boodschap over dat ‘physics is of more intrinsic interest for great minds than [...] chemistry, engineering, and history’.⁵⁰ Natuurkundigen zijn intelligenter dan chemici en biologen, bèta’s zijn intelligenter dan alfa’s. Wiskunde en de schone kunsten zijn aan de fysica verwante disciplines. In de natuurkundige vinden zij hun ideale combinatie. Ook binnen de discipline leren studenten differentiëren en waarderen:

The boundaries are finely drawn. Theoretical physicists may be chastised by their peers for being “too mathematical,” or, alternatively, for lacking “physical intuition,” or “cooking up schemes out of air.” Experimentalists must guard against being seen as routinized “engineers” or, on the other hand, as preoccupied with bravura innovations in machine-craft.⁵¹

In het tweede stadium trekken de gevorderde studenten intensiever op met hun begeleiders. Ze ontwikkelen in deze periode ‘a “nose” for good issues’.⁵² De promotoren zijn een belangrijk rolmodel voor hun promovendi:

Senior experimentalists often comment on the pervasive impact their advisors had on both their personal and professional lives. Most say that they got their “sense of how to do good physics” from their advisor. In the words of Roland Barthes, “the origin of work is not in the first influence, it is in the first posture: one copies a role, then by metonymy, an art; I begin by reproducing the person I want to be.”⁵³

De laatste visie die ik in deze paragraaf zal bespreken is die van Andrew Warwick. Diens geschiedenis van de mathematische fysica in Cambridge, *Masters of Theory*, is een prachtig voorbeeld van hoe je de lange-termijn-geschiedenis van een discipline vanuit een pedagogisch perspectief kunt schrijven. *Masters of Theory* is van bijzondere interesse, omdat Warwick daarin uitspraken doet over de voorwaarde van succes in de wetenschap en de toekomst van disciplines. Ik zal daarom iets uitvoeriger ingaan op de vraagstelling van zijn werk.

Volgens de traditionele antropologie scheidde een ‘Great Divide’ de Westerse beschaving van de rest van de wereld. Dit concept heeft zijn bruikbaarheid om diverse redenen verloren. Het concept geldt als eurocentrisch en achterhaald. Bovendien is de scheiding tussen volkeren in de afgelopen eeuw steeds kleiner geworden. De moderne tijd wordt volgens Warwick door een andere ‘Great Divide’ gekenmerkt: die tussen experts en leken.⁵⁴ Daarbij ziet hij de theoretische fysica als een subcultuur van experts bij uitstek. Warwicks grote vraag is hoe deze cultuur in Cambridge heeft kunnen ontstaan, hoe deze zich in stand heeft weten te houden, en hoe deze uiteindelijk over de wereld is verspreid.

49 Ibidem.

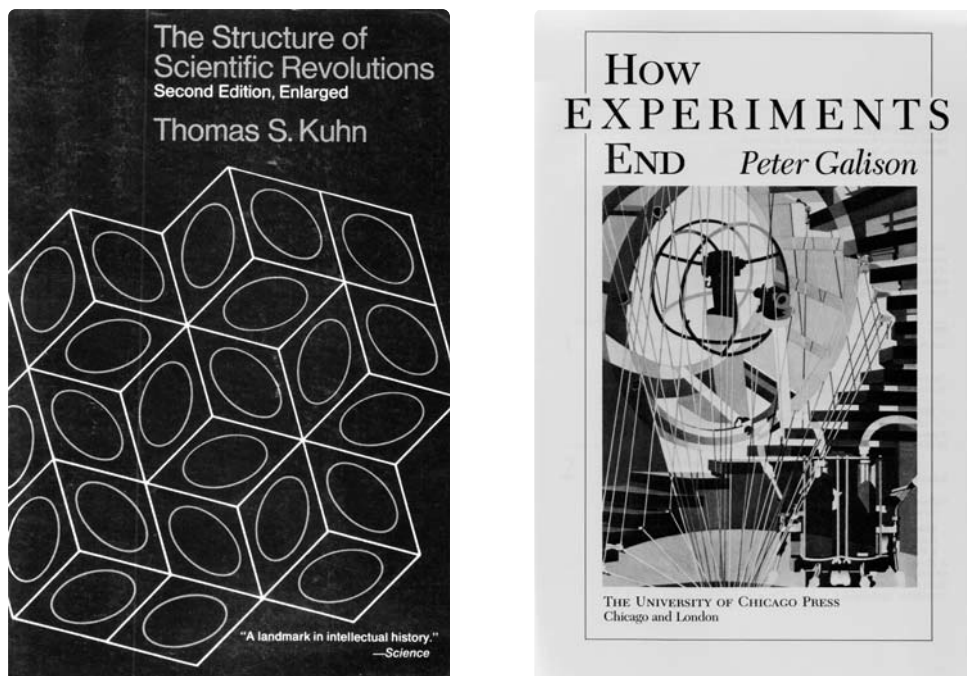
50 Ibidem 79.

51 Ibidem.

52 Ibidem 75.

53 Ibidem 82-83.

54 Warwick, *Masters of Theory* (n. 9) 9-10.



Figuur 3: Twee van de besproken boeken: Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago 1962, 1970²) en P. Galison, *How Experiments End* (Chicago 1987)

Warwick laat zien dat het onderwijs in Cambridge een geheel eigen levensstijl en werkethos vereiste.⁵⁵ Hier heerste het ideaal van 'muscular Christianity'. Geestelijke en lichamelijke arbeid moesten elkaar aanvullen. Sport hielp studenten met grote druk omgaan; het was een manier om te ontspannen. Tegelijkertijd bracht dagelijkse oefening meer structuur in het leven van de student. De tijdsdiscipline was rigoureuus.⁵⁶ Roeien en rugby leidde de aandacht af van moreel verwerpelijke activiteiten zoals 'gambling, drinking, horse racing, and womanizing'.⁵⁷ De onderzoeksstijl van Britse wiskundigen was volgens Warwick gevormd door dezelfde idealen: 'competition, fair-play, and manliness'.⁵⁸

Training vond niet alleen plaats op de sportvelden, maar ook in de collegezalen. Net als Kuhn ziet Warwick wetenschap als een soort ambacht: oefening baart kunst.⁵⁹ Warwick laat bovendien zien dat er vaardigheden zijn die alleen van meester op leerling kunnen worden overgedragen. De fijne kneepjes van het vak kunnen je niet door tekst worden geleerd, maar alleen door praktijkervaring en persoonlijke begeleiding. De *coach* Edward Routh gaf wiskundetraining voor kleine groepen studenten, die hem probeerden te imiteren.⁶⁰ In het denkbeeldige geval dat één generatie natuurkundigen zou wegvallen, zo suggereert Warwick,

55 Ibidem 176-226.

56 Ibidem 200, 243-244.

57 Ibidem 213.

58 Ibidem 179.

59 Ibidem 3-4, 43, 172-174, 229-230.

60 Ibidem 227-285.

zouden we weer van begin af aan moeten beginnen.⁶¹ De continuïteit van de mathematische fysica moet gezocht worden in het onderwijs. Vormt het onderwijs het hart van de disciplines? In dat geval zijn het niet zozeer de grote theoretische omwentelingen die een gevaar vormen voor de natuurkunde, maar het toenemende gebrek aan gekwalificeerde docenten. Daar is geen flexibiliteit tegen bestand.

Slot

Wat is een wetenschappelijke discipline? In dit artikel heb ik bewust vermeden om het disciplinebegrip af te bakenen. Niet alleen past dit bij de hier gebruikte anti-essentialistische en historicistische benadering, maar het doet ook recht aan het dynamische en flexibele karakter van disciplines. Zij laten zich niet definiëren. We hebben herhaaldelijk de vraag opgeworpen of het lange-termijn-succes van disciplines gezocht moet worden in hun flexibiliteit. Maar je kunt je ook afvragen waar het bestaan en het belang van disciplines eigenlijk op zijn gebaseerd, als disciplines geen duidelijke functie en betekenis hebben. Een oplossing van de paradox zou kunnen zijn om af te zien van generalisatie, en je te beperken tot het afzonderlijk beschrijven van de ontwikkeling van aparte disciplines.

Maar als geschiedenis een bijdrage wil leveren aan het actuele debat, dan kan het niet bij dit antwoord blijven. Er wordt soms gezegd dat het disciplinaire systeem tot 'tunnelvisie' leidt en creatief onderzoek beperkt. Disciplines werken te disciplinerend. Deze gedachte zit achter de populariteit van 'interdisciplinair' en 'transdisciplinair' onderzoek. Naar aanleiding van dit literatuuronderzoek zou ik twee kanttekeningen bij dit argument willen plaatsen. Allereerst zijn disciplines niet beperkend maar productief. Andrew Warwick is het met Thomas Kuhn en Michel Foucault eens dat disciplinerend, of machtsuitoefening, kennisproductie niet remt maar juist mogelijk maakt. Het is moeilijk om je voor te stellen dat wetenschap kan bestaan zonder enige vorm van disciplinerend. Zelfs al gaat het disciplinaire systeem op de schop, dan nog moeten studenten worden getraind. De gedachte dat disciplinerend verdwijnt door de disciplines af te schaffen, is naïef. Bovendien staan disciplines vernieuwend onderzoek niet in de weg. Want wat op basis van dit onderzoek vooral opvalt, is de enorme flexibiliteit van disciplines. De discipline is geen keurslijf waar grote geesten gevangen in zitten. Er is daarom geen historisch argument om aan te nemen dat het disciplinaire systeem de 'voortgang' remt.

Een laatste overweging ter afsluiting. Filosofen en historici die ontkennen dat kennis een fundamentele basis heeft, maar die niet in relativisme willen vervallen, verdedigen vaak een holistische conceptie van wetenschap. Volgens Pierre Duhem is de wetenschap geen machine maar een organisme; Otto Neurath vergelijkt de wetenschap met een schip op zee.⁶² Een zekere mate van historische continuïteit is vanuit dit perspectief cruciaal voor het voortbestaan van wetenschap. Hier wil ik mij bij aansluiten. Het nut van disciplines moet mijns inziens gezocht worden in het handhaven van continuïteit. Vanuit een holistisch perspectief gezien is de discipline minder kwetsbaar, omdat lokale veranderingen altijd door het geheel ondervangen kunnen worden. Zo heeft de natuurkunde zich de afgelopen twee eeuwen steeds weer weten aan te passen en te vernieuwen. Toch zijn disciplines zeker niet onkwetsbaar. Als we willen dat kennis op de volgende generatie wordt overgedragen, dan is de kwaliteit van het onderwijs de eerste zorg.

⁶¹ Ibidem 47, 501-503.

⁶² P. Duhem, *La Théorie physique: son objet – sa structure* (Paris 1914) 284-285; O. Neurath, 'Protokollsätze', *Erkenntnis* 3 (1932) 206.

SUMMARY

Long-term history of science: on the flexibility and fragility of scientific disciplines

Most scientific disciplines, such as chemistry, biology and physics, are now about two centuries old. Using physics as a case study the present paper aims to account for this longevity. What kept the physics discipline together from the early nineteenth century onwards? Literature on the rise of physics suggests that the discipline was formed around energy, the ether, or other theoretical notions. Yet the twentieth-century revolutions in physics showed that the discipline could prosper without some of its most 'fundamental' concepts. Some scholars conclude that internal factors are therefore irrelevant and disciplinary identity and continuity are purely institutional. Drawing on the work of Thomas Kuhn, Peter Galison and Andrew Warwick, this paper defends a different point of view. Although there is no intellectual core of disciplines, the prolonged existence of disciplines cannot be explained without some degree of internal continuity. If there is a revolution of a theoretical level, there may still be continuity on the level of experimental practices (and vice versa). It is this flexibility that accounts for the fact that disciplines may adapt to different circumstances. In addition, an educational tradition is required to transmit knowledge from one generation to the next.