

Jörn Behrmann

Biobibliografische notitie

Edgar Zisel werd op 11 augustus 1891 geboren in Wenen als zoon van advocaat Jacob Zisel. Hij stierf op 11 maart 1944 op Mills College in Oakland, Californië.

Na zijn strenge religieuze opvoeding studeerde Zisel van 1910 tot 1916 in Wenen Wiskunde, Natuurkunde en Filosofie. Na zijn promotie meldde hij zich aan voor het 'Volksbildungsprogramm', dat opgezet was door Hartmann, schoolbestuurslid van de stad Wenen. Hoewel hij later met Otto Neurath tot de linkervleugel van de Wiener Kreis zou behoren en het voor hem mogelijk zou zijn geweest om een carrière op te bouwen aan een hogeschool, hield hij het bij het openbaar onderwijs. Vanaf 1922 onderwees hij Natuurkunde en Filosofie aan de Volkshogeschool. Hij schreef als medewerker van het tijdschrift 'Der Kampf' en de 'Arbeiterzeitung' filosofische essays, na 1913 onder het pseudoniem Rudolf Richter. Zijn wetenschapstheoretische bijdragen werden gepubliceerd in het tijdschrift 'Erkenntnis', het orgaan van de Wiener Kreis. Zisel was bestuurslid van de Ernst Mach Vereniging. In 1934 verloor hij -in verband met de staatsgreep van Dollfuß- na een korte gevangenschap zijn functie aan de Volkshogeschool en werd hij professor aan een gymnasium. Hij slaagde er in 1938 in om met zijn vrouw en zoon af te reizen naar Engeland en hij reisde in 1939 naar de Verenigde Staten, waar hij in september deelnam aan het '5th Congress for the Unity of Science' in Harvard, waar hij namens de sectie wetenschap en samenleving een voordracht hield onder de titel: 'The Social Roots of Science'. Dankzij financiële ondersteuning van de Rockefeller Foundation, het comité Aid of Displaced Scholars, van het Social Research Council (New York) en de American Philosophical Society (Philadelphia), was hij in staat om onderzoekswerk te verrichten. Desondanks was hij genooddaakt om het beroep van leraar weer op te nemen, eerst met een aanstelling in deeltijd aan het 'Hunter College' van de 'City University of New York', later aan het 'Mills College' in Oakland, waar hij in dienst bleef tot aan zijn zelfmoord. De motieven voor deze daad zijn duister, maar hangen wel zeker samen met het conflict [dat hij ervaarde] tussen de eisen die aan hem gesteld werden door zijn broodwinning en zijn drang tot het doen van onderzoek.

Het werk van Zisel laat zich opdelen in drie onderdelen:

- (a) De fundamenteën van de wiskunde, natuurkunde, logica, alsmede de pedagogiek gericht op opvattingen van de natuurkundigen en filosofen E. Mach, H. Gompertz, M. Adler en E. Husserl.
- (b) Structuur en wordingsgeschiedenis van het Duitse persoonlijkheidsideaal, onderzocht met methodes uit de filologie en de sociologie vanuit de 'geest' van de Volkshogeschool (Zisel 1926, S. v.).
- (c) Voorwaarden voor het ontstaan van de moderne natuurwetenschap, beïnvloed door de 'Wiener Kreis' en de ideeën over 'wetenschappelijke eenheid' van Otto Neurath, onderzocht met methodes uit de ideeëngeschiedenis en de sociale geschiedenis.

Het geschil met Husserl, Adler en de 'Wiener Kreis' vanuit een sociologisch gezichtspunt is typerend voor Zisel. Hij werd noch fenomenoloog, noch Kantiaan, noch positivist. Het afstand

nemen van Hegels dialectische denkwijze door Neurath, op grond van diens empirisch-positivistische denkwijze, ervoer hij als foutief. Het programma van de 'eenheidswetenschap' beschouwde hij als prematuur. Desondanks zette hij zich ervoor in. Zijn latere werk was niet mogelijk geweest zonder deze prikkels.

Zilsel benadert fundamentele problemen van wetenschap op twee niveaus: op het niveau van de moderne natuurwetenschap en op het niveau van ideologiekritiek:

a. In 1917 publiceert Zilsel zijn uitgebreide dissertatie: *'Das Anwendungsproblem, eine Untersuchung über die notwendigen Bedingungen für die Auffindbarkeit von Naturgesetzen'*. Hij kenschetst de dissertatie in een eigen verklaring als een poging om de toepasbaarheid van de rationele vorm op het irrationele materiaal te toetsen, d.w.z. het platonische probleem van de methexis en het Kantiaanse probleem van het 'schematisme' op te pakken. Zilsel spant zich in om de verwantschap tussen de wet van de grote getallen en de niet-causale structuren in de natuur aan te tonen.

In een ander werk, uit 1928, beschrijft hij, in het hoofdstuk getiteld: 'Naturphilosophie' (in: F. Schnaß (uitg.): *Einführung in die Philosophie*), de grondlagenproblematiek van de natuurwetenschap bezien vanuit het standpunt van de moderne fysica.

b. In 1918 verschijnt een essay over het moderne persoonlijkheidsideaal met een aanval op het 'halfgeleerdendom met haar enthousiasme over persoonlijkheden' (*Die Genie-Religion*, Leipzig 1918). In 1926 publiceert Zilsel een analyse van de voorwaarden voor het ontstaan van het genie en de sociale waarde ervan (*Die Entstehung des Geniebegriffs*, Tübingen 1926), als eerste zelfstandige bundel van een gepland vervolg op zijn [beschrijving van de] ontwikkeling van het geniebegrip tot heden aan toe. Uit het voorwoord bij deze bundel wordt de stellingname van Zilsel duidelijk: 'de gegeven voorwaarden van de Volkshogeschool spiegelen zich eveneens in de wijze waarop zij wetenschap bedrijft'.

Dit werk vindt erkenning vanwege de combinatie van filologische exactheid en sociologische toegankelijkheid. Benedetto Croce verwijt hem echter inductivisme en een gebrekkige samenstelling van historische wetmatigheden, hij looft daarentegen zijn filologische discipline en de kwaliteit van zijn kennis (*La Critica*, XXIV, H. 5, blz. 297). Georg Lukács wijst op het ontbreken van enige distantie ten opzichte van een nauwkeurige analyse van de productieverhoudingen, hij looft op zijn beurt de beschrijving van de gemeenschap van humanisten die geïnspireerd werd door de Gloriadeal, en [looft] daarmee een nieuwe vorm van literatuurideologie die de charisma-brengende kracht van de 'beroemdheidverleners' aan het licht brengt, in hun gezag consoliderende functie (*Archiv für die Geschichte des Sozialismus und der Arbeiterbewegung*, 13. Jg. [1928], blz. 299).

Dit ideologiekritische werk op grond van zijn wetenschapstheoretische onderzoek vormt een voorbereiding voor Zilsels poging om het ontstaan van de moderne natuurwetenschap te funderen in een sociologie van kunstenaar-ingenieurs. De eerste publicaties met dat doel verschijnen na zijn emigratie verspreid in tijdschriften in de Verenigde Staten. Ze zijn op te vatten als delen en voorpublicaties van een systematisch onderzoek naar een sociologische verklaring van de moderne wetenschap, zoals duidelijk wordt uit de referenties van de essays. Dit onderzoek is nooit voltooid door Zilsel.

Edgar Zilsels concessieloze strijd voor de objectiviteit en zijn standvastige engagement voor het behoud van de waardigheid van de onderdrukten hielden hem zijn leven lang in een conflict tussen deze beide doelen. Hoezeer hij zich bewust was van zijn medemensen en dat ook hij de haan van Asclepius¹ niet vergat, bewijst de laatste door hem geschreven zin uit een brief, die op 12 maart 1944 verscheen in de krant San Francisco Chronicle: 'No fuss please!' 'P.S. If the janitor finds me, he may keep the \$ 10 bill as a compensation for the shock.'

¹ Verwijzing naar Socrates vraag aan zijn vrienden voor zijn opgelegde zelfvergiftiging om toch vooral zijn schulden in te lossen waaronder het teruggeven van de haan die hij Aesclepius schuldig was. Deze opmerking is later door Foucault aangegrepen om de epemeleia te funderen, de zorg voor de ander, die de parhesia, het vrijmoedig en in openheid spreken als bron van motivatie en inspiratie diende.

Hoofdstuk 1

De sociale oorsprongen van de hedendaagse wetenschap

Samenvatting:

In de periode van 1300 tot 1600 moet er een onderscheid gemaakt worden tussen drie soorten intellectuele activiteiten: geleerden verbonden aan de universiteit, humanisten en kunstenaars. De geleerden en de humanisten waren weliswaar rationeel geschoold, maar de voorwaarden waaronder zij hun beroep uitoefenden, bepaalden hun methodes en deze weken in belangrijke mate af van die van de wetenschap. Deze beide groepen, de professoren en de humanistische letterkundigen, maakten een onderscheid tussen de vrije- en de mechanische kunsten en keken neer op handwerk, experiment en sectie. De ambachtslieden uit deze periode waren de pioniers van het denken in termen van oorzaak en gevolg. Bepaalde groepen hogere ambachtslieden (kunstenaars, ingenieurs, heelmeeesters, makers van nautische- en muziekinstrumenten, landmeters, navigators en schutters) experimenteerden, verrichtten dissectie en hanteerden kwantitatieve methodes. De meetinstrumenten van de navigators, landmeters en schutters waren de voorlopers van de latere fysische instrumenten. Wat de handwerkers misten, was een methodisch-intellectuele scholing. Zo waren de beide bestanddelen van de wetenschappelijke methode van elkaar gescheiden door een sociale barrière: logische scholing was voorbehouden aan de geleerden van de hogere klassen; het experimenteren, het nagaan van causale verbanden en kwantitatieve methoden werden min of meer overgelaten aan de volkse ambachtslieden. De wetenschap werd uiteindelijk geboren op het moment dat met de vooruitgang van de technologie de experimentele methode de sociale vooroordelen tegen de handarbeid overwon en overgenomen werd door rationeel opgeleide geleerden. Dit was omstreeks 1600 het geval (Gilbert, Galileo, Bacon). In deze zelfde tijd werden de scholastische methoden van het debatteren en het humanistische ideaal van persoonlijke roem overwonnen door de idealen van de beheersing van de natuur en de vooruitgang van de wetenschap door wetenschappelijke samenwerking. Op een sociologisch enigszins afwijkende manier ontwikkelt zich de moderne sterrenkunde. Dit gehele proces was ingebed in de vooruitgang van de vroegkapitalistische maatschappij, die het collectieve bewustzijn, het magische denken en het geloof in autoriteit afzwakte en het wereldlijke, causale, rationele en kwantitatieve denken juist stimuleerde.

Als er meerdere van elkaar gescheiden culturen zouden zijn, waarbij in sommige culturen de wetenschap tot ontwikkeling zou komen en in andere niet, dan zou de vraag naar de oorsprong van wetenschap in algemene zin opgevat worden als een sociologisch vraagstuk en zou het mogelijk zijn om deze [vraag] te beantwoorden door de overeenkomstige kenmerken van de wetenschappelijke culturen te onderscheiden van de niet-wetenschappelijke en deze tegenover elkaar te stellen. Helaas wijkt de historische realiteit hiervan af, aangezien volledig ontwikkelde wetenschap slechts één keer opduikt en wel in de moderne, westerse beschaving. Dit feit vertroebelt ons probleem. Wij zijn maar al te snel geneigd onszelf en onze eigen beschaving als het natuurlijk hoogtepunt van menselijke ontwikkeling te beschouwen.

Uit deze aanmatigende houding komt het geloof voort dat de mens simpelweg steeds intelligenter werd tot op een dag een paar grote ontdekkers en pioniers verschenen die wetenschap als het laatste stadium een steeds stijgende, lineaire ontwikkeling voortbrachten. Men begrijpt dan niet dat het menselijke denken zich langs veel en verschillende wegen ontwikkeld heeft waarvan de wetenschappelijke er slechts een is. Men vergeet hoe wonderbaarlijk het is dat wetenschap überhaupt is ontstaan en wel juist in een bepaald tijdvak, onder bepaalde sociologische voorwaarden.

Echter, het is niet onmogelijk om het verschijnen van de moderne wetenschap als een sociologisch proces te bestuderen. Aangezien dit plaatsvond in het tijdvak van het vroege Europese kapitalisme, van het eind van de middeleeuwen tot 1600, zullen we deze periode moeten onderzoeken. Bepaalde stadia van de wetenschappelijke denkwijze ontwikkelden zich ook in andere culturen, zoals bijvoorbeeld in de klassieke oudheid, in mindere mate in enkele oosterse beschavingen en in de Arabische cultuur van de middeleeuwen. Bovendien zijn de wetenschappelijke en de half-wetenschappelijke culturen niet onafhankelijk van elkaar. In het moderne Europa is het begin van de wetenschap zeer sterk beïnvloed door de prestaties van wiskundigen en astronomen uit de oudheid en door de middeleeuwse Arabische natuuronderzoekers. Deze invloeden zullen we echter niet bespreken, maar wel de sociologische voorwaarden die de ontwikkeling van wetenschap mogelijk maakten. We kunnen vanzelfsprekend slechts een globale en sterk vereenvoudigde analyse van dit onderwerp geven. Alle details en veel van het bewijsmateriaal zullen elders aan bod moeten komen voor een uitvoerige behandeling.

I.

De menselijke maatschappij heeft zich niet vaak zo fundamenteel veranderd als in de overgang van het feodalisme naar het vroegkapitalisme. Deze veranderingen zijn algemeen bekend. Maar zelfs in een beknopte weergave van de problemen moeten we enkele van deze veranderingen vermelden omdat deze de noodzakelijke voorwaarden zijn voor de opkomst van de wetenschap.

1. De opkomst van het vroegkapitalisme is verbonden met een verandering van zowel de context als de dragers van de cultuur. In de middeleeuwse, feodale maatschappij waren de kastelen van de ridders en de kloosters op het platteland het middelpunt van de cultuur. In het vroegkapitalisme waren de steden het centrum van de cultuur. De geest van de wetenschap is wereldlijk en niet militair. Klaarblijkelijk kon deze zich niet ontwikkelen onder geestelijken en ridders, maar alleen in de steden.

2. Het einde van de middeleeuwen was een tijdperk van zich snel ontwikkelende technologie en technologische uitvindingen. Men begon machines in te zetten voor de productie van

goederen en bij de oorlogsvoering. Dit betekende aan de ene kant een opgave voor de mechanica en de chemie, aan de andere kant stimuleerde dit het rationele denken en verzwakte dit in zijn algemeenheid het magische denken.

3. In de middeleeuwse maatschappij was het individu onlosmakelijk verbonden aan de tradities van de groep. In de vroegkapitalistische economie hing succes af van de ondernemersgeest van het individu. In het vroege feodalisme was economische concurrentie onbekend. Toen dat ontstond tussen de ambachtslieden en de handelaren in de laatmiddeleeuwse steden, probeerden de gilden dit tegen te gaan. Maar uiteindelijk was de concurrentie sterker dan de gilden. Dit had tot gevolg dat de gilde organisaties ontbonden werden en de collectieve gezindheid van de middeleeuwen vernietigd werd. De ambachtslieden of de handelaars van het vroegkapitalisme, die nog in de traditie van hun vaders werkten, werden uit de markt gedrukt door minder conservatieve concurrenten. Het individualisme van de nieuwe maatschappij is een voorwaarde voor het wetenschappelijke denken. De wetenschapper vertrouwt in laatste instantie alleen op zijn eigen ogen en zijn eigen verstand. Men verwacht van hem dat hij zich onafhankelijk opstelt ten opzichte van het geloof aan de autoriteiten. Zonder kritiek is er geen wetenschap. De kritisch wetenschappelijke geest (die compleet onbekend is in alle maatschappijen zonder concurrentie) is de krachtigste springstof die de maatschappij ooit heeft voortgebracht. Als deze kritische geest op alle gebieden van het denken en handelen toegepast zou worden, zou dit leiden tot anarchie en sociale desintegratie. In het gewone leven is dit niet het geval, sociale instincten en sociale verplichtingen gaan dit tegen. In de wetenschap zelf worden deze individualistische tendensen gecompenseerd door wetenschappelijke samenwerking. Dit komt echter later aan de orde.

4. De feodale maatschappij werd overheerst door tradities en folklore, terwijl in het vroegkapitalisme het handelen gebaseerd was op rationele overwegingen. Er werd gerekend en gemeten, de boekhouding werd bijgehouden en machines werden ingezet. De opkomst van economische rationaliteit stimuleerde de ontwikkeling van rationele wetenschappelijke methodes. De opkomst van de kwantitatieve methode, die in essentie in de middeleeuwse theorie niet bestond, moet in samenhang gezien worden met de calculerende mentaliteit van de kapitalistische economie. De eerste literaire presentatie van de techniek van de dubbele boekhouding is in het eerste leerboek van de wiskunde uit de 15de eeuw te vinden en wel in Luca Pacioli's *Summa de Arithmetica* (Venetië 1494); de eerste toepassing van de dubbele boekhouding op problemen van de openbare financiën en bestuur staat in de verzamelde wiskundige geschriften van Simon Stevin, de pionier van de wetenschappelijke mechanica (*Hypomnemata Mathematica*, Leiden 1608) en onder de eerste onderzoeken naar de geldeconomie bevindt zich een verhandeling van Copernicus over monetaire hervormingen (*Monetae cudendae ratio*, uitgegeven in 1552). Dit is geen toevallige samenloop van omstandigheden.

De ontwikkeling van de meest rationele wetenschap, de wiskunde, is zeer nauw verbonden met de ontwikkeling van de rationaliteit in de techniek en economie. Het moderne

gelijkheidsteken in de wiskunde werd het eerst gebruikt in een leerboek van Recorde. Zijn boek is opgedragen aan de 'heren en de overige leden van de handelsmaatschappij van Moskou', waarin hij de wens uitspreekt dat: 'het comfort tijdens hun reizen geleidelijk verhoogd zal worden'. (The Wettstone of Witte, Londen 1557). Decimale breuken werden voor het eerst geïntroduceerd in het wiskundige geschrift van Stevin dat begint met de woorden: 'Den sterrekyckers, landtmeters, Tapijtmeters, Wijnmeters, Lichaemmeters int ghemeene, Muntmeesters, ende allen Coopliden, wenscht Simon Stevin Gheluck.' (De thiende Leiden, 1585). Afgezien van de invloeden van pythagorische- en platonische metafysica behandelen de wiskundige geschriften uit de 15de en 16de eeuw op de eerste plaats gedetailleerd de problemen van het handelsrekenen en op de tweede plaats de behoeften van de militaire ingenieurs, de landmeters, architecten en kunstenaars. Voorbeelden hiervan zijn de geometrische en rekenkundige beschouwingen van Piero de' Franceschi, Luca Pacioli en Tartaglia in Italië, Recorde en Leonard Digges in Engeland en Dürer en Stifel in Duitsland. De klassieke wiskundige traditie (Euclides, Archimedes, Apollonius, Diophantus) kon in de 16de eeuw weer herbeleefd worden omdat in de nieuwe maatschappij de behoefte aan calculeren en meten toegenomen was.

Zelfs de rationalisering van het openbare bestuur en van de wet had zijn tegenhanger in de wetenschappelijke opvattingen. De losjes georganiseerde staat van het feodalisme met zijn vage wetten gebaseerd op tradities werd stap voor stap overwonnen door de absolute monarchie met zijn centrale soevereiniteit en rationeel, vastgesteld recht. Deze politieke en juridische verandering stimuleerde de opvatting dat alle fysische gebeurtenissen door rationele, door God gemaakte, wetten beheerst worden. Dit kwam echter pas naar voren in de 17de eeuw (Descartes, Huygens, Boyle). [1]

II

We hebben enige algemene kenmerken van de vroegkapitalistische maatschappij genoemd die noodzakelijke voorwaarden vormen voor het opkomen van een wetenschappelijke denkwijze. Om deze ontwikkeling sociologisch te begrijpen, hebben wij in het tijdvak van 1300 tot 1600 drie strata van intellectuele activiteiten te onderscheiden: de universiteiten, het humanisme en de activiteiten van ambachtslieden.

Aan de universiteiten was nog steeds de theologie en de scholastiek overheersend. De geleerden aan de universiteiten waren geschoold in het rationele denken, maar ze gebruikten de methoden van het scholastieke rationalisme, die fundamenteel verschillend zijn van de rationele methoden van een ontwikkelde economie. Koopliden zijn geïnteresseerd in de afrekening; ambachtslieden en ingenieurs zijn geïnteresseerd in rationele regels over de werking der dingen, aan rationele natuurkundige wetten. Leraren daarentegen zijn geïnteresseerd in rationele onderscheidingen en classificatie. De oude zin 'bene docet qui bene distinguit' ['Hij die goede onderscheiding maakt, doceert goed'] is zo belangrijk dat zij ook sociologische betekenis heeft. In het scholastieke onderwijs wordt vanwege haar

sociologische voorwaarden altijd een specifieke vorm van rationaliteit gebruikt; ze is in de vorm vergelijkbaar met de werkwijze van oude priesters, die tot taak hadden kandidaten voor de priesterstand te onderwijzen, waarbij zij vage en tegenstrijdige mythologische tradities uit het verleden rationaliseerden. Brahmanen uit India, boeddhistische theologen uit Japan en Arabische en katholieke scholastici uit de middeleeuwen gebruikten methoden die verrassend veel overeenkomsten vertonen. Joodse Talmoedgeleerden gingen exact zo te werk, met als verschil dat zij geen beroepspriesters waren en zich meer met ritueel en canoniek recht bezighielden dan met eigenlijke theologische vraagstukken. In de brahmaanse Sankhya-filosofie (sankhya betekent 'opsomming') heeft deze scholastieke rationaliteit monstrueuze vormen aangenomen.

In de regel blijven de scholastieke methoden in zwang ook wanneer theologen in het verloop van de sociale ontwikkeling zich met meer seculiere onderwerpen gingen bezighouden. Zo hebben in de Indiase literatuur Brahmanen, die in dienst waren van de vorst, de politiek en erotiek behandeld. Pijnlijk nauwkeurig gaven zij een overzicht en een indeling van de verschillende mogelijkheden van het seksuele- en politieke leven (Kautilya, Vatsyayana). [2] Op een overeenkomstige manier hebben de middeleeuwse scholastici en de Europese geleerden voor 1600 aan de universiteiten subtiële nuances aangebracht in overzichtslijsten en gedachtewisselingen. Door hun afhankelijkheid van autoriteiten gebruikten zij bij voorkeur citaten en uitten zij hun meningen verhuld meest in de vorm van commentaren en compilaties. Na de 13de eeuw werden ook wereldlijke onderwerpen door geleerden behandeld, slechts een enkeling van hen beriep zich daarbij op de ervaring. In de regel onderzochten de scholastici, voor zover ze zich überhaupt met wereldlijke onderwerpen bezighielden, geen oorzaken en al helemaal geen natuurkundige wetmatigheden. Zij hielden zich voornamelijk bezig met de doelen en betekenissen van de verschijnselen. Klaarblijkelijk zijn de occulte kwaliteiten en de substantiële vormen van Aristoteles in de scholastiek veeleer rationalisaties van voorwetenschappelijke, magische en animistische teleologieën. Daardoor werden de universiteiten tot in het midden van de 16de eeuw nauwelijks beïnvloed door de ontwikkeling van de eigentijdse technologie en het humanisme. Haar stellingname was nog wezenlijk middeleeuws. Het schijnt een algemeen sociologische verschijnsel te zijn dat strak georganiseerde scholen in staat zijn een aanzienlijke weerstand te bieden tegen sociale veranderingen in de buitenwereld. [3]

De eerste vertegenwoordigers van een wereldlijk leren verschenen in de 14de eeuw in de Italiaanse steden. Zij waren geen wetenschappers maar secretarissen en beambten van de stadsbesturen, vorsten en de paus. Met afgunst keken zij op naar de politieke en culturele prestaties van de klassieke oudheid. Deze geschoolde beambten hielden zich voornamelijk bezig met de buitenlandse zaken van hun werkgevers. Zij werden de grondleggers van het humanisme. Hun ambities waren afgeleid van de condities van hun professionele bezigheden. Hoe belezener, scherpzinniger en welsprekender, hoe groter het prestige van hun opdrachtgevers en ook hun eigen roem. Zij streefden daarom vooral naar het perfectioneren van hun stijl en naar het verzamelen van klassieke kennis. In de hierop volgende eeuwen verloren de Italiaanse humanisten voor een groot deel hun relatie met het ambt. Velen gingen behoren tot de vrije intellectuelen die afhankelijk waren van de patronage van de vorsten, de adel of bankiers. Andere waren werkzaam als leraren van de zonen van de vorsten en

meerdere van hen verwierven academische leerstoelen en doceerden Latijn en Grieks aan de universiteiten. Hun doelen bleven ongewijzigd, en hun trots op hun geheugen en geleerdheid, en hun hartstocht naar roem, namen zelfs toe. Zij zagen bepaalde schrijvers van de oudheid als stijliconen en waren bijna net zo afhankelijk van deze wereldlijke autoriteiten als de theologen dat waren van hun geestelijke. Hoewel het humanisme rationeel te werk ging, waren de methoden die daarbij gebruikt werden net zo verschillend van de methoden van de scholastiek als deze zijn ten opzichte van de moderne wetenschappelijke rationaliteit. Het humanisme ontwikkelde de methoden van de wetenschappelijke filologie, maar besteedde geen aandacht aan het onderzoek naar oorzaken en kende geen natuurkundige wetmatigheden en kwantitatief onderzoek. In zijn algemeenheid kan men stellen dat het meer geïnteresseerd was in woorden dan in dingen, meer in literaire vormen dan in inhoud. Het humanisme verspreidde zich over geheel centraal en West-Europa. Hoewel de beroepsmatige condities en de intellectuele doelen van de humanisten buiten Italië wat gecompliceerder waren dan die van hun Italiaanse collega's, waren hun methoden over het geheel identiek. [4]

De geleerden aan de universiteiten en de humanistische intelligentsia van de Renaissance waren bijzonder trots op hun sociale status. Zij verachtten het ongeletterde volk. Zij meden het gebruik van de landstaal en schreven en spraken alleen in het Latijn. Bovendien waren zij verbonden met de hogere klassen en deelden de vooroordelen van de adel, de rijke kooplieden en de bankiers. Zij wezen handwerk af. Beide groepen grepen daarom terug op het klassieke onderscheid tussen de vrije- en mechanische kunsten. Alleen die beroepen waarvoor geen handwerk nodig was, werden door hen, hun begunstigers en hun publiek waardig geacht voor een wel opgeleid man.

De sociale tegenstelling van vrije- en mechanische kunsten, van woord en daad, beïnvloedde alle intellectuele en beroepsmatige activiteiten in de renaissance. De doctors in de medicijnen met een universitaire opleiding hielden zich min of meer bezig met het commentariëren van de medicinale geschriften uit de oudheid; de heilkundigen die het handwerk deden, zoals het opereren en het verrichten van secties, werden tot de barbiers gerekend en hadden een sociale positie die vergelijkbaar was met die van vroedvrouwen. Intellectuelen werden veel hoger gewaardeerd dan kunstenaars. In de 14de eeuw werd er geen onderscheid gemaakt tussen een kunstenaar en een metselaar of huisschilder en ze waren, zoals alle ambachtslieden, georganiseerd in gilden. Geleidelijk aan werd de afstand met het handwerk groter totdat ze uiteindelijk in het Italië van de 16de eeuw van elkaar gescheiden werden. Ten tijde van Leonardo da Vinci (omstreeks 1500) had deze scheiding zich nog niet voltrokken. Dit valt tamelijk nauwkeurig te reconstrueren uit de geschriften van kunstenaars uit die tijd die voortdurend discussieerden over de vraag of de schilderkunst en de beeldhouwerij tot de mechanische- of vrije kunsten gerekend moesten worden. In deze discussies brachten de schilders voortdurend het argument naar voren dat zij vanwege hun eruditie (het schilderen vereist kennis van perspectief en geometrie) een hogere sociale status zouden moeten krijgen. Technische uitvinders en ontdekkingsreizigers, oftewel ambachts- en zeelieden, werden in de humanistische literatuur nauwelijks vermeld. Als ze überhaupt al vermeld werden dan gebeurde dat op een uitermate slordige en onnauwkeurige wijze. Vanuit

ons huidige perspectief dankt de cultuur van de Renaissance haar belangrijkste prestaties aan de verrichtingen van kunstenaars, uitvinders en ontdekkingsreizigers. In de geschriften uit die tijd staan deze echter volledig op de achtergrond. [5]

Onder de universiteitsgeleerden en de humanistische intellectuelen werkten de kunstenaars, zeelieden, scheepsbouwers, timmerlieden, metaalgieters en mijnwerkers in alle stilte aan de ontwikkeling van de technologie en de moderne maatschappij. Zij hadden het kompas voor de zeelui en het geweer uitgevonden; zij bouwden hoogovens en in de 16de eeuw introduceerden zij machines voor de mijnbouw. Bevrijd van de beperkingen van de gilden en door de economische concurrentie gestimuleerd tot innovatie, waren zij ongetwijfeld de werkelijke grondleggers van de empirische waarneming, van experimenten en van onderzoek naar causale verbanden. Zij hadden geen onderwijs genoten, ze waren hoogstwaarschijnlijk meestal analfabeet [6] en dit is waarschijnlijk ook de reden dat wij zelfs hun namen niet kennen. Onder hen bevond zich een kleine groep, die voor hun werk meer kennis nodig hadden dan hun collega's en daarom een betere opleiding kregen. Onder deze hogere handwerkslieden waren de kunstenaars de belangrijkste. Tussen schilders, beeldhouwers, goudsmiden en architecten bestonden geen scherpe scheidslijnen; veeleer werkte dezelfde kunstenaar vaak op verschillende gebieden, omdat zoiets als arbeidsdeling in de Renaissance nog weinig ontwikkeld was. Als gevolg hiervan ontstond er in een opmerkelijke beroepsgroep. De mensen die we op het oog hebben, zouden kunstenaars-ingenieurs genoemd kunnen worden, omdat ze niet alleen actief waren op het gebied van de schilder- en beeldhouwkunst, maar ze bouwden ook kathedralen, kanalen, sluizen, hefwerktuigen, vestingen en geschut. Ze vonden nieuwe kleurstoffen uit, ontdekten de geometrische wetmatigheden van het perspectief en bouwden nieuwe meetinstrumenten voor de militaire en civiele techniek. De eerste van hen was Brunelleschi (1376-1446), constructeur van de koepel van de kathedraal van Florence. Onder zijn opvolgers bevond zich Ghiberti (1377-1466), Leone Battista Alberti (1404-1472), Leonardo da Vinci (1452-1519) en Vanoccio Biringucci (overleden in 1538), wiens boekje over metallurgie een van de eerste chemische verhandelingen is zonder alchemistisch bijgeloof. Een van de laatsten van hen is Benvenuto Cellini (1500-1571) die niet alleen goudsmid en beeldhouwer was, maar ook als militair ingenieur in Florence actief was. De Duitse schilder en kopergraveur Albrecht Dürer die verhandelingen over beschrijvende geometrie (1525) en vestingwerken (1527) schreef, behoorde tot deze groep. Velen van deze ingenieurs-kunstenaars schreven -in de landstaal en voor hun collega's- dagboeken en geschriften over hun successen. Voor het grootste deel circuleerden deze geschriften louter in de vorm van manuscripten. De ingenieurs-kunstenaars genoten hun opleiding in de werkplaatsen van hun meesters. Alleen Alberti had een humanistische opleiding.

Heelkundigen,(met name chirurgijns = interpretatie van de vertaler ²), behoorden tot een tweede groep van hogere handwerkslieden. Enkele Italiaanse heelkundigen hadden

² De chirurgijn is in wezen een onder specialisatie van de middeleeuwse barbier; die laatste was de uitvoerende kracht van de arts . Een middeleeuwse arts schreef de behandeling voor maar voerde die in principe niet zelf uit. In de 15e en 16e eeuw raakte het specialisme chirurgijn ingeburgerd en deed de barbier op medisch gebied niet veel anders meer dan aderlaten en tanden trekken.

connecties met kunstenaars, die voortkwamen uit het feit dat voor schilderen anatomische kennis vereist is. Ook de bouwers van muziekinstrumenten stonden in verbinding met de ingenieurs-kunstenaars. De vader van Cellini was bijvoorbeeld een instrumentenbouwer en hij zelf was enige tijd in dienst van de paus als hof muzikant. In de 15de en 16de eeuw werd door vertegenwoordigers van deze derde groep de voorloper van de moderne piano gebouwd. De makers van nautische en astronomische instrumenten en afstandsmeters voor landmeting en voor de artillerie vormde een vierde groep. Zij maakten kompassen en astrolabia, kruisstaven [voorloper van de sextant] en kwadranten en vonden in de 16de eeuw de hellings- en stijgingsmeter uit. Hun meetinstrumenten zijn de voorlopers van de moderne natuurkundige instrumenten. Enkele van hen waren navigators en schutters die afkomstig waren uit het leger. [7] De landmeters en de navigators werden uiteindelijk beschouwd als vertegenwoordigers van de mechanische kunsten. Dezen en de makers van landkaarten zijn belangrijker geweest voor de ontwikkeling van metingen en observaties dan voor het experimenteren.

Deze hogere handwerkslieden bouwden relaties op met geleerde astronomen, medische doctoren en humanisten. Hun geleerde vrienden informeerden hen weliswaar over het bestaan van Archimedes, Euclides en Vitruvius, maar hun innovatieve denkwijze kwam voort uit hun eigen professionele bezigheden. De heelkundigen en sommige kunstenaars verrichtten secties, de landmeters en navigators deden metingen en de kunstenaars-ingenieurs en instrumentenbouwers voerden experimenten uit en deden metingen en hun kwantitatieve regels die ze uit de losse pols opstelden zijn de voorlopers van de natuurkundige wetten van de moderne wetenschap. De occulte kwaliteiten en substantiële vormen van de scholastiek en de haarkloverij van de humanisten dienden voor hen geen doel. Al deze hogere handwerkslieden hadden reeds een opmerkelijk grote theoretische kennis verworven op het gebied van de mechanica, akoestiek, chemie, metallurgie, beschrijvende geometrie en anatomie. Maar omdat zij niet geleerd hadden systematisch te werken, bestonden hun resultaten uit een verzameling geïsoleerde ontdekkingen. Leonardo hield zich bijvoorbeeld een tijdlang op een onjuiste manier bezig met mechanische problemen die hij zelf, zoals uit zijn dagboeken blijkt, enkele jaren daarvoor correct opgelost had. De hogere handwerkslieden kunnen daarom zelf geen wetenschappers genoemd worden, maar ze waren wel de directe voorgangers van de wetenschap. Natuurlijk werden zij in de publieke opinie van die tijd niet als gerespecteerde geleerden beschouwd. De beide bestanddelen van de wetenschappelijke methode waren nog tot 1600 gescheiden -de intellectuele methodische ontwikkeling was voorbehouden aan de hogere klasse van geleerden, de professoren die verbonden waren aan de universiteit en de humanisten; het experimenteren en observeren was voorbehouden aan de meer of minder volkse arbeiders.

De scheiding tussen de vrije- en mechanische kunsten kwam duidelijk tot uiting in de literatuur van die tijd. Voor 1550 was een vooraanstaande geleerde niet geïnteresseerd in succes in de opkomende nieuwe wereld om hem heen en schreef hij in het Latijn. Aan de andere kant ontwikkelde zich tegen het einde van de 15de eeuw een literatuur gepubliceerd door 'mechanici' in het Spaans, Portugees, Italiaans, Engels, Frans, Nederlands en Duits. Deze

bestond uit talrijke korte verhandelingen over navigatie, handboeken over wiskunde in de landstaal en dialogen over de problemen van de handel, de technologie en de artillerie (bijvoorbeeld Etienne de la Roche, Tartaglia, Dürer, Ympyn), en talrijke geschriften in de landstaal over metallurgie, architectuur van vestingen, boekhouding, beschrijvende geometrie, de constructie van kompassen enzovoort. Daarnaast waren er nog de wijdverbreide uitgaves van Italiaanse kunstenaars-ingenieurs. Deze boeken werden zorgvuldig door de collega's van de auteur en de kooplieden gelezen. Veel van deze uitgaves, in het bijzonder die over navigatie, kregen vele oplages, maar in de regel werden zij niet opgemerkt door de vooraanstaande geleerden. Zo lang deze scheiding voortduurde, zo lang geleerden er niet aan dachten de als minderwaardig beschouwde methoden van de ambachtslieden te gebruiken, was wetenschap in de moderne zin van het woord onmogelijk. Rond 1550 echter waren er, met de vooruitgang van de technologie, een paar geleerde schrijvers die geïnteresseerd raakten in de mechanische kunsten, die van zo groot economisch belang geworden waren. Zij publiceerden zowel in het Latijn als in de landstaal over de ontdekkingsreizen, navigatie, cartografie, mijnbouw, metallurgie, landmeting, mechanica en artillerie. [8] Uiteindelijk werden de sociale barrières tussen de beide onderdelen van de wetenschappelijke methode doorbroken en de methoden van de hogere handwerkslieden werden door de academisch gevormde geleerden overgenomen: de wetenschap was geboren. Dit was omstreeks 1600 het geval met William Gilbert (1544-1603), Galileo (1564-1642) en Francis Bacon (1561-1626).

William Gilbert, arts aan het hof van koningin Elisabeth, publiceerde het eerste gedrukte boek van een academisch gevormde geleerde, dat volledig gebaseerd was op laboratoriumexperimenten en eigen observaties (*De magnete* 1600). Gilbert gebruikte en ontwikkelde fysische instrumenten, maar maakte nooit gebruik van de wiskunde en hij ontdekte geen natuurkundige wetmatigheden. Hij bezat dezelfde kritische instelling als een modern experimentator. Het Aristotelisme met zijn geloof in autoriteiten en met zijn humanistische overdaad aan woorden, werd door hem hartstochtelijk bekritiseerd. Zijn wetenschappelijke methode was ontleend aan de metaalgieters, mijnwerkers en navigators met wie hij persoonlijk bekend was. De opzet van zijn experimenten en veel andere details had hij overgenomen uit een boek in de landstaal, van de kompasmaker Robert Norman, een voormalig zeeman (1581).

De relatie van Galileo met de technologie, het militaire ingenieurswezen en met de kunstenaars-ingenieurs worden vaak ondergewaardeerd. Toen hij in de tachtiger jaren van de 16de eeuw aan de universiteit van Pisa medicijnen studeerde, werd er geen wiskunde gedoceerd. Hij kreeg privélessen in de wiskunde van Ostilio Ricci, een docent aan de 'Accademia del Disegno'. Dit instituut was twintig jaar eerder opgericht als opleidingsinstituut voor jonge kunstenaars en kunstenaars-ingenieurs. De oprichter was de schilder Vasari. De oprichting van deze school in 1562 en de herkomst van de wiskundige opleiding van Galileo laten zien hoe het ingenieurswezen en hun methoden en technieken oprezen uit de werkplaatsen van de ambachtslieden en tenslotte binnendrongen in het veld van het academisch onderricht. Als jonge professor in Padua doceerde Galileo wiskunde en

sterrenkunde aan de universiteit en gaf hij privélessen in mechanica en techniek. In die tijd richtte hij in zijn huis werkplaatsen in, waarbij handarbeiders zijn assistenten waren. Dit was het eerste 'universiteits'-laboratorium uit de geschiedenis. Zijn eerste studies hadden betrekking op de werking van pompen, de regulatie van rivieren en de bouw van vestingwerken. Zijn eerste publicatie (1606) beschreef een door hem uitgevonden meetinstrument voor militaire doeleinden. Zijn leven lang bezocht hij graag scheepswerven om daar met de arbeiders te praten. In zijn hoofdwerk van 1638, de *Discorsi*, vormt het arsenaal van Venetië de scene van de dialoog. Zijn grootste prestatie -de ontdekking van de wet van de vallende lichamen, gepubliceerd in de *Discorsi*- kwam voort uit een eigentijds probleem bij de artillerie, zoals hij zelf verklaarde. [10] De vorm van de baan van een kogel vormde in die tijd een actueel gespreksonderwerp van schutters. Tartaglia was niet in staat dit vraagstuk correct op te lossen. Galileo vond de oplossing nadat hij zich hier veertig jaar mee had beziggehouden doordat hij de resultaten en metingen van experimenten van handwerkslieden combineerde met geleerde, wiskundige analyses. De variërende sociale herkomst van de beide bestanddelen van deze methode -die de methode van de moderne wetenschap zou worden- is duidelijk in *Discorsi*: de wiskundige afleidingen beschrijft hij in het Latijn, de experimenten beschrijft hij in het Italiaans. Na 1610 schreef Galileo geen verhandelingen meer in het Latijn en richtte hij zich tot de niet-geleerden. Zijn belangrijkste werken zijn daarom geheel of gedeeltelijk in het Italiaans geschreven. Enkele dichters die in de landstaal schreven behoorden tot zijn lievelingsschrijvers. Zelfs in zijn literaire smaak komt zijn voorkeur voor het gewone volk tot uitdrukking. Zijn afkeer van de denkwijze en de methoden van de professoren en humanisten van zijn tijd komt voortdurend terug in zijn verhandelingen en brieven.

Dezelfde tegenstelling tussen het humanisme en scholastiek vinden we ook terug in de werken van Francis Bacon. Geen geleerde voor hem heeft zo hartstochtelijk het geloof in autoriteiten en het nabootsen van de klassieke oudheid aangevallen. Bacon was enthousiast over de grote zeehelden, uitvinders en handwerkers van zijn tijd. Hun prestaties, en alleen die van hen, werden door hem als voorbeelden voor de geleerden neergezet. Het wijdverbreide geloof dat het 'niet eervol is om af te dalen tot het niveau van het mechanische onderzoek van voorwerpen' [11] beschouwde hij als 'kinderachtig'. De inductie die door hem als een nieuwe methode van wetenschappelijk onderzoek uitgeroepen is, is blijkbaar juist de methode van die handwerkers. Hij stierf aan een verkoudheid die hij opliep toen hij een kip met sneeuw volstopte. Deze activiteit maakt eens te meer duidelijk hoe zeer hij de wetenschappelijke mores van zijn tijd aan zijn laars lapte. Een dergelijk experiment hoorde eerder uitgevoerd te worden door een kok of een vilder, dan door de vroegere lord-kanselier van Engeland. Bacon deed geen belangrijke ontdekkingen op het gebied van de natuurwetenschap. Zijn publicaties staan bol van humanistische retoriek, overgeleverde resten van de scholastiek en wetenschappelijke fouten. Hij is echter de eerste schrijver in de geschiedenis van de mensheid die de fundamentele betekenis van het methodische, wetenschappelijke onderzoek voor de vooruitgang van de menselijke beschaving volledig erkend heeft.

Bacon's werkelijke bijdrage aan de ontwikkeling van de wetenschap komt naar voren in zijn verzet tegen de humanisten. De humanisten leefden niet van de opbrengsten van hun geschriften, maar waren economisch afhankelijk van de bankiers, adel en vorsten. Tussen hen en hun begunstigers bestond een soort symbiose. De humanist werd onderhouden door zijn patroon en als tegenprestatie maakt hij hen beroemd met zijn geschriften. Natuurlijk werd hij des te beroemder, naarmate de geschriften van de humanist meer indruk maakten. Vandaar dat individuele bekendheid het beroepsideaal van de humanistische literatuur was. Zij noemden zichzelf vaak 'verbreiders van beroemdheid' en verklaarden publiekelijk dat roem het motief was voor de eigen en voor iedere intellectuele bezigheid. Bacon keerde zich tegen dit ideaal van de persoonlijke roem. Hij verving dit ideaal door twee andere doelstellingen: 'beheersing van de natuur' met behulp van de wetenschap en 'voortgang in kennis'. Voortgang in plaats van roem houdt in dat een persoonlijk ideaal vervangen wordt door een objectieve doelstelling. In zijn *Nova Atlantis* schetst Bacon een ideale staat waarin technologische- en wetenschappelijke voortgang gerealiseerd wordt door een planmatige samenwerking van wetenschappers. In die staat maakt elke wetenschapper gebruik van de resultaten van zijn voorgangers en zijn medewerkers en bouwt hier verder op door. Deze wetenschappers zijn de machthebbers van Nieuw Atlantis. Zij stellen een staf samen van ambtenaren die in negen afdelingen georganiseerd zijn op basis van het principe van arbeidsdeling. Bacons ideaal van de wetenschappelijke samenwerking komt zonder twijfel voort uit de standen van de ambachtslieden en kunstenaars. Aan de ene kant vinden vroegkapitalistische ambachtslieden het immers doodnormaal om gebruik te maken van de ervaring van hun collega's en voorgangers, zoals Bacon beklemtoont en zoals incidenteel door Galileo vermeld wordt. Aan de andere kant had de arbeidsdeling zich in die tijd in de maatschappij en in de gehele economie verder ontwikkeld.

Wezenlijk voor de moderne wetenschap is het idee dat wetenschappers moeten samenwerken in het belang van de voortgang van de beschaving. Noch de elkaar in de haren vliegende scholastici, noch de naar roem hunkerende intellectuelen waren wetenschappers. Dit idee van Bacon is fundamenteel nieuw en is niet eerder naar voren gebracht in de oudheid of in de Renaissance. In dezelfde tijd werden door Campanella en incidenteel door Stevin en Descartes bijna tegelijk ideeën geopperd. Het is bekend dat de Bacon's *Nova Atlantis* het oprichten van wetenschappelijke genootschappen sterk beïnvloed heeft. In 1654 ontstond de Royal Society en in 1663 de Académie Française in Parijs en in 1664 werd voor de eerste keer de *Proceedings* van de Royal Society gepubliceerd. Sinds die tijd is de samenwerking tussen wetenschappers in wetenschappelijke tijdschriften, instituties en organisaties gestaag toegenomen.

Samenvattend is de verheffing van de methodes van de ambachtslieden naar de rangen van de academisch gevormde geleerden aan het einde van de 16de eeuw de beslissende gebeurtenis voor het ontstaan van de wetenschap. De hogere sociale laag kon bijdragen aan de logische opleiding en de theoretische belangstelling. De lagere sociale laag voegde hieraan toe: de betekenis van causaliteit, het experiment, de meting, de kwantitatieve

gebruiksaanwijzingen, die minachting voor schoolse autoriteiten en professionele samenwerking. [12]

III

De hier geschetste verklaring van de wetenschap is duidelijk onvolledig. De geldeconomie en de daarmee samenhangende lagen van opgeleide ambachtslieden en wereldlijke geleerden komen geregeld voor in de geschiedenis. Waarom is het dan zo dat de wetenschap niet vaker tot ontwikkeling kwam? Een vergelijking met de klassieke oudheid kan tenminste één leemte in onze verklaring opvullen.

De klassieke cultuur leverde op het gebied van literatuur, kunst en filosofie prestaties die zeker niet onderdoen voor die van de moderne tijd. Zij bracht talrijke uitmuntende geschiedschrijvers, taalkundigen en grammatici voort. De klassieke retorica was superieur aan haar moderne tegenhangers voor wat betreft verfijning en de hoeveelheid representanten. De prestaties uit de oudheid op het gebied van de theoretische sterrenkunde en wiskunde zijn opmerkelijk, op het vlak van de biologie zijn deze beperkt en ze zijn karig op het gebied van de natuurwetenschappen. Er waren slechts drie natuurkundige wetten bekend in de oudheid: de hefboomwerking, de wet van Archimedes en de optische wet van de breking van het licht. Op het gebied van technologie is één verschil bijzonder opvallend. Machines werden in de oudheid gebruikt voor oorlogsvoering, bij onderhoudende kunstzinnige activiteiten en als speelgoed, maar nooit voor de productie van goederen. De gehele antieke cultuur werd ontsloten door een zeer kleine bovenlaag van renteniers. In de kringen die de openbare mening in de oudheid bepaalden keek men neer op het verdienen van geld door een beroepsmatige bezigheid. Net als in de Renaissance maakten de beeldhouwers en de schilders zich los van de ambachtslieden en stegen ze langzaam op de sociale ladder. Hun prestige bereikte echter nooit die van de schrijvers en redenaars en zelfs in de tijd van Plutarchus en Lucianus werden de grootste beeldhouwers van de oudheid bekritiseerd als ambachtslieden en loonafhankelijken. Kunstenaars werden in vergelijking met dichters en filosofen zelden genoemd in de literatuur en ingenieurs en technische uitvinders eigenlijk al helemaal niet. Deze laatsten waren waarschijnlijk (men weet eigenlijk zeer weinig van hen) hogere handwerkslieden of het waren vrijgelaten slaven die als ploegbaas hun brood verdienden. In de oudheid werd het primitieve handwerk verricht door slaven.

Met betrekking tot onze vraagstelling is dit het beslissende verschil tussen de klassieke en de vroegkapitalistische maatschappij. De ontwikkeling van machines en wetenschap is niet mogelijk in een maatschappij die gefundeerd is op slavenarbeid. Slaven zijn in de regel ongeschoold en men kan de omgang met gecompliceerde machines niet aan hen overlaten. Bovendien bleek slavenarbeid zodanig goedkoop te zijn dat het de invoering van machines

overbodig maakte. Daarbij kwam dat slavernij leidde tot een dusdanige algemene minachting voor handmatig werk dat dit door hoger opgeleiden niet overwonnen kon worden. Dit is de reden dat in de oudheid de kloof tussen woord en daad niet overbrugd kon worden. Alleen de minst vooringenomen geleerden waagden zich aan het experimenteren en sectie verrichten. Slechts enkele geleerden, waaronder Hippocrates en zijn opvolgers, Democritus en Archimedes, deden onderzoek op de wijze van de moderne experimentele en causale wetenschap. Zelfs Archimedes vond het nodig om zich te verontschuldigen voor de constructie van apparaten die ingezet konden worden bij een belegering. Op deze feiten en samenhangen is al meermalen gewezen.

Men kan stellen dat de wetenschap zich volledig kon ontplooien in de moderne westelijke beschaving omdat het Europese vroegkapitalisme gebaseerd was op vrije arbeid. In de vroegkapitalistische maatschappij waren er nauwelijks slaven. De weinigen die er waren, werden niet ingezet in de productie, maar waren een luxeartikel in het bezit van de machthebbers. Klaarblijkelijk is het ontbreken van slavenarbeid een noodzakelijke, maar geen voldoende voorwaarde voor het opkomen van de wetenschap. Ongetwijfeld zouden er meer noodzakelijke voorwaarden gevonden worden wanneer de vroegkapitalistische maatschappij vergeleken zou worden met de Chinese. In China was de slavenarbeid niet overheersend en de geldeconomie bestond sinds ongeveer 500 jaar voor Christus. Ook waren er in China enerzijds zeer begaafde kunstenaars en was er anderzijds een geschoold ambtenarencorps, dat bij benadering vergelijkbaar is met de Europese humanisten. Desondanks bestond er geen causale, experimentele en kwantitatieve wetenschap die vrij was van binding aan de autoriteiten. Waarom dit niet het geval is, is net zomin verklaard als de vraag waarom het kapitalisme in China niet tot ontwikkeling kwam.

Het ontstaan van wetenschap wordt normaliter onderzocht door historici die vooral geïnteresseerd zijn in het chronologische verloop van wetenschappelijke ontdekkingen. Maar de ontwikkeling van wetenschap kan ook onderzocht worden als sociologisch verschijnsel³. Men kan het beroep van de wetenschappelijke auteurs en dat van hun voorlopers vaststellen en nagaan wat de sociologische functie en professionele idealen waren. De tijdsvolgorde kan onderbroken worden en men kan relevante sociologische groepen vergelijken met overeenkomstige groepen uit andere tijdperken of beschavingen. Hierbij kan gedacht worden aan de overeenkomsten en verschillen tussen de middeleeuwse geleerden en de priester-geleerden van India, of aan de humanisten uit de Renaissance in vergelijking met de Chinese mandarijnen, of de ambachtslieden en kunstenaars uit de renaissance in vergelijking met hun collega's uit de oudheid. Aangezien experimenten niet uitvoerbaar zijn in de cultuursociologie, is het vergelijken van overeenkomstige verschijnselen uiteindelijk de enige manier om causale verklaringen te vinden en deze te verifiëren. Het is bizar hoe weinig dit soort onderzoek

³ Hoewel Zilsel Max Weber niet bepaald adoorde lijkt het hier gezien zijn gebruik van op het individu teruggrijpende verklaringen toch dat hij eerder diens opvatting van sociologie aanhing dan die van de positivist pur sang Emile Durkheim die sociale feiten juist tussen de individuen plaatste en uitsluitend het gevolg liet zijn van hun collectief optreden.

verricht wordt. Er is echter geen enkele reden waarom de belangrijkste en meest interessante intellectuele verschijnselen niet sociologisch en causaal onderzocht zouden worden.

Hoofdstuk 2

Het ontstaan van het begrip natuurkundige wet

Samenvatting

Het onderzoek naar natuurkundige wetmatigheden behoort tot de belangrijkste taken van de moderne natuurwetenschap. De natuurwetenschapper observeert terugkerende verbanden tussen bepaalde gebeurtenissen of kwaliteiten. Hij doet dit in de overtuiging dat regelmatigheden die in het verleden geobserveerd zijn, ook in de toekomst zullen voorkomen en hij noemt deze natuurwetten - zeker als het hem gelukt is deze in wiskundige formules uit te drukken. De kennis van natuurkundige wetten is zowel voor de theoreticus als voor de ingenieur van het grootste belang. Wie een natuurwet kent, kan voorspellingen doen en daardoor processen sturen: zonder onderzoek naar wetmatigheden is er geen moderne technologie. Zoals de westerse moderne beschaving in materieel opzicht gebaseerd is op moderne technologie, zo onderscheidt zij zich in geestelijk opzicht van de culturen in alle andere tijdperken en naties doordat zij de bestudering van natuurwetten maakt tot de fundamentele taak van de wetenschap. Primitieve en oosterse beschavingen kennen het begrip natuurwet helemaal niet. We zullen zien dat dit ook in de oudheid en middeleeuwen volslagen onbekend was en dat dit begrip pas halverwege de 17de eeuw ontstond.

Het is curieus dat ondanks het belang van het begrip natuurwet het ontstaan ervan niet eerder grondig onderzocht is. Dit is echter slechts een symptoom van de tamelijk onbevredigende toestand waarin het onderzoek naar de ideeëngeschiedenis in zijn algemeenheid zich bevindt. Men mag de juridische term 'natuurwet' niet verwarren met dezelfde term in de natuurwetenschappelijke context. Zoals bekend heeft het juridische begrip (*ius naturale*, *lex naturale*) betrekking op morele geboden die niet op geldend recht, maar op rede, goddelijk gebod en moreel instinct gebaseerd zijn en die voor alle volkeren gemeenschappelijk zijn. Deze leggen vast hoe redelijke wezens zich dienen te gedragen. Daartegenover staan natuurwetten, die door moderne natuurkundigen onderzocht worden en die slechts vaststellen en beschrijven hoe fysieke processen feitelijk verlopen. In talrijke historische onderzoeken is de ontwikkeling van dat eerste begrip opgehelderd. [1] Daarentegen zijn de historische opmerkingen over het begrip van de natuurkundige wetmatigheid even zeldzaam als karig. De meest waardevolle activiteiten op dit gebied zijn verricht door de samenstellers van enkele woordenboeken. [2] We maken gebruik van het materiaal dat zij verzameld hebben en we proberen dat op essentiële punten aan te vullen. Aangezien het historische probleem dat we behandelen ingewikkeld is en de literatuur hierover zeer uitgebreid is, maken we geen aanspraak op volledigheid. Het juridische begrip natuurwet stellen we in onze bespreking niet centraal. We kunnen het evenwel niet negeren omdat het in zijn embryonale vorm niet los kan worden gezien van het begrip dat de natuurwetenschappers hanteerden.

Het begrip, zoals het in de moderne natuurkunde gebruikt wordt, bevat geen noties van bevel en gehoorzaamheid. Toch is het blijkbaar ontstaan als een juridische metafoor. In een goed geregeerde staat bestaan er wetten die door de burgers meestal gerespecteerd worden. Het

overtreden van de wet gebeurt relatief zelden en er volgt straf als dit wordt ontdekt. Hoe groter de macht van de regering en hoe effectiever het optreden van de politie, hoe minder het voor hen nodig zal zijn om op te treden. Wanneer we uitgaan van de ideale situatie van een almachtige politie en een alwetende regering, dan zou het gedrag van de burgers volledig in lijn zijn met de eisen van de wetgever en de wetten zouden altijd gerespecteerd worden. Met een dergelijke ideale staat werd de natuur in de 17de eeuw vergeleken. De waargenomen, terugkerende verbanden tussen natuurkundige verschijnselen waarin de natuurwetenschappers en filosofen van die tijd zich begonnen te interesseren, werden geïnterpreteerd als goddelijke geboden en werden wetten genoemd. Het begrip natuurwet kwam dus voort uit theologische opvattingen. Later raakten de niet-empirische onderdelen ervan geleidelijk in de vergetelheid. Ons historisch onderzoek moet zich daarom richten op het idee van God als wetgever ten opzichte van de natuur en de invloed van dit idee op de opkomende natuurwetenschappen. Omdat men over het algemeen geneigd is huidige opvattingen te beschouwen als het resultaat van het vanzelfsprekende verloop van de dingen en men deze kritiekloos toeschrijft aan denkers uit het verleden, zullen we [in ons betoog] de nadruk leggen op de verschillen tussen het moderne denken en het denken van vóór de 17de eeuw. Tenslotte zullen we proberen op sociologische wijze te verklaren waarom het begrip natuurkundige wet toentertijd ontbrak en waarom dit in het tijdperk van Descartes, Hooke, Boyle en Newton tot stand kwam.

2. De wortels van ons begrip gaan terug tot de oudheid. Ze bestaan uit slechts enkele passages uit de Bijbel en het Corpus Juris. Enkele andere ideeën uit de antieke oudheid zijn minder relevant.

De goddelijke wetgever is de centrale gedachte van het jodendom. Aangezien God ook de schepper van de wereld is, is het makkelijk te begrijpen dat het idee ontstond dat hij zijn volk niet alleen morele en rituele wetten schonk, maar dat hij ook in de fysieke wereld bepaalde verboden heeft geïntroduceerd. In een beschrijving van de macht en alwetendheid van God zegt Job 28,26: God heeft een wet voor de regen gemaakt (en een weg gebaad voor het licht en de bliksem). De Hebreeuwse tekst gebruikt het woord *chok*. Dit is afgeleid van het werkwoord *chokak*, dat 'graveren' betekent en een uitdrukking is die in het oude testament wordt gebruikt voor morele en rituele wetten. De Septuagint vertaalt dit zeer los als: 'hij telde de regen *ἐμετρίσεν*', de Vulgaat vertaalt dit letterlijk met *ponebat legem*. Het woord *chok* wordt ook in Job 26,10 gebruikt maar dan eerder in de betekenis van het stellen van grenzen. Daar heet het dat de heer een grens aan het water gesteld heeft (Septuaginta: *πρόσταγμα*, Vulgaat: *terminum*), tot het einde van licht en duisternis. Vergelijkbaar zegt Job 38,10 de heer heeft de oceaan een grens gesteld en haar afgesloten met deur en grendelbalk. (*chok*, *ὁ ὅρος*, *terminos*); het daaropvolgende vers 11 gebruikt de uitdrukking een goddelijk bevel, of liever een verbod, zonder de term 'wet' te gebruiken; de Heer zegt tot de zee: 'Tot hier behoort je te komen en niet verder! Hier behoren je trotse golven te gaan liggen!' De Hebreeuwse tekst gebruikt de toekomstige tijd om het bevel uit te drukken, zoals dit in het Hebreeuws gebruikelijk is en zoals dit ook in de tien geboden gebeurt. De Septuagint en ook de Vulgaat vertalen dit letterlijk in de toekomstige tijd.

Er is nog een andere, overeenkomstige passage in het Oude Testament. Psalm 104,9 zegt dat de Heer een grens aan het water heeft gesteld (gevol, terminum) die het niet mag overschrijden; het water mag zich niet langer tegen de aarde keren om deze te bedekken. (Hebreeuws: toekomstige tijd). In Spreuken 8,29 wordt zelfs twee keer het woord wet (chok) gebruikt dat echter in de vertaling twee verschillende betekenissen krijgt. Er wordt gezegd dat de Heer de zee een decreet (chok, terminum) heeft opgelegd, zodat het water zijn gebod (chok, legem) niet overtreedt. En in Jeremia 5,22 is de formulering dat de Heer de zee het zand als grens (chok, πρόσταγμα, praeceptum) heeft gesteld, zodat dit niet overschreden kan worden en ofschoon de golven zich daarop werpen, kunnen zij niet winnen; ofschoon ze brullen kunnen ze de grens niet overschrijden (Hebreeuws: toekomstige tijd). [3]

In de tien verzen van het Oude Testament hebben we kennis gemaakt met het oudste stadium van het begrip natuurwet. De invloed van de bijbel op het westerse denken is immens. Deze verzen zijn door de eeuwen heen steeds opnieuw aangehaald en hebben een fundamentele bijdrage geleverd aan de begripsvorming van de opkomende natuurwetenschap. In de tekst van de Vulgaat (die voor het ontstaan van het protestantisme de doorslaggevende factor was) is tweemaal de uitdrukking wet (lex) te vinden (Job 28,26 en Spreuken 8,29) en éénmaal (Job 38,11), de uitdrukking goddelijk gebod. Op deze plaats en in het bijzonder bij Jeremia 5,22 is duidelijk de gedachte terug te vinden dat de zee, die onderworpen is aan dit goddelijke bevel, tegenstand zou kunnen bieden. Maar vanwege zijn zwakte is de zee gedwongen te buigen voor de superieure macht van de Heer. Dit zou een restant kunnen zijn van een uit oude tijden overgeleverd animisme en geloof in demonen. Regen, bliksem en donder, de winden en in het bijzonder de zee, zijn onderworpen aan de bevelen van God. Dit staat nog ver af van het laboratorium, de plaats waar het wetenschappelijk begrip van de natuurwet is geboren. De empirische achtergrond van het Bijbelse idee is vermoedelijk de observatie dat er in de natuur bepaalde, blijvende verschijnselen zijn, zoals de golven van de zee. Deze komen op en trekken zich terug wanneer ze door een storm opgezweept worden, maar uiteindelijk blijft de scheidslijn tussen zand en water onveranderd. Weer en wind richten aanzienlijke schade aan, maar uiteindelijk gaat het leven zijn normale gang. Deze observaties hebben betrekking op bepaalde empirische regelmatigheden en zouden dicht bij de uitkomsten van de moderne natuurwetten komen wanneer de omstandigheden waaronder zij zich voordoen nauwkeurig vastgelegd zouden zijn. Uiteraard waren de auteurs van het Oude Testament niet geïnteresseerd in dergelijke verklaringen. Ze waren door het emotionele idee geïnspireerd dat de natuur die beheerst wordt door de Heer, zich gedraagt zoals deze zich gedragen moet en beperkten zich daarom tot zeer vage aanduidingen als het ging om de vraag hoe dit plaatsvond. Dit idee van een 'moeten' maakte deel uit van de vorming van het begrip van natuurkundige wet, maar dit werd uitgebreid met een exacte beschrijving van de empirische feiten. In de verdere ontwikkeling raakte het idee van deze noodzakelijkheid langzamerhand op de achtergrond en verdween uiteindelijk helemaal: de waarneembare, herhaalde relaties van gebeurtenissen bleven over als de enige inhoud van natuurkundige wetten. [4]

3. De klassieke oudheid is het idee niet geheel vreemd dat natuurkundige processen door een god of goden bewaakt en afgedwongen worden als waren het rechters. Dit idee is al aanwezig

in het oudste mondeling aan ons overgeleverde fragment van de Griekse taal. In de eerste helft van de 6de eeuw v.Chr. zegt Anaximander [5] dat alle dingen ontstaan zijn uit het onbepaalde van de eerste substantie en daar 'noodzakelijkerwijs' weer naar terugkeren; 'want ze straffen elkaar en doen boete voor de inbreuk die zij plegen op de ordening van de tijd' - hoewel Goden als wetgevers of rechters hier niet genoemd worden. Deze duiken een halve eeuw later op bij Heraclitus. 'De zon', aldus Heraclitus, 'blijft in haar baan; zo niet, dan zullen de Erineën, de dienstboden van Dike (Godin van de gerechtigheid), haar opsporen'. [6] Bij Anaximander is de fysieke regelmaat, die door hem half mythologisch, half juridisch wordt opgevat, nog op een metafysische constructie gebouwd: niemand heeft ooit waargenomen dat alle dingen voortkomen uit het onbepaalde en daar weer naar terugkeren. Daarentegen is bij Heraclitus de fysieke vaststelling te herleiden tot feitelijke observatie, want de regelmatige loop van de zon is een empirisch feit. Deze regelmatigheid wordt kennelijk als feit verondersteld en niet beschreven.

In de daaropvolgende periode verdwijnen met het voortschrijdende rationalisme de schaarse aanduidingen van een juridische interpretatie van het verloop van de natuur. Ten tijde van de sofisten werden de termen 'wet' en 'natuur', νόμος en φύσις zelfs tegenstellingen: 'wet' heeft betrekking op al datgene dat als zuivere conventie door mensen kunstmatig ingevoerd wordt. Democritus wist daardoor überhaupt niets van 'natuurwetten', hoewel hij alle fysieke verschijnselen oorzakelijk trachtte te verklaren. Om dezelfde reden gebruikte Aristoteles een eeuw later nooit de metafoor van de wet. [7] Plato gebruikt de term 'natuurwet' slechts één keer en wel om het verschil tussen het gedrag van een gezond en een ziek lichaam te karakteriseren. [8] Als karakterisering van een gezonde en normale toestand verschijnt deze term ook in de 2de eeuw v.Chr. bij Lucianus [9]. De metafoor van de wet speelt alleen bij de Stoïcijnen een zekere rol. De Stoïcijnen waren deterministen en geloofden in het lot en de goddelijke voorzienigheid. Zij leefden in een tijdperk van opkomende monarchieën en beschouwden het universum als een door de goddelijke Logos geleid wereldrijk. Hierdoor was het idee van een natuurwet hen niet onbekend. Dit heeft overwegend betrekking op morele voorschriften die gebaseerd zijn op de rede. Dit Stoïcijns idee is de oorsprong van het juridische begrip van natuurwet, die de jurisprudentie en de politieke filosofie 2000 jaar lang heeft beïnvloed. Slechts een enkele keer pasten de Stoïcijnen dit begrip ook toe op fysieke processen, waarbij echter de beide betekenissen nooit ondubbelzinnig uit elkaar werden gehouden. Zeno, de stichter van de school, spreekt in deze ambigue betekenis over natuurwetten. Zijn leerling Cleanthes noemt in zijn bekende hymne op Zeus tot driemaal aan toe de 'wet waarmee de vorst van de natuur het universum regeert'. Enkele verzen later spreekt hij over de gehoorzaamheid van het firmament en de sterren; op twee andere plaatsen heeft de wet betrekking op de zedenwet. Zijn opvolger, Chrysippus, vergelijkt eenmaal uitvoerig het universum met een staat en noemt de rede (λόγος) een wet (νόμος) tegenover de natuur. [10] In Cicero's Over de wetten wordt het concept van een natuurwet niet op fysieke begrippen toegepast.

De Stoïcijnen waren niet bijzonder geïnteresseerd in fysieke verschijnselen en gaven nooit een voorbeeld van een natuurwet die betrekking heeft op fysieke verschijnselen. Dergelijke

voorbeelden komen naar voren in het begin van het christelijke tijdvak, bij Ovidius. Ovidius beklagt zich soms over het verraad van een vriend; zijn trouweloosheid is zo onbeschrijfelijk groot dat rivieren bergopwaarts zullen stromen en de zon achteruit zal gaan, dat water vuur, en vuur water voort zal brengen, alle 'dingen zullen tegen de wetten van de natuur ingaan' (*Naturae praepostera legibus ibunt*). [11] Het is mogelijk dat het idee dat aan de gebruikelijke loop van de natuur wetten ten grondslag liggen, beïnvloed is door de stoïcijnen. Anderzijds betekent de term 'wet' bij Ovidius amper meer dan het tegenovergestelde van wanorde: op meerdere plaatsen noemt hij ongekamde haren 'zonder wet' (*sine lege*). [12] Een min of meer afzonderlijke passage bij de stoïcijn Seneca lijkt echter dichter bij het moderne taalgebruik te liggen. Seneca is niet verrast dat kometen, als zijnde zeer zelden optredende fenomenen, 'nog niet onderworpen zijn aan bepaalde wetten (*nondum teneri legibus certis*)'. Het nageslacht zal verrast zijn, zo zegt hij, dat we zulke evidente zaken genegeerd hebben.[13] Het is mogelijk dat de stoïcijnse gedachte van een goddelijke wet, die identiek is aan de goddelijke rede, hier een rol speelt.

In ieder geval was de metafoor van de wet in de oudheid niet geheel onbekend. Dit wordt ook geïllustreerd door de term astronomie. Het Griekse woord *nomos* betekent wet en de wetenschap van de sterren had niet astronomie genoemd kunnen worden als niet ook de voorstelling bestond dat de ordening en de regelmaat van de stellaire bewegingen analoog zijn met de menselijke wet. De namen astrologie en astronomie waren oorspronkelijk synoniem. [14] Reeds in de 5de eeuw v.Chr. was Aristophanes vertrouwd met het begrip 'astronomie'. [15] Enkele schrijvers, zoals Aristoteles, Archimedes, Polybios, en Hipparchus gebruikten uitsluitend de term 'astrologie'. Anderen, zoals Pappus en Seneca, gaven de voorkeur aan 'astronomie'. Met de toenemende invloed van het oosterse bijgeloof krijgen uiteindelijk de magische aspecten in de term 'astrologie' de overhand. In de 5de eeuw n. Chr. definieert de Latijnse encyclopedie voor monniken de 'astronomie' met een letterlijke vertaling uit het Grieks als de wetenschap die zich met de 'wetten van de sterren' (*lex astrorum*) bezighoudt. [16] In de astrologische geschriften van de late oudheid worden natuurwetten soms in een uitsluitend magische betekenis aangehaald. Zo heeft bijvoorbeeld de astroloog Vettius Valens (ongeveer 150 na Chr.) het in een discussie over de astrologische predeterminatie van de 'wetgeving' van de natuur, het lot en van de sterren. [17]

4. In zijn algemeenheid moet men de overeenkomst tussen het klassieke begrip van de natuur en de moderne natuurwetenschap niet overschatten. In de oudheid was men al bekend met deterministische ideeën. Deze komen al naar voren in de leer van Heraclitus over het vurige Logos die het universum beheerst en die zichzelf uitdrukt in de cyclische veranderingen van de materie. Deze worden tot in detail verklaard in de Stoïcijnse leer van het lot. Twee punten mogen hierbij niet over het hoofd worden gezien. Op de eerste plaats spraken de deterministen uit de oudheid veel vaker over logos dan over *nomos*, veel vaker over de rede dan over de wet van het universum. Op de tweede plaats was de deterministische leer uit de oudheid meer gekleurd door mystiek en emotie dan door wetenschap en observatie. Heraclitus en de stoïcijnen voelden dat de ontwikkeling van het universum noodzakelijk en gedwongen was, maar ze waren niet geïnteresseerd in de afzonderlijke fysieke wetten. De

kloof tussen het determinisme van de Stoïcijnen en van de natuurwetenschap wordt onder meer zichtbaar in de opvatting van de Stoïcijnen dat ze profetieën beschouwden als een bewijs voor hun leer van het lot. [18] De bijgelovige Stoïcijnen waren deterministen. Anderzijds gebruikten de klassieke vertegenwoordigers van een wetenschappelijke verklaring van de natuur, zoals Democritus en Lucretius, die altijd partij kozen voor een causale verklaring van de natuur, niet de metafoor van de wet. Het is veelzeggend dat, terwijl de moderne vertalingen van Lucretius steeds weer spreken van natuurkundige wetten, Lucretius zelf deze term niet kende. [19] In het voetspoor van Epicurus benadrukte Lucretius dat er drie fundamentele principes in de natuur zijn. In zijn gedicht spelen de natuurkundige wetten een soortgelijke rol als in de moderne wetenschap: niets kan uit niets ontstaan, er is niets dat vernietigd kan worden en de som van de beweging in de natuur is constant. [20] Omdat alle kwantitatieve details ontbreken, zijn diens 'wetten tot behoud' (zoals men geneigd is deze te noemen) uiterst vaag. Bovendien heeft Lucretius het niet over wetten, maar over principes. In de epicuristische filosofie zijn er geen 'wetten' van de natuur en kunnen deze ook niet bestaan aangezien de goden zich niet om de wereld bekommeren.

Ook elders is er in de wetenschap uit de oudheid nauwelijks ruimte voor natuurwetten. Aristoteles trekt enige algemene conclusies die bij benadering overeenkomen met de wetten van de beweging: ondermaanse lichamen streven naar hun natuurlijke positie, hemelse lichamen bewegen zich in kringen- maar deze zijn vaag geformuleerd, onjuist en teleologisch geformuleerd. En, uiteraard, werden ze door Aristoteles geen 'wetten' genoemd. [21]

Merkwaardigerwijs waren er in de oudheid slechts drie correct geformuleerde fysische wetten bekend: de hefboomwet, de optische wet van de reflectie en de wet van de opwaartse druk. Archimedes bespreekt deze alle drie zonder evenwel het begrip 'natuurwet' te hanteren. Hoewel Archimedes veruit de bekendste natuurkundige uit de oudheid was en hij zeker alle drie deze wetten experimenteel verifieerde (de wet van de opwaartse druk werd door hem zelfs experimenteel ontdekt), geeft hij geen empirische verklaring. Hij hanteert de deductieve methode van Euclides, begint met postulaten, leidt hiervan de natuurkundige regels af en levert het bewijs, alsof het wiskundige theorema zijn.[22] Zelfs van een meer afstandelijk punt gezien, is zijn methode euclidisch: alle theorema zijn als euclidische theorema genummerd. In een wiskundige afleiding is er blijkbaar geen plaats voor de metafoor van de wet. Archimedes heeft het net zomin over de 'wet' van de opwaartse druk als Euclides over de 'wet' van Pythagoras. [23] De deductieve methode van Archimedes heeft waarschijnlijk zijn oorsprong in hetzelfde sociologische verschijnsel dat ook de gebrekkige toestand van de natuurkunde in de oudheid veroorzaakte. De antieke beschaving berustte op slavenarbeid en over het algemeen hadden de heren en hun vertegenwoordigers geen beroepen, maar waren ze renteniers. Daarom waren in de klassieke opvatting logische deductie en wiskunde aangelegenheden voor de vrijgeboren mensen, terwijl het experimenteren, dat niet zonder handwerk kon, behoorde tot de bezigheden van de slaven. Zelfs Archimedes gaf uitdrukking aan zijn minachting voor handwerk en technologie. [24] In zijn algemeenheid was de ontwikkeling van de natuurkunde in de oudheid ernstig verzwakt door de minachting voor handarbeid, technologie en het experiment. En daar waar de natuurkunde in een tamelijk embryonale toestand stagneert, kan het begrip natuurwet zich niet verder ontwikkelen.

Een ander literair document uit de oudheid heeft enige elementen aangedragen voor het moderne begrip van de natuurwet. Dit is het Corpus Juris. In de inleidende paragrafen van de Pandectae als ook van de Institutiones ⁴ wordt de Stoïcijnse opvatting over de natuurwet (ius naturale) verklaard. In tegenstelling tot het positieve recht is de natuurwet gebaseerd op de zuivere rede, onveranderlijk en voor alle volkeren geldig. Voor het merendeel worden morele verplichtingen -zoals de verering van God, de gehoorzaamheid ten opzichte van de ouders- als voorbeelden aangehaald. [25] Anderzijds wordt vastgesteld dat de 'natuur alle dieren de natuurwet geleerd heeft'. Hieruit is de verhouding tussen man en vrouw, de voortplanting en de opvoeding van de nakomelingen, afgeleid. Kennelijk zijn er in deze verklaring twee verschillende ideeën vermengd. Aan de ene kant is er een aantal feiten vastgesteld. Het empirische feit dat zoogdieren zich voorplanten door seksueel verkeer en zorgen voor hun nakomelingen kan een biologische wet in de moderne zin van het woord worden genoemd. Anderzijds worden deze feiten geïnterpreteerd als het gevolg van een soort wettelijke toestemming of bevel waarbij de natuur of God de wetgever is. [26] Deze verwarring vergemakkelijkte nog eeuwen later de toepassing van de metafoor van de wet op fysische gebeurtenissen. In de ideeëngeschiedenis was de Corpus Juris bijna net zo invloedrijk als de Bijbel.

5. De Christelijke Middeleeuwen droegen niets bij aan de ontwikkeling van ons begrip. Het is daarom niet nodig om ons uitgebreid bezig te houden met middeleeuwse auteurs. Natuurlijk worden de passages in de Bijbel over God als wetgever vaak geciteerd en geïnterpreteerd door de kerkvaders en scholastici. Ook de opvattingen van de stoïcijnen en van het Corpus Juris over het natuurrecht (ius naturale) oefenden enige invloed uit. Een passage van de christelijke redenaar Arnobius (300 na Chr.) is enigszins van belang, aangezien daarin bepaalde voorbeelden gegeven worden van natuurkundige regelmatigheden die door theologen met een beroep op goddelijke wetten worden verklaard. Om aan te tonen dat de christelijke godsdienst niet iets monsterlijk is, vraagt Arnobius [27] aan zijn toehoorders, of de 'oorspronkelijke wetten uit de begintijd' sinds de tijd van de verspreiding van het nieuwe geloof, overboord zijn gegooid. Alle voorbeelden worden gepresenteerd in de vorm van retorische vragen. Hij verklaart dat de kwaliteiten van de elementen niet veranderd zijn. De structuur van de machine van het universum (vermoedelijk bedoelt hij hiermee het astronomische systeem) is niet ontbonden. De draaiing van de hemel en de opkomst en ondergang van de sterren zijn niet veranderd. De zon is niet afgekoeld. De verandering van de maanstanden, de wisseling van de seizoenen en de afwisseling tussen langere en kortere dagen zijn nooit opgehouden of verstoord. Het regent nog steeds, het zaad ontkiemt nog altijd en nog steeds krijgen de bomen bladeren, die ze weer verliezen, enzovoorts. Hij ontleent al zijn voorbeelden uit hetzelfde gebied waaruit ook de Bijbel en Ovidius hun voorbeelden ontleen; vanzelfsprekend zijn het geen onderwerpen die relevant zijn in de setting van een natuurkundig laboratorium. Een zekere voorkeur voor astronomische en cyclische processen is duidelijk herkenbaar. Ongeveer 400 na Chr. ontwikkelde St. Augustinus [28] het begrip van de eeuwige wet van God, die het universum beheerst. Augustinus' idee van een eeuwige wet

⁴ Van de Codex Iuris Civilis zoals door de Oost-Romeinse keizer Justinianus ingesteld tussen 529 en 534 AD..

stamt af van het Bijbelse idee van God als wetgever, maar het is een volledig teleologisch begrip. Het is identiek aan de ondoorgrondelijke voorzienigheid van God en heeft niets van doen met de natuurwet van de moderne wetenschap.

Een uitvoerige bespreking bij Thomas van Aquino werpt licht op het scholastische wetsbegrip en kan voor zover het ons onderwerp betreft, geanalyseerd worden. Thomas combineert naar het schijnt, logische precisie met een aanmerkelijke portie empirische vroomheid. In zijn definitie [29] is een wet een 'regel en maat waaraan het handelen afgemeten kan worden'. We zullen nog zien dat in één geval fysische processen en verschijnselen door dit begrip gedekt worden. Thomas onderscheidt het 'positieve' en het 'natuurlijke' recht (*ius naturale*). [30] Het eerste moet verkondigd worden door de wetgever (en heeft daarom geen consequenties voor ons onderwerp), het laatste heeft dat niet nodig. De reden hiervoor is dat het positieve recht 'verkondigd is door het unieke feit dat God het in de geest van elke mens geplant heeft, waardoor het door de mens als natuurlijk wordt opgevat'. [31] Later wordt de natuurwet gedefinieerd als de 'aanwezigheid van de eeuwige wet in schepselen die beschikken over verstandelijke vermogens'. [32] Met deze 'eeuwige wet' (*lex aeterna*) hebben we het gebied van het menselijk handelen verlaten. Het is 'de grondvorm [type] (ratio) van de goddelijke wijsheid waardoor alle handelingen en bewegingen bepaald zijn'. [33] Thomas verklaart dat God alle bewegingen en handelingen van alle schepselen beheerst en zich tot de wereld verhoudt als een kunstenaar tot zijn creatie. Omdat in elke kunstenaar het soort ordening (*ratio ordinis*) die door hem wordt gemaakt van tevoren al bestaat, heeft de grondvorm [type] (ratio) van de goddelijke wijsheid het karakter (*rationem*) van een wet. Zo is het idee stellig geformuleerd dat de natuur in haar totaliteit (niet alleen menselijke handelingen) onderworpen is aan de wet. Drie punten moeten in dit verband echter benadrukt worden. Op de eerste plaats is de gedachte, dat de grondvorm van de wereldordering van tevoren in God bestaat, overduidelijk afkomstig van Plato. Op de tweede plaats is de ordening die Thomas voor ogen heeft een teleologische, geen oorzakelijke: hij vult de woorden 'goddelijke wijsheid' die we eerder aangehaald hebben aan met een indicatieve aanvulling dat 'alles zich naar zijn vastgesteld doel beweegt' (*ad debitum finem*). [34] De afstand tot het moderne begrip van de natuurkundige wet is aanzienlijk.

Iets later [35] bespreekt Thomas tegenwerpingen, die stellen dat irrationele wezens niet onderworpen kunnen zijn aan een eeuwige wet omdat deze niet aan hen geopenbaard kan worden aangezien zij geen deel hebben aan de rede. Deze bezwaren worden nadrukkelijk van de hand gewezen. Expliciet wordt geformuleerd dat 'alle bewegingen en handelingen van het geheel van de natuur onderworpen zijn aan de eeuwige wet'. Wat voor mensen de verkondiging is, is voor 'de natuurlijke dingen de impressie van een immanent actief principe' (d.i. een aristotelische entelechie). Het enige voorbeeld dat echter aangehaald wordt, is de zee die volgens Spreuken 8:29 een wet van God ontving. Wat betreft de natuurwet deelt Thomas de dubbelzinnigheid van het *Corpus Juris*. Aan de ene kant geeft hij morele voorschriften als voorbeeld (het kwade moet vermeden worden); aan de andere kant citeert hij de *Pandecten* [of: *Digesten*] en verklaart dat het geslachtsverkeer en het nakomelingschap bij de dieren gebaseerd is op een natuurwet. De mens heeft zelfs enkele natuurwetten

gemeen met de onbezielde materie: niet alleen de mens streeft naar het behoud van zijn bestaan, maar elke substantie. [38]

In zijn totaliteit verbindt Thomas het Bijbelse idee van God als wetgever van het heelal met het begrip natuurwet uit de oudheid met zijn Platoonse en Aristotelische inhouden. Zijn begrip van de eeuwige wet is daarom volledig teleologisch en identiek met het beeld van de goddelijke voorzienigheid. In de context van onze bespreking is het bovendien relevant om een onjuiste interpretatie van zijn interesse in fysische regelmatigheden aan te halen. De passages in de *Summa Theologica* waarin deze te vinden zijn, vormen een samenvatting van een uitgebreide redenering: in de uitgave van Paus Leo XIII (Rome 1892), vullen ze net twee kantjes, terwijl de totale bespreking van de wet meer dan 207 bladzijden in beslag neemt. De *Summa Theologica* is in werkelijkheid geïnteresseerd in alle theologische problemen die samenhangen met het begrip wet en houdt zich slechts met fysieke verschijnselen bezig voor zover deze in de Bijbel of in het *Corpus Juris* vermeld staan.

6. Wanneer we nu de auteurs van de moderne tijd bespreken, moeten we op de eerste plaats aantonen dat het begrip natuurwet niet vóór de 17de eeuw bekend was. Aangezien we vele auteurs moeten bespreken, hebben we ze in groepen ondergebracht waarbij we soms moeten afwijken van de chronologische volgorde. We zullen met enige theologen en juristen beginnen.

Het wijdverspreide handboek van de jurisprudentie *Doctor and Student* van Christopher Saint Germain dat in het Latijn in 1532 is uitgegeven en in het Engels in 1530 en 1531, herhaalt kort de opvattingen van Thomas en van de *Corpus Juris* over de eeuwige wet waaraan het heelal onderworpen is en over de natuurwet. Bij deze laatste worden twee betekenissen onderscheiden: de ene heeft alleen betrekking op de met verstand begaafde wezens, de andere betekenis heeft betrekking op alle schepselen. [37] De eerste betekenis is zuiver juridisch, de tweede heeft betrekking op alle biologische en fysische verschijnselen. Zeventig jaar later vertolkt Richard Hooker dezelfde opvattingen uitgebreider in het eerste hoofdstuk van zijn verhandeling 'The Laws of Ecclesiastical Polity' dat in 1592 of 1594 werd uitgegeven. [38] Natuurlijk kent en bespreekt hij de eeuwige wet van God, die identiek is met de goddelijke voorzienigheid. Bij de natuurwet maakt hij een onderscheid tussen de natuurwet voor met rede begaafde wezens en de natuurwet die 'onbewust door de hemel en de elementen wordt opgevolgd'. [39] Hij voegt hieraan toe dat dit laatste 'meer omvat dan de kennis die de mensen tot nu toe behaald hebben of ooit zullen behalen'. De wetten van de natuur, die een eeuw later het belangrijkste onderwerp van wetenschappelijk onderzoek zouden worden, worden beschouwd als niet-kenbaar. Hooker onderbouwt de gedachte van God als wetgever van de regen en van de zee met de Bijbel en geeft een opsomming van natuurwetten die herinnert aan Ovidius en Arnobius. [40] De elementen veranderen niet van eigenschappen: de hemelse sfeer, zon en maan bewegen zich regelmatig; de wisseling van de seizoenen, wind en regen stellen de aarde in staat vrucht te dragen. Als deze ordening verstoord zou worden, 'wat zou

er dan van de mensen worden voor wie al deze dingen ten dienste staan'? Klaarblijkelijk is Hooker's begrip van natuurwet nog geheel antropocentrisch en teleologisch.

Jean Bodin, de belangrijkste politieke filosoof van deze eeuw, meldt niets wezenlijk over ons probleem. [41] Suarez daarentegen zet een belangrijke stap naar een logische verklaring van het begrip wet. In zijn verhandeling *Tractatus de Legibus* (1612) houdt de Spaanse Neoscholasticus consequent vast aan het onderscheid tussen 'moraal' en 'natuur' [42] en beperkt de term 'wet' in zijn eigenlijke betekenis tot de moraal. Suarez bekritiseert de definitie van wet van Thomas van Aquino omdat deze dit onderscheid negeert. [43] Hij stelt: [44] 'dingen die de rede ontberen zijn eigenlijk niet in staat zich te houden aan de wet, noch in staat tot gehoorzaamheid'. Bij hen wordt de werking van de macht van God en van de noodzakelijkheid van de natuur alleen een wet genoemd in metaforische zin. De formulering van de heilige schrift (hij haalt de bekende plaatsen aan) is volgens hem in overeenstemming met zijn verklaring. Zo interpreteert hij ook de Bijbel in de paragraaf over de eeuwige wetten. [45] De verklaring dat er niet met rede begaafde en zelfs onbezielde levende wezens zijn die zelfs aan de eeuwige wet onderworpen zouden kunnen zijn, noemt hij [46] 'enkel een manier van uitdrukken'. Ook het *Corpus Juris* maakt gebruik van een 'metafoor' als het gaat over de natuurwet bij dieren, die feitelijk hun 'natuurlijk instinct' volgen. [47] De echte natuurwet heeft alleen betrekking op de menselijke geest. [48] Vast staat dat Suarez van natuurwetten in de moderne zin van het woord net zomin iets afwist als Thomas, maar zijn begrip van wet is duidelijk moderner. De intellectuele overgang van Thomas naar Suarez wordt in de laatste paragraaf verklaard.

7. Buiten de kring van juridische en theologische schrijvers wordt de term natuurwet rond 1600 nauwelijks gebruikt. In 1570 is John Dee, de alchemist van koningin Elisabeth, van mening dat 'de natuur de lege ruimte zo verafschuwt, dat -in tegenstelling tot de normale wetten- de elementen zich bewegen of stil blijven staan'. Montaigne gebruikt in zijn *Essays* (1582) de term natuurwet slechts eenmaal en dan slechts in zijn juridische betekenis. [49] Shakespeare laat Falstaff eenmaal op een humoristische wijze over de natuurwet in zijn juridische betekenis spreken. In *Cymbeline* (1609) noemt hij het daarentegen een 'wet van de natuur' dat het menselijke embryo negen maanden in het lichaam van de moeder blijft. Shakespeare voegt daarmee nog een voorbeeld van een voorwetenschappelijke natuurwet toe aan de voorbeelden uit de Bijbel en van Ovidius, Arnobius en Hooker.

Het begrip wordt vaker door Francis Bacon gehanteerd. In zijn *Advancement of learning* (1605) bespreekt Bacon de piramide van de wetenschappen en benoemt bij de 'totale wet van de natuur' kennis als het 'verticale punt'. [50] Hij betwijfelt echter of deze kennis door mensen kan worden verworven. Een citaat in het Latijn maakt de theologische oorsprong van dit idee duidelijk: 'het werk dat God van het begin tot aan het einde verricht'. In *Novum Organum* wordt de term 'wet' zeer vaak als synoniem aan 'vorm' gebruikt. 'Wanneer wij van vormen spreken', aldus Bacon, [51] 'dan bedoelen wij niets anders dan die wetten en bepalingen van de pure daad van het ordenen en opbouwen van de eenvoudige natuur... de vorm van de hitte

en de wet van hitte zijn identiek'. Deze 'wetten' of 'vormen' worden door Bacon als tamelijk geheimzinnige verschijnselen behandeld. Ze staan dicht bij de alchemie dan bij de moderne wetenschap en worden door Bacon beschouwd als de essentie van de dingen en kwaliteiten en zijn overduidelijk restanten van de Aristotelische en Scholastieke formae substantiales. De enige vraag is hoe Bacon ertoe kwam om de term 'wet' te introduceren voor dit Middeleeuws begrip. Zoals de passage in *Advancement of learning* aantoont, heeft hij deze uitdrukking aan de Bijbel ontleend. Hiermee legt de terminologie van Bacon weer de theologische wortels van het begrip natuurkundige wet bloot. Hoe ver Bacon nog van dat begrip verwijderd was, illustreert het feit dat Bacon onbekend was met de wet van de hefboomwerking. [52]

8. We hebben nu de periode bereikt van de opkomende natuurwetenschap en kunnen een onderzoek instellen naar het gebruik van het begrip natuurwet door de pioniers ervan. Het resultaat wijkt behoorlijk af van de verwachtingen.

Copernicus (1543) spreekt over de 'machine van de wereld die door de beste en meest standvastige handwerkers geschapen is', [53] maar nooit over de wetten van deze machine of die van het zonnestelsel. Hetzelfde geldt voor William Gilbert die tot de eerste aanhangers van Copernicus in Engeland behoorde. In zijn werk *De Magnete* heeft hij het éénmaal, tijdens een bespreking van de nauwkeurigheid van het lentepunt, over een 'regel en norm van gelijkheid' die mogelijkwits met behulp van enige hypothesen aan de gecompliceerde astronomische bewegingen toegeschreven kunnen worden. [54] Dit is bijna identiek aan het moderne begrip van de natuurkundige wet, hoewel dit begrip niet gehanteerd wordt. Aan deze op zichzelf staande passage mag niet te veel betekenis worden toegekend. *De Magnete* is het eerste gedrukte boek van een geleerde over experimentele fysica. Gilbert doet talrijke, zorgvuldige, empirische waarnemingen, maar beperkt zich in zijn algemene theoretische verklaringen tot metafysische generalisaties over de bezielde van de aardbol en de magneet. In zijn uitvoerige bespreking van magnetische verschijnselen trekt hij één keer drie zeer vage conclusies, die men zou kunnen duiden als magnetische wetten. [55]

Ze worden echter alleen gepresenteerd in een kort hoofdstuk dat getiteld is 'Enige problemen', maar ze worden verder niet toegepast en ook niet aangeduid als wetten of regels.

Bij Galileo is een overvloed aan natuurkundige wetten te vinden. In zijn manuscript *Le Mecaniche*, dat hij omstreeks 1598 als jonge professor in Padua samenstelde, bespreekt hij de hefboom, de wind, de katrol en formuleert hij condities van evenwicht in kwantitatieve termen. [56] Hij gebruikte echter nooit de term 'wet'. Zijn 'Gesprekken en wiskundige bewijzen in twee nieuwe wetenschappen' (1638) leggen het fundament voor de moderne mechanica en natuurkunde in zijn algemeenheid. In dit werk [57] bespreekt hij de relaties tussen de slingertijd en de lengte van een slinger, het verband tussen het trillingsgetal en de lengte, spanning, doorsnede en gewicht, uitgedrukt in kwantitatieve begrippen. Hij drukt deze relatie niet in wiskundige formules uit maar parafraseert deze in woorden. En hij noemt deze nooit wetten of regels; hij refereert af en toe aan de wet van de hefboomwerking als een 'proportie' [58]

Dit werk bevat ook zijn belangrijkste prestatie, de formulering van de wet van de vallende lichamen en zijn bespreking van de baan van een kogel. [59] Wederom komen de termen 'wet' en 'regel' niet voor. De resultaten worden gepresenteerd in de vorm van getalsmatige theorema, proposities, lemma's en correlaties en worden via wiskundige bewijzen toegelicht. Hoewel het onderzoek een voorbeeld is van experimenteel onderzoek, is zij door de weergave in woorden verwant aan de traditionele deductieve vorm van Archimedes en Euclides. [60]

Het is duidelijk dat Galileo de term 'natuurwet' niet kende. In een terloopse vermelding van de wet van de hefboomwerking in de *Discorsi* parafraseert hij deze in een lange zin en enige regels later betreft hij deze op de 'verhoudingen' (*ragiono*) van de hefboom en op 'dat principe' (*questo principio*). [61] Het is typerend dat de moderne Duitse en Engelse vertalingen vaak van 'natuurwetten' spreken, waar Galileo zelf zich op een andere manier uitdrukt. Waar de vertaler het heeft over de perfecte wetten van de natuur, heeft Galileo het over de 'volkomen geordende wereld' (*mondo ordinatissimo*); waar in de vertaling ervan wordt gerept dat iets tegen de wetten van de natuur in kon geschieden, heeft Galileo het alleen over 'tegen de natuur' (*contra a natura*). [62] Galileo komt het dichtst in de buurt van de metafoor van wet, bij de bespreking van theologische bezwaren. Enkele jaren voor de veroordeling van de Copernicaanse leer door de kerk verdedigde Copernicus het recht op onafhankelijk onderzoek in een brief aan Castelli (1631). Hij schrijft daarin [63] dat zowel de Heilige Schrift als de Natuur zijn ontstaan door het Goddelijke woord, de eerste op aanwijzing van de Heilige Geest, de laatste als een 'uitvoering van de bevelen van God' (*ordini di dio*). Let wel, bevel, geen wet.

De beeldspraak van de wet stamt uit de Bijbel. Wat in Galileo's onderzoeken nieuw was, was echter niet door de Bijbel beïnvloed. Hier kan niet aangetoond worden dat Galileo's begrip van wetenschap ontsproten is uit de technologische methoden van die dagen, een dergelijk bewijs zou een analyse vereisen naar de oorsprong van de moderne natuurwetenschap in zijn algemeenheid. De hogere handwerkers uit de 16de eeuw, de kunstenaars en de militaire ingenieurs waren niet alleen gewend te experimenteren, maar legden ook de resultaten vast in empirische regels en drukten deze uit in kwantitatieve begrippen. De substantiële vormen en occulte kwaliteiten van geleerden waren daarbij niet erg behulpzaam. Zij zochten naar toepasbare en, indien mogelijk, ook kwantitatieve regels over de werking van takelwerktuigen, machines en geweren die behulpzaam konden zijn bij de vervaardiging daarvan. In de manuscripten van Leonardo da Vinci (omstreeks 1500) worden steeds dergelijke kwantitatieve procedurele regels beschreven. Normaliter zijn ze geformuleerd in de vorm van recepten voor het koken: 'wanneer je wilt weten', zo stelt Leonardo in de uitleg bij een tekening van een balkenweegschaal 'hoeveel meer MB in vergelijking met AM weegt, ga dan na hoe vaak CB in AD past', enzovoort. [64] In een handboek voor schutters wordt voor het eerst in de literatuur van de mensheid het wiskundige begrip 'functie' toegepast op natuurkundige verschijnselen. In 1546, achttien jaar voor de geboorte van Galileo, bespreekt Tartaglia in een boekje over de schutterskunst bevestigingstechnieken en toegepaste wiskunde voor een geweer: bij een hoek van 25 graden is er een bepaalde reikwijdte, bij een hoek van 30 graden is de reikwijdte 'veel groter', bij 35 graden 'groter', bij 40 graden 'iets groter', bij 45 graden 'een beetje groter', bij 50 graden 'een beetje kleiner', bij 55 graden 'iets

kleiner', enzovoorts. Tartaglia gaat vervolgens verder met dat men een tabel met de reikwijdtes zou kunnen overhandigen aan een officier: deze kan de schutters mededelen hoe de kanonnen afgesteld moeten worden, de tabel zelf zou geheim gehouden kunnen worden, precies zoals bij 'de leerlingen die recepten moeten kunnen maken volgens de aanwijzingen van de apotheker. Tartaglia was een tamelijk armoedige, autodidactische, wiskundeleraar. Hij adviseerde schutters, architecten en handelaren -voor 10 Penning per probleem. Hij was geen universiteitsgeleerde maar behoorde tot de hogere handwerkslieden. [65]

Deze kwantitatieve regels van de vroegkapitalistische handwerkers zijn, hoewel ze nooit als zodanig genoemd worden, de voorlopers van de moderne natuurwet. Galileo definieerde het onderzoek naar de functionele relatie tussen natuurlijke kwaliteiten als belangrijkste opgave van de wetenschap. [66] Voor hem was het vanzelfsprekend dat het concept natuurwet van groot wetenschappelijk belang was. Maar de term 'wet' hanteerde hij nooit, aangezien hij zich meer bekommerde om zijn experimenten dan om de geschriften van de theologen en de Corpus Juris.

Stevin en Pascal werkten op eenzelfde wijze als Galileo. Beiden waren volledig vertrouwd met de uitdrukking 'natuurwet'. Stevin (1585 en 1608) bekeek mechanische problemen met de ogen van een ingenieur. Belangrijke wetten van de statica (het mechanische voordeel van het hellend vlak, het Archimedische principe) presenteert hij nog via de deductieve methode van Euclides -met numerieke definities, postulaten en proposities. [67] Pascal (1663) wijst uitdrukkelijk de leerstukken zoals de afschuif van het vacuüm en van occulte kwaliteiten af. [68] Hij weet dat alle machines voldoen aan het principe van het behoud van kracht en dat de hoogte van twee vloeistoffen in een communicerend vat omgekeerd evenredig is aan hun respectievelijke gewichten. Hij bespreekt ook het Archimedische principe en dat zonder ook maar één keer over wetten te spreken. [69] Incidenteel heeft hij het over meteorologische 'regels' met betrekking tot de variaties in hoogte van een barometer. [70] Het feit dat hij de metafoor van de wet niet kent is juist daarom zo opvallend omdat hij zich intensief bezighield met theologische vraagstukken. Zijn natuurkundige en zijn religieuze belangstelling lijkt gescheiden te zijn door een onoverbrugbare muur. Hij was bekend met de leer van de natuurwet in juridische zin en hing deze ook aan. [71]

9. Kepler schijnt de eerste natuuronderzoeker te zijn die af en toe de metafoor van de wet gebruikte. Hij noemt echter zijn drie bekende wetten over de beweging van de planeten nooit wetten. De eerste en de tweede, die hij in *Astronomia Nova* (1609) formuleert, parafraseert hij in lange uitweidingen. [72] De derde, gepubliceerd in de *Harmonices Mundi* (1619) wordt één keer een 'theorema' genoemd. [73]

Anderzijds vergelijkt Kepler dikwijls de omgekeerde verhouding tussen snelheid en de afstand tot de zon van een planeet (die de basis vormt van zijn tweede wet), met de overeenkomstige verhouding tussen de kracht en de arm van een hefweegschaal. In dit verband spreekt hij soms

van 'wet', maar vaker over de 'verhoudingen' van de hefboom. [74] Soms gebruikt hij de term wet bijna als synoniem aan maat of proportie. Eén keer tekent hij een diagram om te verduidelijken 'welke wetten vereist zijn' om de baan van een planeet weer te geven. Of hij maakt melding van het feit dat de aarde met 'haar wetten van snelheid en traagheid' samenhangen met de nabijheid of afstand van de zon. [75] Andere passages komen meer in de buurt van de moderne terminologie. Hij bespreekt de spreiding van de zonnekrachten en wijst erop dat deze minder worden in de tweede of derde macht van de afstand; dit is een gevolg 'van de waarachtige wet van de straling', omdat de kracht, ook wanneer zij immaterieel is, 'niet vrij is van geometrische wetten'. [76] De achtergrond van deze redenering wordt gevormd door theologische ideeën. Kepler sluit een lange astronomische verhandeling af met de opmerking dat het probleem enige 'geometrische onzekerheden' bevat. 'En ik weet niet', voegt hij hieraan toe [77] 'of dit niet door God zelf verworpen wordt, die immers, zoals we tot nu toe altijd hebben kunnen vaststellen (deprehenditur), handelt in lijn met de wiskunde'. Dit komt overeen met de op Pythagoras gebaseerde leer van Kepler in *Harmonices Mundi*, die constateert dat God het universum geordend heeft volgens het principe van de 'geometrische schoonheid'. In een brief aan Fabricius (mei 1605) bericht Kepler dat hij zich uitermate moeizaam door de onregelmatigheden van de planetaire beweging geworsteld heeft 'totdat ze uiteindelijk ingebed waren in de wetten van de natuur'. [78] Het is vrijwel zeker dat deze wetten van de natuur niets anders zijn dan de goddelijke principes van de wiskundige schoonheid. [79]

Kepler was zowel een aanhanger van Pythagoras als een gelovig protestant. Zijn eerste werk - *Mysterium Cosmographicum* (1596) - verklaarde het zonnestelsel met behulp van de vijf Platonische lichamen. Zijn *Harmonices Mundi*, die zijn derde wet weergeeft in de vorm van talrijke wiskundige relaties zonder enige natuurkundige betekenis, ging uit van de harmonie der sferen. Hij beschouwde het als zijn wetenschappelijke taak om de wiskundige ordening van het heelal te onthullen, de schoonheid ervan te beschrijven en God als de schepper ervan te prijzen. Daarom vertaalde hij de goddelijke wetten uit de Bijbel in geometrische regels en gebruikte hij de term 'wet' bijna synoniem met verhouding of proportie. Hij onderscheidt zich van de talrijke Neo-Pythagorianen van de late Renaissance door de aandacht die hij heeft voor de empirische waarneming en door zijn wiskundige genialiteit waarmee hij met succes regulariteiten onderkende in bewegingen die heel onregelmatig lijken. Zijn interpretatie van deze wet is echter nog animistisch. Nadat hij 'de wetten en de kwantiteit van verandering' van de snelheid van de planeten heeft vastgesteld, werpt hij het probleem op of 'de wetten dusdanig zijn dat ze aan de planeten zelf bekend zouden kunnen zijn'. Hij verklaart uitvoerig dat de beweging van de planeten misschien ontstaat door de 'worsteling' van de 'geest' van de planeet met zijn dierlijke en magnetische eigenschappen en dat deze geest wellicht een bepaalde engel waarneemt en zijn zonden opmerkt. Een dergelijke zintuiglijke waarneming zonder ogen is voor hem geenszins onmogelijk. Als analogie richt hij zich enerzijds op de ondermaanse lichamen waarvan het gedrag geregeld wordt door de sterren en anderzijds op zijn moeder die alle kinderen onder hetzelfde gesternte geboren heeft laten worden zonder van haar ogen gebruik te maken. [80] Het is duidelijk dat Kepler's opvatting van wetmatigheid de astrologie zeer dicht benadert. [81]

Het begrip natuurwet lijkt bij Descartes volledig ontwikkeld. In zijn *Discours de la Methode* (1637) begint Descartes zijn korte uitleg van de nieuwe filosofie met de verklaring dat hij 'wetten die God heeft ingebracht in de natuur' ontdekt heeft. Het idee van deze wetten heeft God zodanig in de menselijke geest ingeprent dat er niet getwijfeld kan worden aan de algemene geldigheid ervan. [82] In het vervolg [83] wordt verklaard dat na de schepping van de materie, God de natuur volgens deze wetten uit de chaos heeft laten ontstaan. Zelfs als God meerdere werelden geschapen zou hebben, dan waren de 'natuurwetten' (*loix de la nature*) in al deze werelden werkzaam. In een bespreking van de bloedcirculatie vermeldt Descartes alleen dat 'de regels (*reglès*) van de natuur overeenkomen met de regels van de mechanica. [84] Zijn *Dioptrique* heeft Descartes uitgegeven als een bijlage bij de *Discours*. Daar worden de wetten van de weerspiegeling en (voor de eerste keer) de wetten van de breking van het licht besproken. In relatie tot dat laatste wordt ook de term 'wet' gebruikt. [85] De *Principiae Philosophiae* (1644) worden als nieuw werk aangekondigd in de *Discours*. Daar verklaart Descartes in het tweede boek [86] dat het product van massa en snelheid in de natuur constant is, omdat God en zijn handelingen volmaakt en onveranderlijk zijn. 'En uit deze onveranderlijkheid van God' vervolgt Descartes 'kunnen enige regels of wetten die de oorzaken zijn van de verschillende bewegingen, begrepen worden'. [87] Hij formuleert drie wetten. De eerste en tweede wet vormen de wet van de traagheid, de derde stelt vast dat bij een botsing 'een voorwerp zoveel van zijn beweging op andere overdraagt als hij zelf verliest'. Deze worden afwisselend en herhaaldelijk wetten en regels genoemd. De onveranderlijkheid van God en zijn handelingen en de schepping worden meermaals aangehaald. [88] Om de kwantitatieve berekening van de beweging te verduidelijken, voegt Descartes zeven 'regels' van het botsen toe, die evenwel gedeeltelijk onjuist zijn. [89] Hij sluit de paragraaf af met de opmerking dat, naar zijn mening, voor de verklaring van alle verschijnselen geen andere 'principes van de fysica' noodzakelijk zijn. [90]

Als aanhanger van een mechanistisch wereldbeeld is Descartes ervan overtuigd dat zijn opsomming niet alleen alle mechanische, maar ook alle natuurkundige wetten bevat. In het derde boek van de *Principia* stelt hij als 'wet van de natuur' dat alle lichamen die in kringen bewegen, zich los trachten te maken van het centrum. [91] Meteen daarna verklaart hij dat het niet zijn bedoeling is met deze constatering om lichamen een geest toe te kennen en zo laat hij zien hoe hij zorgvuldig de vitalistische begrippen van de Middeleeuwen vermijdt. [92] Een kwantitatieve bepaling van de centrifugale kracht geeft hij echter nog niet. Aan het einde van zijn werk stelt hij samenvattend vast dat 'wat uit de wederzijdse botsing van lichamen moet resulteren, volgens de mechanische wetten bekrachtigd moet worden met behulp van bepaalde, alledaagse experimenten'. [93] In zijn correspondentie gaat hij herhaaldelijk in op zijn wetten of regels van de botsing, onder andere in een brief aan Christiaan Huygens. [94]

Descartes was een consequent aanhanger van een mechanistisch wereldbeeld. Hij was ervan overtuigd dat alle fysieke fenomenen uit beweging en botsing bestaan en hij ontkende strikt elke teleologische, antropocentrische of animistische verklaring van de natuur. Hij legde de zielsverwante, substantiële vormen van de Scholastici naast zich neer. Aan de andere kant was hij een gelovig Katholiek. Hij formuleerde de traditionele opvattingen van God en ziel op een

dusdanige manier dat ze pasten binnen zijn nieuwe mechanistische begrip van wetenschap. Hij benadrukte de gedachte van de onverwoestbaarheid en creëerde zo een nieuw begrip van substantie, dat zowel materie als geest omvatte. Hij was een overtuigd aanhanger van de substantiële ziel en van daaruit elimineerde hij alle zielsverwante bestanddelen uit de fysische wereld. Zo introduceerde hij in het menselijke denken het dualisme, van materie en geest en van de uiterlijke en de innerlijke wereld, met een consequentie die daarvoor ongekend was. Er is nauwelijks een filosoof die zo kenmerkend is voor de moderne tijd en de westelijke beschaving als Descartes. [95] Wanneer we dit vergelijken met andere culturen en de details weglaten dan doen alle moderne, westerse filosofen zich min of meer voor als cartesianen omdat ze allen het probleem van lichaam en ziel en het vraagstuk van de uiterlijke wereld behandelen. Pas aan het einde van de 19de eeuw, met de ineenstorting van de mechanistische natuurkunde (en het afzwakken van religieuze orthodoxie) neemt de invloed van de Cartesiaanse metafysica af.

De Cartesiaanse opvatting van de wereld verbindt de fundamentele ideeën van de Bijbel met de nieuwe fysica. Door het verbinden van deze opvattingen werd hij de belangrijkste pionier van het begrip natuurwet die, net zoals zijn denken over het dualisme, zo'n grote invloed had op de moderne tijd. Net als Galileo nam hij het fundamentele idee van natuurkundige regelmatigheden en van kwantitatieve regels van operationele handelingen over van de hogere handwerkers van zijn tijd. En uit de Bijbel nam hij de gedachte over van de Goddelijke wetgeving. De combinatie van beide werd tot het begrip van de moderne natuurwet. [98] Galileo begreep de wetenschappelijke betekenis van de wederzijdse afhankelijkheid van fysische kwantiteiten minstens zo goed als Descartes en maakte vaker gebruik van complexe, wiskundige functies. Maar de metafoor van de wet was hem onbekend. Kepler had het weliswaar over wetten, maar zijn begrip van wet was te animistisch om grote invloed uit te kunnen oefenen op de opkomende natuurkunde. Alleen Descartes verbond de metafoor van de wet met een mechanistische opvatting van de natuurwet. En hiermee beïnvloedt hij zowel de filosofie van Spinoza als de natuurkunde van de Newton en van de natuuronderzoekers van de Royal Society.

10. Spinoza schrijft een hoofdstuk over de Goddelijke wet in zijn *Tractatus Theologico-Politicus* (1670). Hierin maakt hij een onderscheid tussen wetten 'die voortkomen uit de noodzakelijkheid van de natuur' en wetten die het gevolg zijn van menselijke verordeningen. Als voorbeeld voor dat eerste noemt hij, in navolging van Descartes, het principe van het behoud van de kwantiteit van de beweging. Hij breidt het Cartesiaanse wetsbegrip van de fysica echter uit naar de psychologie, wanneer hij hieraan de wet van de contiguitéit van associaties (zoals dat tegenwoordig genoemd wordt) toevoegt. Bovendien benadrukt hij het algemene determinatie: 'alles wordt bepaald door de universele wetten van de natuur'. [97] Dit idee herhaalt hij nadrukkelijk in een hoofdstuk over wonderen. Spinoza vermeldt keer op keer de algemene en onveranderlijke wetten van de natuur en omschrijft deze nadrukkelijk als 'decreten van God'. Wonderen die dit klaarblijkelijk tegenspreken, negeert hij en schrijft hij toe aan de menselijke onwetendheid. [98] De tegenstelling tussen 'natuurwet' en 'wonder' die hierna voortdurend terugkomt, verschijnt hier duidelijk voor de eerste keer. In de

Tractatus theologico-politicus probeert Spinoza zijn pantheïsme te verbergen. Hij spreekt daarom van decreten van God in een tamelijk dubbelzinnige betekenis. Aangezien hij echter niet in een persoonlijkheid God geloofde, merkt hij, in tegenstelling tot Descartes, op dat het gebruik van de term 'wet' in relatie tot natuurkundige zaken op een 'metafoor' (per translationem) berust. [99] Het is mogelijk dat dit inzicht onder invloed van Suarez tot stand is gekomen, waarmee Spinoza bekend was.

In zijn Ethica ontvouwt Spinoza de deterministische verklaring van geestelijke verschijnselen. Zijn beroemde voorwoord bij het 3de deel begint met de constatering dat de menselijke emoties eveneens 'de algemene wetten van de natuur' volgen. Op de herkomst van de term 'wet' zinspelend, verklaart Spinoza dat de mens in de natuur geen staat binnen een staat vormt en hij verwerpt expliciet de leer van de vrije wil van Descartes. In werkelijkheid zijn de 'wetten en regels van de natuur volgens welke alles plaatsvindt en verandert, overal en altijd dezelfde'. Daarom wil hij zich op een strikt causale wijze bezighouden met het menselijke gedrag, zonder hier een waarde aan toe te kennen -een moderne schrijver zou zeggen, op natuurwetenschappelijke wijze. Omdat Spinoza de deductieve methode van Euclides als de meest wetenschappelijke beschouwt, wil hij, naar eigen zeggen, menselijke handelingen op dezelfde wijze beschouwen alsof er sprake was van lijnen, vlakken en lichamen. Deze opvatting wordt in het verdere verloop van de More Geometrico uitgewerkt. Toch is Spinoza uiteraard niet in staat kwantitatieve wetten van de psychologie op te stellen. De wetten van de natuur vermeldt hij af en toe in latere hoofdstukken van de Ethica en in zijn briefwisselingen. [100] Een brief aan Oldenburg, de secretaris van de Royal Society, bevat een interessante passage omdat hij daarin nadrukkelijk concludeert dat alle natuurkundige gebeurtenissen 'de wetten van de mechanica' volgen. Net zoals Descartes en alle natuuronderzoekers van zijn tijd is hij een consequent aanhanger van een mechanistisch wereldbeeld.

Over het algemeen heeft Spinoza het theïstische begrip van natuurwet overgenomen van Descartes en dit pantheïstisch geïnterpreteerd. Tegelijkertijd heeft hij het begrip ook opgerekt tot aan het domein van geestelijke verschijnselen. Aangezien zijn ethische opvattingen volledig Stoïcijns zijn, behoort hij tot de deterministen. Maar zijn determinisme is noch magisch, noch theologisch, maar mechanistisch van aard, net zoals dat het geval is bij Hobbes en bij de natuurwetenschappen van het daaropvolgende tijdvak. Spinoza is de eerste auteur die het algemene metafysische determinisme verbindt met het moderne begrip van natuurwet.

In 1638, zes jaar voor de publicatie van zijn Principia had Descartes de jonge Huygens geschreven over zijn botsingswetten. [101] Met deze 'wetten' of 'regels' hield Huygens zich jarenlang bezig in verschillende manuscripten omdat hij de onjuistheden in de Cartesiaanse representatie ontdekt had. Hij ontdekte het behoud van kinetische energie in de elastische botsing en publiceerde zijn resultaten in een brief in het Journal des Scavans, sur les regles du mouvement dans la rencontre des corps (1689). Na zijn dood verscheen een verhandeling van

hem over hetzelfde onderwerp, de *Motu corporum ex percussione* in zijn *Opuscula Postuma* (1703). In al deze geschriften werden de botsingswetten afwisselend 'regels' of 'wetten' genoemd. [102] Een Latijnse vertaling van zijn brief aan het *Journal des Scavans* werd ook gepubliceerd in *Philosophical Transactions* (1669), het nieuwe tijdschrift van de net opgerichte Royal Society. In de korte Engelse toelichting spreekt Oldenburg, de secretaris van de Society, afwisselend van 'wetten' en 'regels' van de beweging. [103]

Over hetzelfde probleem zijn een jaar eerder (1668) twee Latijnse verhandelingen van Wallis en Christopher Wren verschenen in de *Philosophical Transactions*. De hele discussie is in gang gezet door de Royal Society. Het geschrift van Wallis had als titel *A summary account given by Dr. John Wallis of the General Laws of Motion*. Het artikel van Wren heette *Lex naturae de Collisione Corporum*. [104] Deze geschriften maken duidelijk dat de term 'natuurwet' onder onderzoekers van de natuur pas gebruikelijk is geworden bij de botsingswetten. Dit toont de invloed van Descartes aan, hoewel de opstellen van Huygens, Wallis en Wren geen theologische opmerkingen meer bevatten. Het is mogelijk dat de terminologie van *Transactions* ook door Spinoza, de vriend van Oldenburg, beïnvloed is. In de eerste delen van de *Transactions* wordt af en toe ook in ander verband over natuurwetten gesproken. Zij maken melding van een geschrift van een Franse heer, Mr. Auzet, die meende de wet van de beweging van de kometen ontdekt te hebben. [105] En zij verwijzen naar 'vreemdsoortige wetten' van de verandering van de barometer en op de 'brekingswetten' uit de optica. [106]

De twee laatste paragrafen hebben betrekking op twee nieuwe natuurkundige instrumenten van de eminente microscopist en experimentator Robert Hooke en zijn bijna letterlijk overgenomen uit het voorwoord van zijn *Micrographia* (1665). Hooke was de curator van de Royal Society en moest de experimenten voor de bijeenkomsten voorbereiden. Hij ontdekte de zogenaamde wet van Hooke die stelt dat de uitrekking van een veer evenredig is de aan herstelkracht die op de veer wordt uitgeoefend. In zijn *Lectures de Potentia Restitutiva* (1678) noemt hij dit 'een regel of een wet van de natuur'. [107] Hier wordt voor de eerste keer een natuurkundige wet, waaraan in de moderne handboeken gerefereerd wordt onder de naam van de ontdekker, door de ontdekker zelf een wet genoemd. [108] In 1662 al gebruikte Hooke de term 'wet' in een notitie over zijn experimenten met de wet van Boyles.

Sir Robert Boyle behoorde tot de vooraanstaande leden van de Royal Society. Hij publiceerde zijn wet (het volume van een gas is omgekeerd evenredig aan zijn druk) in zijn *Defence of the doctrine touching the Spring and Weight of the Air* (verdediging van de leer van de elasticiteit en het gewicht van lucht) (1660) zonder de term 'wet' te gebruiken. Het wordt door hem steevast een hypothese genoemd. [109] In zijn theologische geschriften spreekt hij daarentegen wel over de wetten van de natuur. In zijn *Free inquiry into the vulgarly received Notion of Nature* (samengesteld in 1660) stelt hij dat, wanneer het begrip 'wet' op levenloze zaken toegepast wordt, het een 'oneigenlijke en beeldende uitdrukking' is en geeft hiervoor een uitgebreide verklaring. [110] Verbazingwekkend is dat hij hier aanneemt dat het toepassen van de wetsmetafoor op natuurkundige verschijnselen voortkomt uit teleologische tendensen. Wanneer een door een mens afgeschoten pijl op het doel afgaat, zal volgens hem

niemand beweren 'dat de pijl zich door een wet, maar door een externe impuls beweegt'. [111] Toch spreekt hij vervolgens van de 'wetten van de beweging, die voorgeschreven zijn door de schepper aan de dingen'. [112] Hij bekent zijn verwantschap met de moderne 'naturalisten en divinisten', die de verschijnselen verklaren 'door fysisch-mechanische principes en wetten'. Hij bestrijdt daarom animistische interpretaties van de natuur, voegt daar echter direct aan toe dat wonderen 'af en toe' voorkomen. [113] Het geschrift bevat talrijke Bijbelcitaten en een lange polemiekt tegen Descartes. [114] Het is veelzeggend dat 21 jaar voor het verschijnen van de Principia van Newton de herinnering aan het metafysisch karakter en de theologische oorsprong van het begrip natuurwet in een verhandeling van een natuuronderzoeker van de Royal Society nog springlevend blijkt te zijn.

Newtons's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) heeft het begrip 'wet' uiteindelijk tot een regulier bestanddeel van het wetenschappelijke vocabulaire gemaakt. Vooral zijn drie beroemde 'bewegingswetten' die hij in het begin van zijn werk formuleert, [115] werden door alle natuuronderzoekers van het daaropvolgende tijdvak overgenomen. De verwijzing naar Wren, Wallis en Huygens en hun botsingswetten in dit hoofdstuk [116] onthult de oorsprong van de terminologie. Ook bij zijn formule van de zwaartekracht gebruikt Newton de term 'wet'. Aan het einde van de Principia, direct na de beroemde weigering om hypothesen te formuleren over de oorzaak van de zwaartekracht, stelde Newton vast: het is toereikend te constateren dat de zwaartekracht feitelijk bestaat en werkt volgens de door ons opgestelde wetten'. [117] De wiskundige en formele kant van zijn wetsbegrip komt naar voren in meerdere vraagstukken. Hij zoekt naar de 'wet van de centrifugale kracht' wanneer de omloopbaan van een bewegend voorwerp gegeven is. In een uitzonderlijk geval is de oplossing, dat de kracht van de verwijdering van het centrum evenredig is met de afstand tot het centrum. Daarentegen geldt een andere 'wet' (de wet van de zwaartekracht) wanneer andere omloopbanen gegeven zijn. [118] Hier is 'wet' duidelijk bijna gelijk aan 'proportionaliteit' zonder een greintje metafysica.

Nochtans zijn de theologische bestanddelen in de fysica van Newton nog niet verdwenen. Hoewel hij het nooit heeft over de Goddelijke oorsprong van de natuurwetten, verklaart hij, dat alleen de schepping van de wereld door een intelligent wezen een verklaring kan bieden voor de opmerkelijke harmonie van de planeten in hun omloop qua richtingen en banen. De planeten blijven in hun omloopbanen door de wetten van de zwaartekracht, maar deze wetten bieden geen verklaring voor de uitgangspositie van de baan van de planeten. [119] Er volgt een lange uiteenzetting die verklaart dat alles in God is, met een verwijzing naar klassieke en Bijbelse citaten en een voetnoot over de etymologie van het woord 'God'. In zijn algemeenheid is de theologie in de Principia gereduceerd van de wetten (zoals de moderne natuurwetenschapper het zou formuleren) tot de voorwaarden van het ontstaan. Toch zou Newton, desgevraagd, zeker toegeven dat de wetten ook door God ontworpen zijn. Natuurlijk kende Newton Descartes. Volgens hem kan niet door de Cartesiaanse wervelingen verklaard worden 'dat de beweging van de kometen aan dezelfde wetten onderworpen zijn als de planeten'. [120]

Newton beseft de originaliteit en de wetenschappelijke betekenis van het begrip fysische wet. Zijn werk begint in het voorwoord met de vaststelling: 'De moderne wetenschappers, die de substantiële vormen van occulte kwaliteiten achter zich laten, moeten de verschijnselen van de natuur door wiskundige wetten verklaren'. Het essentiële punt van de moderne wetenschappelijke methode is hier met uitzonderlijke helderheid verklaard. Hij besluit zijn werk met een treurige vaststelling dat kennis op de gebieden van de cohesie, de zenuwactiviteit en de elektriciteit nog ontoereikend is. Nog steeds is onbekend, schrijft hij, 'door welke wetten' deze verschijnselen verklaard moeten worden. De eerste en de laatste zin van de Principia hebben dus betrekking op natuurwetten. Desondanks komt het woord 'wet' minder vaak voor dan in de moderne leerboeken van de fysica. In zijn *Lectiones Opticae* en zijn *Opticks* is de term überhaupt niet te vinden, zelfs niet in de hoofdstukken over spiegeling en breking. [121]

Het is niet nodig de oorsprong van ons begrip verder na te trekken. Wie de enorme invloed van Newton's Principia op de wetenschap en op de totale literatuur van de daaropvolgende periode kent, zal niet verrast zijn over de snelle uitbreiding van het begrip natuurwet in de fysica, filosofie en deïstische theologie. Het begrip werd simpelweg, in de vorm die het bij Newton had, overgenomen. Hierdoor heeft de fysische betekenis van het begrip 'natuurwet' langzamerhand de juridische betekenis verdrongen. Voor Voltaire, die het meeste heeft bijgedragen aan de popularisering van de ideeën van Newton op het continent, is de gedachte al gemeengoed dat de natuur door wetten geregeerd wordt, die met succes door wetenschappers onderzocht worden. [122] Zonder twijfel zijn de ideeën van Newton in de Principia (1687) cruciaal voor het ontstaan van deze opvatting. Terwijl Locke in zijn *Essay concerning human understanding* (1690) het begrip natuurwet nog niet kent in zijn fysische betekenis, is het in Berkely's *Treatise concerning the Principles of Human Knowledge* (1710) al normaal. In 1655 heeft Hobbes het in *De Corpore* het nog niet over wetten. In zijn *De Cive* (1642) en in *Leviathan* (1645) bespreekt hij de natuurwet alleen in zijn juridische betekenis. [123] Daar staat tegenover dat Montesquieu in zijn *L'esprit des lois* van 1748 het eerste hoofdstuk wijdt aan de wetten van de fysica.

11. Tot slot moeten we proberen een verklaring te vinden voor de hier beschreven ontwikkeling. Waarom heeft deze ontwikkeling op deze manier plaatsgevonden en waarom juist in deze tijd? We kunnen hier niet verklaren waarom in de tijd van Galileo de gedachte van een mechanische regelmaat ontstond. Een dergelijke verklaring stijgt uit boven ons huidige voornemen omdat dit samenhangt met de meer algemene problematiek rond de oorsprong van de experimentele wetenschap en kwantitatieve denkwijze; dit wordt elders geprobeerd. Hier hoeft slechts aangestipt te worden dat in alle beschavingen het experimenteren ontstaat uit het handwerk. In het tijdperk van de geboorte van het kapitalisme begonnen de experimenterende ambachtslieden te zoeken naar kwantitatieve procesregels. De oorsprong van deze mechanische regels moeten daarom gezocht worden in

de sociologische en technologische omstandigheden van het handwerk in het begin van de nieuwe tijd. Deze ontwikkelden zich bij Galileo tot wetenschap. [124]

Waarom werden dan uiteindelijk deze mechanische regelmatigheden geïnterpreteerd als Goddelijke wetten van de natuur? Dit is niet alleen een vraag van terminologie. Zonder de metafysische componenten van de wetsmetafoor zouden deze nauwelijks hun wetenschappelijke en filosofische lading krijgen. Het verwijzen naar de kracht van de religieuze traditie levert geen toereikend antwoord op onze vraag. Het idee van wetten die God de natuur heeft gegeven, komt niet in alle religies voor. Dit ontbreekt in de oude Egyptische religie [125] en het zou nader specifiek onderzoek vergen om te bepalen of dergelijke opvattingen ook in Perzië en India bekend waren. Het idee is ontwikkeld in Babylonië met de Codex van Hammurabi en in het Oude Testament met zijn overdaad aan rituele- en andere wetten. Wanneer men er echter rekening mee houdt hoe in het Christendom in verschillende tijdvakken bepaalde elementen werden benadrukt en andere juist naar de achtergrond werden gedrukt, hoeft men er niet aan te twijfelen dat de Goddelijke bevelen in het boek Job makkelijk zonder invloed hadden kunnen blijven in de ideeëngeschiedenis. Inderdaad was het idee van de 'eeuwige wet' van God, zoals we dat aantreffen bij Thomas van Aquino, geen leidende gedachte in het Middeleeuwse Katholicisme. Het idee van de Goddelijke voorzienigheid was zeker belangrijk, voor zover het ging om het noodlot van de mensen, omdat dit troost en hoop biedt. Als dit echter betrekking heeft op de eeuwige wetten van de natuur, is de receptie ervan echter beperkt tot de geleerde theologen. In de Middeleeuwen werd de macht van God eerder waargenomen in wonderen dan in de normale loop van de natuur. Kometen en onverklaarbare gebeurtenissen hadden meer invloed op de middeleeuwse vroomheid dan de dagelijkse opkomst van de zon en de komst van nakomelingen. Hoe kan het dan, dat in de nieuwe tijd het idee van de heerschappij van God over de wereld verschoof: van de uitzonderingen van de natuur naar de regels?

De uitdrukking: 'heerschappij over de wereld' en 'wet van de natuur' komen voort uit een vergelijking van natuur en staat. Is het niet bijna vanzelfsprekend dat het begrip van Goddelijke heerschappij veranderingen ondergaat, onder invloed van veranderingen in de structuur van de staat? Heerschappij en wet zijn in de feodale staat van de Middeleeuwen iets totaal anders dan in de instituties van de nieuwe tijd. Thomas van Aquino leeft in een tijd dat het Italiaanse feodalisme onder invloed van de ontstane geldeconomie reeds gedesintegreerd was. Toch vermeldt hij in zijn bespreking van de eeuwige en de natuurlijke wet kenmerken van de menselijke wet die nauwelijks te integreren zijn in de fysische wetten van de moderne wetenschap. Er zijn, zo stelt hij, 'bijzondere wetten' voor de verschillende standen in de maatschappij: priesters hebben als 'wet' dat ze moeten bidden, heersers hebben als 'wet' dat ze moeten heersen en voor soldaten is het 'wet' te vechten. [126] Dit zou nog overeen kunnen komen met de natuurkundige wetten: de wetten van de mechanica zijn anders dan de wetten van de elektriciteit. Maar Thomas is van mening dat er gelegenheden zijn waarbij het individu op aanwijzing van zijn heer, kan veranderen van stand en van 'wet': een 'soldaat' (een edelman) kan uitgesloten worden van het leger (de adelstand) en kan aan het landrecht of aan het handelsrecht onderworpen worden. [127] Hiermee is geen analogie in de moderne

fysica. De 'wetten' waar Thomas het hierover heeft zijn duidelijk de verbintenissen uit het feodalisme die per stand verschillend zijn. Ze zijn niet gebaseerd op het positieve recht maar op heilige tradities en zijn niet te herleiden tot rationele voorschriften van een wetgever. Welke wetsartikelen zijn het die voorschrijven dat een heerser moet heersen en een priester moet bidden?

De feodale staat was een uitermate losse organisatie. De verbintenissen waarop zij berustte waren irrationeel en werden als vanzelfsprekend beschouwd. Als de heerser verordeningen uitvaardigde, waren dat meestal privileges voor afzonderlijke edellieden, kloosters of steden en deze kwamen eerder voort uit uitzonderingen dan uit regels. De Middeleeuwse interpretatie van de natuur lijkt overeen te komen met deze vorm van organisatie van de staat: de heer verricht wonderen en deze zijn achtenswaardig. De regelmatige loop van de natuur is weliswaar heilig maar is een vanzelfsprekend gebeuren. In ieder geval kon het idee van een samenhangende hoeveelheid rationele, fysische 'wetten' niet ontstaan in het feodalisme, zelfs niet als de relevante fysische feiten bekend geweest waren.

Het wordt algemeen geaccepteerd dat de Stoïcijnse leer van een Logos, die het universum beheerst, toe te rekenen is aan de zich ontwikkelende monarchieën die na Alexander de Grote ontstaan zijn. Deze analogie kan ook gelden voor het moderne begrip natuurwet. Men herinnert zich wellicht Patrizzi's vergelijking van de normale loop van de sterren met soldaten die de bevelen van hun officieren opvolgen. [128] De los georganiseerde legers van de ridders van het feodalisme hebben ten tijde van het vroegkapitalisme met zijn rationele discipline plaats gemaakt voor de legers met huurlingen. Het gebruik van de metafoor van de wet op fysische verschijnselen is waarschijnlijk door een analoge verandering van de staat als geheel naar voren gekomen. De geldeconomie verscheurde de verhoudingen van het feodalisme en traditionalisme en maakte rationele regelingen en positief recht noodzakelijk en liet de macht van de heerser enorm toenemen. Zelfs in Engeland, waar het Romeinse recht niet ingevoerd was, vond dit proces plaats onder de Tudors. Het bereikte zijn hoogtepunt op het continent in het absolutisme van de 17de eeuw. Het is geen puur toeval dat de Cartesiaanse gedachte van God als wetgever van het universum zich ontwikkelde 40 jaar na de theorie van Bodin over de soevereiniteit. Misschien is het zelfs geen toeval dat beide denkers Fransen waren: Frankrijk was het land van de oorsprong van het gecentraliseerde absolutisme. In ieder geval kan de leer van de universele natuurwetten van Goddelijke oorsprong mogelijk ontstaan zijn in een staat met rationeel vastgesteld recht en volledig ontwikkelde centrale soevereiniteit. Wellicht is de verandering in de structuur van de staat ook een verklaring voor het feit dat het metaforische karakter van de op redeloze wezens toegepaste terminologie 'wet', niet opgemerkt werd vóór Suarez.[129] In het feodalisme konden zowel dieren als zaken voor het gerecht gesleept worden en bestraft. Thomas dacht nauwelijks aan juridische handelingen tegen dieren bij de bespreking van Gods eeuwige wet; maar enkel het rationele vastgestelde recht is per definitie beperkt tot wezens die met rede begiftigd zijn. De mens is een sociaal wezen: hij is geneigd de natuur niet alleen te interpreteren naar zijn behoeftes, maar ook naar het voorbeeld van de maatschappij. Desalniettemin moet nog één moeilijkheid in onze sociologische verklaring worden genoemd. Hoe konden de Middeleeuwse theologen spreken

over de wetgeving van God als de macht van de Middeleeuwse vorsten zeer beperkt was? Deze gedachte ontsproot niet aan het feodalisme. Ze is opgekomen onder heel andere sociologische condities. De auteurs hiervan waren Joden, die eeuwen eerder hun traditie, de clan organisatie van de Bedoeïenen, ontgroeid waren en hun referentiekader was het despotisme van de oosterse staten uit de oudheid. In rudimentaire vorm kon deze gedachte 2000 jaar bewaard blijven -zelfs in een tijd waarin ze niet meer pasten in de sociologische condities- tot ze opnieuw tot leven kwam in de tijd van het opkomende vroegkapitalistische absolutisme. Dit feit, dat veel vaker voorkomt in de geschiedenis, is uiterst belangrijk voor de geschiedkundige theorie. Ideologieën zijn extreem behoudend. Zij kunnen nooit alleen door de hedendaagse voorwaarden verklaard worden, maar ze weerspiegelen ook een heel verleden. De historische problemen zijn echter zeer complex. Ook wanneer dit sociologisch onderzoek tegengesproken zal worden door later onderzoek, blijft het verzamelde materiaal over het ontstaan van het begrip van de natuurkundige wet bestaan.

Hoofdstuk 3

De oorsprong van de wetenschappelijke methode van William Gilbert

De Magnete van William Gilberts verscheen in 1600, zes jaar voor de eerste publicatie van Galileo en vijf jaar voor Bacon's Advancement of Learning. Het is het eerste gedrukte boek over een natuurkundig onderwerp van een academisch geschoold geleerde dat bijna volledig gebaseerd is op waarneming en experiment. Dit is uniek in de literatuur van de geleerden uit die tijd, zowel bij de contemporaine geleerden die verbonden waren aan de universiteit als die van de humanistische intelligentsia. Een analyse van de oorsprong van zijn wetenschappelijke methode is daarom niet alleen op zichzelf interessant, maar kan waarschijnlijk ook enig licht werpen op het ontstaan van de moderne natuurwetenschap in zijn algemeenheid. Aangezien de resultaten van Gilberts onderzoek naar magnetisme en elektriciteit algemeen bekend zijn, willen wij ons allereerst richten op enkele kenmerken van zijn methode en daarna op zoek gaan naar de bronnen ervan. Helaas is over het leven van Gilbert zeer weinig bekend en al helemaal niets over zijn manier van werken. Het onderzoek moet daarom in zijn geheel gebaseerd worden op zijn beide boeken die in druk verschenen zijn. [1]

1. De wetenschappelijke methode van Gilbert verbindt in essentie moderne elementen met elementen uit de metafysica, Scholastiek en animisme. Verschillende van zijn experimentele opstellingen zijn tegenwoordig nog in gebruik. Hij bekleedt de polen van zijn sferische magneten met bladijzer en ontdekt zo de wapening van magneten (II, hoofdst. 17). Om zwakke magneetkrachten te onderzoeken bevestigt hij kleine stukjes ijzer aan kurken die op het water drijven of hij hangt deze op aan draadjes (I, 12 en 13; III, 8; V, 9). Hij gebruikt zelfs enkele natuurkundige instrumenten. Eén van de instrumenten is zijn eigen uitvinding en is de eerste in zijn soort in de geschiedenis van de natuurkunde. Het gaat om een ietwat gebrekkige elektroscop, die blijkbaar naar het voorbeeld van de magneetnaald gemaakt is (II, 2, blz. 49). Daarnaast geeft hij uitvoerige en met houtsneden geïllustreerde beschrijvingen van vier magnetische meetinstrumenten, twee declinometers en twee inclinometers (IV, 12; V, I; V, 3). Deze zijn in ieder geval niet door hem uitgevonden en ook niet wezenlijk verbeterd, iets waaraan Gilbert stilzwijgend voorbijgaat. [2]

Met het oog op de oorsprong van Gilberts belangstelling voor wetenschappelijke precisie is het van belang te realiseren dat al zijn instrumenten nautische instrumenten zijn of in ieder geval nauw verwant zijn aan het kompas van de zeelieden. In zijn algemeenheid voert hij zijn berekeningen alleen uit, wanneer hij zich bezighoudt met hoeveelheden die voor de scheepvaart relevant zijn; zoals bijvoorbeeld magnetische declinatie en inclinatie, de hoogte van sterren en de geografische lengtes (bijv. IV, 4 blz. 160; IV, 12 blz. 176; V, 8; IV, 1, blz. 214). Op andere terreinen beperkt hij zich normaliter tot kwalitatieve observaties en experimenten. Zijn beste kwantitatieve experiment verifieert de hypothese dat het magnetisme geen gewicht

heeft door stukjes ijzer te wegen voor en na magnetisering op 'de meest nauwkeurige goudweegschalen' (III,3). Het staat wel vast dat hij dit zonder bronvermelding gekopieerd heeft van de kompasbouwer Robert Norman. Het beperkte aantal kwantitatieve onderzoeken die door hem zelf zijn verricht, zijn niet zeer opvallend. [3] In zijn totaliteit is het kwantitatieve onderzoek in *De Magnete* van een behoorlijk niveau, in vergelijking met de natuurkunde van de Middeleeuwen, maar het is niet van het niveau van de wetenschappelijke metingen in de studies van Galileo en zijn opvolgers. Berekeningen ontbreken in hun geheel.

Ook de mechanica speelt een zeer ondergeschikte rol in *De Magnete*. Op twee plaatsen toont Gilbert enig mechanisch inzicht. Op één plaats (II, 35) valt hij fel de Middeleeuwse pogingen aan om een perpetuum mobile te bouwen. Een andere keer (II, 24, blz. 92) weet hij dat een instabiel evenwicht niet lang kan blijven bestaan en dat daarom het verhaal van Fracastoro over een stuk ijzer dat in de lucht tussen aarde en een magneet opgehangen is, 'absurd' is. Dit zijn echter de enige twee plaatsen in het boek waar mechanische vraagstukken aan de orde komen. Zowel de belangstelling voor de mechanica als zodanig, als de mechanische verklaring van alle natuurlijke verschijnselen die in de fysica vanaf Galileo tot in de 19de eeuw overheersen, ontbreken nog bij Gilbert.

2. Het is niet makkelijk een treffend beeld te schetsen van Gilberts wetenschappelijke instelling. Normaliter heeft hij dezelfde kritische geest als een modern experimentator. Hij vertrouwt geen enkele autoriteit en controleert altijd de bevindingen van anderen door eigen experimenten. Het bijgeloof wordt door hem ten stelligste verworpen. Hij bespot de verhalen uit de oudheid en de Middeleeuwen over diamanten en knoflook die de werking van het magnetisme teniet zouden doen; de verhalen over magneten die de ontrouw van vrouwen verhullen en die deursloten openen (blz. 2 e.v. en blz. 6 e.v.). Fel attaqueert hij de alchemisten met hun obscure taalgebruik (pref. fol. iij; I, 3 blz. 19 e.v. en 24). Hij wijst de verklaring van de magnetische en elektrische aantrekkingskracht door sympathie van de hand en bespot hierom Fracastoro (II, 2, blz. 50; II, 3 blz. 63 e.v.; II, 4, blz. 65; II, 39, blz. 113). Daar staat tegenover, dat hij, net zoals de meesten van zijn tijdgenoten, gelooft in horoscopen; hij vergelijkt de invloed van de aarde op de in de smederijen bewerkte stukken ijzer met de invloed van de sterren op het kind tijdens zijn geboorte (blz. 142). [4]

In zijn theoretische opvattingen spelen Aristotelische en Scholastieke begrippen een grote rol. Gilbert gelooft in de twee fundamentele principes materie en vorm 'waaruit alle lichamen bestaan' (II, 2, blz. 52). In zijn opvatting verkrijgen de elektrische effecten hun kracht (invalescunt) door de materie, de magnetische effecten stammen van een 'andere' (precipua) vorm (blz. 53). Hij neemt aan dat de sferische vorm van de sterren en in het bijzonder die van de aarde, de 'primaire en krachtige is' (I, 17, blz. 42), het 'ware magnetische vermogen is' (II, 4 blz. 65). Klaarblijkelijk is zijn verklaring van het magnetisme gebaseerd op de Scholastieke metafysica van de actieve vormen. In al zijn experimenten gebruikt hij bolvormige magneten, hoewel hij weet (II, 15, blz. 83; III, 31, blz. 99) dat staafvormige magneten krachtiger zijn. Hij noemt deze 'kleine aardbollen' (terrellae 1,3) en houdt waarschijnlijk vast aan de

Middeleeuwse vorm van zijn magneten omdat hij gelooft in de metafysische relatie tussen sferische vorm en magnetisme.

Het verhaal van Cardano dat 'de magneet leeft en zich met ijzer voedt' wordt door Gilbert bespot als oudewijvenpraat (I, 16, blz. 37; II, 3, blz. 63). Om dit te kunnen afwijzen maakt hij gebruik van experimenten die aantonen dat het gewicht van ijzervijlsel, waarin een magneet gestopt wordt, niet afneemt. Wederom laat hij zich zien als een empirist, die echter vitalistische verklaringen alleen dan afwijst voor zover deze in tegenspraak zijn met afzonderlijke empirische feiten. Zijn eigen 'filosofie' van het magnetisme, voor zover deze door waarneming niet bewezen of weerlegd kan worden, is net zo animistisch als de theorie van Cardano. Eén hoofdstuk van zijn boek (V,12) is plagiaat: 'de magnetische kracht is bezielde of vergelijkbaar met de ziel; ze is veel groter dan de menselijke ziel zolang deze aan een organisch lichaam verbonden is'. Dit hoofdstuk heeft betrekking op filosofen uit de oudheid van Thales tot de Neoplatonisten, die leerden dat het universum een ziel heeft en voegt vervolgens Egyptenaren, Chaldeeërs en (blz. 209) zelfs autoriteiten van de occulte wetenschap als Hermes, Zoroaster en Orfeus hieraan toe. Hij beweert (blz. 209 e.v.) dat de aarde en de sterren bezielde zijn, hoewel ze niet beschikken over zintuigen en dat God zelf een ziel is. [5] Thales aanhalend, noemt hij de magneet 'een bezielde steen die deel uitmaakt en beminde zoon van de bezielde moeder, van de aarde is'.

Het laatste citaat laat zien dat Gilberts theorie van het magnetisme ingebed is in een vitalistische filosofie van de aardbol. De aarde is voor hem de 'gemeenschappelijke moeder' van alle dingen. Steeds weer komt deze uitdrukking in De Magnete terug als de aarde aan de orde komt. [6] We kunnen daardoor de sterke emotionele achtergrond van de voorstelling van de moederlijke aarde nauwelijks in twijfel trekken. De magneetkracht is volgens Gilbert direct van de aarde afgeleid. Want niets anders dan de magneet (I, 17 blz. 42) bevat 'deze bepaalde substantie', die gelijksoortig is aan de innerlijke natuur van de aarde en in zeer hoge mate verwant is met haar merg. Ijzer en magneten zijn (I,16, blz. 37) 'de ware en innigste delen van de aarde' omdat 'zij de eerste krachten van de natuur belichamen, het vermogen bezitten om elkaar aan te trekken, te bewegen en zich aan te passen aan de positie van wereld en de aardbol'.

Gilbert was de eerste die de aarde opvatte als een grote magneet (I,17; IV,1). Hij was de eerste die beweerde dat de binnenkant van de aarde uit zuiver ijzer bestaat en dat haar oppervlak en de rand van de aarde slechts 'vervuild zijn door andere onzuiverheden' (I,16, blz. 39). Hiermee is hij vooruitgelopen op belangrijke empirische resultaten van de moderne geofysica. Maar de overeenkomst tussen zijn filosofie van de magneet en de moderne wetenschap is louter een kwestie van toeval. De begrippen 'innerlijk' en 'innig' die Gilbert hanteert, combineren een ruimtelijke en een metafysische betekenis en worden steeds als waarde begrippen gehanteerd. Het feit dat hij in een metafysische relatie tussen magnetisme en rotatie gelooft, geeft wel aan hoe nauw zijn filosofie van de magneet verbonden is met het Middeleeuwse vitalisme. Hij spreekt over 'de magnetische rotatie' van de aardbol (VI, 3 blz.

214) en hij zou graag meegegaan zijn met de bewering van Pierre de Maricourt, dat een sferische magneet voortdurend uit zichzelf draait, ware het niet dat zijn geweten als zorgvuldig experimentator dit tegenhield. Hij haalt de bewering van Pierre aan en voegt eraan toe (IV,4, blz. 223): 'Tot nu toe zijn we er niet in geslaagd dit aan te tonen. Wij betwijfelen zelfs of deze beweging bestaat zowel vanwege het gewicht van de steen, als ook door het feit dat de aarde zelf beweegt, zoals zij ook door andere sterren in beweging wordt gebracht. Dit geldt niet op dezelfde wijze voor een deel (de terella)'. Eenieder die zich de felle aanvallen van Gilbert op het perpetuum mobile herinnert, moet het verschil in toon opvallen. [7]

II

3. Het tot nu toe voorgelegde materiaal is voldoende voor een algemene karakterisering van de denkwijze van Gilbert. In zijn boek komen geregeld animistische en Neoplatoonse ideeën voor: de sporen van de Scholastiek en de astrologie zijn zeldzamer. Maar het zijn niet deze voorwetenschappelijke beelden die opvallen, aangezien deze immers voorkomen in de totale literatuur van geleerden uit die tijd. Wat werkelijk telt, is dat zijn animistische metafysica niet meer is dan de emotionele achtergrond van zijn denken en niet van invloed is op de empirische inhoud van zijn wetenschap. De geschriften van de Scholastici en de filosofen van de Renaissance wemelen van de magische en bijgelovige verhalen. Gilbert wijst deze ten stelligste af en fundeert zijn bevindingen alleen op waarneming en experiment. Deze instelling is zo uitzonderlijk in zijn tijd dat het de vraag oproept waar dit vandaan komt. Aangezien experimentatoren met een kritische geest enkele decades na Gilbert steeds vaker opduiken, zou een bevredigend antwoord op deze vraag tegelijkertijd een licht werpen op het ontstaan van de moderne wetenschap in zijn algemeenheid.

Zelfs in een tijd, waarin geleerden meer dan tegenwoordig gebruikelijk is, anderen aanhalen, is de grote belezenheid van Gilbert en het aantal referenties opvallend. Maar ondanks dat benadrukt hij de originaliteit van zijn ideeën. Zijn houding ten opzichte van de literatuur uit die tijd verklaart hij in het voorwoord van *De Magnete*. Daar stelt hij:

'Welke opgave heb ik in deze oceaan van boeken?... Door de stommelingen onder hen wordt de massa en het brutaalste deel van de mensheid vergiftigd, ziek en laatzinnig... Ze roepen zichzelf uit tot filosoof, arts, wiskundige en astronoom en verwaarlozen en minachten de geleerden. Waarom zou ik iets moeten toevoegen aan deze gestoorde literaire republiek? Of moet ik een bijdrage leveren aan een voortreffelijke filosofie die vanwege haar onbekende inhoud de mensen nieuw en ongeloofwaardig voorkomt? Mensen, die blind vertrouwen op autoriteiten -op de krankzinnige slopers van de goede kunsten, literaire idioten, grammatici, sofisten, louche advocaten en perverse middelmatigheden?... Nee! Ik heb deze principes van het magnetisme, die tot een nieuw soort filosofie behoren, voorgelegd aan de ware filosofen..... die naar kennis zoeken in de dingen zelf en niet alleen in boeken.'

Hij vervolgt met de opmerking dat hij niet de hulp wil inroepen van de filosofen uit de oudheid. 'Omdat noch de argumenten van de Grieken, noch de Griekse woorden' iemand kunnen assisteren bij het vinden van de waarheid. Hij belooft dat hij 'de opsmuk en de muggenzifterij' wil vermijden en hij wil de zaken niet met woorden verduisteren 'zoals bij alchemisten te doen gebruikelijk'. Hij neemt zich voor met dezelfde 'vrijheid van geest' (licentia) te schrijven als de oude Egyptenaren, Grieken en Romeinen. De 'sciolisten' [7a] van tegenwoordig houden nog steeds de vergissingen uit de oudheid overeind, maar Aristoteles, Theophrastus, Ptolemaeus, Hippocrates en Galenus zijn bronnen van wijsheid. 'Maar onze tijd heeft evenwel zeer veel zaken ontdekt en aan het licht gebracht die ook deze mannen met vreugde zouden omarmen als ze nu geleefd hadden.'

De hartstochtelijke aanvallen op degenen die in autoriteiten en in woorden geloven en de nadruk op de nieuwigheid van zijn ideeën zijn karakteristiek voor de periode van tegen het einde van de renaissance; ze lopen vooruit op Francis Bacon en in zekere zin ook op Galileo. Door het noemen van de grammatici, Griekse woorden en de welsprekendheid richt Gilbert zijn pijlen op het neergaande humanisme. Vergelijkbare begrippen haalt hij meerdere malen aan in *De Magnete*. [8] Het andere boek van Gilbert, *De Mundo*, is minder polemic en zakelijker geschreven. Hij keert zich echter wel tegen het geloof in autoriteiten: de uitspraak: 'hij zelf heeft het zo gezegd, Aristoteles heeft het zo gezegd, Galenus heeft het zo gezegd' beschouwt hij als 'ongepast' (*De Mundo* 1, 3 blz. 5). [9]

4. We kunnen daarom niet verwachten dat we in Gilberts boek veel sympathie ten opzichte van andere auteurs zullen aantreffen. In feite zijn de meeste van zijn talrijke verwijzingen kritisch van toon en negatief, terwijl de werkelijke bronnen van zijn ideeën voornamelijk ergens anders gezocht moeten worden. Hij citeert vaak auteurs uit de oudheid. Relatief gunstige oordelen worden gevelde over filosofen die geloofden in een universele bezieling, zoals Plato en de meeste presocratici. De atomisten en mechanisten wijst hij af. De stoïcijnen worden door hem niet genoemd. Hoewel Gilbert sterk beïnvloed is door het begrip van de substantiële vorm, keert hij zich tegen Aristoteles. In *De Magnete* (blz. 116 en 209) worden hoofdzakelijk Aristoteles en de astronomische leerstellingen onder vuur genomen en in *De Mundo* (I,3) is dat vooral het geval met de leer van de vier elementen. Het eerste boek van *De Mundo* heeft zelfs als titel 'nieuwe fysiologie tegen Aristoteles', het derde boek is getiteld 'nieuwe meteorologie tegen Aristoteles'. [10]

Referenties naar Middeleeuwse auteurs komen minder vaak voor. Thomas van Aquino wordt tweemaal aangehaald (I,1, blz. 3 en II, 3, blz. 64) en zijn genialiteit en geleerdheid worden zeer geprezen. Gilbert voegt daar evenwel aan toe dat Thomas niet experimenteerde en daarom fouten maakte. Enkele Arabische auteurs worden vermeld, maar meestal worden hun opvattingen bekritiseerd. [11]

Dat geldt grosso modo ook voor auteurs uit de nieuwe tijd. Het schijnt dat Gilbert de humanisten niet goed gekend heeft. Onder de meest aangehaalde moderne geleerden zijn de filosoof-geneesheer Fracastoro, de wiskundige en fysicus Cardanus, de filoloog en fysicus Scaliger en de geleerde curiositeitenverzamelaar Giambattista Porta. De eerste drie geleerden behoorden tot de meest beroemde geleerden van de late renaissance. Bijna altijd drijft Gilbert de spot met alle vier de geleerden, in het geval van Fracastoro vanwege zijn geloof in de 'sympathie', de anderen vanwege hun lichtgelovigheid en bijgeloof. Gilbert -hij was arts in dienst van koningin Elisabeth- schreef twee hoofdstukken (I,14 en 15) over de geneeskrachtige werking van ijzer. Daar laat hij zien dat hij vertrouwd is met de moderne geneeskundige literatuur, maar praktisch alle aangehaalde auteurs worden door hem afgewezen. Hartstochtelijk valt hij Paracelsus aan, die onder de artsen de eerste was die in opstand kwam tegen de autoriteit van Aristoteles en Galenus en tweemaal vermeldt hij (blz. 34 e.v.) de eminente en empirisch georiënteerde anatoom Fallopius zonder hem verder enige betekenis toe te kennen. De persoonlijke geneeskundige opvattingen van Gilbert zijn opmerkelijk solide en vrij van bijgeloof. Met de astronomische literatuur uit zijn tijd is hij goed vertrouwd (De mundo II,10 en 20), en Copernicus wordt hooggeprezen in De Magnete (VI,3). In het voorwoord van De Magnete van Gilbert's vriend Wright wordt de heliocentrische theorie uitvoerig verdedigd tegen wetenschappelijke en religieuze aanvallen. [12]

De verwijzingen die ontbreken leren meer over de oorsprong van Gilbert's denken en leren dan de referenties die hij aandraagt. In De Magnete is de afwezigheid van drie auteurs uit de oudheid opvallend: Euclides die voor de ontwikkeling van de geometrische kennis in de 15de en 16de eeuw van groot belang is, Archimedes, die de mechanica in die tijd sterk beïnvloedde en Vitruvius, die de voornaamste bron van technische kennis in de oudheid is. Deze drie omissies laten zien dat Gilbert zich niet bezighield met de wiskundige literatuur van zijn tijd en dat hij geen belangstelling had voor mechanica. Hij onderhield ook geen contact met de humanisten en de architecten van de Renaissance, die Vitruvius veelvuldig aanhaalden. Met kunstenaars had Gilbert vermoedelijk sowieso geen contact. Hij zou echte experimenten gevonden kunnen hebben in de geschriften van de Italiaanse kunstenaars-ingenieurs (Brunelleschi, Ghiberti, Leonardo), ware het niet dat deze nog niet in druk verschenen waren. Hij vermeldt ook nergens Biringuccio, die tot de architecten van de Renaissance behoorde. Het werk van Biringuccio Della Pirotechnica dat in 1540 in gedrukte vorm verscheen, behandelt de metallurgie op een zeer empirische en experimentele wijze. Het magnetisme daarentegen behandelt hij nog steeds op een veeleer bijgelovige manier.

Leerzaam is het negeren van een verdere groep auteurs. Het verzet van Gilbert tegen de boekenwijsheden en autoriteiten en zijn trots op de originaliteit van zijn ideeën doet sterk denken aan Bernardino Telesio. Telesio was de eerste van de geleerden uit de renaissance die zijn 'eigen principes' over de natuurfilosofie plaatste tegenover die van Aristoteles. (De Rerum Natura Luxta Propria Principia 1565 en 1570) En inderdaad duikt enkele jaren na De Magnete de invloed van Telesio op in de werken van Bacon. Hierin wordt de anti-aristotelische rebellie met nog meer elan opgepakt. Gilbert vermeldt Telesio echter nergens en hij schijnt zijn werk ook niet gekend te hebben. Het geval met de leerling van Telesio, Patrizzi, ligt wat anders.

Patrizzi valt voortdurend Aristoteles aan, maar is geen toonbeeld van originaliteit. Hij citeert maar al te graag Plato en de autoriteiten van de occulte wetenschap. Gilbert kende hem en hij wordt tweemaal geciteerd in *De Mundo* (II,2, blz. 118; en II, 10 blz. 151). Beide keren wijst hij echter de beweringen van Patrizzi -over de vorm van de aarde en de oorzaak van de beweging van de sterren- af. In *De Magnete* zijn zowel inhoud als woordkeus van het hoofdstuk over het neoplatonisme over de universele bezieling (V,12) duidelijk beïnvloed door Patrizzi, hoewel hij niet één keer vermeld wordt. [13] Ook Campanella en Giordano Bruno zijn intellectueel verwant aan Telesio. Beiden bekritiseerden Aristoteles en wezen ze de humanistische boekenverering af met een even grote heftigheid. Toch worden ze nooit door Gilbert vermeld. Bruno leefde van 1583 tot 1585 in Engeland en het moet voor onze auteur niet al te moeilijk zijn geweest om met hem in contact te komen.

Gilbert's ideeën -hij beschrijft, zoals we gezien hebben, delen van *De Mundo* zoals *Physiologia nova contra Aristotelem*, *Nova meteorologia contra Aristotelem*- behoren tot dezelfde geestelijke stroming als Telesio, Patrizzi, Campanella en Bruno. De moderne technologie en moderne economie hebben de maatschappij zo fundamenteel veranderd, dat het Scholastieke geloof in Aristoteles en de humanistische verering van de oudheid niet langer vol te houden is. Telesio, Patrizzi, Campanella en Bruno waren echter metafysici, geen experimentalisten, hoewel Telesio en Campanella tenminste in theorie het belang van de ervaring benadrukten. Het is leerzaam te bedenken dat drie van deze filosofen überhaupt geen invloed op Gilbert uitoefenden en dat alleen Patrizzi met enige neoplatoonse ideeën aan zijn filosofie bijgedragen heeft. Een sociologische analyse zou kunnen uitwijzen dat de jonge experimentele wetenschap van de 17de eeuw en de anti-dogmatische, maar fantastische metafysica van de latere renaissance met elkaar verbonden zijn. In beide manifesteert zich dezelfde rebellie van de opkomende moderne maatschappij tegen de verouderde kennis en autoriteiten van het verleden. Toch valt de natuurfilosofie van de laatrenaissance te beschouwen als de oudere broer van de experimentele wetenschap, niet als haar vader. De experimentele methode is niet ontsproten uit de metafysische ideeën van de natuurfilosofen en had daar ook niet uit kunnen ontstaan. We moeten op andere plaatsen en in andere sociale lagen naar haar directe voorgangers zoeken.

Onder alle door Gilbert aangehaalde geleerden is er één die zijn onderzoeken en methodes aanzienlijk beïnvloed heeft, ofschoon Gilbert op een geen enkel wijze naar voren brengt wat hij aan hem te danken heeft. We hebben het hier over de Middeleeuwse edelman Pierre de Maricourt die in 1269 een kort, opmerkelijk verslag geschreven heeft over zijn experimenten met magneten. Over zijn leven is zo goed als niets bekend. Kopieën van zijn brief over het magnetisme circuleerden tot in de 16de eeuw, tot het onder de titel '*Petri Peregrini Maricurtensis De Magnete, seu Rota perpetui motus libellus*, Augsburgi 1558', gedrukt werd.

Gilbert vermeldt Petrus Peregrinus vijf keer in *De Magnete* en één keer in *De Mundo*. [14]

De eerste verwijzing staat in het eerste hoofdstuk van De Magnete dat een samenvatting geeft van de opvattingen van auteurs uit het verleden over magnetisme. Daar (blz. 5) zegt Gilbert: 'Ongeveer 200 jaar voor Fracastoro is er een klein boekwerkje uitgegeven, dat voor die tijd tamelijk accuraat is, onder de naam van een zekere Petrus Peregrinus, waarvan velen aannemen dat het zijn opvattingen ontleent aan de Engelsman Roger Bacon uit Oxford. Van dit werk maakte Johannes Taysner von Hainolt een samenvatting en publiceerde dit als een nieuwe uitgave.' [15] Tweemaal (III, I, blz. 116 en IV, I blz. 153) wordt Petrus genoemd onder de aanhangers van de foutieve opvatting dat de 'magneetnaald door de hemelse pool aangetrokken wordt'. In een kort hoofdstuk (II,35) wijst Gilbert hartstochtelijk de perpetuum mobile machines van Cardanus, Antonius de Fantis, Petrus Peregrinus en Johannes Taysner af. En tot slot bekritiseert hij in De Magnete (VII, 4, blz. 223) en De Mundo (II,7, blz.13) de bewering van Pierre met betrekking tot de eeuwig draaiende terella (vgl. §2 hierboven). Afgezien van de eerste opmerking die tamelijk timide en algemeen is, verschilt Gilbert altijd van mening met Pierre en bekritiseert hij diens opvattingen.

In werkelijkheid is Gilbert meer aan Pierre verschuldigd dan zijn woorden doen vermoeden. Pierre wist al (hfst. 6) dat ongelijke polen elkaar aantrekken en dat gelijke polen elkaar afstoten. Hij wist (hfst. 7) dat als een magneet wordt opgesplitst, de delen ervan nieuwe magneten met nieuwe polen vormen. Maar de kennis van Gilbert over deze feiten hoeft niet direct overgenomen te zijn van de Middeleeuwse experimentator. Anders ligt dit bij de sferische vorm van de magneet. Deze vorm is niet vanzelfsprekend, eerder ondoelmatig vanuit een modern perspectief. Pierre maakt gebruik van bolvormige magneten. De gecompliceerde wijze om de magnetische polen van het object te bepalen -men legt er korte stukjes ijzerdraad op en trekt met krijt meridianen, totdat deze elkaar overlappen- is zo volkomen identiek bij beide auteurs (Pierre hfst. 4, Gilbert, I,3, blz. 12 e.v.) dat de literaire invloed niet betwijfeld kan worden. Gilbert is de eminente Middeleeuwse experimentator ook schatplichtig in zijn experimentele opstellingen. Pierre (hfst. 5-7) heeft ook al magneten met behulp van kleine houten scheepjes op het water laten drijven. De stukken kurk die Gilbert gebruikte, waren hem natuurlijk nog niet bekend.

5. Tot hieraan toe kunnen we nog niet veel positieve bijdragen bieden ter beantwoording van onze hoofdvraag. We hebben talrijke auteurs besproken, waaraan Gilbert zijn wetenschappelijke methode niet te danken heeft en slechts één -Pierre de Maricourt- van wie dat wel het geval was. De herkomst van zijn experimentele techniek en zijn kritisch wetenschappelijke filosofie zijn daarom nog net zo raadselachtig als ze waren voordat wij de citaten verzamelden. Maar onze werkwijze kan verkeerd geweest zijn. Het was inderdaad verkeerd om zijn wetenschappelijke voorgangers te zoeken onder de geleerden en de filosofen. Men hoeft slechts de bladzijden van De Magnete maar door te bladeren om te zien dat hij ook geïnteresseerd was in niet-geleerde personen en niet-Scholastieke onderwerpen. Van de 240 bladzijden van zijn boek zijn er slechts 97 (40%) gewijd aan de verklaring van natuurkundige experimenten. Daarentegen zijn er 60 bladzijden (25%) gewijd aan nautische instrumenten en navigatie en 25 bladzijden (10%) aan mijnbouwtechniek, smelttechniek en de bewerking van ijzer. Voor het overige stelt hij opvattingen van vele

andere auteurs (18 pag.), de aardbol als magneet (11 bladzijden) en de medicinale werking van ijzer (4 bladzijden) aan de orde. Het is overduidelijk dat *De Magnete* in belangrijke mate afwijkt van moderne leerboeken over het magnetisme. Het eerste gedrukte boek over experimentele fysica houdt zich over een dermate brede linie bezig met praktische problemen, dat het in sommige opzichten eerder een technologisch werk lijkt dan een natuurkundig werk uit onze moderne tijd. En hier ligt dan ook de sleutel tot de oplossing van ons vraagstuk.

We zullen ons eerst richten op de belangstelling van Gilbert voor de mijnbouw en metallurgie. Hij is vertrouwd met de vakliteratuur op deze gebieden. Georg Agricola, de meest vooraanstaande auteur van de 16e eeuw op dit gebied wordt het meest aangehaald. Gilbert heeft grote waardering voor hem, maar hij corrigeert fouten van Agricola die zijn ontstaan door diens kritiekloze overname van opvattingen uit de oudheid. Niet minder dan vier hoofdstukken van *De Magnete* (I,2,7 en 8) zijn gewijd aan een uitvoerige beschrijving van de verdeling van ijzer over de wereld, aan de beschrijving van de verschillende metalen en worden auteurs op dit gebied aangehaald uit de oudheid, de Arabische wereld en de moderne tijd. [16] Ook de bewerking van ijzer komt uitvoerig aan de orde (I,7). Gilbert bericht (blz. 23) over de vervaardiging van gietijzer, smeedijzer en staal in Stiermarken en in Spanje. Hij baseert zich op de beschrijving van ijzergieterijen in Porta's *Magia Naturalis* en geeft een overzicht van maar liefst 11 bladzijden over instrumenten die gemaakt zijn van ijzer (pag. 24). Dit bevat onder meer verschillende soorten geschut, 'de plaag van de mensheid' en eindigt met een verwijzing naar 'talrijke andere instrumenten die nog niet bekend waren bij de Latijnen'. Zijn informatie over Engeland is uitermate interessant omdat deze blijkbaar gebaseerd is zijn op persoonlijke ervaring. Hij verhaalt (I,2, blz. 24) dat 'onlangs' in een Engelse mijn, die in het bezit is van de edelman Adrian Gilbert, magnetisch ijzer is gevonden. [17] Hij bericht over de bewerking van het ijzer in Engelse gieterijen waar geschut geproduceerd wordt. En hij weet (I, 8, blz. 26) dat Engelse klei altijd ijzer bevat en dat, wanneer bakstenen in een open oven gebakken worden, 'die bij ons als clampa bekend staan', de stenen die zich het dichtst bij het vuur bevinden, een 'ijzerachtige verglazing' krijgen.

Gilbert is ook bekend met de smeedkunst. In een hoofdstuk over experimenten met magneten (I,2, blz. 29) beschrijft hij hoe hij zelf het smeedijzer maakt dat hij voor zijn experimenten nodig heeft. Hij voegt hieraan toe: 'daaruit vormen de smeden met hun hamers (fabri) rechthoekige stukken, meestal staven (bacillas) die door de handelaren en grote smederijen (ferrarii) gekocht worden, waarmee de verschillende instrumenten in de werkplaatsen (officinis) gemaakt worden. In een hoofdstuk (III,12) dat verklaart hoe ijzer door het magnetische aardveld gemagnetiseerd wordt, staat een houtsnede van een smidse met oven, blaasbalgen, aambeeld en gereedschappen.

Deze eigenaardige houtsnede, die in een modern tekstboek over magnetisme niet mogelijk zou zijn, illustreert de zeer nauwe relatie tussen Gilbert's theoretische onderzoek en de praktische metallurgie. Bovendien mag men niet vergeten dat Gilbert niet meer in de tijd van

het aan tradities gebonden Middeleeuwse handwerk leefde. Het gaat hem niet om de mijnbouw en metallurgie in zijn algemeenheid, maar om de mijnbouw en metallurgie van een zich snel ontwikkelend vroegkapitalisme. Zoals we van Agricola weten, worden trekkers, stampmolens, ventilatoren en rails voor hondenwagens in de 16de eeuw in de mijnbouw geïntroduceerd. In deze zelfde tijd revolutioneerde de introductie van de hoogovens de totale techniek van de productie van ijzer. De Engelse mijnbouw en metallurgie maakten deel uit van deze ontwikkeling. [18] Aangezien de mijnwerkers en de ijzergieters van die tijd tot de onderste lagen van de maatschappij behoorden en ongeschoold waren, kennen we hun namen en hun gedachten niet. Er kan echter niet aan getwijfeld worden dat velen van hen, gestimuleerd tot innovatie door de economische concurrentie, nieuwe technieken uitprobeerden en vertrouwd waren met de observatie van de natuurlijke processen. De techniek had zich niet zo snel kunnen ontwikkelen, als men, zoals gebruikelijk was in de Middeleeuwse gilden, vastgehouden had aan de traditionele werkwijze. Klaarblijkelijk bevonden zich tussen de handwerkers experimentatoren, maar dat waren dan wel experimentatoren met louter praktische doelstellingen en zonder theoretische kennis. In deze kringen moet Gilbert veel contacten hebben gehad. Door een gelukkig toeval kunnen we zelfs aantonen dat hij zelf in een ijzermijn afgedaald is. Op een plaats verhaalt hij (III,2, blz. 119 e.v.), hoe hij de hypothese verifieerde dat de richting van het magnetisme in het magnetisch ijzererts door de aarde ontstond. Hij zegt:

‘We hadden een magneetsteen van 20 pond opgegraven en naar boven gehaald waarbij we eerst gekeken hadden waar de uiteinden van de aders zich bevonden en deze gemarkeerd hadden. Daarna hadden we de steen geplaatst in een houten vat met water zodat het zich vrij bewegen kon. Meteen draaide het vlak dat in de mijn naar het noorden gericht was, ook op het water naar het noorden’.

Het is bijna symbolisch dat Gilbert zijn laboratoriumexperiment uitvoerde, vrijwel meteen nadat hij de mijn verlaten had en zich onderhouden had met de mijnwerkers. Natuurlijk waren de experimenten van Gilbert geen kopieën van de pogingen van de mijnwerkers en ijzergieters. Maar zijn observerende en experimentele geest had hij niet overgenomen van de geleerden, maar van de handwerkers. Soms waren zijn experimenten evenwel een kopie van de werkprocessen van de ijzerfabrieken uit zijn tijd. In drie hoofdstukken van *De Magnete* (I,9-11) beschrijft hij magnetische experimenten met ijzererts en smeedijzer: hij laat stukken ijzererts en stukken ijzer op het water drijven, verbindt deze met draden en laat ze door magneten aangetrokken worden; voordat hij dit doet verhit hij het erts urenlang in een smeltoven, laat het smelten; dan bewerkt hij dit product met hamers, zet het in een tweede oven, enz. Dit alles is geen onderdeel van de voorbereiding an sich, maar wordt als deel van het experiment zelf beschreven. Een deel van zijn laboratorium moet er in ieder geval uitgezien hebben als een smederij.

6. Een nog grotere rol als mijnbouw en metallurgie spelen in *De Magnete* navigatie en nautische instrumenten. Ongeveer 32 bladzijden (13%) van zijn boek zijn gewijd aan nautische instrumenten, 28 bladzijden (12%) aan de navigatie in zijn algemeenheid. Al direct in het begin van de inleiding van Wright in *De Magnete* worden de geografische ontdekkingen en de

zeiltochten om de aarde vermeld. Bij zijn bespreking van vroegere auteurs over het magnetisme (I,1, blz. 4) beschrijft Gilbert (onjuist) de geschiedenis van de uitvinding van het kompas en merkt hij op dat 'er geen uitvinding van de menselijke kunsten de mensheid ooit van meer nut is geweest'. Hij vermeldt Sebastian Cabot als de ontdekker van de magnetische variatie en noemt (blz. 7) de namen van vier mannen 'die de verschillen in magnetische declinatie tijdens lange reizen geobserveerd hebben': Thomas Hariot, Robert Hues, Edward Wright en Abraham Kendal. [19] Ook in zijn hoofdstuk over de werelddol blijkt dat hij contacten onderhield met zeelieden. Daar (I,17, blz. 39) vermeldt hij getalsmatige gegevens over de diepte van de oceaan die verzameld moeten zijn door de metingen van zeelieden met een peillood. Deze resultaten moeten door persoonlijke vrienden aan hem medegedeeld zijn. [20]

De volle omvang van zijn nautische kennis wordt duidelijk in het vierde boek van *De Magnete*, dat gaat over magnetische declinatie. Gilbert is ervan op de hoogte (IV, 1, blz. 152) dat de declinatie op verschillende punten anders is en hij vermeldt de omvang van de afwijking van posities verspreid over de hele wereld en alle oceanen. [21] De opmerkelijke reikwijdte van zijn gegevens toont aan dat hij vertrouwd is met de informatie van Engelse, Spaanse, Portugese en Hollandse navigators en met de boeken van de geleerde kosmografen van zijn tijd. Bovendien vermeldt hij (IV,5 en 10), dat de declinatie in hoge breedtegraden groot is en dat deze niet beïnvloed wordt door de ijzermijnen op het eiland Elba in de Middellandse Zee. Hij weet (IV,8. blz. 165 e.v.) dat de Portugese, koninklijke kosmograaf Pedro Nunes (*Tratado da Shpera*), Lissabon 1537) geen enkele rekening houdt met de declinatie en dat de Spaanse historicus Pedro de Medina (*Arte de Navegar*, Vallodid,1545) deze verkeerd interpreteert. Hij beklagt zich over de onnauwkeurigheden van de meeste zeelieden bij de bepaling van de declinatie en waarschuwt met name voor de rapporten van de Portugese navigators over hun reizen naar Oost-Indië. Hij weet dat de getallen van de Portugese zeeman Rodrigo de Lagos, van de Spaanse zeeman Diego de Alfonso, van de Hollanders en van 'de ervaren Engelsman' Abraham Kendal, elkaar tegenspreken (IV,13, blz. 177 e.v.). [22] De bepaling van de geografische lengte was een moeilijk en veelbesproken probleem van zijn tijd en hij probeerde dat met behulp van de declinatie van de magnetische naald op te lossen. Hij vermeldt (IV, 9, blz. 167) dat de geleerde verzamelaar van curiosa Giambattista Porta (*Magis Naturalis*,1589), de Venetiaanse geograaf Livio Sanuto (*Geografica*, 1588) en de wiskundige Giambattista Benedetto onjuiste oplossingen voor dit probleem hebben aangedragen, aangezien de declinatie niet proportioneel met de afstand ten opzichte van het aardoppervlak varieert, zoals door hen verondersteld werd. Aan het slot haalt hij de juiste oplossing van Simon Stevin aan, de eminente Hollandse expert op het gebied van militaire techniek, navigatie en boekhouding. [23]

Gilbert is ook vertrouwd met de astronomische hulpmiddelen die gebruikt worden bij het navigeren. Hij weet hoe de geografische breedtegraad astronomisch bepaald wordt en hij betreft de atmosferische refractie in zijn berekeningen. Hij presenteert een lange lijst van heldere sterren met hun hoekafstanden van de hemelevenaar en hun correcte opkomsttijden voor het praktisch gebruik door de navigator. (IV,12, blz. 174 e.v.)

Gilbert vergaarde zijn kennis van de navigatie niet alleen door studie. Zoals ook al het geval was met de mijnwerkers, maakt een terloopse opmerking in *De Magnete* duidelijk dat hij persoonlijk contact heeft. Eén keer noteert Gilbert (III,1, blz. 117 e.v.) dat het kompas op alle breedtegraden tussen de evenaar en de 70ste en 80ste noordelijke breedtegraad correct werkt en voegt daaraan toe: 'Dit is ons bevestigd door wereldberoemde kapiteins en door zeer veel van de intelligentere zeelieden. De zeer beroemde Neptunus Francis Drake en ook de andere reiziger om de wereld Thomas Cavendish hebben mij dit persoonlijk medegedeeld en bevestigd. Blijkbaar is hij trots op zijn vriendschap met de beide wereldreizigers die door hun overwinningen in de zeeslagen met de Spanjaarden en -door hun succesvolle kapingen-toegang tot de hofhouding van koningin Elisabeth hadden. Cavendish was adellijk van geboorte, Sir Francis Drake werd vanwege zijn successen op zee tot ridder geslagen. De namen van de gewone kapiteins en zeelieden met wie Gilbert contact had, vermeldt hij niet. [24]

Aan het einde van het citaat (III,1, blz. 118) concludeert Gilbert dat het kompas alleen dan slecht functioneert als de naald verroest is of bij het draaipunt stomp geworden is. Dit leidt ons naar zijn belangstelling voor nautische instrumenten. We hebben al de in *De Magnete* uitgebreid beschreven meetinstrumenten aan de orde gesteld en daarbij gemeld dat ze minder nieuw zijn als Gilbert dat doet voorkomen. [25] Na de publicatie van *De Magnete* houdt Gilbert zich bezig met de verbetering van instrumenten en met het bekend maken hiervan. Een jaar voor de dood van Gilbert publiceert ene M. Blundeville een geschrift *Theorique of the Seven Planets*, Londen 1602. Het is in het Engels geschreven en heeft als bijlage 'the making description and use of the two most ingenious and necessary Instruments for Seaman... First invented by my good friend Master Doctor Gilbert...' ('De vervaardiging, beschrijving en het gebruik van twee van de meest ingenieuze en noodzakelijke instrumenten voor zeelieden...als eerste ontdekt door mijn goede vriend, de geleerde Dr. Gilbert...') Blijkbaar heeft Gilbert er op aangedrongen dat er een Engelse uitgave kwam. De beide instrumenten zijn het nomogram van *De Magnete* waarvan aangenomen wordt dat het de bepaling van de geografische breedte mogelijk maakte en een in vergelijking met *De Magnete* iets vereenvoudigde uitvoering van de inclinometer. [26] Zoals deze verbeteringen aantonen, benaderde Gilbert deze instrumenten niet zuiver theoretisch, maar is hij bekend met de praktische eisen van de kapiteins. Het is hem duidelijk (IV,12 blz. 172) dat in de navigatie eenvoudig geconstrueerde instrumenten noodzakelijk zijn, die onafhankelijk van het slingeren en het stampen van het schip gebruikt kunnen worden. Hij is uitvinder en ontwerper van nomogrammen, omdat hij van mening is dat aan boord van een schip geen ruimte is voor gecompliceerde wiskundige berekeningen en 'bewijzen van wiskundige genialiteit'. Hij geeft enkele praktische aanwijzingen over de productie, de magnetisatie en het balanceren van de kompasnaald (III,17 blz. 147). Hij bespreekt uitvoerig (IV, 8, 165 e.v.) de verschillende soorten kompassen die door zeelieden uit de verschillende Europese naties gebruikt worden. Dit hoofdstuk is echter gebaseerd op de bevindingen van Robert Norman zonder dat zijn naam vermeld wordt.

7.De invloed van Norman op de onderzoeken van Gilbert is zo belangrijk dat deze in detail besproken moeten worden. Gilbert zelf benadrukt deze niet, integendeel, hij probeert deze

eerder te verdonkeremanen. Nadat Gilbert in het eerste hoofdstuk Wright en zijn vrienden vermeld heeft, vervolgt Gilbert met (blz. 7 e.v.): 'Er zijn anderen die publiceerd hebben over magnetische instrumenten die ze uitgevonden hebben en over nuttige waarnemingsmethoden, die noodzakelijk zijn voor navigators en reizigers die verre afstanden afleggen, bijvoorbeeld William Borough in zijn geschrift over de declinatie van het kompas, William Barlow in zijn supplement [27] en Robert Norman in zijn *New Attractive*'. Hij voegt daaraan toe, dat Norman: 'een ervaren zeeman en een geniale uitvinder' de inclinatie van de magnetische naald ontdekte. Een tweede keer wordt Norman zelfs bevestigend aangehaald (IV, 6, 161 e.v.) Gilbert verklaart dat de gerichtheid van de magneetnaald op de meridiaan niet door aantrekking bewerkstelligd wordt, maar door een of ander 'ordenings- en draaiend vermogen' van de aarde en voegt hieraan toe dat dit voor het eerst door Norman is vastgesteld.

Daarna beschrijft hij uitvoerig en toegelicht met illustraties van houtsneden een experiment dat de gegeven verklaring bewijzen moet. [28] Dit experiment is tot in detail overgenomen uit het boek van Norman (met inbegrip van zijn onjuiste interpretatie) (I,1, blz. 5 en IV,1. blz. 153). Twee andere keren wordt Norman in drie woorden afgedaan als de auteur die in plaats van het begrip 'aantrekkingspunt', het begrip 'referentiepunt' heeft voorgesteld als aanduiding van de richting waarin de magneetnaald wijst. Het is eigenaardig dat drie van de vier citaten betrekking hebben op een onjuiste opvatting van Norman. Als we willen uitzoeken welke betekenis Norman werkelijk voor Gilbert heeft, moeten we zijn verhandeling onderzoeken. [29]

Norman was een voormalige zeeman die zich toegelegd had op de vervaardiging van kompassen. Dat kan geconcludeerd worden uit zijn boek, de enige bron van informatie over zijn leven. Het boek zelf begint met enkele mineralogische opmerkingen over magnetisch ijzererts en herhaalt een verhaal van Paracelsus over magneten die door verhitting, totdat ze roodgloeiend zijn, zo krachtig kunnen worden dat ze spijkers uit muren kunnen trekken. Het is ditzelfde verhaal dat Gilbert ertoe aanzet Paracelsus als een schaamteloze charlatan neer te zetten (De Magnete blz. 93). Norman gelooft er echter in. Belangrijker is dat Norman in het eerste hoofdstuk experimenten beschrijft waarin magneten opgehangen worden aan draden en op het water drijven. [30] Het tweede hoofdstuk beschrijft het aardmagnetisme. Norman is van mening dat dit niet door magneten op de noordpool verklaard kan worden, omdat hij weet dat de ijzermijnen op Elba de magneetnaald niet laten afwijken- een conclusie die Gilbert eenvoudigweg overneemt. Vervolgens behandelt Norman (hfst.3) de declinatie van de magneetnaald en stelt 'hierover niets eerder gehoord of gelezen te hebben'. Hij beschrijft (hfst.4) en illustreert door middel van een houtsnede de allereerste inclinometer. [31] Hij vervolgt met een beschrijving van twee uitmuntende en uitermate nauwkeurige experimenten die beide door Gilbert gekopieerd worden. In het eerste (hfst.5) bewijst hij met behulp van een goudweegschaal dat het magnetisme geen gewicht heeft: dit is theoretisch en experimenteel volkomen juist. Het tweede experiment (hfst.6) is hierboven (zie voetnoot 28) al aangehaald; het is bedoeld als bewijs dat de aarde de magneetnaald niet aantrekt, maar slechts laat draaien. Dit wordt geïllustreerd met een houtsnede en wordt zelfs zorgvuldiger

uitgevoerd dan bij Gilbert -Norman let erop dat geen zuchtje wind het experiment kan beïnvloeden-, maar zijn theoretische interpretatie is foutief, net als die van Gilbert. In hetzelfde hoofdstuk (6) wordt het begrip 'referentiepunt' geïntroduceerd, zoals al eerder vermeld is.

In de rest van het boek zijn geen experimenten meer beschreven. Norman bespreekt (hfst.7) hoe het 'referentiepunt' bepaald kan worden, wanneer men magneetnaalden op verschillende plekken op aarde met elkaar vergelijkt. Als eenvoudig zeeman en kompasbouwer is hij niet in staat, zoals hij erkent (hfst.8), om de oorzaak van het aardmagnetisme te verklaren. 'Ik wil niet aanbieden' zo stelt hij bescheiden 'om met de logici over zovele onderwerpen in dispuut te gaan, omdat het er sterk van wegheeft dat zij mij in zaken die betrekking hebben op de natuur zullen overtreffen'. Zo beperkt hij zichzelf tot een verwijzing naar 'God in al zijn alwetende voorzienigheid'. Hij bespreekt (hfst.9) de magnetische declinatie en de afwijkingen op verschillende plaatsen en benadrukt -weer doet dit aan Gilbert denken- dat deze niet 'evenredig proportioneel' is zoals enige navigators meenden, die 'ongeacht hun reizen in dit opzicht waarschijnlijk meer op hun boeken dan op hun ervaringen vertrouwd hebben'. Hijzelf verwijst naar de '18 tot 20 jaar die ik op zee heb doorgebracht'. Hij beklaagt zich over de meeste zeelieden alleen maar warrige ideeën hebben over de declinatie, omdat ze niet beschikken over de geschikte instrumenten: 'dat is de reden dat ik een zeer noodzakelijk instrument vervaardigd heb'. Het laatste hoofdstuk (10) gaat in op de verschillende soorten kompassen in verschillende landen en vormt de bron voor het overeenkomstige hoofdstuk in *De Magnete* (IV,8). Het tweede deel dat hierop volgt bevat astronomische tabellen voor het gebruik in de navigatie.

We hebben met de empirische instelling van deze eenvoudige instrumentenmaker al kennis gemaakt die, net zoals Gilbert, Francis Bacon en Galileo, de voorkeur geeft aan de waarneming boven boekenwijsheden. Zijn intellectuele instelling komt in het voorwoord van zijn boek nog pregnanter naar voren. Het is opgedragen 'aan de zeer eerbiedwaardige hooggeboren M. William Burrough, inspecteur van de marine van Zijne Majesteit'. (To the right Worshipfull M. William Burrough, Esquire, Comptroller of het Majesties Navie). Hij begint met een anekdote over Archimedes die gedurende het baden de wet van de opwaartse kracht ontdekt, naakt door de straten rent, al roepende -Norman gebruikt hier geen Grieks- 'ik heb het gevonden'. Norman gaat verder:

"Zo vond ik, (ofschoon ik me niet aanmatig dat ik in andere relaties en intellectuele zaken en kennis dezelfde geleerdheid bezit als Archimedes... noch met andere geleerde wiskundigen, omdat ik zelf geen opgeleid wiskundige ben) vanwege mijn beroep, waarin ik meerdere experimenten met magneten gedaan heb, naast vele andere effecten, deze bevreemdende en nieuwe eigenschap van de variatie van de naald ontdekt heb: die ik hier in mijn eigen naaktheid, waar ik aan voorbij ga, sterker nog, mijn verlangen naar kleding minachtend, op eenvoudige wijze voor het oog van de wereld gepresenteerd heb.'

En weer haalt hij een anekdote uit de oudheid aan, het verhaal van Pythagoras en de hecatombe die hij na de ontdekking van zijn theorema offerde en gaat verder:

“Zodat we deze mannen zien... gedragen en overweldigd door een toestand van onvoorstelbare extase, die ze bereikten door hun eigen activiteiten en ontdekkingen. Hoewel deze extase deels het gevolg is van hun persoonlijke voorkeuren, komt deze hoofdzakelijk door de eer van God of de bevordering van het publieke goed dat zij hiermee nastreefden. En ik zag dat het God behaagd had mij dit instrument te laten maken en dit edele geheim te onthullen, zodat hierdoor zijn naam geëerd moge worden en hierdoor het belang van mijn land gediend is. Ik hield het voor mijn plicht mijn geloofwaardigheid in de waagschaal te stellen en mijn naam liever tot onderwerp van vileine en bedrieglijke praatjes te maken dan dat ik dit geheim zou houden waardoor het nut ervan onbekend zou blijven. ”

Norman benadrukt het nut van de navigatie voor zijn land en verklaart wederom zijn besluit om zijn ontdekking te publiceren ‘om een theorie te formuleren’ voor gebruik door de zeelieden en om te beschrijven ‘wat ik met behulp van het exacte uitproberen en met perfecte experimenten heb kunnen vinden’.

“Waarbij ik, hoewel het lijkt alsof mijn naaktheid, mijn verlangen naar welsprekendheid en mijn normale werkwijze om te fantaseren de overhand heb gekregen, ik op de lezer vertrouw dat deze niet de woorden maar de dingen in aanmerking neemt. Dat hij niet alles zonder meer uit hoffelijkheid aanneemt of vanwege zijn ernst niet over mijn fouten heen komt, maar mijn moeite billijkt.”

Hij vermeldt dat hij zijn vondsten aan enkele geleerde vrienden heeft voorgelegd en sluit af met de woorden van hoogachting aan William Burrough als ‘zijne eerbiedwaardige en uiterst deemoedige Robert Norman’. In zijn korte voorwoord aan de lezer benadrukt hij dat hij ‘zijn argumenten alleen wil ontleen aan ervaring, beredenering en bewijs’. ‘Vele en verschillende schrijvers, filosofen en anderen uit de oudheid’ hebben geschreven over de magneet, maar hij is voornemens ‘tegen al deze meningen in te gaan’. Deze opmerkelijke man, die 25 jaar voor Galileo’s eerste publicatie over de ‘ongelooflijke extase’ van de experimentele ontdekking spreekt was een handwerker. Aan het einde van de eerste druk van zijn boekje werd een soort advertentie afgedrukt waarin gewezen werd op het feit dat de beschreven instrumenten door ‘Norman vervaardigd werden en in zijn huis in Ratcliff te verkrijgen zijn’. [32] Toen de zeelieden uit de 16de eeuw de zee opgingen, legden zij de basis voor het Britse wereldrijk en toen zij terugkeerden en kompassen gingen maken, legden zij de basis voor de moderne experimentele wetenschap.

De zojuist aangehaalde opmerking heeft betrekking op Normans eigen inclinometer en twee declinometers die de zeeman William Borough maakte en die hij beschreef in het Discourse on the Variation of the Compass or Magnetic Needle, dat bij alle oplagen aan het boek van Norman was toegevoegd. Borough wordt samen met Norman in De Magnete (I,1, blz. 7) opgevoerd als een uitvinder van magnetische instrumenten. [33] Robert Norman is voor onze vraagstelling van groot belang. Met uitzondering van zijn kennis van het Latijn, de citaten en

polemieken en de metafysische natuurfilosofie, heeft hij alles wat zo karakteristiek is voor Gilbert. Norman gaat, net zoals Gilbert, experimenteel te werk en 'niet de woorden maar de dingen beschouwend' hij baseert zijn beweringen liever op waarnemingen dan op boeken. Bovendien zijn de meetinstrumenten en de bijzonderheden van de experimentele techniek, de uiterst nauwkeurige experimenten en de vele empirische beweringen uit *De Magnete* ook in dit boekje aanwezig. Het is waar dat de kompasbouwer Norman een handwerker is en Gilbert een geleerde; maar dat neemt niet weg dat Norman al de 'ongelooflijke extase' voelde over zijn ontdekkingen en dat hij geïnteresseerd is in kennis als zodanig: noch zijn experimenten met betrekking tot het gewicht van het magnetisme, noch zijn dilemma met betrekking tot het 'referentiepunt' dan wel 'aantrekkingspunt', hebben enige praktische betekenis. In zaken die wat verder van zijn beroep afstaan is hij iets minder kritisch dan zijn opvolger van hoge geboorte: bescheiden refereert hij aan het verhaal van Paracelsus, die door Gilbert heftig bekritiseerd wordt. Van de andere kant is hij religieuzer dan Gilbert. Waar Gilbert teruggrijpt op neoplatoonse theorieën over de universele bezieling, refereert hij aan de ondoorgrondelijkheid van de Goddelijke voorzienigheid en gaat verdere verklaringen uit de weg. Sociaal gezien is dit het verschil tussen een hoogopgeleid geleerde uit de renaissance en een voormalig zeeman. Vanuit wetenschappelijk gezichtspunt zijn de ideeën van Norman op geen enkele wijze minder dan die van Gilbert. Verreikende theorieën ontbreken in zijn boek. Maar is de metafysica van Gilbert over de verschillende sferische vormen dan wel een bruikbare wetenschappelijke verklaring voor het magnetisme? Voor de moderne wetenschapper zijn deze niet bruikbaar, net zomin als de felle polemieken en geleerde citaten van Gilbert. Door het ontbreken van deze opsmuk van de renaissance staat de experimenterende kompasbouwer zelfs dichterbij de moderne natuurwetenschapper dan Gilbert. Of anders geformuleerd: de moderne wetenschap en het moderne bewustzijn in zijn algemeenheid staan dichterbij de experimenterende handwerkers uit het vroegkapitalisme, dan bij het humanisme uit de Renaissance van Gilbert.

III

8. De laatste paragrafen hebben onze voornaamste vraag beantwoord. De experimentele methode van Gilbert en zijn onafhankelijke opstelling ten opzichte van autoriteiten zijn niet afkomstig uit de literatuur van geleerden uit de oudheid of afkomstig van tijdgenoten. Zijn methode en benadering zijn zowel afkomstig van de mijnwerkers en metaalgieters als van de navigators en instrumentenmakers uit zijn tijd. Gilbert heeft waarschijnlijk nooit alchemistische experimenten uitgevoerd, omdat hij de alchemisten voortdurend heftig bekritiseerde en bespote vanwege hun inspanningen om goud te maken. [34]

Een volledig inzicht in de bronnen van zijn wetenschappelijke prestaties geeft hij zelf bij een bespreking van het praktische nut van de magneetnaald. Daar (III, 17, blz. 147) legt hij uit dat het ijzergehalte van erts bepaald kan worden met behulp van de naald. De naald is het hoofdbestanddeel van een kompas dat in zijn opvatting 'de vinger van God' is. Met behulp hiervan zijn de Spaanse en Engelse reizen om de aarde mogelijk geworden. De magneetnaald

kan ook gebruikt worden om ijzerertsaders op te sporen of om onderaardse gangen op te sporen bij belegeringen. Daarnaast kunnen hiermee 's nachts kanonnen gericht worden, landen ontdekt worden en onderaardse waterleidingen aangelegd worden. [35] Over het geheel genomen wordt de indruk van Gilberts originaliteit aangetast wanneer men hem met zijn bronnen confronteert en in het bijzonder met Norman. Ondanks alles is Norman vandaag de dag vergeten, terwijl Gilbert voortleeft als een van de pioniers van de natuurwetenschap. Maar dit is minder onrechtvaardig wanneer het ontstaan van de wetenschap als een sociologisch proces beschouwd wordt. Helaas zijn we hier alleen maar in staat om een vluchtige en vereenvoudigde weergave van dit standpunt te presenteren en moeten we een deel van de bewijzen achterhouden die deze zouden ondersteunen. [36]

Van de oudheid tot 1600 ongeveer bestond er een scherpe scheidslijn tussen de vrije kunsten en de mechanische kunsten; dat wil zeggen, in laatste instantie tussen kunsten die met het hoofd of met de mond werden voortgebracht en andere kunsten die het gebruik van de handen vereisten. De eerstgenoemde kunsten werden waardig genoeg geacht voor personen van hoge geboorte, de laatste werden overgelaten aan de onderste lagen van de maatschappij. Zo tendeerde de minachting voor het handwerk ernaar om het experiment (en het verrichten van sectie) uit te sluiten van de respectabele wetenschap. Het vooroordeel tegen de handarbeid vormde echter geen belemmering voor de experimenten van de alchemisten. Alchemie is geen beroep, zoals timmerman of smid; ze werd respectabel door de aantrekkingskracht en de magie van het goud en zelfs hooggeboren personen konden zich uit hobby met alchemie bezighouden. Maar geen enkele vooraanstaande geleerde, die trots was op zijn positie als representant van de vrije kunsten, kwam op de gedachte om de methoden van de mechanische kunsten toe te passen. De situatie van de handwerkers, die streefden naar een hogere sociale positie, is anders. Deze bediscussieerden voortdurend de sociale kwalificaties die nodig waren voor hun handarbeid en brachten naar voren dat zij gebruik maakten van wiskunde oftewel wetenschap.

De sociale achtergronden en de beroepsmatige condities waaronder geleerden uit de 15e en 16e eeuw werkzaam waren, kunnen hier niet besproken worden. Bijna allemaal waren ze in het bezit van een academische graad en waren daarbij min of meer verbonden aan de universiteit, of ze waren humanisten. Hoewel meerdere humanisten leerstoelen bekleedden, werden de universiteiten van die dagen nog gedomineerd door de Scholastiek. De geleerden die verbonden waren aan de universiteit en ook de humanistische intelligentsia waren hoofdzakelijk gewend natuurkundige verschijnselen te benaderen in lijn met de respectievelijke autoriteiten op het gebied van de Scholastiek dan wel het humanisme. Anderzijds treft men bij de ontwikkelde handwerkers, sinds de teloorgang van de gilden met hun behoudzuchtige mentaliteit, een feitelijke observatie van natuurfenomenen en zelfs enige experimenten aan. Men weet echter zeer weinig over hun intellectuele belangstelling. Daar zij vaak geen andere opleiding genoten hadden, anders dan de op de praktijk gerichte opleidingen door de meesters in de werkplaatsen, moeten hun waarnemingen en experimenten tamelijk ongeordend hebben plaatsgevonden.

Met de ontwikkeling van het vroegkapitalisme deden zich twee belangrijke ontwikkelingen voor: de ene was dat door de technologische innovaties, de geografische ontdekkingen en economische veranderingen het contrast tussen het verleden en het heden zo duidelijk werd, dat in de tweede helft van de 16de eeuw geleerden zelf in opstand kwamen tegen de Scholastiek en het humanisme. De vertegenwoordigers van de geleerden uit de hogere lagen, zoals Telesio, Patrizzi, Bruno en Campanella vielen hartstochtelijk Aristoteles en het geloof in 'het woord' aan, zij werden enthousiast over de natuur en de natuurkundige waarneming, maar experimenten verrichten zij niet. De zuiver speculatieve metafysica was, schijnbaar, eerder de oudere broer, dan de vader van de moderne experimentele wetenschap (vgl. hierboven § 4).

Aan de andere kant klommen enkele groepen hogere handwerkslieden op uit hun sociale laag en knoopten relaties aan met vooraanstaande geleerden. In de loop van de 15de eeuw hadden de Italiaanse schilders, beeldhouwers en architecten zich langzamerhand afgescheiden van de blekers, steenhouwers en metselaars. Omdat de arbeidsdeling nog weinig ontwikkeld was, werkten de kunstenaars gewoonlijk op verschillende terreinen van de kunst en vaak ook als ingenieur. De technische problemen die ze in hun beroepen tegenkwamen, stimuleerde hen steeds meer aan tot het doen van experimenten. Velen van hen hadden contact met de humanistische intelligentsia en hoorden zo van Vitruvius, Euclides en Archimedes. Enkelen onder hen, onder wie Brunelleschi (1377-1446), Ghiberti, Leone Battista, Alberti, Leonardo da Vinci, Benvenuto Cellini (1500-1571) begonnen dagboeken en artikelen over hun werk te schrijven. Het traktaat van Biringuccio over de metallurgie, *Della Pirotechnica* (1540), Durer's beide verhandelingen over beschrijvende geometrie en vestingbouw van 1525 en 1527 en in vele opzichten zelfs de geschriften van Simon Stevin, behoren tot deze literatuur van de kunstenaars-ingenieurs. Een andere groep hogere handarbeiders waren de artsen die secties verrichten. Zij onderhielden zowel contacten met kunstenaars die geïnteresseerd waren in de anatomie, als met de geleerden in de medicijnen. Verder waren het de navigators die relaties opbouwden met wiskundigen, astronomen en kosmografen en die verhandelingen over navigatie publiceerden; dat gold tot slot ook voor de makers van muziekinstrumenten en nautische instrumenten. Deze hogere handwerkslieden waren de voorlopers van de moderne experimentele wetenschappers, hoewel ze volgens de publieke opinie geen vooraanstaande wetenschappers waren. Voor zover ze geschriften uitgaven, waren deze in de landstaal en niet in het Latijn. Deze werden door de meeste, vooraanstaande geleerden niet gelezen, zelfs niet als ze in druk waren verschenen. Hun collega's daarentegen lazen deze boeken wel, in het bijzonder die over navigatie, zoals de vijf drukken van Normans en Borough's verhandelingen tussen 1581 en 1614 aantonen. Men hoeft alleen maar de onderdanige verontschuldigheden van het voorwoord van Norman in gedachten op te roepen om, aan het einde van de 16de eeuw, de kloof tussen de literatuur van de handwerkers en van de geleerden te zien. De experimentele wetenschap kon niet van de grond komen voordat deze kloof overbrugd was.

Maar enkele geleerde schrijvers, in verhouding zeer weinigen, toonden al voor 1600 belangstelling voor de mechanische kunsten. De Duitse arts Georg Agricola publiceerde verhandelingen in het Latijn over mijnbouw en metallurgie (1544 en 1556), Kaplan aan het koninklijk hof van Madrid; Peter Martyr schreef twee boeken in het Latijn over de grote ontdekkingsreizen van zijn tijd (1511 en 1530); de geleerde secretaris van de senaat van Venetië schreef hierover in het Italiaans; enige Spaanse en Portugese kosmografen, zoals Nunes en Pedro de Medina, schreven boeken over navigatie, meestal in de landstaal. Met name in Engeland, ten tijde van Gilbert, namen dergelijke studies in aantal toe. De baccalaureus Richard Hakluyt uit Oxford gaf de boeken van Peter Martyr uit en publiceerde ook zijn eigen, populaire boeken over de grote Engelse zeereizen en ontdekkingen; de heer van de Domkerk van Winchester, William Barlowe, schreef een Engelse verhandeling over navigatie (1597). De Oost Indische Compagnie stelde de in Cambridge opgeleide William Wright aan als docent in de navigatie voor haar kapiteins. Twee in Oxford opgeleide wiskundigen gaven boeken over dit onderwerp uit in het Engels en het Latijn (1588, 1594 en 1599).

Al deze half technische, half geleerde activiteiten laten zien dat sommige takken van de mechanische kunsten zo belangrijk geworden werden, dat enkele geleerden zich hiervoor begonnen te interesseren. Zij hielden zich echter meer bezig met metallurgie en de navigatie dan met experimenten. De eerste academisch gevormde geleerde die het aandurfde om de experimentele methoden van de hogere handwerkers op te pakken en de resultaten ervan in een boek te publiceren, dat niet gericht was aan stuurlied en mechanici, maar aan de geleerde openbaarheid, was William Gilbert, die een persoonlijke vriend van de meeste van deze Engelse auteurs was. Dit is de historische verdienste van Gilbert. Het zal voor de arts in dienst van de koningin Elisabeth net zo moeilijk geweest zijn de vooroordelen tegen handarbeid te overwinnen, als het voor de handwerker Norman moeilijk was zijn theoretische problemen te formuleren en te beantwoorden, hoewel het twee prestaties van heel andere aard zijn. Doordat hij de wetenschappelijke betekenis van het experiment inzag, gaf Gilbert er erkenning aan, of hielp hij om dit aanzien te verlenen in welopgeleide kringen. Enige jaren later vond de methode van de hogere handwerkers navolging bij twee andere geleerden: Francis Bacon, die de grote uitvinders en navigators hoger inschatte dan de geleerden van zijn tijd en Galileo, die zijn loopbaan begon als militair ingenieur.

Maar we moeten ons met een tegenwerping bezighouden. Is het waar dat de experimentele wetenschap niet kon bestaan zolang de vrije en mechanische kunsten van elkaar gescheiden bleven door de minachting van handarbeid? Het feit dat Pierre de Maricourt reeds experimenteerde, lijkt strijdig met onze weergave. Het is echter van belang te beseffen dat Pierre probeerde met zijn vooroordeel tegen handarbeid in het reine te komen. In het tweede hoofdstuk van zijn verhandelingen benadrukt hij dat de onderzoeker van magnetische verschijnselen niet alleen de 'natuur van de dingen' en de hemelse bewegingen kennen moet, maar dat hij zich ook met 'handenarbeid' moet hebben beziggehouden (industriosium in opere manuum). Alleen de 'handarbeid' stelt hem in staat fouten te verbeteren die door het zuivere verstand of de wiskunde niet vermeden kunnen worden. Klaarblijkelijk kan Pierre de

waarde van het experimenteren niet benadrukken zonder direct te verwijzen naar de handarbeid en deze te verdedigen.

Ongetwijfeld was Pierre de beste experimentator van de Middeleeuwen. [36] Hij was waarschijnlijk geen monnik maar een edelman en kan als pelgrim of kruisvaarder de Oriënt bezocht hebben, zoals zijn bijnaam Peregrinus suggereert. In het jaar 1269 nam hij deel aan het beleg van Lucera in Puglia, waarschijnlijk als een soort militaire ingenieur. Hoogstwaarschijnlijk is hij degene die door Bacon vaak met Magister Petrus, de dominus experimentorum wordt aangeduid. Wanneer dit vermoeden juist is, weten wij iets van zijn wetenschappelijke en sociale instelling. Deze Petrus was volgens Bacon geïnteresseerd in de ervaringen van zelfs 'leken, oude vrienden en dorpsjongens'; hij interesseerde zich voor de metaalgieterij, de bewerking van goud en zilver, de mijnbouw, wapens en de militaire techniek, de jacht, het reizen, het graven van geulen, de werkwijze van de magiërs en de trucs van de rondreizende artiesten. [37] Kortom, hij interesseerde zich voor alle soorten technologie die in zijn tijd bestond en werd niet geremd door de sociale vooroordelen van de kerk of van de adel. Het is tekenend dat in de beschrijving van Bacon nog enige sociale scrupules te vinden zijn doordat hij het heeft over 'dorpsjongens, oude vrouwen, artiesten'. Jammer genoeg weten wij niet waar de onafhankelijke houding van Petrus op terug te voeren is. Algemeen gesproken is de houding van Pierre eerder een bevestiging van de betekenis van de handarbeid en de mechanische kunsten voor de geschiedenis van de wetenschap, dan dat dit het tegensprekt. Deze geïsoleerde Middeleeuwse experimentator zou een uitvoerig en grondig sociologisch onderzoek vereisen. Wij moeten echter weer terug naar Gilbert.

De sociale stijging van de experimentele methode van de klasse van de handarbeiders naar de rangen van de geleerden aan de universiteit in de vroege 17de eeuw was een beslissende gebeurtenis in de geschiedenis van de wetenschap. De natuurwetenschap heeft theorie en wiskunde nodig, naast waarneming en experiment. Alleen theoretisch opgeleide personen met een rationeel gevormd intellect, waren in staat de beide aspecten van de wetenschappelijke methode samen te voegen. Bij Gilbert is echter niet veel te merken van de superioriteit van de academische opleiding ten opzichte van de theoretische kant van de wetenschap: zijn algemene speculaties zijn niet erg vruchtbaar gebleken. Dit ligt anders bij Galileo en Francis Bacon. Bacons verregaande ideeën over de vooruitgang van kennis en de wetenschappelijke samenwerking hadden nauwelijks door een handwerker geformuleerd kunnen worden, hoewel deze niets anders waren dan de generalisatie van hun eigen werkwijze. Galileo, aan de andere kant, bracht de wiskunde en het experiment samen.

Waarom heeft Gilbert zelf nooit berekeningen uitgevoerd? Waarom bleef hij steken bij de eerste aanzetten van een kwantitatieve methode? Zeker is dat dit gemis samenhangt met zijn onderwerp. Magnetische en elektrische processen kunnen alleen maar met complexe methodes gemeten worden en werden daardoor pas 200 jaar na Gilbert door Coulomb gemeten. De mechanica vormt de wieg van het kwantitatieve onderzoek, omdat mechanische processen relatief eenvoudig gemeten kunnen worden. Daarom waren de auteurs die zich

met mechanica bezighielden, zoals Stevin en Galileo, en eeuwen voor hen Archimedes, de eerste wiskundige natuurkundigen. Gilbert, van zijn kant, was opmerkelijk weinig in de mechanica geïnteresseerd, hij schijnt er eerder vooroordelen over gehad te hebben. In *De Mundo* (II, 10, blz. 154) bekritiseert hij mechanistische astronomen, die zich de sferen van Ptolemaeus materieel voorstellen. Hij weerlegt hun hypothese met de argumentatie, dat door hen het universum een groot raderwerk wordt, met God als mecanicien. In de 18de eeuw had dit nauwelijks als tegenwerping tegen een theorie gediend kunnen hebben; maar integendeel, waren dergelijke vergelijkingen gemeengoed in die tijd van de mechanische fysica en het theïsme.

Gilbert's voor-mechanische denkwijze en zijn toewijding aan een gebied dat zo moeilijk meetbaar is, moet toegeschreven worden aan zijn karakter. Maar deze zijn ook verbonden met de bijzondere omstandigheden in zijn vaderland. Bijna al zijn praktische onderzoeken in *De Magnete* zijn ontleend aan de nautische techniek en de arbeid van de kompassenmaker Norman; Gilberts belangstelling voor de productie van ijzer en de ijzergieterij leidt bij hem niet tot kwantitatief onderzoek. Het waren echter de Engelse ijzerproductie en manufactuur die de snelle vooruitgang laat in de 16de eeuw mogelijk maakten. De snelle opkomst van de ijzerindustrie maakt leerzame gevolgtrekkingen mogelijk. [38] Hoogovens werden in Engeland in het midden van de 16de eeuw geïntroduceerd. De eerste Engelse draadmolen werd in 1568 gebouwd. De export van kanonnen van ijzer die daarvoor geïmporteerd moesten worden, begon op gang te komen. In de jaren 1581 en 1585 werden twee wetten gepubliceerd, die de verdere bouw van hout gestookte hoogovens verboden om de ontbossing tegen te gaan. Deze wetten tonen met zekerheid aan dat de ijzerproductie niet de overheersende tak van industrie van Engeland was, de wolhandel en de productie van stoffen waren van groter belang. Over het algemeen had de productie van ijzer nog niet zijn overheersende positie in de technologie. Deze werd steeds meer voor de productie van wapens en eenvoudige werktuigen gebruikt dan voor de productie van machines. En juist dit laatste feit leidt ons terug naar ons probleem.

De eerste machines waren gemaakt van hout. De eerste mechanische inzichten gingen daarom uit van houten constructies -hefbomen, rollen, ankerlieren, hellingen. Hierop waren de studies, de kwantitatieve relaties en wetten van de Italiaanse kunstenaars-ingenieurs en Stevin gebaseerd. Galileo liet, toen hij experimenteerde met de wet van de vallende lichamen, kogels van messing van een hellend houten vlak vallen. Het duurde tot de 18de eeuw voordat machines van ijzer en tot in de 19de eeuw voordat de metallurgie tot onderwerp van berekeningen werd. In de voorafgaande eeuwen werd daarom, door de voorkeur die men had voor de toepassing van ijzer, het gebruik van wiskundige methodes eerder belemmerd dan gestimuleerd. Zo konden Englands natuurlijke economische en sociale condities weliswaar geen voldoende, maar wel een noodzakelijke voorwaarde vormen voor de karakterisering van Gilberts methode. Als we ons met *De Magnete* bezighouden moeten we beseffen dat 12 jaar voor zijn publicatie, Engelse schepen en Engelse kanonnen van ijzer de Spaanse Armada vernietigden, de tot dan toe machtigste vloot van de wereld. Engeland, het land van de ijzermijnen en de geavanceerde navigatie, bracht het eerste geleerde boek uit over de experimentele fysica. Het behandelde het kompas van de zeelui, de magneet en ijzer. En om

deze redenen leidde het er niet toe dat wiskundige methodes in de natuurwetenschap geïntroduceerd werden.

Hoofdstuk 4:

Het ontstaan van het begrip van wetenschappelijke vooruitgang

De moderne wetenschapper beziet de wetenschap als een groot gebouw, steen voor steen opgericht door het werk van zijn voorgangers en zijn huidige collega's – een constructie die voortgezet wordt door zijn navolgers, hoewel het nooit voltooid zal worden. Aan dit werk wil hij deelnemen. Zijn doel is ofwel zuiver theoretisch, bijdragen aan de constructie van dat gebouw, of hij is aanhanger van een utilitaristische opvatting waarin de voortgang van de wetenschap verbonden is met de ontwikkeling van de beschaving. Daarbij heeft hij de praktische toepassing van theorieën ten bate van de mensheid voor ogen. Geen enkele moderne wetenschapper zou graag toe willen geven dat persoonlijk voordeel of zelfs roem zijn drijfveer is. Zowel in theoretisch opzicht als in een utilitaristische interpretatie wordt wetenschap dus opgevat als het resultaat van een samenwerkingsvorm met een objectief doel, waar alle wetenschappers van verleden, heden en toekomst deel aan hebben. Tegenwoordig lijkt deze opvatting of dit ideaal bijna vanzelfsprekend te zijn. Toch heeft geen brahmaan, boeddhist, moslim of katholiek scholasticus, geen Confucianistische geleerde of humanist uit de Renaissance, geen filosoof of retoricus van de klassieke oudheid dit ooit tot stand gebracht. Het is een specifiek kenmerk van de wetenschappelijke geest van de moderne, westerse beschaving en ze verschijnt voor het eerst in vol ornaat in de werken van Francis Bacon.

J.B. Bury heeft aangetoond dat er vóór Bacon in de Westerse wetenschappelijke literatuur slechts spaarzaam aanduidingen te vinden zijn van een notie van vooruitgang. [1] Aangezien Bury zich echter meer voor culturele ideeën interesseert dan voor de wetenschappelijke vooruitgang, houdt hij zich voornamelijk bezig met opvattingen over het algemene verloop van de geschiedenis. Zijn verhandeling over de tijd vóór Bacon biedt een verhelderende analyse van de antieke interpretatie van onze cultuurgeschiedenis, maar onderzoekt niet de antieke opvatting van wetenschap. Bovendien volgt hij in zijn uitstekende boek niet de sociologische oorsprong van Bacons denkbeelden. Wij zullen proberen aan te tonen dat het moderne idee van vooruitgang door samenwerking, evenzeer als vele andere elementen van het moderne wetenschappelijke doen en laten, afkomstig zijn van de hogere handwerkslieden uit de 15e en 16e eeuw. Om de sociale oorzaken van deze specifiek moderne intellectuele ontwikkeling te verhelderen, moeten we, om een vergelijking te kunnen maken, een korte analyse bieden van het klassieke wetenschapsbegrip. Deze inleidende beschrijving blijft beperkt tot een overzicht. '

We gebruiken de term 'het ideaal van de wetenschappelijke vooruitgang' om de volgende denkbeelden te omschrijven: (1) het inzicht, dat wetenschappelijke kennis stap voor stap tot stand gekomen is via de bijdragen van generaties van ontdekkers, die voortgebouwd hebben aan de resultaten van hun voorgangers en deze gaandeweg samengevoegd hebben; (2) de overtuiging dat dit proces nooit zal ophouden; (3) de overtuiging, dat het leveren van een

bijdrage aan deze ontwikkeling, hetzij voor zichzelf of tot nut van het algemeen, het eigenlijke doel is van een ware wetenschapper. (Deze overtuiging sluit een persoonlijk voordeel of ook persoonlijke roem als einddoel uit). Het wegvallen van de onbeperkte autoriteit van de Bijbel, van kerkvaders en scholastici, van Aristoteles en de klassieke oudheid tot aan het begin van de moderne tijd vormt een noodzakelijke vooronderstelling voor het ontstaan van het ideaal van wetenschappelijke vooruitgang, maar het vormt nog niet het ideaal zelf. Vandaar dat alleen gerefereerd wordt naar dit wegvallen van een autoriteit uit het verleden, wanneer dit in verband staat met de opgesomde algemene denkbeelden. In de tijd van de 14e tot de 16e eeuw werden de Scholastici, Aristoteles, de humanistische verering van de klassieke oudheid en Galen vanuit verschillende richtingen veelvuldig bekritiseerd zonder dat daar een heldere visie over het begrip vooruitgang aan ten grondslag lag. Een auteur die zich ervan bewust wordt, dat hij door zijn eigen prestaties of ook die van zijn tijdgenoten, de leer van een autoriteit uit het verleden weerlegd heeft (bijvoorbeeld Copernicus versus Ptolemeus), maakt diegene nog niet tot een voorvechter van het vooruitgangsideaal.

1. Dat een vooruitgangsgedachte in de klassieke oudheid niet bestond, houdt verband met de verschillende rollen die de wetenschap in de klassieke beschaving speelde in vergelijking met de moderne beschaving. Terwijl in de moderne opvoeding het wetenschappelijke onderwijs benadrukt wordt, werd gedurende de oudheid de ruggengraat van het hogere onderwijs gevormd door een typische verbinding van metafysica en retorica. Ook in de na-Alexandrijnse tijd waren er minder specialistische wetenschappen en veel minder wetenschappelijke specialisten als in onze tijd. De zes of zeven verschillende wetenschappen die zich ontwikkeld hebben, onderscheidden zich enerzijds weinig van de filosofie, anderzijds ook weinig van de literatuur. Naast de 'natuurkundigen' en historici was het voor een uitstekende astronomische specialist als Ptolemeus niet ongebruikelijk om een in hoge mate technisch werk te beginnen met een verhandeling van doelen en indelingen van de filosofie, of voor Hipparchus, om zich in te laten met polemieken tegen de auteur van een astronomisch gedicht.

Nochtans zou het overdreven zijn de wetenschappelijke bedrijvigheid in de klassieke oudheid te karakteriseren als een uitsluitend individualistische activiteit. De klassieke natuurwetenschap had eerder ongeveer dezelfde mate aan constantheid en samenwerking, als die in onze tijd typisch is voor de filosofie. De astronomen gebruikten de resultaten van hun voorgangers weliswaar op een echt systematische wijze; maar de hoeveelheid kennis die niet voortdurend betwijfeld werd bleef in vergelijking gering en wetenschappelijke 'scholen' die ruzie maakten of elkaar negeerden, waren de regel. Dit springt bijzonder in het oog bij de klassieke geneeskunde. Systematische inspanningen om het onderzoek te organiseren werden nooit geleverd en theoretische prestaties zijn –evenals in de moderne filosofie– te danken aan slechts enkele voortreffelijke persoonlijkheden. Er waren geen laboratoria waar wetenschappers konden samenwerken, noch vaktijdschriften waarin wetenschappelijke resultaten bediscussieerd konden worden. We kennen geen wetenschappelijke publicaties, geen astronomisch of geografisch onderzoek, dat gedaan is op basis van meerdere samenwerkende wetenschappers en zelfs de encyclopedieën en compendia uit de Alexandrijnse en Romeinse tijd zijn geschreven door individuele polyhistorici. [2]

Dit onderscheid in de wijze van organiseren komt ook naar voren in de verschillende manieren waarop geleerden zich intellectueel uitten. Het zou niet in het hoofd van de klassieke wetenschappers zijn opgekomen om zijn publicaties te kenschetsen als 'bijdragen' aan de wetenschap [3] –een zegswijze die typisch is voor de moderne, niet-individualistische opvatting van onderzoek doen. En in de nog voorhanden zijnde literatuur gebeurt het zelden dat een populaire wetenschappelijke verhandeling voorspelt dat de oplossing voor een sedert lang onopgelost probleem in de navolgende generaties als een trivialiteit beschouwd zal worden. [4]

De hippocratische artsen en de astronomen kwamen de moderne opvatting van wetenschappelijke continuïteit het meest nabij. De hippocraten streefden ernaar binnen hun gemeenschap een kennistraditie op te richten; ze schreven ook ziektegeschiedenissen over hun patiënten, die echter niet bestemd waren voor publicatie. De astronomen stelden sterrencatalogi op, die door toekomstige wetenschappers gebruikt zouden kunnen worden. Maar het enige geschrift in de voorhanden zijnde literatuur waarin op heldere wijze de opvatting over de gestage ontwikkeling van kennis of liever gezegd: van het technologische kunnen te vinden is, is een artikel over de artillerie. De schrijver, een zekere Philo uit Byzantium (derde of tweede eeuw voor Christus), beschrijft de armelijke toestand van de vroegere krijgsmachines; het waren pas de latere Alexandrijnse ingenieurs die de artillerie een gedegen basis wisten te geven, 'doordat ze deels leerden van vroegere constructeurs en deels door de observatie van latere pogingen'. [5]

Zijn waarnemingen drukken, hoe bondig ze ook mogen zijn, de kern uit van de opvatting ten aanzien van wetenschappelijke vooruitgang: de methode van trial and error, die bij de daaropvolgende generaties van experts gebruikelijk was. Philo was echter geen geleerde, maar een militaire ingenieur, dat wil zeggen een hogere handwerksman met enige kennis van de wiskunde. De Alexandrijnse militaire ingenieurs (Philo, de beide Ctesibius-en en Hero) werden nooit opgenomen als lid van het 'Alexandrijnse Museum'.

Deze verschillen tussen de klassieke en de moderne wetenschap zijn geworteld in het fundamentele feit dat, in de oudheid, in tegenstelling tot de nieuwe tijd, de wetenschap voor het overwegende deel niet bestemd was voor het praktisch gebruik en daardoor nauwelijks van invloed was op het dagelijks leven. Toen de klassieke theoretici zochten naar een toepassing van hun resultaten op de praktijk, beperkten ze zich tot de moraal en de politiek (zoals de meeste filosofen), op oorlogsmachinerie (zoals Archimedes) of op de geneeskunde. Een wetenschappelijke technologie bestond niet en was klaarblijkelijk niet nodig. Machines werden gebruikt voor oorlogsvoering en als speelgoed, maar met uitzondering van de meest eenvoudige machines werden ze nooit gebruikt voor de productie van goederen of in het verkeer. Zoals al vaak naar voren is gebracht, ligt het voorkomen van slavenarbeid vermoedelijk ten grondslag aan dit fundamentele feit.

Deze klassieke cultuur kende bovendien een zeer kleine bovenlaag, die leefde van de inkomsten van hun grondbezit. De intellectuelen en de meeste schrijvers maakten óf zelf deel uit van deze niet-actieve bovenlaag, óf zij waren verbonden aan het huishouden als leraar of lofredenaar. Ook de leden van het Alexandrijnse Museum waren hoofdzakelijk hof geleerden. Intellectuele beroepen waren alleen weggelegd voor leraren retorica en filosofie, voor advocaten, artsen en 'architecten', oftewel ingenieurs. De ingenieurs kan men echter noch in hun opleiding, noch in hun aantal, noch naar hun invloed vergelijken met hun moderne collega's. Dat het klassieke kennisbegrip verschilt met die van de moderne tijd zal dus weinig verwondering wekken. Met inachtneming van de onvermijdelijke vereenvoudigingen, die een kort overzicht over een periode van duizend jaar met zich meebrengt, kan vastgesteld worden dat de ontwikkelde lagen uit de klassieke oudheid neerkeken op alle werkzaamheden die met de hand werden uitgevoerd. Ze hadden meer waardering voor het redeneren en het metafysisch speculeren dan voor het experimenteren en het ontleden, vandaar dat ze vasthielden aan een zekere verachting voor mensen die met hun handen of op andere wijze in hun levensonderhoud voorzagen. [7]

Civiele ingenieurs, wetenschappelijk geschoolde beambten, onderzoekers in laboratoria en wetenschappelijke instituten hadden door een coöperatieve instelling de individualistische eerbij van de klassieke aristocraten en letterkundigen kunnen inruilen voor onpersoonlijke doelen. Ze hadden de doelgerichte en geleidelijke vermeerdering van kennis via trial and error van de handwerkslieden over kunnen nemen. Deze methode en dergelijke voornemens zijn gemakkelijk te vinden bij handwerkslieden die zich bevrijd hebben van de puur ambachtelijke traditie. Maar de theoretici van het eerste uur, die zich bevrijd hebben van de traditionele mythologie, willen zich altijd en overal een begrip vormen van het universum op basis van een paar fundamentele inzichten; en ze zijn te zeer overtuigd van de uiteindelijke waarheid van hun speculaties, om in te zien dat kennis stapsgewijs vooruitgaat. Hoe geraffineerd de late Griekse filosofen en geleerden ook waren, de meesten van hen waren nooit volledig vrij van de bewuste of onbewuste restanten van deze archaïsche instelling die afstamt van de Ionische wijzen. Er ontstonden diverse sceptische 'scholen', maar niet de idealen van de wetenschappelijke vooruitgang en samenwerking. In een aristocratische samenleving met slaven, maar zonder machines, konden deze idealen blijkbaar niet tot ontwikkeling komen.

2. Deze sociologische analyse van de klassieke wetenschap wordt bevestigd door de intellectuele ontwikkeling van de vroege moderne tijd en werpt tegelijk een licht op deze ontwikkeling. Het ideaal van de vooruitgang van kennis was, om voor de hand liggende redenen, onbekend voor de Middeleeuwse geleerden. [8]

De humanisten uit de Renaissance, de eerste wereldlijke geleerden van de nieuwe tijd, waren evenmin voorstanders van wetenschappelijke vooruitgang; afgezien van enkele uitzonderingen (Benedetto Accolti, Pico della Mirandola) beschouwden zij de klassieke schrijvers als niet te overtreffen. Vanuit sociologisch oogpunt waren de humanisten kwistig met prestige, gezien hun geperfectioneerde stijl en hun leergierigheid waarmee ze

probeerden hun begunstigers –en zichzelf- beroemd te maken. Het openlijk toegeven dat beroemdheid het doel is van alle literaire bezigheden, komt bij de humanisten zelfs vaker voor dan bij de klassieke auteurs, dit misschien doordat de zuiver individualistische interpretatie van het literaire beroep in de Renaissance sterker ontwikkeld was, of eenvoudigweg doordat er meer literaire getuigenissen voorhanden zijn. Een voorbeeld uit wiskundige kringen illustreert deze vrijmoedigheid. De Franse humanist Claude Gaspard Bachet publiceerde in 1621 de eerste Griekse uitgave van de Arithmetica van Diophantus en wijdde dit werk aan een invloedrijke rechtsgeleerde. In het voorwoord verklaart de humanist dat hij ‘in eerzame wedijver naar roem’ dag en nacht nadacht over de vraag hoe hij net zo beroemd zou kunnen worden als zijn begunstiger. Nadat hij alle takken van wetenschap had uitgeprobeerd, koos hij voor de wiskunde ‘aangezien zij de geest bijzonder verheldert en omdat in de wiskunde de fijnzinnigheid van het verstand op bijzondere wijze aan het licht komt. Deze Diophantus zal het bewijs vormen dat ik roem verdiend heb temidden van de wiskundigen’. [9] Dat deze publicatie mogelijk de wetenschap vooruit zou kunnen helpen, wordt niet genoemd. Vergelijkbare uitlatingen over de verering van de roem komen zeer veel voor in de meer literair getinte geschriften van de humanisten. [10]

En aan de andere kant schijnt er in de humanistische literatuur van de Renaissance geen enkele auteur bekend te zijn, die vaststelt dat hij zijn verhandelingen wil publiceren om verdergaand onderzoek mogelijk te maken. We zullen zien hoe anders de handwerkslieden uit die tijd zich uitdrukken. Blijkbaar zijn de individualistische beroepsidealën van de humanisten niet verenigbaar met wetenschappelijke samenwerking. Rivaliteiten, ruzies en persoonlijke intriges gaan gelijk op met de literaire en wetenschappelijke carrières van de meesten van hen. Hoewel er in de laat 14e eeuw veel literaire kringen en samenkomsten van humanisten zijn, is er in de humanistische literatuur, evenmin als in de klassieke literatuur, nergens een encyclopedie of een lexicon die door meerdere samenwerkende auteurs is samengesteld. Alleen de grote humanistische boekdrukkers en uitgevers in Venetië, Basel en Parijs, die talrijke klassieke geleerden als uitgever en als lector bezighielden, brachten onder hun geleerde assistenten een zekere vorm van samenwerking tot stand. [11] Het boekdrukken was echter een ‘mechanische’ kunst en de uitgevers streefden ondanks hun klassieke geleerdheid niet naar roem, maar waren zakenlieden. Hun drukkerijen behoorden tot de grootste en best georganiseerde bedrijven van de 16e eeuw.

3. In de werkplaatsen van de laatmiddeleeuwse handwerkslieden kwam de samenwerking op natuurlijke wijze voort uit de arbeidsomstandigheden. In tegenstelling tot een kloostercel of de schrijfkamer van een humanist is een werkplaats of een scheepswerf een plek waar verschillende mensen samenwerken. Weliswaar lag de nadruk bij de gildes meer op de handhaving van het ambacht dan op de vooruitgang; de leerling leerde de ambachtelijke traditie van zijn meester en werd er op aangesproken daar eerbied voor te hebben, net als zijn meester van diens meester geleerd had de traditie van de werkplaats te respecteren. Maar het ontwakende kapitalisme en de economische concurrentie braken de macht van de traditie der gildes. Alleen de handwerker die enkele commerciële of technische vernieuwingen bedacht had, of die de waarde van de uitvinding van een andere handwerker inzag, werd een kapitalistische fabrikant. De genius van de individuele uitvinder trad op de voorgrond. Er valt met redelijke waarschijnlijkheid iets te zeggen over de professionele idealen van de

vroegkapitalistische handwerkslieden. Als onbeduidende handwerkers konden ze niet, zoals de humanisten, streven naar literaire onsterfelijkheid. De sociale omstandigheden dwongen hen tot onpersoonlijker doelen. Wilden zij hun werk en hun uitvindingen rechtvaardigen, dan moesten ze refereren aan Gods roem en de heiligen, op de roem van hun product en die van de werkplaatsen, op het nut van hun ambacht en het algemeen welzijn. Inderdaad hebben deze idealen uitdrukking gevonden in de verschillende verhandelingen die geschreven zijn door hogere handwerkslieden, zoals kunstenaars, instrumentenmakers en kanonbouwers. Soms verklaarden de auteurs zelfs dat ze met hun geschriften de vaardigheden van hun collega's wilden bevorderen. Zulke constatering bieden zicht op de sociale oorsprong van het moderne vooruitgangsideaal. Voor moderne oren mogen ze tamelijk triviaal klinken; maar men mag niet vergeten dat er in de klassieke, scholastieke en humanistische literatuur geen enkele uitlating gedaan wordt over de noodzaak van een stapsgewijze verbetering van kennis. Natuurlijk is het zo dat alleen de leden van de meest vooraanstaande gilden zulke verhandelingen schreven en hadden slechts enkele van deze handwerks-auteurs een helder beeld van deze vooruitgangsgedachte. In de 16e eeuw was een aanzienlijk deel van de handwerkslieden nog analfabeet, in het bijzonder buiten Italië. [12]

Een vroeg handboek voor de gewone ambachtsman werd rond 1400 geschreven door de Florentijnse schilder Cennini. Het is nog doortrokken van de geest van de Middeleeuwse gilden en het gaat over de samenstelling van verfstoffen en verschillende verftechnieken, maar, als verhandeling door een kunstenaar, houdt het zich ook bezig met het schilderen van borsten en de make up van vrouwen. Het circuleerde als manuscript onder de schilders van het quattrocento en is, zoals alle vergelijkbare geschriften, geschreven in de landstaal. Zoals de titel, of liever gezegd: het incipit [de eerste woorden van de beginregel red.] aangeeft, schreef Cennini zijn boek ter ere van God, de maagd Maria, de heilige geest 'en uit eerbied voor Giotto, Taddeo en Agnolo en tot nut voor eenieder die het wil gebruiken als hij lid wil worden van het gilde'. Giotto was de leraar van Taddeo, Taddeo die van Agnolo en Agnolo die van Cennini: de auteur was zich dus goed bewust van de continuïteit van het ambacht. Maar Cennini stelt vast, 'dat hij ook beschrijven wil, wat hij met eigen hand heeft uitgeprobeerd'. Hoewel met deze opmerking nog geen sprake is van het idee van vooruitgang, laat het toch zien dat Cennini de pure ambachtelijke traditie niet meer beschouwde als toereikend. [13]

Bijna een eeuw later (1486) pleit een gedrukte verhandeling van een laatgotische bouwmeester voor verdere ontwikkeling van het ambacht. De auteur is Mathias Roriczer, architect van de kathedraal van Regensburg en hij draagt zijn boek op aan zijn voormalige werkgever, de bisschop van Eichstätt. Hoewel Roriczer grote waardering ten toon spreidt voor de ambachtelijke traditie, stelt hij vast dat zijn geometrische constructies door hem zelf bedachte uitvindingen zijn. Aan het eind van zijn dedicatie benadrukt hij dat hij zijn boek niet vanwege de roem schreef, maar voor het algemene goed 'en om te verbeteren waar altijd iets verbeterd moet worden, en om de kunsten te verbeteren en deze op te helderen'. Tot driemaal aan toe noemt de schrijver het algemene nut als zijn doel. [14] De opdracht is waarschijnlijk een uiting van het gemeenschappelijk ervaren gevoel van alle innovatieve handwerkslieden uit deze tijd, maar Plato noch Aristoteles hebben ooit vastgesteld dat ze

beoogden met filosofische fouten af te rekenen of de toestand van het filosofische weten te verbeteren. Honderdttwintig jaar later verkondigde Francis Bacon de vooruitgang van kennis tot nut van de mensheid als doel van de wetenschap. Dit vooruitgangsideaal verschijnt voor het eerst in Roriczers verhandeling, natuurlijk nog in embryonale vorm en ingeperkt tot het metselaarsambacht. 'De vooruitgang' was evenwel beperkt in het boek van de gotische bouwmeester. Overeenkomstig de bepalingen van het metselaarsgilde moesten de geheimen van de kunst beschermd blijven voor leken. Maar aangezien Roriczer zijn boek op zijn eigen drukpers drukte, kon hij -en hij deed dat vermoedelijk ook- de verkoop beperkt houden tot de leden van het gilde.

Enkele jaren voor of na het boek van Roriczer, tussen 1484 en 1489, verscheen in Neurenberg een vergelijkbare, maar kortere verhandeling. Het had geen titel en de auteur is een verder onbekende Hans Schmuttermayer uit Neurenberg. [15] De auteur behandelt hetzelfde onderwerp en heeft hetzelfde doel. In de eerste regels geeft hij aan dat hij zijn boek schrijft 'ter verbetering en verering van de heilige christelijke kerkelijke bouwwerken, voor het... onderricht van alle meesters en gezellen, die gebruik maken van deze hoge en liberale kunst van de geometrie... zodat zij een beter inzicht krijgen in de ware fundamenteën van het architectonische maatwerk en dit kunnen benutten. Echter niet om reden van mijn eer, maar louter tot lof van onze eerdere voorgangers en de uitvinders van deze hoge kunst'. Schmuttermayer [sic] moet tot de ambachtelijke stand toebehoord hebben. Het staat echter vast dat hij geen lid was van het metselaarsgilde van Neurenberg, waar hij geboren is en waar ook zijn boek gedrukt werd. Dit verklaart waarschijnlijk waarom hij geheimen van het gilde publiceerde.

Terwijl deze beide architecten nog werkten in de gotische stijl, is hun jongere tijdgenoot Albrecht Dürer een representant van de Renaissance. Ook Dürer was natuurlijk, zoals alle kunstenaars uit zijn tijd, een hogere handwerker. Hij schreef drie verhandelingen. De eerste, *Unterweisung der Messung mit dem Zirkel und Richtscheit*, werd in 1525 gedrukt en gaat over praktische en theoretische problemen van de geometrie en het perspectief. In de dedicatie aan zijn ontwikkelde humanistische weldoener, de Neurenberger raadsheer Pirckheimer, stelt Dürer vast dat het de Duitse schilders ontbreekt aan geometrisch onderwijs. Hij schreef de verhandeling, zodat deze 'zowel door schilders, als ook door beeldhouwers in hout en steen, door goudsmeden en metaalgieters of door pottenbakkers, die uit klei vormen, en door allen die zich voornemen om figuren te maken, gebruikt kan worden'. 'Maar het is voor niemand noodzakelijk', voegt hij er verontschuldigend aan toe, 'om mijn leer toe te passen. Ik weet echter, dat degene die haar aanneemt, niet alleen een goed begin zal hebben, maar ook door de dagelijkse praktijk tot een beter begrip gebracht zal worden: hij zal verder zoeken en zelfs veel meer vinden dan ik nu kan aanduiden'. [16]

Nog helderder komt het idee van vooruitgang tot uiting in zijn boek over de menselijke Proportion, gedrukt in 1528. Deze verhandeling geeft omvangrijke kwantitatieve data over de proporties van het menselijk lichaam. In zijn dedicatie aan Pirckheimer geeft Dürer aan dat er mensen zouden kunnen zijn die kritiek op hem hebben omdat hij -als niet-geleerde-

onderricht geeft over een onderwerp waarin hij zelf geen les heeft gehad. Maar desondanks, op het 'gevaar van kwaadsprekerij' af, publiceert hij het boek 'tot algemeen nut van alle kunstenaars', 'waarmee ook andere ter zake kundigen aanleiding wordt gegeven hetzelfde te doen en onze nakomelingen iets hebben, dat zij kunnen vermeerderen en verbeteren, zodat de schilderkunst in de loop der tijd weer kan streven naar haar volmaaktheid en deze kan bereiken'. 'Toch is het voor niemand noodzakelijk', zo voegt hij eraan toe, 'deze leer van mij... overal na te volgen, want de menselijke natuur is nog niet zodanig achteruitgegaan dat een ander niet ook iets beters zou kunnen bedenken'. In het voorwoord benadrukt hij het belang van oorspronkelijke vindingen en spreekt hij de overtuiging uit dat de kunst weer zo volmaakt zal worden 'als van oudsher'; dan zullen de Duitse schilders niet meer onderdoen voor die uit andere naties. [17]

Dürer hechtte duidelijk belang aan samenwerking en vooruitgang. In een brief aan Pirckheimer vraagt hij de humanisten met nadruk of zij het voorwoord voor *Die Proportionen* zo willen schrijven, dat het geen 'lofreden' wordt en dat het vaststelt, dat Dürer 'diegenen, die iets leerzaams voor de kunst bezitten, vraagt, dit te publiceren'. [18]

In zijn derde verhandeling, *Etliche Unterricht zur Befestigung der Städt, Schloß und Flecken*, gepubliceerd in 1527, wordt de vooruitgang echter niet genoemd. In de dedicatie aan de koning van Hongarije en Bohemen stelt Dürer enkel vast dat de verhandeling tot 'nut... niet alleen voor uwe majesteit, maar ook voor andere vorsten' geschreven is. [19]

Of de Habsburger verheugd was bij het idee dat andere vorsten eveneens konden leren hoe ze hun steden konden versterken, valt te betwijfelen. Wij willen twee opmerkingen maken bij de drie voorwoorden. Aangezien Dürer, in tegenstelling tot Cennini, Roriczer en Schmuttermayer, ook rekening moest houden met lezers die geen handwerkslieden waren, verontschuldigt hij zich ervoor dat hij als niet-geleerde boeken schrijft. We zullen regelmatig op vergelijkbare verontschuldigen stuiten. En ten tweede is het onwaarschijnlijk dat Dürer de boeken van beide gotische architecten ooit gelezen heeft. Het feit, dat hij hetzelfde doel nastreeft, namelijk de ontwikkeling van de ambachtelijke kunst, valt toe te schrijven aan dezelfde sociologische omstandigheden en waarschijnlijk eerder aan de mondelinge overlevering onder handwerkslieden dan aan een literaire invloed. Dit geldt ook voor de verder hieronder behandelde auteurs.

Dürer stierf in het jaar 1528. Meerdere handwerkslieden uit de 16e eeuw uitten vergelijkbare gedachten; hoe helderder ze tot uitdrukking werden gebracht, des te verder waren de auteurs verwijderd van de ambachtelijke traditie. In het jaar 1547 schreef een zekere Kaspar Brunner, een Neurenbergse wapenmeester en voormalige slotenmaker en klokkenmaker, een verhandeling over de vervaardiging van geweren en geschut. Hij schrijft deze, zoals hij aangeeft, 'voor mijn generatie en de komende andere'. [20] Deze opmerking heeft natuurlijk geen betrekking op de roem, maar op de bevordering van de geschutgieterij. Aangezien de techniek van de vervaardiging van wapens halverwege de 16e eeuw nog een meer of minder

streng bewaard ambachtsgeheim was, publiceerde Brunner zijn manuscript niet, maar legde hij het in viervoud voor aan de Neurenbergse stadsraad. Rond 1400 werd in het gedicht van een anonieme Duitse wapenmeester het beroepsgeheim beklemtoond; rond 1530 weigerde de geschutmeester van de Hertog van Beieren, Franz Helm, op grond van de geheimhouding, zijn handboek over het geschut wezen te publiceren. Anderzijds werd het Feuerwerksbuch, dat in 1425 geschreven werd door een onbekende geschutmeester gedrukt in het jaar 1529 en werd het in 1561 in een Franstalige versie gedrukt. [21] Deze afzwakking van het gildegeheim toont aan hoe in de 16e eeuw de gedachte in zwang kwam dat de technologie gestimuleerd moest worden door openbaarmaking.

In het jaar 1578 verontschuldigde William Bourne uit Dover in Engeland zich voor zijn publicatie met [een pleidooi voor] de geleidelijke vooruitgang van de 'kunsten en wetenschappen'. Bourne was een vakman op het gebied van meetinstrumenten, maar was vermoedelijk geen lid meer van een gilde. Van oorsprong een kastelein, diende hij als kanonnier, verrichte enige landmetingen en schreef verschillende verhandelingen over het geschut wezen, landmeting en navigatie. Zijn stijl is soms wat traag, maar hij was op de hoogte van de bestaande mathematische en nautische literatuur van zijn tijd en hij beheerste zijn vakgebieden echt goed. In 1578 publiceerde hij het geschrift *Erfindungen und Instrumente*. Dit gaat grotendeels over militaire technologie en is gericht aan alle 'generaals en officieren'. Zoals in al zijn boeken verontschuldigt Bourne zich op bescheiden wijze in zijn voorwoord voor zijn gebrek aan opleiding en voor zijn 'rauwe en barbarische inhoud'. Hier komt de vooruitgangsgedachte naar voren. Zijn instrumenten zijn ontoereikend, stelt hij vast, omdat in 'iedere kunst of wetenschap' de eerste vindingen onvolkomen zijn; 'maar degenen, die daarna kwamen, brachten haar tot volmaaktheid'. En in de toekomst blikkend, geeft hij uitdrukking aan zijn hoop, dat 'er nog meer voort zal mogen komen uit zijn vindingen' en vanzelfsprekend benadrukt hij zijn 'goede wil' om van nut te zijn voor het gemenebest. [22]

In het jaar 1581 publiceerde de Londense instrumentenmaker Robert Norman, een afgezwaaide zeeman, een verhandeling over de door hem ontdekte inclinatie van een kompasnaald. Het geschrift beschrijft nautische instrumenten die hij uitvond. Ze bevat astronomische tabellen en heeft tot doel de navigatiekunde te verbeteren. [23] In enkele opmerkelijke passages bespreekt Norman 'de ongelofelijke verrukking' van de ontdekker over nieuwe feiten met betrekking tot zijn ontdekkingen. Nochtans verwerpt hij deze persoonlijke motieven als zijnde 'persoonlijke hersenschimmen'. Hij is, zoals Francis Bacon 25 jaar later, sterk overtuigd van het maatschappelijke nut van de nieuwe ontdekkingen. Volgens Norman respecteren wetenschappelijke ontdekkers 'voornamelijk... de eer van God of de stimulering van een bepaald algemeen goed'. Hij beschouwt het als zijn plicht zijn ontdekking van de inclinatie van de kompasnaald onder de horizon te publiceren en zijn naam liever 'tot onderwerp van scherpe kritiek te maken, dan dat zo een geheim zonder erkenning en het nut ervan onbekend zou blijven'. 'Mannen', zo stelt hij vast, 'die de geheimen van hun kunsten en beroepen willen onderzoeken en deze publiceren tot nut en toepassing door anderen, mogen niet vervloekt worden'. Norman voelt zich nauwelijks ingeperkt door de Middeleeuwse gildegeheimen. Hij rechtvaardigt zijn publicaties er juist mee dat hij geen geleerde was. Zijn

verontschuldigen zijn echter karakteristiek voor de vroege moderne tijd. Zoals we zullen zien, beschouwden Tartaglia, Peter Apian en zelfs Descartes het als noodzakelijk om de publicatie van hun nieuwe ideeën uitdrukkelijk te rechtvaardigen.

4. De twee belangrijkste pioniers van de wetenschappelijke mechanica vóór Galilei, de Italiaan Tartaglia en de Nederlander Stevinus, waren geen handwerkslieden. Beiden waren bekend met de klassieke wiskunde. Tartaglia publiceerde Italiaanse versies van Latijnse vertalingen van Archimedes en Euclides, Stevinus een Franse uitgave van Diophantus. Ze hadden echter geen academische opleiding, maar kwamen vanuit de militaire technologie en vraagstukken van het koopmanschap tot de wetenschap. Hun geschriften bevatten belangrijke waarnemingen over de wetenschappelijke vooruitgang en wetenschappelijke samenwerking. Tartaglia (1499 – 1557) was autodidact, de zoon van een postkoets-stalknecht en groeide op in verschrikkelijke armoede met weinig scholing. Hij voorzag in zijn levensonderhoud als wiskundig adviseur voor kanonnières en nam voor tien Pfennig vragen in behandeling. Toen klanten in plaats van de afgesproken prijs een afgedragen jas gaven voor zijn voordrachten over Euclides, moest hij tegen hen procederen. Deze bijzondere man publiceerde vele boeken en verhandelingen in de landstaal over het geschutwezen, militaire technologie en wiskunde, die van grote invloed waren op de in ontwikkeling zijnde wetenschap en waarin voor het eerst in de geschiedenis een vroege vorm van het functiebegrip wordt toegepast om een natuurkundige wet te bepalen. [24]

In het voorwoord van zijn *Quesiti et Inventioni* (1546) geeft Tartaglia de reden voor zijn publicaties. De persoon, zo zet hij uiteen, die iets nieuws gevonden heeft, 'en die het graag voor zichzelf zou willen houden, verdient niet weinig kritiek. Want wanneer al onze voorouders zo gehandeld hadden, zouden we nu nauwelijks te onderscheiden zijn van redeloze dieren. Om deze kritiek te ontlopen, heb ik besloten, mijn *Fragen und Erfindungen* voor eenieder aan het licht te brengen'. [25]

Wetenschappelijk onderzoek en de publicatie van de resultaten daarvan worden klinkklaar erkend als een algemene dienstverlening en als een voorwaarde voor vooruitgang. Van de wetenschappers uit zijn tijd kan Tartaglia deze gedachte niet overgenomen hebben; hij was hen onbekend. Hoewel hij door de militaire ingenieurs en geschutgieters met wie hij geregeld contact had, vermoedelijk nauwelijks als echt gilde lid erkend werd, weerspiegelt zijn begrip van wetenschap de geest van hun opvattingen. [26]

Zestig jaar later had Simon Stevin (1548 – 1620) een vergelijkbare, zij het meer succesvolle, carrière. Hij was oorspronkelijk boekhouder van het gemeentebestuur van Brugge en Antwerpen, maakte daarna de overstap naar het militaire ingenieurswezen, werd technisch adviseur bij Maurits van Oranje en stierf als Generaal Kwartiermeester van Holland. Zijn wetenschappelijke opleiding was hoger dan die van Tartaglia, hoewel hij zich pas op zijn 35e

inschreef aan de Universiteit van Leiden. Zoals alle ingenieurs uit zijn tijd stond hij aanzienlijk dichter bij de ambachten dan zijn moderne collega's.

Ergens beschrijft hij hoe hij de vak uitdrukkingen van zijn beroep leerde van dijkbouwers, meubelmakers, metselaars en metaalbewerkers. [27] Hij voerde decimaalbreuken en het krachtenparallellogram in en beschreef als eerste de condities voor de balans op een hellend vlak. Stevin had eenzelfde utilitaristisch en 'progressief' wetenschapsbegrip als Tartaglia. Dit wordt duidelijk in het voorwoord van zijn verzamelde opstellen over toegepaste wiskunde, waarvan het origineel in het Nederlands verscheen (*Wiscontighe Ghedaechtnissen*) en gelijktijdig in een Latijnse en Franse versie (*Hypomnemata mathematica*, *Mémoires Mathématiques*, (1605 – 1608). Hier stelt Stevinus vast, dat hij de boeken uitgebracht heeft, om 'zijn vergissingen te corrigeren en de toevoeging van andere nieuwe vindingen die van voordeel zijn voor de openbaarheid' mogelijk te maken. Hij voegt er nog twee andere motieven aan toe. Door de publicaties wil hij plagiaat voorkomen en het gebruik van de moedertaal in de wetenschappelijke literatuur van de grote landen bevorderen. [28]

Stevin pleit ook voor wetenschappelijke samenwerking: tegenwoordig ontbreken experimenten, 'die de solide basis vormen voor de oprichting van de kunsten. Hiervoor is echter een gemeenschappelijke inspanning vereist en het werk van vele mensen'. Als voorbeeld noemt hij de astronomie. Een eenling kan de noodzakelijke waarnemingen niet uitvoeren, dag en nacht –jaren achtereenvolgend, terwijl, wanneer verschillende waarnemers samenwerken, 'de vergissing of de nalatigheid van de een opgeheven wordt door de precisie van de ander'. De waarnemingen van een enkele waarnemer, hoe goed ze ook zijn mogen, kunnen altijd in twijfel worden getrokken en kunnen door andere astronomen niet geaccepteerd worden als basis voor een theorie.

Alleen de goed overeenstemmende waarnemingen van verschillende waarnemers zijn betrouwbaar, zo ongeveer als die van de landgraaf Wilhelm von Hessen en Tycho Brahe. Maar ook om die reden zijn vele waarnemers op vele locaties noodzakelijk, omdat de hemel soms op een bepaalde plek bewolkt is. Het is dan wel zo dat er tussen de waarnemers een zekere rivaliteit kan groeien, wanneer iedereen zijn best doet om zijn observaties naar beste kunnen uit te voeren; 'maar voor de kunsten komt hier alleen grote progressie uit voort, hoewel de jaloezie ook haar valstrikken heeft'. En wat waar is voor de astronomie, geldt voor alle wetenschappen. Want wetenschap, zo concludeert Stevin, 'vereist de verenigde inspanning van vele mensen'. Dit is de eerste gedetailleerde beschrijving van de noodzaak tot wetenschappelijke samenwerking. [29]

De genoemde Tycho Brahe († 1591) en Wilhelm IV von Hessen († 1592) waren de eersten in Europa die een staf van assistenten onderhielden in hun observatoria in Denemarken en Praag, respectievelijk in Kassel. Typisch genoeg kan Stevin slechts astronomische voorbeelden aanhalen, hoewel zijn vertoog van algemene toepassing is; daarvoor moet men zich realiseren

dat er sinds de oudheid in de astronomie een traditie bestond van een zekere mate van samenwerking. Het lijkt echter geen twijfel dat de oproep van Stevin voor kennisbevordering en samenwerking geïnspireerd was door de groeiende moderne technologie en de eisen die deze met zich meebrengt.

De grondlegger van de moderne chirurgie, Ambroise Paré (chronologisch in te delen tussen Tartaglia en Stevinus, 1509 – 1590) nam een ongeveer vergelijkbare sociale stelling in als Stevin. In het Parijs van de 16e eeuw waren er vier soorten medici: de academisch opgeleide medische doctoren, die Latijns schreven en geen handmatig werk deden zoals opereren en ontleden. Dan had je de 'chirurgen met de lange toga's', verenigd in het Collège de Saint-Côme; het gilde van de 'barbiers en wondartsen' en de kwakzalvers die illegaal te werk gingen, zonder lidmaatschap van een gilde. Het Collège de Saint-Côme was opgericht in de 14e eeuw als een vereniging van handwerkslieden, maar had zich in de loop der tijd succesvol opgewerkt tot een samenwerkingsverband dat vergelijkbaar was met die van de arts; van haar medeleden eiste het kennis van het Latijn en het bood iedere mogelijke medische handeling aan. De barbiers en wondartsen bleven handwerkers; ze hadden winkels, schoren, plaatsten bloedzuigers, deden aderlatingen en opereerden. Hun gilde zorgde er echter voor, dat hun leerlingen een bepaalde mate van anatomische kennis overgedragen kregen onder toezicht van doctoren en de chirurgen met de lange toga's. Paré, zoon van een geldkistmaker, was zo'n leerling.

Toen hij rond een jaar of twintig was, werkte hij als een soort chirurgisch assistent-arts bij een ziekenhuis in Parijs en later in het veld als legerarts. Terug in Parijs werd hij gildemeester bij de 'barbieren en wondartsen' en met behulp van een aristocratische beschermheer, wiens gunst hij in het veld verworven had, werd hij ook in de vereniging van chirurgen met de lange toga's opgenomen. Hij stierf als chirurg in dienst van de koning. In zijn boeken, alle uitgegeven in de Franse taal, is zijn relatie met het ambacht duidelijk zichtbaar. Hij drijft geregeld de spot met de doctoren, 'die zwetsen op leerstoelen' en die 'de bladzijden van boeken omslaan'; hij is trots op het handmatige werk van de chirurgie en komt er openlijk voor uit dat hij geen Latijn geleerd heeft. Desondanks heeft hij zich uit vertalingen een aanzienlijke hoeveelheid kennis van de medische literatuur verworven. In sociaal opzicht kan hij vergeleken worden met Stevin of met de landkaartenmaker Ortelius. Hij was een hooggeplaatste ambachtsman, die door zijn dorst naar kennis opsteeg naar geleerdheid en in dienst trad van een vorst. Paré ontwikkelde volslagen nieuwe methodes in de verloskunde en bij de behandeling van fracturen; hij voerde het afbinden van bloedvaten in, om bloedingen tijdens operaties te stoppen; daarvoor werden wonden met kokende olie uitgebrand. Paré's nadruk op het experiment en zijn autonomie alsook zijn vijandigheid jegens de klassieke autoriteiten en de bovenmatige waardering van woorden maken het aantrekkelijk om hem uitvoerig te bespreken. We beperken ons echter tot zijn opvatting over wetenschappelijke vooruitgang.

Paré schreef al zijn werken voor zijn jongere collega's. In zijn eerste publicatie *La méthode de traicter les playes* (1545), richt hij zich in zijn voorwoord 'aan jonge chirurgen van goede wil'.

Hij publiceerde de verhandeling vanuit een vergelijkbaar motief als Dürer 17 jaar eerder: 'om grote geesten ertoe aan te zetten over dit onderwerp te schrijven, zodat wij allen een grotere kennis mogen verkrijgen'. Hij sluit af met de wens dat God, voor wiens eer hij schrijft, het zo mag bepalen, 'dat enige vruchten en opbrengsten als hulp tegen de tekortkomingen van het menselijke leven' mogen voortkomen uit zijn werk. Zijn *Gesammelten Werke* verscheen in het jaar 1575 en werd veelvuldig herdrukt. In het voorwoord belooft Paré ziekteverslagen te schrijven, 'zodat jonge chirurgen de moed zullen hebben door te gaan zoals ik of –als ze het kunnen- beter dan ik, want zij zijn het aan wie ik deze boeken, meer dan aan de geleerden, richt'. En hij benadrukt, dat hij zijn leven niet in ledigheid doorgebracht heeft, maar in het werk 'voor de republiek, en altijd strevend naar de vordering van jonge leerlingen in de chirurgie, aan wie mijn boeken gericht zijn'. Zijn interesse in de vorming van zijn collega's stamt blijkbaar uit het Middeleeuwse ambachtsideaal. Paré heeft iedere gedachte aan de ambachtsgeheimen naast zich neergelegd.

Zijn collega's beschuldigden hem ervan, met zijn publicaties iedereen de middelen ter hand te stellen om chirurgie te bedrijven. Zijn antwoord op deze aanval is, dat hij 'de gaven, die hem door God zijn gegeven, vrijmoedig aan eenieder wil doorgeven', en hij wenst 'dat er niemand zal zijn, die door mijn boeken niet veel vaardiger zal worden, dan ik ben'; hij behoort niet tot degenen, 'die een Kabbala maken van de kunde'. Zo breidt hij het enthousiasme voor zijn ambacht uit tot het ideaal van de wetenschappelijke vooruitgang. 'De kunsten', zo zegt hij, 'zijn nog niet zo volmaakt, dat men er niets meer aan kan toevoegen: ze worden in de loop der tijd volkomener en verfijnder. Het is luiheid, die afkeurenswaardig is, om vast te houden aan de vindingen van de eerste ontdekkers, deze slechts als trage mensen te imiteren, zonder iets bij te dragen en zonder de erfenis die ons is toegevalen, te vergroten. Meer dingen, dan die tot dusver gevonden zijn, zijn aan ons nagelaten om onderzocht te worden'. Paré licht deze gedachten uitvoerig toe en opent daarmee voorzichtig, maar vastbesloten de aanval op de overdreven waardering voor de klassieke geneeskunde. God, zo stelt hij vast, 'heeft ons niet het beoordelingsvermogen gegeven opdat we bij de eerste schetsen van de door onze voorouders getekende kunst ons laten vastroesten en tot stilstand brengen'. Over het algemeen noemt Paré het algemene nut, het belang voor Frankrijk, het belang van de patiënt of de eer van God als zijn doelen. Hij heeft het nooit over roem of literaire onsterfelijkheid, hoewel hij als vaardig handwerksman tamelijk trots is op zijn reputatie en zijn inkomen. Hij is de vrijmoedigste voorvechter van de wetenschappelijke vooruitgang vóór Francis Bacon. Zijn innovatieve opmerkingen hebben echter, hoewel ze over 'de kunsten' in het algemeen gaan, alleen betrekking op de chirurgie. Eenmaal beklagt hij zich er zelfs over, dat de mensen te zeer geïnteresseerd zijn in de astronomie, die, in tegenstelling tot de anatomie, nooit verder zal komen dan het niveau van het speculeren. [30]

5. We hebben een aantal handwerkslieden leren kennen, een hoogopgeleide chirurg en twee mannen met uitgebreide wiskundige kennis, Tartaglia en Stevin, die dicht bij de handwerkslieden stonden. We zijn niet ingegaan op afgestudeerden aan de universiteit. Toch begon in de 16e eeuw, onder druk van de voortschrijdende technologie, de muur af te brokkelen, die sinds de oudheid de 'liberale' van de 'mechanische' kunsten scheidde. In vele

landen, maar in het bijzonder in Engeland, begonnen enkele academisch opgeleide geleerden zich te interesseren voor technologische problemen. [31] Hun verhandelingen zijn voor het grootste deel geschreven in de landstaal, aangezien ze bestemd waren voor gebruik door navigators, kanonniers, landmeters en handwerkslieden, of op zijn minst voor hun werkgevers, de kooplieden, generaals en vorsten. Het is moeilijk te bepalen wie in de technologische literatuur van de 16e eeuw een idee ontwikkelt en wie het overneemt. De mathematische kennis is vanzelfsprekend afkomstig van de geleerden. De hierboven genoemde handwerkslieden Bourne en Norman leerden de wiskunde via het werk van de geleerden Recorde en Digges. Anderzijds stonden geleerden in nauwe verbinding met handwerkslieden en meerdere van hen voorzagen deels of volledig in hun levensonderhoud als instrumentenmaker. Natuurlijk deelden deze geleerden het utilitaristische concept van wetenschap met de handwerkers. Anders hadden ze niet over technische onderwerpen geschreven en ook niet in de landstaal. In de meeste van deze werken wordt het humanistische ideaal van de renaissance niet meer genoemd en wordt er nadrukkelijk aan vastgehouden, dat de auteur van het boek het publiceerde tot nut van het algemeen of voor zijn land. [32]

Enige anti-individualistische opmerkingen en opmerkingen over de vooruitgang verdienen uitvoerige discussie. In het jaar 1532 publiceerde Peter Apian, professor in de wiskunde aan de Universiteit van Ingolstadt, een tijdgenoot van Tartaglia, een verhandeling in het Latijn over een door hem uitgevonden meetinstrument voor astronomen en geometrici. In dit boek wordt een rechtvaardiging gepresenteerd voor de uitvinding, die zo'n beetje vooruitloopt op de gedachtegang van Bacon. 'Diegenen', aldus Apian, 'die de beste uitvindingen verwerpen, omdat ze nieuw zijn, hebben het mis. Want zonder nieuwe vindingen zou het leven terugkeren in de situatie van vroeger, waar mensen wetteloos en onbeschaafd als dieren leefden'. Talloze, nog verborgen astronomische feiten zouden aan het licht gebracht kunnen worden, wanneer we niet afzien van ons enthousiasme voor het onderzoek. Hoewel hij een bewonderaar is van de klassieke oudheid, heeft hij een niet geringe achting voor het heden. Hij is ervan overtuigd, dat de natuur nog niet uitgeput en opgebruikt is en dat deze nog altijd mogelijkheid biedt om prijzenswaardige dingen voort te brengen. In het daaropvolgende jaar brengt Apian een uitgebreide versie uit van zijn boek in het Duits, aangezien hij, zoals hij aangeeft, onder de leken vaak een beter begrip van de wiskunde aantroef dan bij de geleerden. Hij verzekert de lezer hier dat hij zijn kwadranten 'tot heil van de gezamenlijke christenheid en bijna de gehele wereld uitgedacht heeft' en belooft verdere verhandelingen over meetinstrumenten, aangezien, 'zoals het spreekwoord zegt, ik niet alleen voor mezelf geboren ben, maar ook voor hen die met mij en na mij zijn'. [33] Professor Apian (1495 – 1552) was een getalenteerd werktuigkundige. Na zijn promotie aan de Universiteit van Leipzig voorzag hij gedurende enige jaren in zijn levensonderhoud door globes en meetinstrumenten te vervaardigen. Als jonge en slecht betaalde wiskundeprofessor in Ingolstadt leidde hij gelijktijdig een drukkerij. Later werd hij de astronomieleraar van Karel V en verkreeg hij een adellijke titel voor de bouw van een mechanisch planetarium.

In het jaar 1570 leverde de Nederlander Abraham Ortelius een niet onaanzienlijke bijdrage aan de ontwikkeling van de wetenschappelijke methode met zijn atlas *Theatrum Orbis Terrarum*. Zoals het voorwoord laat zien, wilde Ortelius aan studenten geografie een dienst bewijzen, in plaats van te streven naar roem via de werken van anderen. Daarom somde hij een lijst van ongeveer 80 cartografen en landkaarten op, die de basis vormden van zijn boek. De boeken van de scholastici en humanisten liepen over van de verwijzingen naar auteurs uit het verleden. De lijst van Ortelius is echter de eerste uitvoerige bibliografie uit de moderne wetenschappelijke literatuur. Hoewel bibliografische gegevens niet de hoeksteen van het bouwwerk van de wetenschap zijn, zijn ze een blijk van het moderne idee van wetenschappelijke samenwerking. Ortelius (1527 – 1598) was een cartograaf, een kaarten- en antiquiteitenhandelaar en werd later keizerlijk geograaf bij Karel V. In zijn jeugd was hij, samen met de graveurs, schilders en de Antwerpse klavierbouwers van aanzien, lid van het St. Lucas gilde in Antwerpen. Hij was echter niet een gewone handwerker, maar een belezen, klassiek geschoold geleerde – ondanks zijn gebrek aan academische opleiding. [34]

In het jaar 1595 vermeldde Gerard Mercator, een vriend van Ortelius, in zijn *Atlas*, dat hij bij het schrijven en het indelen van zijn werk het belang van de republiek voor ogen heeft; ‘we zijn niet alleen voor onszelf geboren, want de schepper heeft ons opdracht gegeven te leven voor het algemene welzijn’. Mercator (1512 – 1594) studeerde aan de Universiteit van Leuven, maar trad kort na beëindiging van zijn studie in dienst bij het bureau van een Antwerpse geograaf. Dit bureau stelde reisleiders voor kooplieden ter beschikking, aangezien betrouwbare landkaarten schaars waren en het leverde karavaanleiders. Vaak vervaardigde het bureau ook landkaarten en nautische instrumenten. Later vestigde Mercator zijn eigen werkplaats en werd hij de beste instrumentenbouwer, geometrist en cartograaf van de eeuw. Ook de uitgever van de latere oplages van Mercator’s *Atlas*, de cartograaf Hond, benadrukte het utilitaristische uitgangspunt. Hij vraagt uitdrukkelijk van auteurs dat ze zich inspannen om de Republiek en het nageslacht van nut te zijn en keurt degenen af die ‘louter voor zichzelf en de muzen zingen’. [35]

Francis Bacon verkondigde de vooruitgang der kennis als een aangestuurd wetenschappelijk- en filosofisch programma. (*Advancement of Learning*, 1605; *Novum Organum*, 1620; *De Augmentis Scientiarum*, 1632). Bacon brengt nadrukkelijk ook het belang van wetenschappelijke samenwerking naar voren. In zijn *New Atlantis* (1627) beschrijft hij een ideale staat, die geregeerd wordt door een gremium van wetenschappers, volgens het principe van arbeidsdeling georganiseerd in negen groepen. De wetenschappers hebben technologische en natuurkundige laboratoria tot hun beschikking, evenals landbouwkundige instellingen. Dergelijke onderzoeksinstituten waren ten tijde van Bacon een onbekend fenomeen. Er waren slechts observatoria, die niet verbonden waren aan de universiteit, maar opgericht werden door rijke geleerden (Tycho Brahe) of vorsten (Willem IV van Hessen-Kassel, Keizer Rudolf II). Bacons wetenschappelijke ideeën staan in schril contrast met het programma van de universiteiten uit zijn tijd, hij verhief de ‘mechanische’ kunsten tot een model voor de wetenschappers.

De ideeën van Bacon zijn zo vaak weergegeven, dat een uitgebreide behandeling overbodig lijkt. Het is tot dusver echter nog niet opgemerkt dat zijn idee van vooruitgang door samenwerking al vóór hem de ronde deed, in de 16e eeuw, in de literatuur over toegepaste wiskunde, navigatie en cartografie. De vraag naar de literaire bronnen van Bacon is minder relevant. Aangezien hij niet geïnteresseerd was in wiskunde en kwantitatief onderzoek, las hij vermoedelijk geen verhandelingen over meetinstrumenten. Maar het is onwaarschijnlijk, dat aan het hof van Koningin Elisabeth, waarin veel gedaan werd aan de bevordering van de navigatie, een geleerde niet ten minst in aanraking gekomen zou zijn met de wetenschappelijke traditie van Recorde, Digges en John Dee. Dit zijn echter slechts biografische vragen. Waar het werkelijk op aan komt, is de sociologische oorsprong van Bacons denkbeelden. Bacon en Stevin hebben elkaar niet gekend. Toch verscheen de oproep van Stevin voor wetenschappelijke samenwerking enige jaren vóór de New Atlantis. Tartaglia en Robert Norman, Apian en Mercator hielden er utilitaristische opvattingen over de wetenschap op na en werkten met overtuiging aan de geleidelijke uitbreiding van kennis, ongeacht of Bacon bekend was met hun boeken of niet.

Blijkbaar heeft de wetenschappelijke gedachte, die wij gewoonlijk kenschetsen als 'Baconiaans', haar wortels in de behoeftes van de vroegkapitalistische economie en technologie; de eerste kiemen verschenen voor het eerst in de verhandelingen van handwerkslieden uit de 15e eeuw. Maar het maakt een wezenlijk verschil of opvattingen in voorwoorden en incidentele opmerkingen geuit worden of dat ze als filosofisch standpunt gepresenteerd worden, om de wetenschap in haar geheel ingrijpend te veranderen. Bacon gebruikt de ideeën van zijn 'voorgangers' als stootram tegen de scholastiek en het humanisme en was de eerste die de filosofische en culturele implicaties van dit gedachtengoed ontvouwde. Het begrip wetenschappelijke vooruitgang was al vóór hem bekend, maar het ideaal van de vooruitgang van de beschaving begint bij Bacon. Anderzijds blijft Bacon qua kennis van wetenschappelijke details merkbaar achter bij de militaire ingenieurs en cartografen. [36]

Waarschijnlijk is de helderste weergave van de ideeën, waarvan we hier het ontstaan bestudeerd hebben, te vinden in Descartes' *Discourse de la Methode* (1637), elf jaar na de dood van Bacon. [37] In zijn zakelijke stijl legt Descartes hier uit waarom hij het weinige, dat hij gevonden heeft, gepubliceerd heeft. Hij zou graag, zoals hij het beschrijft, 'intelligente mensen stimuleren om te proberen verder te gaan, om, al naar gelang hun voorkeur en hun bekwaamheid, bijdragen te leveren aan de noodzakelijke experimenten en al hun vindingen openbaar te maken. Op deze wijze zou de laatste daar beginnen waar zijn voorgangers opgehouden zijn en in deze samenwerking van leven en werk van vele mensen zouden we veel sneller vooruitkomen dan waartoe eenieder individueel in staat zou zijn'. Het is wel zeker dat deze wijze van handelen, waar 150 jaar eerder Albrecht Dürer al voor pleitte, in de Cartesische tijd geen vanzelfsprekendheid was. Het citaat is overigens geen gelegenheidsopmerking; het is juist het besluit van een langer motivering van de auteur waarin hij uitlegt dat publicatie van zijn ideeën hem tegenstond. Nooit zou hij zijn ideeën openbaar maken -zo stelt Descartes vast-, wanneer ze alleen van toepassing zouden zijn op

de ‘speculatieve wetenschappen’; maar toen hij zag dat zijn methode ook een omkering zou betekenen van de natuurkunde, beschouwde hij geheimhouding ervan als een overtreding van de wet, die van ons eist dat het algemene welzijn wordt ondersteund. Met behulp van deze methode, zo vervolgt hij, zullen we de werking van het vuur, het water en alle andere lichamen begrijpen, ‘zo zeker, als we de verschillende beroepen van onze ambachtslieden begrijpen en door de toepassing van deze kennis, voor om het even welk nut waar ze voor van toepassing is, zouden we onszelf tot meesters en heersers kunnen maken over de natuur’. Waar ook maar in de 17e eeuw het idee van wetenschappelijke vooruitgang door samenwerking verschijnt, wordt ook de toepassing van wetenschap en technologie benadrukt. De moderne leerboeken over de geschiedenis van de filosofie verwaarlozen vaak deze Baconiaanse trekken bij Descartes. De verdere ontwikkeling van het vooruitgangsbegrip en de wetenschappelijke samenwerking is bekend. Kort na de dood van Bacon werd zijn programma gerealiseerd in wetenschappelijke instellingen en tijdschriften—voor een goed deel door de directe invloed van zijn boeken. De Academie der Lynxen in Rome (1603 – 1630) die nog opgericht werd tijdens het leven van Bacon, droeg niets bij aan zijn denkbeelden. Het bezat geen laboratorium en het stond dicht bij de ‘academies’ van de 16e eeuw, die eigenlijk eerder aristocratische literaire clubs waren, dan een modern wetenschappelijk genootschap. Toch publiceerden de Lincei een werk, dat door meerdere auteurs in samenwerking geschreven was, de *Nova plantarum animalium, et mineralium Mexicanorum historiae* (Rome 1651). Maar in de laboratoria van de Accademia del Cimento in Florence (1657 – 1667), de Royal Society (opgericht in 1660) en de Académie des Sciences in Parijs (opgericht in 1666) werkten wetenschappers voor het eerst in de geschiedenis systematisch samen. Doel van deze organisaties was de ontwikkeling van de wetenschap door samenwerking. Dit wordt op bijzonder heldere wijze benadrukt in de inleiding van de eerste uitgave van de *Philosophical Transactions*, die in 1666 uitgegeven werd door de Royal Society. Hier zegt Oldenburg, de secretaris van het gezelschap, dat het nieuwe tijdschrift uitgegeven wordt, ‘met als doel dat zulke werken, die helder en waarheidsgetrouw worden medegedeeld, een ondersteuning vormen voor het verlangen naar betrouwbare en nuttige kennis en dat diegenen die zich aan deze materie wijden, uitgenodigd worden en aangemoedigd, nieuwe gebieden te onderzoeken en te vinden, zodat zij hun kennis aan elkaar kunnen overdragen en dat ze zoveel als ze kunnen, bij zullen dragen aan het grootse plan, vooruit te komen in de kennis van de natuur... Alles voor de roem van God, ter ere van de vooruitgang der koninkrijken en voor het algeheel welzijn van de mensheid’. Zoals Descartes, zo roept ook Oldenburg onderzoekers op om hun deel ‘bij te dragen’ aan het algemene streven. Kennis is niet langer een zaak van intelligentsia, die uit zijn op persoonlijke roem en van disputerende scholastici: het moderne, westerse begrip van wetenschappelijk onderzoek is werkelijkheid geworden. [38]

We hebben geprobeerd aan te tonen, dat dit besef voor het eerst voorkwam in de intellectuele houding van hogere handwerkslieden. In de klassieke literatuur verschijnen vergelijkbare ideeën in de verhandeling van een constructeur van krijgsmachines. Geleerden in de oudheid namen deze ideeën niet over, in het vroege kapitalisme was dit wel het geval. Het zou interessant zijn de Arabische, Perzische, Indische en Chinese literatuur te onderzoeken. Het is niet uitgesloten, dat ook in deze culturen hogere handwerkslieden de gestage vooruitgang van de ambachtelijke kunst verdedigden in technologische

verhandelingen, voor zover ze de een of andere verhandeling schreven. Maar dergelijke denkbeelden werden door de oriëntaalse geleerden, theologen en letterkundigen beslist niet overgenomen en ontwikkeld. De afschaffing van de slavernij, het bestaan van de machine, de kapitalistische ondernemersgeest en de economische rationaliteit schijnen de voorwaarden te zijn, zonder welke het ideaal van wetenschappelijke vooruitgang zich niet kan ontfouwen.

Hoofdstuk 5:

Copernicus en de Mechanica

Bij zijn omverwerping van de Middeleeuwse conceptie van het zonnestelsel begon Copernicus bij de gebrekkige informatie over de heliocentrische theorieën uit de oudheid. Tot in detail specificeerde hij de geometrische implicaties en stelde zo de basis voor de efemeriden (astronomische kalenderdagen) vast, die veel nauwkeuriger was dan de oude, op de theorie van Ptolemaeus gebaseerde, tabellen van de planetaire bewegingen. [1] Zijn uitmuntende bijdrage aan de astronomie was mathematisch-geometrisch van aard. Het wordt echter soms onvoldoende opgemerkt hoe ver Copernicus nog van het moderne natuurkundig en in het bijzonder het mechanische denken afstond. Enige opmerkingen hierover kunnen daarom nuttig zijn. Zij hebben betrekking op het eerste boek van De revolutionibus Orbium Coelestium (1543) waarin Copernicus de fundamentele ideeën van zijn theorie ontvouwt en waar, bijgevolg, de Pythagoreaanse en Scholastieke ideeën nog overheersen. De filosofische ideeën uit de oudheid en de Middeleeuwen verdwijnen naar de achtergrond in de daaropvolgende vijf boeken (II-VI) waarin de wiskundige bijzonderheden verklaard worden. [2]

1. Copernicus gebruikt in zijn algemene argumenten steeds weer begrippen met bepaalde waarden. In de derde zin van het eerste boek wordt de retorische vraag gesteld: 'Wat is mooier dan de hemel?..... Door zijn glorie hebben de meeste filosofen hem de zichtbare Godheid genoemd'. In hoofdstuk 8 beargumenteert hij de onbeweeglijkheid van de zon als volgt (blz. 24, II.2 e.v.): 'Daarenboven wordt de toestand van onbeweeglijkheid als edeler en Goddelijker beschouwd dan de toestand van de wisseling en de instabiliteit, welke om deze reden meer past bij de aarde dan bij het universum. [3] Ik voeg hieraan toe dat het tamelijk absurd zou lijken het bevattende en het begrenzend beweging toe te schrijven en niet aan datgene dat omvat en begrenst is, hetgeen de aarde is'. In hoofdstuk 10 vervolgt hij (blz. 30, II.1 e.v.): 'De zon heeft haar zetel in het middelpunt van het universum. Wie zou in deze wonderschone tempel dit licht op een andere of betere plaats situeren dan die van waaruit zij het gehele universum tegelijkertijd belichten kan'? De zon, zo vervolgt hij, wordt daardoor door sommigen 'geest' of 'heerser' genoemd en hij sluit af met een citaat van de voornaamste autoriteit van de occulte wetenschap, de alchemie en het neoplatonisme: 'Trismegistus noemt de zon de zichtbare God, de Elektra van Sophocles, zij die alles ziet. De zon zit inderdaad op een koninklijke troon en beheerst de gemeenschap van de sterren die zich om haar heen beweegt'.

2. Copernicus neigt ertoe levenloze objecten op te vatten als doelgerichte, levende wezens. Af en toe drukt hij zich bijna animistisch uit, vaker geeft hij teleologische verklaringen op een meer rationele wijze in de trant van Aristoteles en de Scholastici. Enkele zinnen na de eerder aangehaalde plaats merkt hij op (blz. 30, regel 9): 'De eerste is bevrucht door de zon en is zwanger met een jaarlijkse bevalling'. Hoofdstuk 1 verklaart de sferische vorm van het heelal

als volgt (blz. 11): 'Deze vorm is de meest volmaakte, heeft geen verbinding nodig (*nulla indigua compagine*) ... en is de meest omvattende figuur. ...Alle voorwerpen streven (*appetant*) ernaar om op deze wijze verbonden te zijn. Dit kan men zien bij waterdruppels en andere vloeistoffen wanneer zij zich door zichzelf willen verbinden (*cupiunt*)'. Hij verklaart de zwaartekracht (*gravitas*) als volgt (hfst.9, blz. 24, regel 25): 'Ik geloof dat de zwaartekracht niets anders is dan een natuurlijk verlangen (*appetentia*) dat door de Goddelijke voorzienigheid aan de delen is toegekend zodat ze hun eenheid en volmaaktheid kunnen bereiken (ut in *unitatem integritatemque suam se conferant*) waarin ze zich samenvoegen in de vorm van een bol. Het is waarschijnlijk dat deze neiging (*affectionem*) ook bij de zon, de maan en de planeten hoort, ten gevolge waarvan zij hun ronding behouden (ut *eius efficacia in ... rotunditate permaneat*)'. Over het verschijnsel van de aardse zwaartekracht merkt hij op (hfst. 7, blz. 19, regel 28): het element van de aarde is het zwaarste en alle zware dingen worden naar haar gedreven en hebben een streven (*contententia*) in hun binnenste centrum'.

3. Deze teleologische opvatting van de natuur is nauw verwant met de opvatting van Copernicus dat objecten van dezelfde aard een 'sympathieke' invloed uitoefenen op elkaar. In hoofdstuk 8 bespreekt hij het feit dat de lucht die de aarde omgeeft om de aarde draait en geeft hij twee verklaringen die hij beide als even toelaatbaar beschouwt- een Middeleeuws-sympathische en een moderne mechanische. De lucht roteert, aldus zijn verklaring (blz. 22, II.I 18 e.v.) 'of omdat zij vermengd is met een aardse en waterige materie en daarom dezelfde natuur volgt als de aarde (*eandem sequatur naturam quam terra*), of omdat de beweging van de lucht is ontstaan doordat de lucht grenst aan de voortdurend draaiende aarde is en de lucht hier deel van uitmaakt zonder weerstand te bieden'. Enkele regels verder bespreekt hij de niet-verbonden zware lichamen (die eveneens mee roteren met de aarde) en herhaalt uitsluitend de sympathische verklaring (blz. 22, regel 31): Omdat de lichamen die door hun gewicht samengeperst worden hoofdzakelijk van aarde zijn, is er geen twijfel aan dat de delen van dezelfde natuur zijn als het geheel (*eandem servant patet naturam quam suum totum*). Bij de bespreking van het vuur wordt volkomen duidelijk dat de 'gelijkheid van de natuur' het cruciale punt van het gehele argument is.: het neemt deel aan de rotatie (blz.22, regel 33) 'omdat het vuur aarde en hoofdzakelijk door de materie van de aarde gevoed wordt'. [4]

4. De teleologische, half-animistische opvatting van de natuur komt ook naar voren in zijn theorie van de beweging, die gebaseerd is op het Aristotelische onderscheid tussen 'natuurlijke' en 'kunstmatige' bewegingen. Copernicus verklaart de val van lichamen door de Aristotelische theorie van de 'natuurlijke plaats' (*locus naturalis*, hfst. 8, blz. 23, regel 10). Hij vervolgt met (blz. 23, regel 13 e.v.): 'rechtlijnige beweging lijn is een eigenschap van lichamen die ronddwalen of die van hun natuurlijke plaats verstoten zijn. ... Niets is zo strijdig aan de ordening van het universum en de vorm van de wereld als een ding dat niet op zijn natuurlijke plaats is (*extra locus suum ... esse*) . Beweging in een rechte lijn treedt daarom alleen op als de dingen niet juist geordend zijn (*rebus non recte se habentibus*)'. Blijkbaar is Copernicus het helemaal eens met de theorie van Aristoteles en de klassieke astronomie [5] dat hemellichamen zich in cirkelvormige banen bewegen en dat deze beweging 'natuurlijk' is,

terwijl de rechtlijnige beweging alleen een eigenschap is van aardse lichamen en 'kunstmatig' is.

De Middeleeuwse opvatting dat al het natuurlijke, naar men meende, over een spirituele kracht beschikt, die bij kunstmatige en onvolledige voorwerpen ontbreekt, leidt Copernicus naar een bespreking van de centrifugale kracht die in opmerkelijke mate afwijkt van die van de moderne mechanica. Ptolemaeus had reeds tegen de rotatie van de aarde ingebracht dat deze tot gevolg heeft dat alle voorwerpen van de aarde weggeslingerd zouden worden. [6] Copernicus moet zijn theorie verdedigen tegen deze tegenwerping. Hij doet dat als volgt (hfst. 8, blz. 21, regel 5): 'Dingen die geregeerd worden door de natuur hebben effecten tot gevolg die tegengesteld zijn aan die die door geweld geregeerd worden. Dingen waarop kracht en aandrijving overgedragen zijn, moeten vervallen en kunnen niet lang bestaan; wat echter door de natuur wordt voortgebracht gedraagt zich correct (recte se habent) en is in zijn beste ordening behouden. Ptolemaeus vergist zich daarom met zijn angst dat de aarde en alle aardse voorwerpen zich door een rotatie die door de werking van de natuur wordt voortgebracht uit elkaar zouden vallen. Dit is iets volledig anders dan de kunst of wat het menselijke vernuft kan bewerkstelligen'. Blijkbaar dacht Copernicus dat de centrifugale kracht alleen in een 'kunstmatige' en niet in een 'natuurlijke' rotatie optreedt.

Het moderne antwoord op de tegenwerping van Ptolemaeus, namelijk het argument dat de effecten van de centrifugale kracht in vergelijking met de zwaartekracht verwaarloosbaar zijn, zou hier niet eens heel van verwijderd zijn. Copernicus zelf gebruikt een vergelijkbaar argument tegen het bezwaar dat de draaiing van de aarde om de zon parallactische verschuivingen van de vaste sterren teweeg zou moeten brengen. Daar beargumenteert hij volledig juist dat deze, vanwege de grote afstand ten opzichte van de vaste sterren niet waargenomen zou kunnen worden (waaraan wij moeten toevoegen met de gebrekkige instrumenten van zijn tijd) (I, hfst. 10, blz. 30, Z. 24)'. [7] Het is zeker dat reeds in de oudheid de posities van de sterren gemeten konden worden terwijl er in de tijd van Copernicus nog niet de mogelijkheid bestond om centrifugale krachten te meten en een kwantitatieve vergelijking te maken met de zwaartekracht. Het gebrek aan meetinstrumenten heeft heel vaak geleid tot metafysische verklaringen van natuurkundige verschijnselen. In ieder geval hebben de aangehaalde passages voldoende duidelijk gemaakt hebben hoe zeer Copernicus van de Pythagoreaanse, Aristoteliaanse en Scholastieke metafysica doordrenkt is.

Een eerste juiste kwantitatieve theorie van de centrifugale kracht werd pas door Huygens ontwikkeld- 120 jaar na Copernicus. Galileo bespreekt echter reeds 90 jaar na Copernicus de centrifugale kracht die samenhangt met de rotatie van de aarde, op een geheel niet-metafysische wijze. Weliswaar is zijn verklaring nog niet correct [8] - hij is van mening dat de centrifugale kracht in ieder geval kleiner moet zijn dan de zwaartekracht, hoe snel de aarde ook zou roteren en hij formuleert een geometrische schijnverklaring voor deze aanname - hij beseft echter dat de in aanmerking komende centrifugale effecten niet waargenomen kunnen worden omdat ze te klein zijn. Het idee dat 'kunstmatige' rotatie zich onderscheidt van

‘natuurlijke’, noemt hij geen enkele keer. Dit is van groot belang omdat de uiterste consequentie het volledig niet-mechanische verschil tussen de ‘natuurlijke’ en ‘kunstmatige’ beweging experimentele onderzoek naar natuurlijke objecten uitsluit. Ook bij Galileo zijn nog restanten van teleologische verklaringen aanwezig maar deze vormen slechts de algemene achtergrond van zijn verklaringen. Bijna altijd gebruikt hij zuiver mechanische argumenten wanneer hij afzonderlijke beweringen bewijst en stelt zich nadrukkelijk teweerge tegen verklaringen van natuurlijke verschijnselen op grond van sympathie of antipathie. [9]

Copernicus is geïnteresseerd in de exacte formulering van de mathematische regelmatigheden van de beweging van de hemellichamen; hij is een Pythagoreër en brengt niet werkelijk een mechanische opvatting naar voren. Galileo is daarentegen een mechanist: in zijn dialoog over de theorie van Copernicus heeft hij een dusdanig geringe belangstelling voor de exacte details van de planetaire bewegingen dat hij niet één keer de wetten van Kepler noemt. [10] Hij vindt het belangrijker de fundamentele ideeën van Copernicus te onderbouwen door nieuwe observaties, aan te tonen dat er geen fundamentele verschillen zijn tussen hemelse verschijnselen en aardse mechanica en natuurkunde en de voor-mechanische ideeën en bezwaren van de Aristotelianen van zijn tijd af te wijzen.

Het verschil tussen Copernicus en Galileo is niet alleen een verschil in individuele psychologie en kan evenmin verklaard worden uit het verschil in tijd. Kepler, die een tijdgenoot van Galileo was, was zoals bekend, minstens evenzeer Pythagoreër en dacht minstens zo teleologisch als Copernicus. Er schijnt veeleer een verschil te zijn tussen de astronomie en de mechanica voor wat betreft hun historische ontwikkeling en sociologische oorsprong. De eerste astronomen waren Babylonische priesters en de verbinding met de geestelijkheid is nooit helemaal verbroken; van de oudheid door de Middeleeuwen tot tegen het einde van de 16de eeuw behoorden de astronomie tot de ‘vrije’ kunsten, die tegengesteld waren aan de ‘mechanische’ kunsten. Dit kan ook verklaren waarom metafysische, Pythagoreaanse en teleologische verklaringen in de astronomie konden blijven bestaan tot Copernicus en Kepler. Het is nauwelijks een puur toeval dat Copernicus zijn werk begint met de verheerlijking van de astronomie (I, blz. 9), ‘welke de hoogste van de vrije kunsten is, het meest waardig is voor de vrije mens en zich uitstrekt over bijna alle soorten wiskunde’. En het is geen puur toeval dat hij bij een opsomming van de kunsten de laatste plaats toekent aan de mechanica, omdat de mechanica behoorde bij de ‘mechanische kunsten’ die niet alleen hoofd en mond vereisen, maar ook handen en die daarom overgelaten werden aan mensen uit de onderste lagen. De experimentele methode en de afschaffing van teleologische en animistische methoden door het causale denken zijn in de nieuwe tijd vermoedelijk uit de gilden van de mecaniciens en de handwerkers voortgekomen. Het is zeker dat de wetenschappelijke mechanica en fysica in de nieuwe tijd niet opkwamen voordat de denkwijze van de handwerkers overgenomen werden door de academisch gevormde geleerden uit de bovenste laag -zoals gebeurde in de tijd van Galileo. Een uitvoeriger onderzoek dan deze korte notitie over Copernicus is echter noodzakelijk om deze sociologische verklaring te verifiëren.

Hoofdstuk 6

Opkomst van het empirisme

I. De opkomst van de experimentele wetenschap

1. Experiment en handmatig werk

Normaal gesproken wordt in de moderne wetenschap wordt over alle vraagstukken met betrekking tot de realiteit beslist op grond van ervaring en experiment. Deze typische instelling is geenszins vanzelfsprekend. Het is veeleer een late verworvenheid binnen de geschiedenis van de mensheid, waarvan de betekenis niet ten volle onderkend kan worden zolang men zich dit feit niet realiseert. We beginnen daarom onze beschrijving met een terugblik op het begin van het empirische denken en de experimentele methode. Hoewel het empirisch onderzoek in het begin van de moderne tijd voortbouwde op bepaalde empirische prestaties van de antieke oudheid, kan het klassieke empirisme in dit korte overzicht achterwege gelaten worden. In de oudheid overtrof de intellectuele invloed van de metafysica en de retorica die van de empirische wetenschappers aanzienlijk en de empiristen vormden onder de klassieke filosofen en wetenschappers een kleine minderheid. Het volstaat daarom om te beginnen met de Middeleeuwen.

De centra van de Middeleeuwse beschaving waren niet de, in de vroege eeuwen weinig voorkomende, steden, maar de kloosters en burchten op het platteland. De burchten en de culturele prestaties van de ridders houden weinig verband met het theoretische denken. Voor deze studie zijn de kloosters als de centra van de Middeleeuwse geleerdheid belangrijker. Door hun leefomstandigheden waren de monniken niet erg geneigd de wereld met open ogen te aanschouwen. Opgesloten binnen muren en belast met de opgave om de in het Scholastieke onderricht vastgelegde leerstellingen over te dragen aan de volgende generaties, moesten zij zich toeleveren op abstracte bewijsvoeringen en de ontwikkeling van hun scherpzinnigheid. Deze geestelijke instelling werd later overgenomen door de universiteiten van de laatmiddeleeuwse steden. Tot aan de 13de eeuw was de onderzoeksmethode die de [huidige] moderne wetenschap als de meest natuurlijke voorkomt, praktisch onbekend. Als Middeleeuwse theoretici of theologen een probleem wilden oplossen dan gingen ze eerst op zoek naar relevante passages in de Heilige Schrift, in de geschriften van de kerkvaders of in bepaalde werken van Aristoteles. Vervolgens vergeleken ze goed- en afkeurende conclusies van collega's en voorgangers en trokken uiteindelijk conclusies uit de verzamelde premissen op basis van logische deductie. Het is daarom niet verrassend dat de scholastieke theorie van het syllogisme de voornaamste bijdrage aan de Middeleeuwse wetenschap is.

Aan het einde van de Middeleeuwen echter, begonnen enkele geleerden, zoals Roger Bacon in Engeland en Albertus Magnus in Duitsland, het belang in te zien van de ervaring. [1] Hun tijdgenoot, de Franse edelman Pierre de Maricourt, experimenteerde zelfs succesvol met magneten. Deze opkomst van nieuwe wetenschappelijke methoden in de 13e eeuw hangt samen met een fundamentele verandering in de maatschappij. De steden waren geleidelijk gegroeid, de kloosters en burchten van het platteland raakten hun sociale betekenis kwijt en een nieuwe sociale klasse -de stedelingen- verscheen op het toneel van de geschiedenis. Geld en winst begonnen het leven van naties te regeren.

De overgangstijd tussen feodalisme en vroegkapitalisme duurde tot in de 15e eeuw. Aanvankelijk organiseerden de handwerkers in de steden zich in gilden om economische concurrentie te voorkomen. Deze zorgden ervoor dat er geen breuk ontstond met de arbeidstradities uit het verleden. Toen echter, met de toename van het kapitalisme, de concurrentie krachtiger werd, wat de gilden verwoestte, brokkelden de beperkingen van de gilden ten aanzien van het werk af. De handwerker die precies zo werkte als zijn meester en zoals de meester van zijn meester had gedaan, werd weggevaagd door minder conservatieve concurrenten; de eigen ondernemersgeest, de eigen ervaring en een innovatieve instelling maakten de succesvolle man. Het tijdperk van de uitvindingen was begonnen. Enkele grote uitvindingen van deze periode -de productie van papier, buskruit en kanonnen, het kompas van de zeelieden, de drukpers- zijn algemeen bekend. De uitvinding van de hoogovens, de stampmolens, de introductie van ventilatoren en trekmachines in de mijnbouw, talrijke verbeteringen bij de constructie van weefgetouwen, schepen, kanalen en vestingbouw, waren nauwelijks van minder belang. Met de uitvindingen van de 15e en 16e eeuw vond een volledige omwenteling van de technologie van de Middeleeuwen plaats. Hetzelfde effect deed zich voor bij de grote geografische ontdekkingen. Aan nieuwe kusten werden dieren, planten en voorwerpen gevonden die men nog nooit had gezien en die door de meest scherpzinnige monnik niet afgeleid hadden kunnen worden van zijn autoriteiten. Autoriteiten en syllogismen waren verslagen door de ervaring; een nieuw, empirisch ingesteld soort van mens trok erop uit om de wereld te veroveren.

Beroepsmatig waren deze mannen handwerkers en zeelieden die behoorden tot de onderste lagen van de maatschappij. Ze werden door de edelen, bankiers en rijke kooplieden van volkse afkomst niet hoog geschat. Omdat de intelligentsia, de humanisten, die voor de hogergeplaatste openbaarheid schreven, niet geïnteresseerd waren in zulke volkse types als handwerkers, zijn de biografieën en zelfs de namen van de meeste van deze ontdekkers zelden bekend. Zelfs van de grote ontdekkers zijn er slechts weinig gedetailleerde en betrouwbare schriftelijke mededelingen. [2] De handwerkers en de zeelieden waren geen geleerden, maar eerder tamelijk ongeschoolde mensen. Hun empirisme was - ver verwijderd van een wetenschappelijke status- een zaak van het praktische leven en van incidentele observatie en het ontbeerde grotendeels iedere systematische methode.

Maar gaandeweg ontwikkelde zich, in het bijzonder in Italië, onder bepaalde groepen hogere handwerkslieden, die voor hun beroep meer kennis nodig hadden dan hun collega's, een systematische techniek van empirisch onderzoek. We hebben het dan over de kunstenaars, de producenten van nautische- en muziekinstrumenten en heelmeeesters. In de Middeleeuwen stonden de schilders, beeldhouwers en architecten niet ver af van huisschilders, steenhouwers en metselaars. Met het verval van hun gilden scheidden zij zich langzaam af van het handwerk en werden langzamerhand, ongeveer in het midden van de 16e eeuw, vrije kunstenaars. In de loop van deze ontwikkeling ontstond binnen hun klasse een opmerkelijke groep. We zouden hen kunnen aanduiden als kunstenaar-ingenieurs, omdat zij zich niet alleen bezighielden met het maken van schilderijen en het bouwen van kathedralen. Zij maakten ook hefmachines en kanonnen en legden dammen, kanalen, vestingwerken en sluizen aan, ontdekten nieuwe kleurstoffen, stelden de geometrische wetten van het perspectief vast en vonden nieuwe meetinstrumenten uit voor de civiele techniek en de artillerie. Velen van hen hielden dagboeken bij en stelden traktaten op over hun observaties en ontdekkingen voor het gebruik door hun collega's. Omdat zij niet behoorden tot de geleerden van de universiteit die het Latijns machtig waren en ook niet tot de humanistische intelligentsia, maar ambachtlieden waren, schreven zij in hun landstaal. Zij waren de ware voorlopers van de moderne experimentele wetenschap. [3]

Brunelleschi (1346-1446), de constructeur van de koepel van de dom van Florence, was de eerste van deze kunstenaars-ingenieurs. Onder zijn navolgers waren de bronsgieter Ghiberti (x 1455), de architect en schilder Leone Battista Alberti (1407-1472), die -bij uitzondering een klassieke opleiding genoten had- de architect en militair ingenieur Giorgio Martini (1425-1506), Leonardo da Vinci (1452-1519) en de goudsmid, beeldhouwer en kanonnengieter Cellini (1500-1571). Vermeldenswaard is ook de architect en artillerie-expert Biringucci (x 1538) vanwege zijn boek over de metallurgie, Della pirotechnica. Zijn geschrift is de eerste scheikundige verhandeling die teruggrijpt op de betrouwbare ervaring en die ieder alchemistisch bijgeloof vermijdt. De uitvinders en constructeurs van de nieuwe clavecimbel en klavichord, en de kompasmakers behoorden ook tot de experimenterende hogere handwerkslieden. Een derde groep werd gevormd door de chirurgen. Zij verrichtten sectie op dieren en vaak ook op mensen, terwijl de geleerde doctoren zich zelden met zulke vieze en lugubere werkzaamheden bezighielden. De gemeenschappelijke belangstelling voor de anatomie leidde vaak tot relaties tussen kunstenaars en heelmeeesters.

Het experiment vereist handmatige arbeid, en, daardoor ontstond het, zowel in de oudheid als in de nieuwe tijd, vanuit het handmatige werk. In de oudheid waren wetenschappelijke experimentatoren uiterst zeldzaam. Aangezien het zware werk in zijn algemeenheid door slaven verricht werd, vormde de verachting van het handwerk een hindernis die alleen overwonnen werd door de dappersten onder de antieke geleerden. Een soortgelijke hindernis, hoewel deze in een maatschappij zonder slaven beter te overwinnen is, bemoeilijkte ook de opkomst van de experimentele wetenschap in de nieuwe tijd.

Het onderwijssysteem in het vroegkapitalisme ontleende aan de Middeleeuwen het onderscheid tussen vrije en mechanische kunsten. Voor de zeven vrije kunsten (grammatica, dialectiek, retorica, aritmetica, geometrie, astronomie en muziek) waren alleen het denk- en discussievermogen noodzakelijk. Alleen hierop berustte de vorming van goed opgeleide mannen. Alle andere kunsten werden, omdat ze handwerk vereisten, beschouwd als meer of minder volks. Talrijke voorbeelden wijzen er tot in de 16e eeuw op dat zelfs de grootse kunstenaars van de Renaissance zich teweer moesten stellen tegen deze sociale vooroordelen. En om deze zelfde reden bleven de beide componenten van de moderne wetenschappelijke methode van elkaar gescheiden: de methodische scholing van het intellect was voorbehouden aan de geleerden van de universiteit en de humanistische schrijvers, die, òf tot de bovenste laag behoorden, òf zich tenminste daartoe rekenden; het experiment en tot op zekere hoogte de observatie werden overgelaten aan de handwerkers van de lagere klassen. Zelfs de grote Leonardo was om deze reden geen echte wetenschapper. Omdat hij nooit geleerd had om onderzoek systematisch te bedrijven, vormen zijn resultaten een verzameling van geïsoleerde, hoewel soms ook schitterende, ontdekkingen. In zijn dagboeken bespreekt hij enkele malen op een onjuiste wijze problemen die hij enige jaren daarvoor correct had opgelost. De technische revolutie bracht echter langzaam verandering in de maatschappij en het denken en dit gebeurde op zodanige wijze dat de sociale barrière tussen de vrije en de mechanische kunsten wegviel en de experimentele technieken van de handwerkers hun intrede deden in de rangen van de universiteitsgeleerden. Eindelijk verenigden rationele scholing en handwerk zich: de experimentele wetenschap was geboren. Dit werd rond 1600 tot stand gebracht door Galileo Galilei, Francis Bacon en William Gilbert. Een van de belangrijkste ontwikkelingen in de geschiedenis van de mensheid had plaatsgevonden.

Het wetenschappelijke werk van Copernicus (x 15423), dat rationeel was en niet experimenteel, kan hier genegeerd worden.

Galileo (1564-1642) [4] kreeg zijn opleiding aan de universiteit van Pisa en was meer dan 20 jaar professor aan de universiteiten van Pisa en Padua. Zijn verhouding tot het handwerk en de technologie zijn echter vaak onderschat. Gedurende zijn studententijd was er in Pisa geen wiskundig onderwijs. [5] Hij leerde wiskunde via particulier onderwijs en zijn huisleraar Osilio Ricci was architect en leraar aan de Academia del disegno, dat in het jaar 1562 door de schilder Vasari was opgericht en [dat] het midden hield tussen een moderne academie van de kunsten en een technisch college. [6] Galileo werd dus door kunstenaar-ingenieurs ingewijd in de wiskunde. Als jonge professor in Padua gaf hij colleges over wiskunde en astronomie en gaf hij onderricht aan huis over het ingenieurswezen. Voor zijn experimentele onderzoek richtte hij in zijn huis werkvertrekken in en stelde handwerkers aan als assistent. [7] Dit was het eerste universiteitslaboratorium uit de geschiedenis. Galileo's eerste wetenschappelijke onderzoek had betrekking op pompen, op de regulering van rivieren en op de bouw van vestingwerken. Sinds zijn studententijd bezocht hij graag werven en arsenalen. In zijn eerste gedrukte publicatie (1606) komt een meetapparaat voor militaire doeleinden aan de orde. En zelfs in zijn laatste werk (1638), die de moderne mechanica inleidt, vindt het gesprek plaats in het

arsenaal van Venetië. Zijn grootste prestatie, de ontdekking van de valwetten, kwam eveneens voort uit de verbinding met de technologie van zijn tijd. Onder de geschutsexperts werd veel gediscussieerd over de loop van de schootsbaan. Galileo ontdekte dat dit vraagstuk onoplosbaar is, zolang het probleem van vallende lichamen niet is opgelost. De vrije val was echter te snel voor een exacte meting. Om de snelheid te verminderen maakte Galileo gebruik van messing kogels, liet deze van een schuin aflopende helling rollen en mat hij de afstanden, de tijden en de snelheden. Het gelukte hem zijn meetresultaten in wiskundige relaties uit te drukken en wist uiteindelijk de vorm van de kromming van het traject van het projectiel vast te stellen. In dit klassieke onderzoek van Galileo tekenen zich de beide pijlers af waarop de moderne wetenschap is gebouwd: het experiment en de wiskundige analyse. De experimenten van de handwerkers zouden op zichzelf nooit zijn overgegaan in wetenschap.

Francis Bacon (1561-1626) deed geen belangrijke ontdekking op het gebied van de natuurkunde. Zijn geschriften wemelen van de restanten van magisch denken en fouten. Hij begreep de prestaties van Copernicus, Gilbert en Harvey nauwelijks. De methodologische voorschriften, die hij opstelde om het empirisch onderzoek te stimuleren, waren te pedant om van grote betekenis te zijn voor wetenschappers. Maar hij was de eerste auteur die het belang van de wetenschap voor de menselijke beschaving in haar volledigheid doorzag. De Scholastici en de humanisten, zo verklaarde hij, deden niets anders dan het herhalen van de uitspraken uit de oudheid. Alleen op het gebied van de mechanische kunsten is de kennis sinds de oudheid voortgeschreden. Daarom sprak Bacon met enthousiasme over de handwerkers en de zeelieden en riep hun werk uit als voorbeeld voor de geleerden. Hij is een enthousiast voorvechter van zowel de wetenschappelijke inductie als het vooruitgangdenken. Beide ideeën zijn nauw met elkaar verbonden: zij zijn niets anders dan de werkmethode van het vroegkapitalistische handwerk gezien door de ogen van een filosoof. Zijn hele filosofie is één grote aanval op de zeven vrije kunsten. Bacon zelf voerde talrijke experimenten uit; hij stierf aan een verkoudheid die hij opliep toen hij een dode kip volstopte met sneeuw. De meeste van zijn geschoolde tijdgenoten waren ongetwijfeld van mening dat dit experiment eerder voorbehouden was aan een kok of een slachter dan aan de vroegere meester-kanselier van Engeland.

Het eerste geleerde boek van het nieuwe tijdperk dat ging over experimentele natuurkunde verscheen reeds vóór de publicaties van Galilei en Bacon. Dit was William Gilbert's *De Magnete* (1600). Gilbert was de arts van koningin Elisabeth. Zijn experimentele methode kwam voor een deel voort uit de metallurgie van zijn tijd en de mijnbouw, deels afkomstig uit de experimenten van de afgezwaaide zeeman en kompasbouwer Robert Norman. [8]

Waarom is het experiment zo belangrijk voor de empirische wetenschap? Het waarnemen op zich is passief, het houdt in 'afwachten en zien' en hangt vaak van het toeval af. Het experiment daarentegen is een actieve onderzoeksmethode. De experimentator wacht niet af tot de gebeurtenissen geleidelijk aan voor zichzelf beginnen te spreken, maar hij stelt systematische vragen. Sterker nog, hij maakt gebruik van kunstmatige middelen om de

condities te scheppen, waaronder heldere antwoorden mogelijk zijn. Zulke voorbereidingen zijn in de meeste gevallen volstrekt noodzakelijk. Natuurlijke gebeurtenissen zijn gewoonlijk een combinatie van talrijke effecten, die door verschillende oorzaken teweeggebracht worden en deze kunnen nauwelijks afzonderlijk onderzocht worden, zolang de meeste daarvan niet met kunstmatige middelen uitgeschakeld zijn. Daarom neigen alle empirische wetenschappen duidelijk naar het experiment. Wetenschappen waarin experimenten niet doorgevoerd kunnen worden, zijn in het nadeel. Zij proberen oplossingen te vinden voor problemen door terug te grijpen op andere wetenschappen waarin wel experimenten mogelijk zijn. Op deze wijze maken meteorologie, geologie, seismologie en astrofysica gebruik van laboratoriumfysica en laboratorium scheikunde. Sociologen en economen proberen gebruik te maken van de bevindingen van psychologen. Enkele moderne geologen hebben zelfs geprobeerd het ontstaansproces van bergen op kleine schaal na te bootsen in het laboratorium. Voor een groot deel kunnen de armzalige resultaten van de sociale wetenschappen verklaard worden door een gebrek aan experimenten. De enige vervanging die tot bepaalde hoogte het gebrek aan laboratoriumexperimenten kan compenseren is het gebruik van een groot aantal observaties, indien deze zorgvuldig vergeleken en uitgewerkt zijn met behulp van statistische methodes. Tot op de dag van vandaag echter, is het experiment veruit de meest effectieve empirische methode.

Opgemerkt moet worden dat een van de oudste empirische wetenschappen, namelijk de astronomie van het zonnestelsel, hoogst succesvol was zonder enige vorm van experiment. Dit is te danken aan het ongebruikelijke gegeven dat in ons zonnestelsel overlappende effecten bij geheel verschillende ordes van grootte behoren en daarom relatief gemakkelijk van elkaar te onderscheiden zijn. Het zonnestelsel is buitengewoon goed geïsoleerd en de zon is qua massa heel veel groter dan alle planeten. Zou het zonnesysteem voortdurend beschoten worden door zware meteorieten of, wat op hetzelfde neerkomt, als het door een dichte sterrenbundel zou dwalen en als de massa van Jupiter van dezelfde omvang zou zijn als die van de zon, dan zouden Copernicus, Kepler en Newton niet veel tot stand hebben gebracht.

2. Causaal onderzoek: de mechanische opvatting van de natuur

De jonge experimentele wetenschap was gedwongen tot het aangaan van harde gevechten met het voorwetenschappelijke denken. De primitieve mens maakt geen nauwkeurig onderscheid tussen levende en levenloze voorwerpen; hij interpreteert alle natuurlijke gebeurtenissen als manifestaties van strijdende, liefhebbende, of hatende wezens. Deze animistische opvatting van de natuur heerst bij alle beschavingen zonder geldeconomie en het is ook bepalend voor het Middeleeuwse denken. Wanneer een komeet aan de hemel verscheen of een monster geboren werd, vroeg de Middeleeuwse mens meer naar de betekenis, het doel en de zin van de gebeurtenissen dan naar de oorzaken ervan. Ook de geleerden dachten niet veel anders. Natuurlijk zijn de 'entelechie' en de 'substantiële vormen' van Aristoteles en de Scholastici geen primitieve voorstellingen; het zijn gecompliceerde en hoogst rationele gedachtenconstructies. Toch is hun animistische bron, als het ware, slechts opgedroogd; ongeveer zoals een ziel, die probeert haar doelen na te streven, nog zichtbaar is

door het rationele hulsel. Hetzelfde geldt voor de 'occulte kwaliteiten' die zo geliefd waren bij de scholastici. Deze konden nooit waargenomen worden, maar er werd verondersteld dat ze toebehoorden aan de meeste objecten en dat ze bepaalde effecten teweegbrachten door 'sympathie' en 'antipathie', alsof het kleine spoken waren. Animistische restanten zoals deze waren voor de moderne technologie niet van nut en moesten worden opgeruimd. Teleologische verklaringen werden geleidelijk aan vervangen door causale. De doelen van onbezielde dingen, de betekenis van natuurlijke gebeurtenissen en de 'bezielde' krachten van natuurkundige objecten kunnen niet vastgesteld worden door waarneming. Anderzijds kan het regelmatige verband tussen oorzaak en gevolg wel geverifieerd worden door ervaring en experiment. Bovendien zijn ingenieurs in staat om de gewenste effecten tot stand te brengen wanneer zij de oorzaken kennen. De causale verklaring werd, daarom, het hoofddoel van de experimentele wetenschap.

Het terzijde schuiven van de teleologische verklaring kan geïllustreerd worden door twee bekende voorbeelden. In navolging van Aristoteles verklaarden de Scholastici het vallen van lichamen met behulp van de theorie van de natuurlijke plaatsen. Van elk lichaam werd aangenomen dat het zijn juiste plaats heeft, waar het naartoe beweegt als het verplaatst wordt. Klaarblijkelijk werden levenloze lichamen opgevat als vee dat hun bekende stal opzoekt. Omdat de theorie van de natuurlijke plaatsen geen informatie opleverde over de empirische bijzonderheden van de val, was zij van geen nut voor de artilleristen van de moderne tijd die probeerden hun geschut op een juiste wijze in te stellen. Deze [theorie] moest vervangen worden door de valwetten van Galilei en zijn berekening van de parabolische baan van een projectiel na een worp.

De werking van afzuigpompen werd in de late Middeleeuwen verklaard door de doctrine van 'horror vacui'. Men nam aan dat het water in de cilinder van de pomp omhoogging doordat de natuur een antipathie heeft tegen lege ruimtes. Aangezien degenen die in de moderne tijd naar bronnen boorden, niet konden bepalen aan de hand van deze theorie hoe lang zij hun leidingen konden maken, experimenteerden twee leerlingen van Galileo, Viviani en Toricelli, met buizen die met kwikzilver gevuld waren en [zij] ontdekten en maten de atmosferische druk.

De causale wijze van onderzoek doen had een fundamenteel andere en tot dan toe onbekende terminologie tot gevolg. In een goed georganiseerde staat zijn er wetten, die door de regering voorgeschreven zijn en die door het grootste deel van de bevolking opgevolgd worden. De overtreding van wetten gebeurt zelden en wordt bestraft. Laten we veronderstellen dat er een almachtige regering is en dat er alwetende politieagenten zijn. In dat geval zouden de wetten altijd in acht genomen worden. In de 17de eeuw begon men de natuur te vergelijken met een dergelijke perfecte staat, een staat die geregeerd werd door een almachtige en alwetende vorst. [9] Daarom noemden de wetenschappers de door hen onderzochte, steeds terugkerende verbanden van natuurlijke gebeurtenissen: natuurlijke 'wetten', vooral wanneer ze erin slaagden om de regelmatigheden in een wiskundige vorm te gieten. De term

‘wet’ werd zo algemeen, dat men al snel de metafysische oorsprong vergat; het idee ontstond dat alle gebeurtenissen, zonder uitzondering, aan natuurwetten onderworpen zijn. Deze deterministische overtuiging was bepalend voor de filosofie vanaf Descartes, Hobbes en Spinoza en bepaalde de wetenschap sinds Galileo, Huygens en Newton bijna tot de tegenwoordige tijd aan toe. Zij zette alle natuurwetenschappers ertoe aan te zoeken naar steeds meer natuurlijke wetten en bewees zich daardoor als uiterst vruchtbaar.

Toch moeten, binnen dit ideeëngoed, empirische componenten onderscheiden worden van metafysische en theologische. De bewering dat er tussen twee gebeurtenissen of eigenschappen regelmatige verbanden zijn, is zonder twijfel een empirische, aangezien dergelijke relaties waargenomen kunnen worden. Dit ligt anders bij de bewering dat gebeurtenissen niet alleen feitelijk met elkaar verbonden zijn, maar dat er bovendien een noodzakelijkheid bestaat waardoor de ene gebeurtenis uit de andere voortkomt. Een noodzakelijkheid is nooit waarneembaar: ze ligt buiten het vlak van het experiment. Metafysische en theologische aanvullingen treden nog sterker naar voren wanneer die noodzakelijkheid opgevat wordt als de ordening van een persoonlijke godheid of de onpersoonlijke natuur. Maar ook zonder in te gaan op de noodzakelijkheid, nemen de problemen toe en wordt het niveau van ervaring overstegen, wanneer van een waargenomen regelmatigheid verondersteld wordt dat deze altijd geldig is. Blijkbaar kan geen enkele bewering, die uitgaat van meer dan een beperkt aantal objecten en die de term ‘alle’ bevat, volledig geverifieerd worden door de waarneming. Al deze niet-empirische bestanddelen worden door Hume onderzocht en bekritiseerd. Vóór Hume was er geen enkele wetenschapper of filosoof die de natuurwetten opvatte als louter empirisch te onderzoeken regelmatigheden en zelfs vandaag de dag is het idee van de volledig wetmatige noodzakelijkheid niet geheel verdwenen.

Het zojuist genoemde logische probleem komt terug op een hoger niveau in de these van het algemene determinisme. Wat houdt het precies in, wanneer men stelt dat regelmatigheden zich ‘overall’ voordoen, of, wat hetzelfde is, dat er ‘geen’ stand van zaken is die niet aan een of andere regelmatigheid onderworpen is? In de wiskunde kan er voor een eindig aantal gevallen altijd een vergelijking gevonden worden die betrekking heeft op die gegeven gevallen. Omvat het algemene determinisme slechts deze analytische gedachte of omvat zij meer? Toen de deterministen van de 19e eeuw over regelmatigheden en wetten spreken, hadden zij de vergelijkingen van de klassieke mechanica voor ogen. Toch is van deze vergelijkingen inmiddels bekend dat ze ontoereikend waren. In de laatste decennia zijn er veel natuurkundige feiten bekend geworden die, noch door mechanische vergelijkingen, noch door soortgelijke vergelijkingen gedekt worden. Niettemin is het leerzaam om te zien hoe goed het determinisme zich bewezen heeft -tenminste tot aan de 20ste eeuw. Zelfs vage en dubieuze verklaringen kunnen het empirisch onderzoek goede diensten bewijzen als een heuristische stimulans.

Zoals we aangegeven hebben, werd het determinisme overwegend in een specifieke vorm begrepen. Tot laat in de 19e eeuw werd de natuur opgevat als een gigantisch, maar wetmatig functionerend mechanisme. Aangezien beweging, druk, stoot- en trekkracht de enige wezenlijke factoren zijn in mechanische apparaten, werden ook in de natuur alle gebeurtenissen en eigenschappen herleid tot dergelijke bewegingen. Alle andere eigenschappen werden, hoewel ze grotendeels deel uitmaken van de dagelijkse ervaring - zoals kleuren, geluiden en geuren - niet als 'echt' beschouwd. Ze werden als geïnterpreteerd 'illusies' en geen enkele wetenschappelijke verklaring of natuurwet werd opgevat als definitief, voordat het herleid was tot de wetten van de mechanica.

De mechanistische opvatting van de natuur begon met Galileo. Ze kwam voor bij vrijwel alle filosofen, van Descartes tot Kant, en beheerste de fysica van het begin van de 17de eeuw tot aan het einde van de 19e eeuw. Zoals bekend zijn de mechanische theorieën van klank, warmte, licht en elektromagnetisme volledig en tot in detail uitgewerkt. In de scheikunde werden vergelijkbare theorieën niet tot in deze perfectie opgesteld en bleven het slechts programma's op het gebied van geur en smaak.

Hoe kan het ontstaan van deze opmerkelijke opvatting verklaard worden? In zekere zin is de mens zelf een mechanisch wezen. Alle activiteiten, waarmee hij invloed uitoefent op zijn omgeving, bestaan uit bewegingen: stoot- en trekbewegingen. Vanaf de dag waarop hij als zuigeling zijn ledematen leert bewegen, beschouwt hij deze manier van reageren als de enige natuurlijke. Alleen fysiologen kennen de subtiële chemische en elektrische processen in zijn spieren, zenuwen en ingewanden. Het hoeft daarom nauwelijks verbazing te wekken dat hij de bewegingen die hij in de buitenwereld aantreft, opvat als stoot- en trekbewegingen. Hij voelt evenwel dat alle gebeurtenissen, die anders zijn dan zijn eigen activiteiten, verdere verklaring nodig hebben en hij tracht deze te herleiden tot mechanische processen. Een elektrische aal, begaafd met intelligentie, zou zich mogelijk op eenzelfde manier gedragen. Men stelle zich een dergelijk dier voor, dat zichzelf niet alleen verdedigt en anderen aanvalt met elektrische schokken, maar die ook door elektromagnetisme prooidieren lokt en zijn voer verkleint en verteert door middel van elektrolyse. Als het een natuurkundige zou zijn, zou een dergelijk dier vermoedelijk overal zoeken naar elektromagnetische verklaringen. Al met al: de mechanische opvatting van de natuur is antropomorf en interpreteert natuurverschijnselen vanuit het voorbeeld van menselijke activiteiten.

Helaas lijken er voor deze biologische verklaring meer feiten te spreken dan er, historisch gezien, als juist zijn aangetoond. Ofschoon de mens altijd eenzelfde biologische organisatie had, treffen we slechts zeer zelden mechanistische theorieën aan en deze komen in zeer weinig samenlevingen voor. De mechanische fysica trad alleen op bij de oude atomisten en Epicuristen en gedurende de hier besproken periode. Blijkbaar zijn er nog enkele aanvullende voorwaarden nodig om een dergelijk soort theorieën tot ontplooiing te laten komen. Wellicht kan de stand van de toenmalige technologie die benodigde aanvullende verklaring bieden. De mens van de 17e eeuw was uitgegroeid boven het primitieve animisme en begon de wereld

te zien door de bril van de ingenieur. Maar aangezien de enige machines, waarmee men in die tijd vertrouwd was, zonder uitzondering mechanismes waren zoals bijvoorbeeld de drukpers, het weefgetouw, de takels en het uurwerk, was het heel natuurlijk om de gehele wereld te zien als een puur mechanisme. Dit vooroordeel werd aan het wankelen gebracht toen de technologie volledig veranderde en er meer niet-mechanische machines voorkwamen dan mechanische. Dit gebeurde tegen het einde van de 19e eeuw.

De wetenschappelijke waarde van de mechanische natuuropvatting kan niet genegeerd worden. Lengte en vormen, druk en beweging kunnen relatief gemakkelijk gemeten worden; dat wil zeggen, er kunnen zonder grote problemen getallen aan toegekend worden. Daarentegen kunnen kwaliteiten, zoals hoe blauw of hoe koud, nooit op zichzelf voorkomen in de resultaten van de een of andere berekening en de meting ervan is aanzienlijk ingewikkelder. Zo maakte de reductie van alle kwaliteiten tot mechanische eigenschappen het voor de natuurkundige mogelijk om getallen toe te kennen aan kwaliteiten en dit maakt op zijn beurt de wiskundige greep op de fysieke wereld mogelijk. Door de mathematisering van de natuurkunde werd de opbouw van deductieve theorieën aanzienlijk gestimuleerd. We hoeven hier niet uit te spelen in hoeverre deze ontwikkeling een stimulans vormde voor het filosofisch rationalisme, omdat deze ontwikkeling behoort tot de rationele kant van kennis. De heuristische betekenis van de mechanische opvatting was echter niet gering. Iedere kenner van de geschiedenis van de natuurkunde weet hoeveel empirische feiten voor het eerst ontdekt en causaal verklaard zijn met behulp van mechanische modellen. Zowel de rationele als de empirische betekenis van de mechanische opvatting van de natuur kunnen niet betwijfeld worden. Toch, aangezien er een vooroordeel aan ten grondslag ligt, heeft de opvatting ook haar gevaren. Het onderscheid tussen een 'echte' wereld van de mechanica en een 'illusoire' van de kwalitatieve eigenschappen heeft een begripsverwarring veroorzaakt die zich bijna 300 jaar lang mengde in de analyse van kennis en in de filosofie. Dit komt in de volgende paragraaf aan de orde.

II De filosofie van het moderne klassieke empirisme

3. De tegenstelling tussen buiten- en binnenwereld

Nadat de natuurwetenschap de experimentele methode had overgenomen van de handwerkers, ontwikkelde zij zich gedurende de 17e eeuw zeer voorspoedig. Het hield zich bezig met de eigen, specifieke problemen en als gevolg daarvan deden zich geen problemen voor op het gebied van epistemologisch onderzoek. Dat lag anders bij de filosofie van die tijd. Het meest opvallende kenmerk van de empirische filosofie uit het klassieke tijdperk zou weleens de neiging kunnen zijn om geleidelijk de belangstelling te verleggen van objecten naar de subjecten. Door deze opmerkelijke tendens raakte ze al snel verstrikt in pseudoproblemen. Het Middeleeuwse animisme en het Aristotelisme van de Scholastici waren nog nauwelijks

overwonnen toen een nieuwe metafysica ontstond, die voortkwam uit de tegenstelling tussen object en subject, van uiterlijke en innerlijke wereld.

Bij Francis Bacon (1561-1626) was de belangstelling voor de objecten nog toonaangevend; subjectieve elementen van kennis vermeldt hij alleen in zijn doctrine van de 'idolen'. Bacon is ervan overtuigd dat kennis een tamelijk exact beeld van de natuur oplevert, wanneer men maar enkele vergissingen en vooroordelen uit de weg gaat. Dergelijke foute conclusies komen deels door sociale, deels door individuele omstandigheden tot stand, waardoor het oordeel van de waarnemer gestoord wordt. Men kan deze evenwel uit de weg ruimen wanneer men ze de nodige aandacht schenkt. Bacon noemt dergelijke invloeden 'idolen'. Ze werden door hem heel empirisch, zonder relatie met de metafysica besproken. Met Hobbes (1588-1679) begint de aanvang van de nieuwe subject-object metafysica in het empirisme.

Hobbes was een radicale aanhanger van een mechanistische wereldbeschouwing. Aangezien hij van mening was dat alle processen bestonden uit beweging, zag hij zich voor de moeilijke opgave gesteld de oorsprong van alle overige kwaliteiten, die door ons waargenomen worden, te verklaren. Hij trachtte dit probleem de baas te worden door zijn terministische theorie van de zintuiglijke waarneming. In zijn epistemologie maakt hij een onderscheid tussen zintuiglijke waarnemingen en objectieve eigenschappen. Zintuiglijke waarnemingen zijn geenszins kopieën van de fysieke wereld, maar zij komen slechts overeen met fysieke eigenschappen op een wijze, zoals symbolen of begrippen zich verhouden ten opzichte van objecten. Plato had de wereld al eens eerder verdubbeld, toen hij het rijk van de ideeën tegenover de wereld van de verschijnselen plaatste. De Platoonse ideeën zijn echter uiterst vage constructies die hoofdzakelijk voortkwamen uit bepaalde ethische overwegingen en uit de filosofie van de wiskunde; zij waren nauwelijks geschikt om naturalisten te ondersteunen bij hun interpretatie van wetenschappelijke waarnemingen; de metafysische achtergrond van de Platoonse ideeën is evident. De twee werelden-theorie werd door Hobbes geïntroduceerd in de natuurwetenschap en in de filosofie. Hoewel zijn terministische theorie van de zintuiglijke waarneming waardevolle elementen bevat (die echter tot de tijd van de moderne relatieloga niet verder ontwikkeld zijn), heeft zijn onderscheid tussen een 'echte' wereld van de beweging en een subjectieve wereld van de kwaliteiten meer dan twee eeuwen lang de natuurfilosofie verward in pseudoproblemen. Deze zijn des te ernstiger, omdat ze als onvermijdelijke implicaties gelden van de mechanistische interpretatie van verschijnselen. Zolang deze interpretatie als de enige mogelijke natuurfilosofie gold, konden de met deze tegenstelling tussen uiterlijke wereld en subjectieve waarneming verbonden pseudoproblemen nauwelijks uit de weg geruimd worden.

De beslissende stap, die de empiristische epistemologie veranderde in een introspectieve psychologische kennistheorie, werd gezet door Locke (1632-1704). Zoals bekend herleidt de kennistheorie van Locke alle bevindingen, zowel van het dagelijks leven als van de wetenschap, terug op de zintuiglijke waarneming of op reflectie. Het is karakteristiek voor zijn filosofie dat hij eerder over ideeën en zintuiglijke ervaringen spreekt dan van feiten,

waarnemingen en conclusies. Het moderne logische empirisme beperkt zich tot de analyse van de methodes waarmee beweringen gecontroleerd en geverifieerd worden, terwijl het empirisme van de 17e eeuw psychologisch te werk ging en onderzocht hoe men tot voorstellingen komt. De polemieken van Locke tegen het rationalisme leidde enerzijds tot een psychologische analyse van abstracte ideeën, anderzijds tot een aanval op aangeboren ideeën. Omdat aangeboren ideeën een belangrijke rol spelen in de epistemologie van Descartes, is deze aanval van aanzienlijk historisch belang in de verdere ontwikkeling van het empirisme. Locke keerde zich echter spoedig tot een discussie over het verstand van het pasgeboren kind en ontvouwde het begrip van de ziel als de metafysische achtergrond van al zijn psychologische analyses. De mechanistische filosofie was voor Locke zo vanzelfsprekend dat hij nooit zelfs maar op de natuurkundige implicaties er van wees. Het komt slechts naar voren in zijn bekende onderscheid van primaire en secundaire kwaliteiten. De metafysische achtergrond van zijn psychologie van kennis komt het duidelijkst uit de verf in zijn weergave van het idee van substantie. Substantie was voor Locke de 'onbekende drager' van kwaliteiten. Hoewel in zijn opvatting deze drager 'ons onbekend' is en dat altijd zo blijven moet, maakte hij zonder aarzelen een onderscheid tussen materiële en geestelijke substanties en wist hij de problemen van hun wederzijdse afhankelijkheid op te werpen. Locke, de empiricus, accepteerde zonder problemen het metafysische dualisme van Descartes en besprak een wederzijdse afhankelijkheid die nooit experimenteel onderzocht zou kunnen worden, tussen constructies die evenmin ooit getest zouden kunnen worden. De voortreffelijke wetenschappelijke en historische betekenis van de analyses van Locke zijn bekend; de metafysische pseudoproblemen die ermee verbonden zijn, mogen echter niet over het hoofd gezien worden.

De tegenstelling tussen Lockes empiristische principes en zijn theorie over de substantie werd opgemerkt door Berkeley (1685-1753). Berkeley nam de principes en de introspectieve methode van zijn voorganger over, maar hij verwierp Locke's theorie over de substantie. Hij begon met een kritiek op de theorie van Locke over de abstracte ideeën. Aangezien hij door psychologische introspectie had uitgevonden dat hij bijvoorbeeld niet in staat was het idee van een kleur te ontwikkelen dat noch rood, noch blauw noch groen is, verwierp hij Locke's analyse en ontkende botweg het bestaan van abstracte ideeën. Door het veronachtzamen van verschillen en door alleen de algemene eigenschappen naar voren te halen, kan een woord begrijpelijkerwijs een hele groep verschillende objecten representeren. Daarom kunnen en moeten abstracte ideeën vervangen worden door abstracte woorden. Berkeley past deze analyse toe op het begrip substantie en concludeert dat substantie slechts louter een woord is -zonder enige inhoud; de onbekende 'drager' van kwaliteiten, die Locke veronderstelde, die nooit waargenomen zou kunnen worden, kon en moest volgens Berkeley geëlimineerd worden: materie als abstracte constructie bestaat helemaal niet. In feite bestaan er alleen maar waarneembare kwaliteiten en deze zijn verder niets anders dan waarnemingen. Op deze manier ontstond Berkeley's bekende vergelijking *esse = percipi*.

Het enige punt dat ons opvalt in Berkeley's opmerkelijk consistente argumentatie, is dat hij naliet zijn analyses te richten op het begrip geest of ziel. Kunnen zielen ooit waargenomen

worden? Zijn deze niet abstracte dragers van waarnemingen of kwaliteiten net zoals de materie dat is? Zonder twijfel was het Berkeley's religieuze houding als bisschop die hem ervan weerhield deze gevaarlijke consequentie te trekken. Hij vermeed de term 'idee' en had het altijd over het 'begrip' van de ziel en wilde niet toegeven dat dit niet minder abstract is dan het idee van de materie. Op deze wijze bouwde hij zijn vreemde metafysische systeem en construeerde de wereld uit zielen, ideeën en God. De neiging van het empirisme om zich te richten op de subjectiviteit en zich te verwickelen in pseudoproblemen, bereikte met Berkeley haar hoogtepunt.

Waarom neigde het Engelse empirisme tot psychologische introspectie en hoe kon het opgeslokt raken door de subject-object metafysica? Zowel in de antieke oudheid als in de middeleeuwse filosofie bevinden zich slechts kleine aanzetten tot vergelijkbare gedachtegangen. Het moderne dualisme van een innerlijke en een uiterlijke wereld zou in verband kunnen staan met het dualisme van lichaam en ziel en kan waarschijnlijk verklaard worden uit de invloed van de theologie op de mechanistische fysica. Het geloof in onsterfelijke zielen en de mechanistische opvatting van de natuur zijn vóór de 17e eeuw nooit samengevoegd in één filosofisch systeem. In de oudheid waren de atomisten en de Epicuriërs mechanisten, maar zij geloofden niet in spirituele substanties; anderzijds maakten de Platonici en de Stoïcijnen een onderscheid tussen zielen en lichamen, maar zij waren geen mechanisten. De Middeleeuwse theologen waren niet gedwongen om te benadrukken dat er een kloof is tussen spirituele en fysieke substanties, aangezien in hun filosofie alle natuurlijke objecten doortrokken waren van vermogens die min of meer op de ziel geleken; ze konden zich tevredenstellen met de entelechieën van Aristoteles, die als vormen zijnde, eerder met de materie verbonden waren dan dat ze eraan tegengesteld waren. Het werkelijke en radicale dualisme werd in de filosofie pas door Descartes geïntroduceerd, een mechanist en gelovig Katholiek. Het is begrijpelijk dat, afgezien van de directe Cartesiaanse invloed, soortgelijke tendensen binnendrongen in het Engelse empirisme, zo gauw deze stroming het mechanisme begon te omarmen. Natuurwetenschappers staan, in hun onderzoek naar verschijnselen, voor de moeilijke opgave om onderscheid te maken tussen constante relaties, waarover alle waarnemers het eens zijn, en de variabele en onbestendige verschijnselen die zich onder verschillende omstandigheden voordoen, of die zich op verschillende manieren voordoen voor verschillende waarnemers. Dit is de duidelijke basis voor het onderscheid tussen objecten en subjecten. Bacon bijvoorbeeld misbruikte deze niet. Maar deze scheiding werd onjuist geïnterpreteerd, zodra de mechanistische filosofie van de natuurlijke verschijnselen een onderscheid maakte tussen werkelijke 'kwaliteiten', zoals bewegingen en de louter 'schijnbare' kwaliteiten, zoals bijvoorbeeld kleuren. De rationalistische mechanist Descartes maakte zich schuldig aan deze misinterpretatie, evenals de empirische mechanicus Hobbes. Het was duidelijk dat dit lag aan het ontstaan van de mechanistische fysica, waardoor het onschuldige onderscheid tussen subjectieve en objectieve componenten van de waarneming omsloeg in een dualisme van een innerlijke en uiterlijke wereld. En het is begrijpelijk dat onder invloed van de religieuze traditie dit dualisme min of meer identiek werd met de tegenstelling tussen ziel en materie. Vandaar dat, met Locke, de analyse van de ervaring veranderde in introspectieve psychologie - dat wil zeggen in een onderzoek van de ziel. De ervaring werd een

psychisch duplicaat van de 'echte' uiterlijke wereld en er ontstonden pseudovraagstukken: of de beide helften van de wereld feitelijk bestonden en hoe het kwam dat ze op elkaar lijken.

4. David Hume

De principes van Locke en Berkeley werden door Hume (1711-1776) op een consistente wijze toegepast op het concept van de spirituele substantie. Zoals algemeen bekend elimineerde hij de substantiële zielen en verving deze door een opeenhoping of bundeling van indrukken. De filosofie van Berkeley, die het bestaan van fysieke objecten ontkende, maar daarentegen het bestaan van zielen erkende, leek tegenstrijdig aan de common sense. Voor de critici die gevangen zaten in de problemen en de taal van hun tijd, leek het standpunt van Hume, om zowel de spirituele substanties als de fysieke substanties te verwerpen, natuurlijk nog onzinniger. In werkelijkheid werd de paradox hierdoor eerder afgezwakt, omdat hij objecten en subjecten op eenzelfde manier behandelde en zo weer dichterbij het common sense realisme kwam. Zijn analyse is een zeer belangrijke stap bij het overwinnen van de pseudoproblemen van de subject-object metafysica. Ten tijde van Hume echter blokkeerden theologische gedachten en de mechanistische interpretatie van natuurkundige verschijnselen nog de weg naar een volledig begrip en eliminatie van dergelijke pseudoproblemen. Bovendien werd zijn analyse belemmerd door het feit dat hij zich met indrukken en voorstellingen bezighield in plaats van met oordelen. Deze voorliefde voor elementen van kennis die te minuscuul waren om van analytisch nut te zijn, begon bij Locke en kan nagevolgd worden in de ontwikkeling van het empirisme tot aan Mach in de 19e eeuw. Hetzelfde fenomeen doet zich voor bij Berkeley wanneer hij bijvoorbeeld, zoals hij vaak doet, filosofische kritiek verandert in taalkritiek. In dit geval bespreekt hij dan eerder woorden dan oordelen. Deze opmerkelijke, maar bevooroordeelde, voorliefde ontsproot blijkbaar aan de psychologische instelling van het klassieke empirisme, want oordelen zijn te logisch om de aandacht van psychologen naar zich toe te trekken. De analyse van de ervaring verschoof pas van voorstellingen naar oordelen toen de axiomatische methodes in de wiskunde van de late 19e eeuw de belangstelling wekten voor oordelen en hun verbanden toen de niet-euclidische geometrie en de moderne symbolische logica het empirisme begonnen te beïnvloeden. Bij de rationalisten en bij Kant speelden oordelen echter altijd een belangrijke rol.

De analyse van Hume van het begrip causaliteit is een van de belangrijkste prestaties in de geschiedenis van de filosofie. Met buitengewone helderheid toonde hij aan dat er sprake is van oorzaak en gevolg wanneer verschijnselen zich regelmatig voordoen. Omdat oorzaak en gevolg niet verbonden zijn door logische noodzakelijkheid hangen zelfs de normaalste causale beweringen uit het dagelijks leven volledig af van ervaringen uit het verleden en kunnen [deze] nooit a priori vastgesteld worden. Inductie onderscheidt zich daarom fundamenteel van de deductieve logica en is in psychologisch opzicht gebaseerd op gewoonte en geloof. Zelfs vandaag de dag neigt de man in de straat ertoe, zich oorzaak voor te stellen als een ding, dat door diens activiteit een ander ding teweegbrengt. Hume's kritiek verwoestte deze voorstelling van een actieve totstandkoming - dit laatste voortbrengsel van het primitieve

animisme. Dit houdt in dat niet dingen, maar louter processen, kwaliteiten en relaties oorzaken zijn. En terwijl hij bijzondere nadruk legde op de regelmatigheid van verbanden, paste hij het concept van oorzaak toe op het concept van de natuurwet, in precies die vorm, waarin het in iedere ontwikkelde empirische wetenschap gehanteerd wordt. Zijn theorie van causaliteit zou niet mogelijk geweest zijn in een tijd waarin wetten nog niet bekend waren en is duidelijk geïnspireerd door het succesvolle onderzoek van de natuur door Newton en zijn volgelingen. Bovendien baande het de weg naar de toekomstige ontwikkeling van de natuurkunde. Zonder Hume's concept van causaliteit zou de niet-mechanistische fysica van de late 19e en 20e eeuw nauwelijks tot stand zijn gekomen. Onder latere filosofen echter, stuitte zijn analyse op aanzienlijke kritiek, op tegenspraak en - nog erger - op volledige afwijzing. Voor wat betreft inductie boekte de latere filosofie weinig vooruitgang en was deze niet in staat Hume's opmerkingen te overtreffen.

Gedurende de 18e eeuw transformeerde het empirisme in Frankrijk, door de nadruk op gewaarwordingen, tot het sensualisme en, onder bijval van veel filosofen, tot het materialisme. Anderzijds had de empiristische filosofie van de 17e en 18e eeuw belangrijke methoden ontwikkeld en boekte zij goede resultaten met psychologisch onderzoek. De wetmatigheden van de associatie werden keer op keer bediscussieerd; Locke gebruikte in zijn polemie over aangeboren ideeën verslagen van tijdgenoten over primitieve volkeren en Hume ontwikkelde met succes zijn antropologische methode en paste deze toe op zijn onderzoek naar de religie. Berkeley refereert in zijn 'Theory of Vision' hier en daar naar de psychologie van mensen met defecte zintuigen; wat door Diderot in zijn 'Lettres sur les Aveugles' (1749) en 'Lettres sur les Sourds et Muets' (1751) verder ontwikkeld werd. Voor het eerst werd de waarneming van een ruimte psychologisch onderzocht; en de zichtbare, voelbare en musculaire componenten van de ruimtelijke ervaring werden in de 'Theory of Vision' van Berkeley meer of minder nauwkeurig onderscheiden.

III De vooruitgang van de empirische wetenschap

5. Religieuze problemen

De laatste opmerking leidt ons naar het meest vruchtbare veld in de ontwikkeling van het empirisme - namelijk de bijzondere wetenschappen. Op deze plaats kan echter alleen de algemene groei van het veld van het empirische onderzoek besproken worden.

De empirische gezindheid van de moderne tijd is volledig tegengesteld aan de aard van de Middeleeuwse Scholastiek en was, als gevolg daarvan, genoodzaakt allereerst de tegenstand van de theologische traditie te overwinnen. Het ontstaan van het empirisme is daarom ook verbonden, maar niet identiek, met de uitbreiding van de Verlichting. De eerste aanzetten van de religieuze Verlichting, dat wil zeggen, het idee van een natuurlijke religie (Herbert van Cherbury, 1624) was eerder terug te voeren op een rationele constructie dan dat het een

empirisch onderzoek was naar de talrijke religieuze systemen. Herbert en zijn navolgers besteedden weinig aandacht aan de verscheidenheid aan vormen van de verering van God; priesters en ceremonieën werden door hen veeleer afgewezen. Zoals bekend vereisten de hoofdstellingen van de natuurreligie het bestaan van God, de onsterfelijkheid van de ziel en de straf in een andere wereld. Deze waren primair het resultaat van een abstracte bewijsvoering en waren slechts in zoverre op empirische vergelijking gebaseerd, dat ze uitdrukking gaven aan de gemeenschappelijke bestanddelen van de drie grootste monotheïstische religies -de enige die in deze tijd goed bekend waren. De geloofsbepalingen van de natuurreligie verwezen blijkbaar naar de gemeenschappelijke inhoud van het Jodendom, Christendom en de Islam. Deze bepalingen waren echter ontdaan van hun emotionele inhoud en komen zo, zoals het door Herbert en zijn navolgers geformuleerd werd, niet voor in een of ander levend religieus systeem. De religieuze instelling van de meeste empirische denkers van de 17e en 18e eeuw werd echter meer of minder door deze tamelijk onjuiste voorstelling bepaald.

Het is opmerkelijk dat de eerste empirische bijdrage aan het wetenschappelijke onderzoek naar de religie in de moderne tijd geleverd werd door een van de meest consequente rationalisten, namelijk Spinoza. Met de analyse van de wereldlijke literatuur van de klassieke oudheid, hadden de humanisten van de Renaissance al reeds de methoden van de filologische kritiek gerealiseerd en ontwikkeld. Hobbes had in zijn *Leviathan* (1651) enkele kritische opmerkingen over de samenstelling van het Oude Testament naar voren gebracht. Spinoza waagde het echter als eerste in zijn *Tractatus theologico-politicus* (1670) om universeel taalkundige methodes toe te passen op het Oude Testament. Wanneer men zorgvuldige filologische kritiek als een empirische vooruitgang beschouwt, dan kan Spinoza's succesvolle poging om het moment van samenstelling van bepaalde delen van het Oude Testament te bepalen, gerekend worden tot de grotere vooruitgangen van het empirische denken. De volgende stap op dit gebied zette Hume. Zijn proefschrift over de *Natural History of Religion* (1753) probeerde voor het eerst een empirische theorie van de algemene religieuze ontwikkeling te presenteren en begon met vergelijkende onderzoeken naar primitieve religies. Hume kende echter in het beste geval de religieuze ideeën van enkele primitieve naties, de oude Grieken en Romeinen en natuurlijk de drie grote monotheïstische systemen. Werkelijke kennis van de grote religieuze systemen van India en China verkreeg [men in] Europa niet voor de vroege 19e eeuw. In de late 19e eeuw groeide de empirische religiewetenschap in aanzienlijke mate en gebruikte men de taalkundige en antropologische methodes van Spinoza en Hume en ook de moderne psychologische en sociologische [methodes]. Klaarblijkelijk heeft het empirische denken op het gebied van religieus en antropologisch onderzoek zich niet kunnen uitbreiden, als niet door de uitbreiding van de wereldhandel en de koloniale systemen het witte ras in aanraking gekomen zou zijn met exotische beschavingen. Bij Locke en Hume worden deze verbanden al zichtbaar.

6. De natuurwetenschappen

De natuurwetenschappen zijn meer dan twee eeuwen ouder dan de religiewetenschap en de vergelijkende antropologie. Op het gebied van de astronomie en de fysica had het empirisch onderzoek reeds in de 17e eeuw, ten tijde van Galilei en Newton, haar eerste buitengewone successen bereikt. De scheikunde sloot zich in de 18e eeuw aan bij deze vooruitgang, gevolgd door de mineralogie, de geologie en de meteorologie. Methodologisch gezien werd het succes van de natuurwetenschappen met drie middelen bereikt: de onderzoekers beperkten zich niet slechts tot zuivere observatie, maar experimenteerden, waar ook maar fysische processen door technische arrangementen beïnvloed konden worden; ze onderzochten de kwantitatieve relaties van verschijnselen; ze beschouwden de ontdekking van natuurwetten als het belangrijkste doel van het onderzoek. De toepassing van de wiskunde op de empirische bevindingen en de constructie van deductieve theorieën kunnen niet zuiver onderscheiden worden van deze empirische methoden en zijn nauwelijks minder van belang; aangezien zij echter tot de rationele kant van de wetenschap behoren, behoeven deze hier niet per se besproken worden.

De biologische wetenschappen ontwikkelden zich aanmerkelijk langzamer. Hiervan is de geneeskunde de oudste. In de moderne tijd werd het geneeskundige onderzoek, net zoals het natuurkundige, belemmerd door de sociale vooroordelen tegen handmatige arbeid. Dit vooroordeel werd in de late 16e eeuw overwonnen en de sectie kwam in de anatomie ongeveer in dezelfde tijd tot zwang als het experiment in de natuurkunde. Reeds aan het begin van de 17e eeuw experimenteerde Harvey met dieren in zijn embryologisch onderzoek en paste hij kwantitatieve methoden toe in zijn onderzoek naar de bloedsomloop. Echter - de praktische opgaven van de geneeskunde wekten de emoties van de mensen zodanig op dat metafysische, teleologische en zelfs bijgelovige ideeën en tradities langzamer uit haar uitgebannen werden dan uit welke andere natuurwetenschap dan ook. In de zoölogie en de botanica kwamen kwantitatieve en experimentele methoden niet vóór de 19e eeuw in zwang. Tot deze tijd beperkten de biologen zich voornamelijk tot waarneming, niet-causale beschrijving en classificatie. In alle empirische wetenschappen moet de classificatie van het onderzoeksmateriaal voorafgaan aan het onderzoek naar oorzaken en wetten, zoals in het zakenleven de voorraad goederen geordend en geïnventariseerd moet worden voordat de feitelijke handel aanvangt. Op het gebied van fysica werden op een dergelijke manier bijvoorbeeld vaste en vloeibare lichamen, akoestische en optische verschijnselen onderscheiden voordat ze wetenschappelijk onderzocht werden. Terwijl op het gebied van de fysica de meeste classificaties elementair zijn en daar hierdoor zeer snel causaal onderzoek op kan volgen, is op het gebied van de zoölogie en de botanica de grotere veelheid aan objecten veel moeilijker te overzien. Ten gevolge hiervan is het biologisch onderzoek gedurende bijna 300 jaar nauwelijks over classificatie en niet-causale beschrijving heen gekomen. Bovendien is het heel veel moeilijker dan bij natuurkundige en chemische objecten om aan planten en dieren kunstmatige veranderingen aan te brengen. Om al deze redenen werden experimentele methodes en causale verklaringen tamelijk laat overgenomen door de biologie. In plaats van een causale opvatting, beheerste tot aan de 19e eeuw een voorwetenschappelijke teleologische interpretatie de biologische wetenschappen.

In de 18e eeuw was men zich al bewust van het verschil tussen een 'natuurlijke' en een 'kunstmatige' classificatie. Linnaeus, de meest vooraanstaande bioloog van deze tijd, stelde zowel natuurlijke als kunstmatige classificaties van planten en dieren op. Aangezien planten uitermate talrijk en veelsoortig zijn, is het vaak niet eenvoudig om de soort te bepalen waartoe een afzonderlijke plant behoort. Om deze taak te vergemakkelijken classificeerde Linnaeus de planten aan de hand van het aantal meeldraden; hij was zich echter wel bewust dat deze manier van classificatie slechts kunstmatig was en nauwelijks meer dan een kunstgreep van de nomenclatuur. Anderzijds leidden zijn natuurlijke classificaties ertoe dat planten en dieren, die daadwerkelijk met elkaar verbonden zijn, tot een groep geordend werden. De natuurlijke classificatie bevat op deze manier perspectief op relaties die op empirische wijze ontdekt zijn en is daarmee de eerste stap in de richting van het causale onderzoek en de theorie van de evolutie.

Lamarck's onderzoeken en in het bijzonder de prestaties van Darwin openden volstrekt nieuwe wegen voor het biologisch onderzoek. Het empirische denken werd door de theorie van de evolutie in viervoudige wijze gestimuleerd. Linnaeus beschouwde de dieren- en plantensoorten nog als absoluut statisch; hij verklaarde dat er even veel soorten waren als er oorspronkelijk door God geschapen waren. Door de evolutietheorie kwam er langzaam verandering in deze starre onveranderlijkheid: 'Zijn' werd vervangen door 'worden'. Het begrip van tijd heeft geen status van noodzakelijkheid binnen het begrip natuurwet. In de natuurkunde bestaan er zowel niet-temporele wetten van co-existentie als wetten van tijdelijke veranderingen, hoewel de eerste minder talrijk zijn. Bovendien schijnen de tweede [soort wetten] de mensen meer te interesseren; menselijke handelingen zijn zelf processen en zijn gericht op de toekomst. In ieder geval omvat de voorloper van het begrip wet -het begrip van oorzaak- als wezenlijke component het element van tijdelijke verandering. Om deze reden was het ontoelaatbaar om het levende wezen te interpreteren als iets dat onderworpen is aan een voortdurend tijdelijk proces, wanneer beschrijving en classificatie door causale verklaring en later door het onderzoek van natuurwetten vervangen zou moeten worden. Het tweede aspect vormt Darwins theorie van de natuurlijke selectie (1859), de eerste succesvolle, maar ook nog onvolledige poging tot een causale verklaring van het overduidelijke feit dat organismes uitstekend zijn aangepast aan hun omgeving. Sinds de neergang van de Aristotelische scholastiek waren voorwetenschappelijke, teleologische verklaringen uit het domein van de natuurkunde verwijderd. Door Darwin verkregen zij de eerste beslissende slag in de biologie. Op de derde plaats verwoestte Darwins representatie over de afstamming van de mens (1871) de traditionele antropocentrische filosofie en hielp op deze wijze beslissend mee om de hindernissen voor een empirisch onderzoek naar de mensheid uit de weg te ruimen. In de antropologie, sociologie, psychologie en ethiek werd deze invloed zeer snel duidelijk zichtbaar, zelfs in het geval waar de dierlijke afkomst van de mens en de natuurlijke selectie helemaal niet besproken werden. Darwins gedachten pasten volledig in de tendens van de moderne empiristische filosofie. Hobbes, Hume en een paar vertegenwoordigers van de Franse Verlichting hadden al, zonder überhaupt aan de dierlijke voorouders van de mensen te denken, alle menselijke problemen consequent als natuurlijke, louter empirische problemen behandeld. Deze interpretatie werd door het darwinisme

bevestigd en enorm verspreid. Uiteindelijk echter richtte Darwins theorie de wetenschappelijke aandacht op enkele karakteristieke kenmerken die in elke evolutie -ook buiten het domein van de biologie- te vinden zijn. Zoals Herbert Spencer aantoonde, komt het voorbeeld van specialisatie, oftewel de op een stamboom lijkende vertakking in de historische ontwikkeling van beroepen, wetenschappen en de intellectuele ontwikkeling van het menselijke individu, evenzeer voor in de fylogenetische evolutie van organismes. Zo werd het empirisch onderzoek naar de maatschappij, de beschaving en het verstand aanzienlijk verder gebracht door Darwins gedachtengoed. Anderzijds werd daarentegen de wetenschappelijke betekenis van het begrip evolutie soms overschat. De louter beschrijvende vaststelling van een of ander 'evolutionair' proces in de maatschappij of cultuur is niet meer dan een inleidende stap, waardoor de oplossing van een wetenschappelijk probleem voorbereid wordt, maar niet geboden wordt. Een definitieve vaststelling van oorzaken en wetten kan niet vervangen worden door de beschrijving van een of andere evolutionaire voortgang.

Darwin's theorie berustte op de praktijk van veefokkers en op vergelijkende waarneming. Hij experimenteerde niet. Deze meest succesvolle en meest exacte methode van empirisch onderzoek werd toegepast op de biologische problemen van de late 19e eeuw in de genetica en de fysiologie. Mendel behandelde zijn experimenten over de erfelijkheid (1865) statistisch, terwijl enkele fysiologen van de 19e eeuw de gebruikelijke methodes en begrippen van de natuurkunde en scheikunde toepasten op de biologie en deze aanpasten aan de nieuwe problemen. Zowel de moderne genetica als de moderne fysiologie zoeken naar kwantitatieve relaties en naar natuurwetten.

Aan het einde van de 19e eeuw scheen de teleologie in de biologie her op te leven. Uiteindelijk behandelt Darwins causale verklaring van het overlevingsvermogen en de aanpassing van organismen slechts een statisch fenomeen. Ze bespreekt het overleven van de meest bekwamen binnen grote groepen planten en dieren, maar [de verklaring] besteedt geen aandacht aan het probleem hoe de processen, die typerend zijn voor het leven, door individuen tot stand worden gebracht. Dergelijke processen die voor het leven karakteristiek zijn, zoals de ontwikkeling van het bevruchte ei, de regeneratie van verwonde organen en andere, werden door Driesch teleologisch geïnterpreteerd. Hij herintroduceerde zelfs het Aristotelische begrip van entelechie -een begrip dat twee eeuwen eerder, na lange en moeizame intellectuele conflicten uit de wetenschap uitgebannen was. Het meest bevreemdend aan deze wederopstanding is haar verbinding met een aanzienlijke vooruitgang van de experimentele methode. Want Driesch onderzocht de genoemde ontwikkelingen met behulp van experimenten die uiterst vruchtbaar bleken te zijn. Deze toonden aan, dat processen in een deel van het organisme vaak niet alleen door de condities in dit afzonderlijk deel beïnvloed werden, maar ook door dergelijke condities in andere, zo niet in alle delen van het organisme. Driesch en de Neovitalisten veronderstellen de invloed van alle delen op elkaar en spreken daarom van het effect van de 'totaliteit'; totaliteit werd door hen echter geïnterpreteerd als een niet-ruimtelijke, met de ziel verwante entelechie, die doelgericht is. Deze neovitalistische 'verklaring' is hoogst aanvechtbaar. Niet-ruimtelijke entelechieën zijn niet waarneembaar en als gevolg daarvan kunnen de entelechieën van een kikvors en van een

Hydra niet van elkaar onderscheiden worden. Het is daarom niet duidelijk wat zij toevoegen aan de verklaring van de tamelijk verschillende processen die optreden bij deze dieren te verklaren, te voorspellen en te sturen. Blijkbaar zijn entelechieën metafysische toevoegingen en dragen niet bij aan een oplossing van empirische problemen. De verschijnselen van regeneratie en ontstaan worden nu intensief onderzocht. Ze kunnen evenwel ondanks veel deelsuccessen nog niet op een bevredigende wijze verklaard worden. Desalniettemin is er geen reden voor de aanname dat op dit gebied de oplossing van wetenschappelijke problemen door andere middelen als door experimenten, causale verklaring en onderzoek naar wetmatigheden bereikt kan worden.

7. De psychologie

Het begin van de moderne psychologie lijkt tamelijk ver verwijderd te zijn van empirisch onderzoek. Descartes en Spinoza stelden theoretische constructies op met betrekking tot de menselijke hartstochten, waarmee ze in de eerste plaats tot doel hadden hun ethische idealen en theorieën te ondersteunen. Desondanks is er geen twijfel over dat hun 'psychologische' studies voor een groot deel berusten op zelfbeschouwing van het eigen gemoed en de vergelijkende observaties van hun medemensen. Dezelfde methodes werden consequent door Locke, Berkeley en Hume toegepast in hun kennisanalyses. De meeste psychologen van de 17e en 18e eeuw waren diep onder de indruk van de fysica van Newton; zij zochten daarom naar psychologische wetten en beschouwden de wetten van de associatie als analoog met, en net zo belangrijk als, de wetten van de mechanica. Dergelijke fysische analogieën vallen op in de psychologische verhandelingen van zowel de arts Hartley als de chemicus Priestley. Ook de moraal werd steeds weer psychologisch onderzocht. Door de toepassing van psychologische methodes op problemen van de ethiek werd in ieder geval een grote vooruitgang in het empirische denken veroorzaakt. Aan de andere kant hield de psychologie zich in de 18e eeuw hoofdzakelijk bezig met kennis en verwaarloosde ze de emoties, de wil en het handelen.

De psychologie van de 19e eeuw ontwikkelde zich met betrekking tot haar onderwerpen en methodes in aanzienlijke mate. De kennispsychologie begon de constructies van de deductieve wetenschappen te onderzoeken. Men nam zelfs aan dat logica reduceerbaar zou zijn tot psychologie. Een groot aantal kennispsychologen was ervan overtuigd dat alle problemen van de logica opgelost zouden kunnen worden, indien de psychologische oorsprongen van de logische begrippen en van de logische reeksen ontrafeld zouden worden. Hun critici noemden deze denkrichting 'psychologisme'. Het psychologisme van de kennistheorie van de 19e eeuw weerspiegelt exact de empirische tendensen van die tijd en overdrijft deze. Het begaat klaarblijkelijk dezelfde vergissing als een schaakspeler, die gelooft dat de kennis van historische en psychologische oorsprongen van alle schaakregels de vraag zou kunnen beantwoorden, welke schaakproblemen oplosbaar zijn en welke niet. Anderzijds onderzochten psychologen die tegen de natuurwetenschappen aanleunden, zintuiglijke waarnemingen in nauwe samenhang met het fysiologische onderzoek. Experimentele en kwantitatieve methodes werden daardoor op zijn minst in een onderdeel van de psychologie geïntroduceerd.

Met de neergang van de Verlichting trokken de irrationele kanten van de menselijke geest de aandacht. In de vroege 19e eeuw waren de Duitse romantici reeds zeer geïnteresseerd in hartstochten en emoties en besteedden veel aandacht aan hypnose, slaapwandelen en geestesziekten. Filosofen en psychologen die, zoals Schelling en Schubert, behoorden tot de intellectuele kringen van de Romantiek, beginnen zich evenwel bezig te houden met de irrationele en abnormale componenten van de geest. De letterkundigen en theoretici interpreteerden deze metafysisch en vaak zijn er min of meer magische ideeën te vinden in hun beschrijvingen. Wederom ontstond een nieuw en vruchtbaar onderzoeksgebied eerst in voorwetenschappelijke begrippen, zoals dit vaak voorkomt in de geschiedenis van de wetenschap. Dit aanvangsstadium kwam men ongeveer in het midden van de 19e eeuw te boven. De wetenschappelijke psychologie scheidde zich van de magische en metafysische ideeën, zonder de overwaarding van het intellect uit de 18e eeuw weer op te pakken. Zij keerde zich naar het voluntarisme en onderzocht emoties, neigingen en instincten op empirische wijze en vaak in nauwe samenhang met de biologie, de fysiologie en de dierenpsychologie. Het psychiatrisch onderzoek begon en de vergelijking tussen de normale en abnormale geest leverde de psychologie waardevolle gegevens op. Het onderzoek naar neuroses en in het bijzonder de hysterie voegde onbewuste handelingen toe aan de thema's van psychologisch onderzoek.

De nieuwe opvatting, dat de geest uit onbewuste en bewuste elementen is samengesteld, botst duidelijk op methodologische bezwaren. Empirisch beschouwd schijnt geest dezelfde betekenis te hebben als bewustzijn. Onbewuste mentale activiteiten schijnen daardoor in tegenspraak te zijn met zichzelf en met metafysische constructies die nooit door ervaring gecontroleerd kunnen worden. De psychologie van de 19e eeuw berust overwegend, hetzij op zelfreflectie, of op een invoelende interpretatie van het gedrag van medemensen. Van dit gedrag maakt echter het spreken en de doelgerichte communicatie slechts een gering deel uit; andere niet opzettelijke reacties zijn veel talrijker. Daarom baseert geen enkele psycholoog zijn wetenschappelijke beweringen alleen op de woorden waarmee zijn medemensen hun bewustzijn beschrijven, maar maakt hij ook gebruik van andere psychologische reacties, bijvoorbeeld hun blozen, hun handelen en ook hun niet-handelen. Bestaat er een of andere reden om af te zien van het onderzoek naar gebeurtenissen die zulke reacties, handelingen en het ergens van afzien veroorzaken, ofschoon ze door het individu die dit doet niet beschreven kunnen worden? Aangezien het individu, binnen wie dit plaatsvindt, zich hier niet bewust van is, kan hiertegen ingebracht worden, dat ze fysiologische processen genoemd zouden moeten worden. Inderdaad kan men hopen dat ze in de toekomst met fysiologische middelen onderzocht worden en in ieder geval zullen fysiologische onderzoeken exactere resultaten opleveren dan de tegenwoordige psychologische onderzoeken. Niettemin kan het genoemde gebeuren gerechtvaardigd worden. Wanneer een individu zich op een bepaalde manier gedraagt, omdat een voorafgaande gebeurtenis die hij zich zeer wel herinnert hem zo onaangenaam is dat hij er niet over zou willen praten, terwijl een ander individu een zeer pijnlijke gebeurtenis volkomen 'verdrongen' heeft, zodanig dat hij zich er helemaal niet van 'bewust' is, kunnen beide gedragingen erg op elkaar lijken. De gelijkenis wordt duidelijk door het feit dat de waarnemer zich psychologisch, door inleving in beide

processen kan verplaatsen. Juist deze mogelijkheid van inleving is de schakel die bewuste en onbewuste processen met elkaar verbindt. Dit is de empirische reden waarom we terecht psychologische begrippen en psychologische methodes gebruiken bij het onderzoek naar het onbewuste. Fysiologische processen verlopen daarentegen volkomen verschillend ten opzichte van onbewuste voorstellingen, wensen en doelen en zijn niet toegankelijk voor inleving.

We hebben gebruik gemaakt van het inlevingsvermogen als een empirisch symptoom van de verhouding tussen bewuste en onbewuste mentale verschijnselen. Men moet echter opmerken dat dit niet als definitieve onderzoeksmethode kan worden toegepast. Wanneer we het gedrag van mensen met behulp van het invoelingsvermogen interpreteren, weerspiegelt onze interpretatie ervaringen die ons toevallig vertrouwd zijn. Het invoelingsvermogen is daarom onderhevig aan grotere fouten en vereist verdere controle met behulp van betrouwbare methodes. We kunnen sterk ervaren dat een mens woedend is en toch kunnen alle conclusies die op ons gevoel gebaseerd zijn, later foutief blijken te zijn. Wanneer anderzijds het verdere gedrag overeenkomt met onze verwachtingen, dan en alleen dan blijkt dat onze opinies over hem juist zijn. Daar het invoelingsvermogen veel sneller functioneert dan een zorgvuldig wetenschappelijk onderzoek, bepaalt zij in het dagelijks leven het merendeel van onze psychologische oordelen. Wetenschappelijke voorspellingen echter, die gebaseerd zijn op het invoelingsvermogen, zijn slechts in zoverre betrouwbaar voor zover ze door waarneembare gedragingen en reacties van het betreffende individu bevestigd worden. De methode van de invoelende interpretatie kan in de wetenschappelijke psychologie alleen maar gebruikt worden als een voorlopig heuristisch stuk gereedschap. Ze is vruchtbaar wanneer de resultaten ervan later, door observatie van het waarneembare gedrag, gecontroleerd kunnen worden. Maar ze is zeer kwetsbaar en het wetenschappelijk gehalte van alle aannames die door haar verkregen worden, bestaat enkel uit die componenten die door de waarneming bevestigd kunnen worden. De onzekerheid van het inlevingsvermogen heeft geleid tot de ontwikkeling van het behaviorisme. Maar in ieder geval is het een empirisch mentaal feit dat de mens zich in bepaalde gevallen kan inleven en dat hij hiertoe in andere gevallen onbekwaam of minder bekwaam is. Diegenen, waarbinnen ze ervaren kunnen worden - dat zijn bewuste en onbewuste mentale processen-, hebben blijkbaar bepaalde empirische kenmerken gemeenschappelijk.

We vatten samen: alleen in de gevallen waarin invoeling in meer of mindere mate aan de orde is, kan een onbewust proces 'psychologisch' genoemd worden en gerekend worden tot de mentale verschijnselen. Ze is nochtans slechts een symptoom. Hiermee wordt een bepaald functietype, dat wil zeggen: een soort van causaal verband, manifest dat blijkbaar overeenkomt met bewuste en onbewuste mentale verschijnselen. Of anders uitgedrukt: bewuste en onbewuste componenten van de geest zijn onderworpen aan verwante wetmatigheden -fysiologische processen daarentegen aan volledig andere. De onbewuste elementen van de geest worden in de psychologie geïntroduceerd om de lacunes in haar causale verklaringen te dichten en om het veld van psychologische wetten volledig te maken. Deze methode van de vervollediging van een wetenschappelijk gebied is volstrekt legitiem en

wordt ook benut door de natuurwetenschappen. Astronomen aarzelen bijvoorbeeld niet om te praten over sterrenclusters met deels lichte en deels donkere bestanddelen. De psychologie van de onbewuste mentale verschijnselen is in geen enkel opzicht minder empirisch dan de astronomie van onzichtbare sterren. Het is een ander onderwerp en het moet op deze plaats niet besproken worden, dat in het tegenwoordige stadium de methode van onderzoek naar onbewuste verschijnselen verbetering behoeft. De psychologie van het onbewuste is jong en vruchtbaar; ze is echter tevens onnauwkeurig, zoals alle jonge wetenschappen in het begin geweest zijn. Grotere nauwkeurigheid kan in de toekomst bereikt worden door experimenten en door vergelijking met de psychologie van dieren. Het gaat in dit artikel echter niet om empirische details en specifieke vraagstukken. Het was alleen noodzakelijk om de fundamentele vraag naar de empirische toetsbaarheid aan de orde te stellen.

8. De sociale wetenschappen

De sociale wetenschappen zijn de jongste empirische wetenschappen. Ze zijn geleidelijk ontwikkeld uit ten minste drie bronnen. Juristen, politieke schrijvers en filosofen van de 17e eeuw hielden zich bezig met publiek recht en politieke filosofie. Het ging hen echter meer om een rationele realisatie van hun politieke doelen en theorieën, dan om een zorgvuldige en objectieve waarneming van empirische feiten. Hobbes bijvoorbeeld was in zijn maatschappijtheorie eerder een rationalist dan een empiricus. Hij behoorde tot de consequentste vertegenwoordigers van de doctrine van het sociale verdrag die de politieke filosofie tot het einde van de 18e eeuw domineerde; en het gebrek aan waardering voor de ervaring in deze doctrine is voor ons tegenwoordig evident. De primitieve mens willigt in een rationele overeenkomst net zomin iets in, als hij geloof hecht aan de rationele artikelen van de 'natuurreligie'. Met de vooruitgang van de overzeese handel werd in Europa in de 18e eeuw langzaam de bekendheid met primitieve volkeren groter en een toenemend aantal auteurs begon op empirische gronden de hypothese van een sociaal verdrag te bekritisieren.

Ongeveer in dezelfde tijd begonnen Franse schrijvers, -waaronder Voltaire, Raynal en Condorcet- de geschiedenis van de menselijke beschaving en de ontwikkeling van sociale instituties te onderzoeken. Ook in de politieke geschiedschrijving zou men de vooruitgang van het empirische denken en het langzame verdwijnen van theologische ideeën terug kunnen vinden. De politieke historici houden zich evenwel bezig met afzonderlijke gebeurtenissen en behoren nauwelijks tot de voorlopers van de sociologie. Daarentegen droegen auteurs die de 'filosofische' geschiedschrijving, zoals deze in het tijdperk van de Verlichting genoemd werd, tot ontwikkeling brachten, bij aan het banen van de weg voor de sociale wetenschappen. Ze hielden zich bezig met algemene processen binnen de maatschappelijke ontwikkeling en de onderlinge afhankelijkheid [van deze processen]. De ideeën van deze schrijvers waren vermengd met onbewijsbare aannames over de menselijke vooruitgang en bestonden voor een behoorlijk deel uit wensdenken; maar uiteindelijk was hun filosofie gestoeld op empirische waarneming en vergelijking; de filosofische bestanddelen van hun uiteenzettingen waren slechts vage -en vaak onjuiste- formuleringen van sociologische oorzaken en wetten. In

de 18e eeuw werden berichten over exotische volkeren veelvuldig gepubliceerd: ze hadden een sterke invloed op de geschriften van de 'filosofische' historici en kunnen daarom ook aan hen toegerekend worden.

Een derde bron van de sociale wetenschap komt voort uit de praktische behoeften van de economie. In tegenstelling tot primitieve vormen van economie vereist het kapitalisme een rationele regulatie van economische activiteiten. De geldt zowel voor de particuliere als voor de politieke economie. Sinds het begin van de moderne tijd waren vorsten -of veeleer de ministers en adviseurs- gedwongen zich een beeld te vormen van hoe belastingen en uitgaven [enerzijds] invloed hadden op de handel en de productie en anderzijds beïnvloed werden door de [mate van] welvaart; hun inkomsten hingen af van deze vraag. Toen in Frankrijk in het midden van de 18e eeuw ook de problemen van de landbouw urgent werden, begonnen publieke ambtenaren en particuliere schrijvers de economie meer systematisch te bestuderen. En uiteindelijk publiceerde Adam Smith, de vriend van Hume, zijn omvattende theorie van de economische vooruitgang (1776). Hij schiep zo de wetenschap van de politieke economie en bracht een wetenschappelijke ontwikkeling in beweging die voortduurt tot vandaag de dag. De politieke economie is de oudste van de sociale wetenschappen. Aangezien ze wortelde in de behoefte van een uitermate rationele en anti-traditionele vorm van economie, had ze vanaf het begin als basis motivering en ervaring. Ze doorliep nooit een animistische fase en [ook] een confrontatie met de entelechieën van Aristoteles bleef haar bespaard. Van het begin af aan hoorde sturing en voorspelling van economische processen tot haar hoofdoelstelling. Als gevolg daarvan begonnen theoretisch economen direct te zoeken naar causale oorzaken en zeer spoedig ook naar economische wetmatigheden. Ze verkregen, en verkrijgen ook vandaag de dag nog, het empirische materiaal voor hun theorieën door vergelijkende waarneming; in de 19e eeuw kwamen de statistische methodes hier nog bij en deze bleken uiterst waardevol te zijn. Experimenten op het gebied van de economie zijn nog nooit doorgevoerd. De riskante stappen in de politiek en in het zakenleven die vaak economische experimenten genoemd worden, worden noch voor wetenschappelijke doelen, noch met de noodzakelijke economische voorzichtigheid ondernomen.

Rationele deductie en wiskunde spelen bij bepaalde economische theorieën een grote rol. De politieke economie is misschien de enige empirische wetenschap, waarin, om de genoemde redenen, de empirische elementen eerder beïnvloed worden door een overdaad aan rationele deductie dan door een voorwetenschappelijke traditie. Ze is nog steeds een tamelijk onvolmaakte wetenschap. Ze is ongeveer twee eeuwen jonger dan de natuurwetenschap en haar thematiek is veel complexer; economische experimenten worden niet verricht en het economisch onderzoek is sterker beïnvloed door egoïstische belangen, politieke druk en wensdenken dan dat bij enig andere wetenschap het geval is. Het is daarom begrijpelijk, dat in de politieke economie alleen wetenschappelijke overeenstemming bereikt kan worden over relatief onbelangrijke vraagstukken; inderdaad bestaan er gescheiden denkrichtingen die geen oog voor elkaar hebben. Enkele hiervan klampen zich vast aan de ervaring; hun onderzoeksresultaten zijn eerder verzamelingen van materiaal dan theorieën waarin feiten causaal verklaard worden. Andere houden zich op hun beurt uitsluitend bezig met de wetten

van de economie; ze onderzoeken deze met behulp van rationele analyses over een beperkt aantal grondbegrippen en bouwen grote deductieve systemen met een gebrekkig fundament op basis van waarneming. En toch zal men de politieke economie moeten beschouwen als de meest ontwikkelde onder de sociale wetenschappen.

De sociologie begon aan het begin van de 19e eeuw met twee tamelijk verschillende denkers, Hegel (1770-1831) en Comte (1798-1857) [zij] kunnen de eerste sociologen genoemd worden. Hegel komt uit de Duitse romantiek. Zijn *Philosophie der Geschichte* hanteert de dialectische methode, waarvan wordt beweerd dat zij rationeel is en de achtergrond van het totale filosofische systeem vormt. Deze methode kan tot Plato herleid worden. De metafysische draaimolen van these, antithese en synthese is echter even leeg als onnauwkeurig; zij kan tot bijna elk resultaat leiden. Het systeem van Hegel wordt in gang gezet met het begrip van het zijn. Zonder twijfel is de rijke oogst van deze methode onbewust uitgebreid door ervaring en aan haar aangepast, want het zou tovenarij zijn wanneer men door middel van zuiver denken in staat zou zijn de rijkdom aan concrete details af te leiden uit het inhoudsloze begrip. Terwijl Hegels weergave van de natuur echter tamelijk steriel is en een aantal maal indruist tegen latere ervaringen, is zijn filosofie van geschiedenis, het recht en de religie rijk aan vruchtbare resultaten. Ogenschijnlijk sluit het kunstmatige mechanisme van de dialectiek min of meer aan bij bepaalde processen, die in de geschiedenis van de maatschappij en de beschaving vaak voorkomen. Een nauwkeurige en empirische beschrijving van deze processen en de afbakening van de terreinen waarbinnen deze zich al dan niet voordoen is nog niet gerealiseerd. Hegel behandelde de algemene trekken van de ontwikkeling van het recht en de ethiek, de moraliteit en de politieke instituties, kunst, religie en filosofie. Hij beschreef geen afzonderlijke gebeurtenissen maar omvatte talrijke afzonderlijke feiten in een constructie en zag samenhangen die daarvoor nog niemand opgemerkt had. Deze samenhangen hebben altijd betrekking op de temporele opeenvolging van culturele verschijnselen. Aangezien zij zich op overeenkomstige wijze op verschillende terreinen herhalen, kan men ze beschouwen als voorlopige aanduidingen van wetten in een sociologisch volgorde. Regelmatigheid werd door Hegel echter altijd als noodzaak geïnterpreteerd. Vruchtbare empirische kennis verschijnt vaak eerst in vage en metafysische bewoordingen; Hegels geschiedenis van de filosofie is hier misschien wel het meest indrukwekkende voorbeeld van.

Comte, de leerling van Saint-Simon, is opgeleid door de filosofische historici van de Franse Verlichting. Zijn instelling was volledig empirisch en anti-metafysisch. Hij was opgeleid in de natuurwetenschappen en beschouwde de voorspelling als het hoofddoel van kennis. Weten betekende voor hem voorspelling en de wetenschap staat in zijn systeem gelijk aan het onderzoek van wetten. Net zoals Hegel onderzocht hij alleen de hoofdlijnen van de historische ontwikkeling en [hij] vatte talrijke afzonderlijke feiten samen in zeer algemene conclusies. Gebruikmakend van de ideeën van zijn voorgangers, stelde hij voor zichzelf een theologisch, een metafysisch en een positief stadium vast in het verloop van de geschiedenis van de beschaving. Daarbij veronderstelde hij dat deze volgorde zich op verschillende terreinen op dezelfde wijze voordoet. Daarom kan zijn theorie over de civilisatie beschouwd worden als een sociologische wet over de opeenvolging [van stadia]. Comte formuleerde de benaming

van zowel de sociologie als ook het positivisme. Vergeleken met Hegel bevatten zijn uitweidingen minder speculaties, maar hij verkreeg vermoedelijk minder empirische resultaten.

Het is hier niet noodzakelijk de ontwikkeling van de sociologie na Comte te doorlopen. En ook belangrijke prestaties zoals de introductie van het begrip evolutie door Spencer en de benadrukking van economische feiten en economische groeperingen door Marx behoeven hier niet besproken te worden. Toch moeten enkele methodologische aspecten naar voren gebracht worden. Onder de sociologen bestaan er tegenwoordig verschillende scholen en veel controversen; sommige scholen nemen het onderzoek van de meeste anderen niet eens ter kennisname aan. Men zal het er in zijn algemeenheid mee eens zijn dat de sociologie een empirische wetenschap is. Ze is gebaseerd op waarnemingen en vergelijkingen, zij het, tot op heden, niet op het experiment. Omdat zij zich niet bezighoudt met het individu, maar onderzoek doet naar groepen en massaverschijnselen, moeten de algemene sociologische beweringen, die bij Hegel en Comte nog in regelrecht onkritische vorm verschijnen, gebaseerd zijn op een zorgvuldige en volledige verzameling van materiaal om betrouwbare resultaten te verkrijgen. Op dit punt zijn met succes statistische en soms zelfs kwantitatieve methoden geïntroduceerd in de sociologie. Zij werden echter hoofdzakelijk toegepast op elementaire verschijnselen en resulteren vaak in pure verzamelingen van materiaal. Causale en omvattende sociologische theorieën die berusten op statistiek ontbreken nog. Nog los van het probleem om statistische methodes in de praktijk toe te passen, bestaat er geen reden waarom statistische methodes niet op het onderzoek naar de vraagstukken van Hegel en Comte toegepast zouden kunnen worden d.w.z. op het onderzoek naar culturele processen. Sociale processen worden normaliter psychologisch, d.w.z. door inleving geïnterpreteerd. Het is al aangetoond dat de invoeling als heuristische methode vruchtbaar blijkt te zijn, maar dat haar resultaten altijd onderzocht [=ondersteund? red.] moeten worden door waarneembare feiten.

In haar zoektocht naar wetten beperkt de moderne sociologie zich niet alleen tot het onderzoek naar wetten van een proces, maar zoekt het ook naar wetten van gelijktijdigheid. Er zijn evenwel ook sociologische scholen die de mogelijkheid van sociologische wetmatigheden ontkennen. Ze zijn van mening dat in het sociale onderzoek oorzaken en wetten vervangen moeten worden door 'typen', door 'verstaan', d.w.z. door invoeling, door 'totaliteit', entelechieën en waarden. De voorlopige methodes van de niet-causale beschrijving en classificatie en bovendien alle voorwetenschappelijke en teleologische begrippen van het verleden, worden als laatste doelen van de wetenschap herbeleefd in deze rebellie tegen de causaliteit. Tot nu toe zijn er echter geen overtuigende argumenten geleverd, die bewijzen dat oorzaken en wetten opgegeven kunnen worden. In het dagelijkse leven zijn we eraan gewend om met meer of minder succes sociale verschijnselen, zoals bijvoorbeeld de overbezetting van treinen, het resultaat van verkiezingen en de trends in de publieke opinie te voorspellen. Voorspellingen zoals deze veronderstellen dat sociale verschijnselen op meer of minder regelmatige wijze met elkaar verbonden zijn. Het kan zijn dat er in elke maatschappij regelmatigheid optreden die bijna altijd uitzonderingen hebben

en diens gevolg slechts bij benadering geldig zijn. Sociale groepen zijn zelden geïsoleerd en normaliter beïnvloeden zij elkaar wederzijds; het aantal leden is relatief gezien altijd gering; de leden zijn zeer verschillend en enkele van hen oefenen een bovengemiddelde invloed uit. Dergelijke voorwaarden zijn niet bevorderlijk voor het ontstaan van groepswetten. Over een gas, dat men insluit in een vat met doorlaatbare wanden en dat slechts uit een miljoen moleculen bestaat, waarvan dan weer sommige uiterst groot zijn, zouden tamelijk onnauwkeurige gaswetten afgeleid kunnen worden. Het is daarom ook mogelijk dat in de sociologie alleen maar zeer onnauwkeurige regelmatigheden ontdekt kunnen worden. Geen fysicus of astronoom zou een regelmatigheid volkomen buiten beschouwing laten, enkel om de reden dat deze niet altijd geldt. Er moet nog een verder punt in beschouwing genomen worden. De klassieke gaswetten hebben betrekking op de wederzijdse afhankelijkheid van temperatuur, druk en gasvolume. Toch hebben de afzonderlijke moleculen waaruit het gas bestaat, noch temperatuur, noch druk; ze wervelen bij toeval, bezitten kinetische energie en impuls en zijn binnen de klassieke mechanica aan wetten onderworpen die volkomen verschillend zijn van de gaswetten. Op een soortgelijke manier kunnen sociologische wetten heel andere variabelen verbinden dan psychologische wetten, ofschoon sociale groepen uit menselijke individuen bestaan. Op deze manier zijn we nogmaals teruggekeerd naar de vraag van het invoelingsvermogen. Wanneer we met behulp van het invoelingsvermogen zoeken naar sociale regelmatigheden kunnen we deze misschien nooit vinden, omdat ideeën, wensen en handelingen zich bij deze groepen helemaal niet voor hoeven te doen. Dat wil zeggen, sociale regelmatigheden kunnen tot een soort van verbinding behoren die volkomen anders is dan die van de psychologie. In ieder geval, wanneer er sociale wetten bestaan, dan kunnen deze alleen ontdekt worden, wanneer men ernaar zoekt en niet wanneer men hun mogelijkheden bespreekt. En welke methodes moeten bij deze onderzoeken toegepast worden? De empirische methodes van het causale onderzoek hebben zich in alle wetenschappen dermate vruchtbaar bewezen dat wij de hoop niet snel zouden hoeven op te geven, dat zij ook op het gebied van de sociologie succesvol zullen blijken te zijn.

We hebben de vooruitgang van het empirische denken op het gebied van de wetenschappelijke specialismen doorlopen. We hebben ontdekt dat, hoewel de verschillende vakgebieden van de afzonderlijke wetenschappen aangepast moeten worden aan verschillende wijzen van onderzoek verrichten, in laatste instantie overal het succes tot stand gebracht werd door het gebruik van dezelfde methoden. Deze methodes zijn: materiaalverzameling, waarneming en vergelijking; experimenten, altijd daar waar dingen door technische middelen beïnvloed kunnen worden; wanneer het mogelijk is: kwantificeren en meten; causaal onderzoek en onderzoek van wetten. Wat de methodes betreft bestaat er tussen de empirische wetenschappen geen principiële verschillen. De empirische methodes zijn het beste ontwikkeld in de natuurkunde en daarom waren de natuurkundige modellen in toenemende mate van invloed op de andere wetenschappen, ondanks de aanzienlijke oppositionele stromingen van de laatste decennia in de sociologie en biologie. Vanwege de methodologische rijpheid en het wetenschappelijke succes is de biologie tegenwoordig de natuurkunde het meest nabij. Aan de andere kant is de sociologie onder de empirische wetenschappen het minst tot rijpheid gekomen. Of de psychologie of de politieke economie beter ontwikkeld is, is een open vraag. Om over dergelijke vragen uitsluitsel te geven, moet

rekening gehouden worden met de deductieve theorieën in de verschillende wetenschappen, evenals de toepassing van de wiskunde op hun problemen; de rationele methodes zijn hier echter niet besproken. In de historische opeenvolging is de natuurkunde het oudste. Het is opvallend dat de causale psychologie die haar oorsprong heeft in het midden van de 18e eeuw en zelfs de politieke economie, die tegen het eind van de 18e eeuw ontstond, aanmerkelijk ouder zijn dan de causale biologie, die begon met Darwin, en de fysiologie van de late 19e eeuw. De biologie heeft echter haar oudste concurrenten ver achter zich gelaten. De historische volgorde en de historische ontwikkeling van de wetenschappen komen niet exact overeen met de verschillende graden van complexiteit van hun problemen. Ze zijn in hoge mate beïnvloed door economische behoeftes en de grote strijd om ideeën en kunnen alleen in relatie met het algemene verloop van de geschiedenis verklaard worden.

IV. De neergang van de mechanische opvatting van de natuur

9. Het terzijde schuiven van mechanische modellen

In de tweede helft van de 19e eeuw leidden belangrijke natuurkundige ontdekkingen tot een ineenstorting van de mechanische theorieën over het licht, de elektriciteit en het magnetisme. Omdat de filosofie sinds de tijd van Galilei in zeer hoge mate beïnvloed werd door de natuurkunde, net zoals iedere andere empirische wetenschap, leidde deze natuurkundige revolutie ook tot een omvorming van het filosofische denken en de analyse van kennis.

Dit proces begon met het onderzoek naar elektriciteit door Maxwell (1865). Door het gebruik van experimenten en de ideeën van Faraday (1791-1867), lukte het Maxwell om alle wetten van de uitbreiding van elektromagnetische golven samen te vatten in twee fundamentele vergelijkingen. Faraday had de elektromagnetische processen mechanisch geïnterpreteerd en had zowel elektrische als magnetische hoogspanningsleidingen ontworpen als onzichtbare koorden, die werkten volgens mechanische wetten. Ook Maxwell kwam tot zijn vergelijkingen met behulp van een mechanische (namelijk een hydrodynamische) analogie, maar het mechanische model bleek in dit geval uitermate gecompliceerd te zijn. Maxwell was genooddaakt een model te ontwerpen dat uit roterende, onzichtbare etherwervelingen bestond en uitgestrooide, onzichtbare deeltjes die door de draaiing uitgestoten werden. Daarenboven hielden zijn vergelijkingen verband met de elektrodynamica en de optica omdat zij de snelheid van het licht als wezenlijke constante bevatten en alle wetten afdekten over de overdracht van lichtgolven. Toen H. Hertz twintig jaar later (1888) voor de eerste keer het bestaan van elektromagnetische golven vond met behulp van zijn beroemde experimenten, werd de golftheorie van het licht definitief een onderdeel van Maxwells theorie van het elektromagnetisme. Men ging er nog steeds van uit dat elektromagnetische golven zich als een bijzondere bewegingsvorm door de ether verspreidden. De ether moest echter enerzijds alles doordringen en anderzijds zich mechanisch gedragen als een vast lichaam wanneer men de waargenomen optische verschijnselen juist wilde weergeven.

Daarom beschouwde men de mechanische modellen geleidelijk aan als werktuigen, waar de wetenschap mogelijk ook zonder zou kunnen. Waarom zou men zowel de elektromagnetische als ook de optische wetten afleiden van mechanische wetten met behulp van hoogst gecompliceerde modellen, wanneer alle optische wetten rechtstreeks afgeleid zouden kunnen worden van eenvoudig opgebouwde elektromagnetische vergelijkingen? Het zou kunnen dat de mechanica geen bevoorrechte plaats inneemt met betrekking tot andere natuurkundige verschijnselen. Wanneer vergelijkingen, waarvan ze ook zijn afgeleid, alle waarneembare feiten op de eenvoudigst mogelijk wijze weergeven, dan zijn ze zeer geschikt om de opgaven van de wetenschap beter te vervullen dan theorieën die een 'werkelijke' wereld achter de verschijnselen probeert te onthullen.

In het begin kwamen dergelijke ideeën slechts schoorvoetend naar voren en de implicaties ervan werden, óf niet opgemerkt, óf met aanzienlijke terughoudendheid tegemoet getreden door de natuurkundigen die ermee in aanraking kwamen. Al vóór de experimenten van Herz bestreed Kirchhoff, de grondlegger van de moderne astrofysica, in zijn 'Vorlesungen über die mathematische Physik' (1874) dat de natuurkunde verschijnselen eerder te beschrijven heeft dan dat het deze moest verklaren. Helmholtz ondersteunde dergelijke ideeën vier jaar later in zijn 'Tatsachen der Wahrnehmung' (1879). De natuurkundige en de epistemologische implicaties van dergelijke denkwijzen werden met grote radicaliteit ontwikkeld door de filosofisch natuurkundige Ernst Mach in 'Die Mechanik in ihrer Entwicklung' (1883). Mach analyseerde en weerlegde op systematische wijze het geloof in de prioriteit van de mechanica ten opzichte van andere takken van de natuurkunde. In zijn opvatting van wetenschap heeft een wetenschappelijke verklaring dezelfde betekenis als een 'economische' beschrijving van waargenomen feiten; wetenschap moet, zoals hij uiteenzet, zoveel mogelijk feiten weergeven met behulp van zo min mogelijk begrippen en het is irrelevant of deze begrippen uit de mechanica stammen of ergens anders aan ontleend worden. Bovendien legde Mach de filosofische pseudoproblemen bloot die voortkomen uit het mechanistische begrip van de natuur. De tegenstelling tussen een objectieve wereld van kwantiteiten en een subjectieve wereld van kwaliteiten, die gedurende drie eeuwen de filosofie in verwarring gebracht had, werd met zijn analyse van wetenschappelijke kennis overwonnen. Uitgaande van verschillende problemen hielpen de natuurkundig historicus Pierre Duhem en de scheikundige Wilhelm Ostwald het mechanische vooroordeel af te breken. Duhem wees (in 'La Théorie physique, son objet, sa structure', 1906) op de verschillende denkwijzen die door de Engelsen, respectievelijk de Fransen gebezigd werden in hun natuurkundige theorieën; hij stelde vast dat de theorieën van de Fransen, die hun feiten enkel met behulp van wiskundige vergelijkingen weergaven, niet minder effectief waren dan de Engelse theorieën die gebaseerd waren op mechanische modellen. Daarnaast was ook de algemene energetica, die door Ostwald verdedigd werd, bruikbaar om de overmatige waardering van de mechanica af te zwakken; want de energetica beperkte zich ertoe de transformatie van energie op alle gebieden op gelijkwaardige wijze te bespreken en wees mechanische modellen af.

De beslissende nederlaag leed de mechanica met de relativiteitstheorie en de moderne atoomfysica. Einstein publiceerde, beïnvloed door de ideeën van Mach, zijn fundamentele geschriften over de speciale relativiteitstheorie in het jaar 1905 en over de algemene theorie in het jaar 1916. Zoals bekend toonde de relativiteitstheorie de samenhang van bepaalde tegenstellingen tussen de verspreiding van het licht en alle ruimte- en tijdsmetingen en de zwaartekracht. Dergelijke zeer algemene relaties kunnen niet langer weergegeven worden door mechanische processen binnen ether. Een mechanisch model van alle relativistische wetten is tot nu toe niet tot in elke wiskundig detail opgesteld. Een natuurkundige, die na de relativiteitstheorie nog steeds een mechanicus zou willen zijn, zou zijn toevlucht moeten nemen tot een 'groot-', als het niet al zelfs een 'groot-groot-ether' zou moeten zijn, achter de ether om relativistische feiten weer te geven. Overgecompliceerd en onsamenhangend als dit zou zijn, is het duidelijk dat een dergelijk mechanisme niet zou kunnen concurreren met de wiskundige zeggingskracht en compactheid van de relativistische vergelijkingen. En eindelijk verscheen in het jaar 1913 het geschrift van Niels Bohr die het waterstofatoom voorstelde als een planetair systeem van elektrisch geladen deeltjes. Sinds deze dag heeft de moderne atoomfysica met toenemend succes alle eigenschappen van de materie -waaronder druk- en stootkracht- afgeleid uit de effecten van elektrisch geladen deeltjes. Deze effecten komen allemaal voort uit niet-mechanische wetten. Alleen de geschiedenis kan een verklaring bieden waarom de moderne microfysica kwantummechanica genoemd wordt. Zoals bekend werd Bohrs oorspronkelijke model van een elektrisch planetair systeem opgegeven en bleven slechts de vergelijkingen over. In de kwantummechanica van Heisenberg, Dirac en Schrödinger resteren er bijna geen vragen meer naar de gelijkmatige ruimtelijke bewegingen van deeltjes en al helemaal niet naar hun druk- of stootkracht. Op deze manier zijn we tot het inzicht gekomen, dat het op hetzelfde neerkomt of de aantrekking van elektrische lading verklaard wordt door de trekkracht van onzichtbare koorden, of dat het trekken van koorden veroorzaakt wordt door het gedrag van protonen en elektronen. We accepteren die theorie, die sluitend is voor waarneembare verschijnselen en die gelijktijdig omvattender, consistent en eenvoudiger is. Het mechanische vooroordeel is eindelijk overwonnen. Het behoeft geen betoog dat de instorting van de mechanische opvatting geenszins een terugkeer inhoudt naar voor-mechanische, animistische of teleologische ideeën. De statistische wetten van de kwantummechanica zijn zo rationeel en wiskundig als de wetten van de klassieke mechanica en benaderen het gedrag van levende wezens of geesten nog niet eens een klein beetje.

De ineensinstorting van de mechanistische natuurkunde vond plaats in een periode dat zich een heuse revolutie voordeed in de technologie. De hevels en klossen van de 17e eeuw waren reeds lang daarvoor naar de achtergrond verdwenen. Deze waren vervangen door de stoommachine en, in de tweede helft van de 19e eeuw, de elektromotor, het dynamo en de verbrandingsmotor. Het vermogen van al deze uitvindingen is gebaseerd op niet-mechanische processen. Zuiver mechanische machines, zoals bijvoorbeeld de fiets, de schrijfmachine en de trapnaaimachine, waren in de economie van de afgelopen 60 jaar relatief onbelangrijk. De textielindustrie, waarbinnen het mechanisme een relatief belangrijke rol speelde, was tot in de vroege 19e eeuw de leidende industrie, maar 50 jaar later werd dit, qua economische betekenis, overtroefd door de elektrische en later de chemische industrie. De mensen en zelfs de kinderen van de 20e eeuw ervaren niets merkwaardigs aan hoe een elektrische pomp werkt, een telefoon, een fotocamera, een radiotoestel; en wat belangrijker is, ze bemerken in de werking van deze apparaten geen verschil met de werking van een schrijfmachine. De

moeite die een mens moet doen om invloed uit te oefenen op zijn omgeving, is met de technologie van de 20e eeuw in veel gevallen ingeperkt tot het draaien aan een knop; de hierdoor veroorzaakte elektromagnetische, chemische en warmte voortbrengende processen doen de rest. Wanneer de mens ertoe neigt natuurprocessen op te vatten aan de hand van zijn invloed op de natuur, dan is het nauwelijks een verrassing dat de vooraanstaande positie van de mechanica volledig verdwenen is. Natuurlijk is het zo dat de moderne technologieën en de economie niet alleen van invloed zijn op de moderne natuurkundige theorieën, maar dat zij op hun beurt zelf ook door deze [natuurkundige theorieën] beïnvloed zijn. De elektro-ingenieur Marconi volgde dan wel op de theoretici Hertz, Maxwell en Mach. Aan de andere kant echter volgde Mach op de door stoom aangedreven fabrieksontwerpen, het dynamo en de elektromotor; en het is zeker zo dat de elektrotechniek en de radio er sterk aan bijdroegen om de niet-mechanische opvatting van de natuur minder paradox te maken.

10. Slotopmerkingen

De ineenstorting van de mechanistische natuurkunde moest onvermijdelijk een nieuwe impuls geven aan het empirische denken. Met de misser van de mechanistische natuurkunde verloor de veronderstelling van een tweede wereld achter de ervaring haar wetenschappelijke onderbouwing. Nu werd de subject-object metafysica, de trots van alle filosofen, die neerkeken op naïeve leken, zwaar aan het wankelen gebracht; hun problemen bleken pseudoproblemen te zijn. Aangezien oorzaken en gevolgen in de nieuwe natuurkunde slechts als functionele relaties en eenvoudige regelmatigheden ingezet werden, laadden de on-empirische onderdelen van hun ideeën, die door Hume in filosofisch opzicht al bekritiseerd werden, ook al verdenking op zich, in de ogen van wetenschappers. Al deze implicaties zijn door Mach op consequente wijze ontwikkeld. Natuurkundige modellen en hypothesen bleken anderzijds plotseling ongeschikt te zijn, hoewel ze gedurende driehonderd jaar vruchtbaar waren geweest. Als gevolg van dit feit ontstonden er noodzakelijkerwijs algemene methodologische kwesties, en voor het eerst in de geschiedenis van de moderne natuurkunde werd de volledige interne constructie van de wetenschap problematisch. Welke rol speelt de eenvoud van wetenschappelijke theorieën? Welke natuurlijke wetten zou men als fundamenteel moeten bestempelen wanneer men een theorie uitdenkt en welke als secundair? Welke dienst kunnen werkhypothesen, ficties en gewoontes leveren aan de wetenschap? De meeste van deze problemen staan eerder met de deductieve kant van theoretische kennis in verbinding dan met hun empirische componenten. Ze werden geponeerd door Mach, door het fictionalisme en het conventionalisme van de late 19e eeuw, en vormden min of meer de aanleiding voor de natuurkundige revolutie. Het conventionalisme van Poincaré werd evenzeer beïnvloed door de moderne wiskunde als door de nieuwe fysica. In het begin van de 20e eeuw namen deze wiskundige en logische invloeden steeds meer toe, in samenhang met de empirische traditie, en leidden uiteindelijk tot het logische empirisme –een onderwerp dat op een later moment behandeld zal worden.

Hoofdstuk 7

Natuurkunde en het probleem van de historisch-sociologische wetmatigheden

Over de vraag naar het bestaan van wetmatigheden in de geschiedenis is veel discussie gevoerd. Een nieuwe discussie kan echter nuttig zijn, aangezien er enige misverstanden bestaan, die zowel door de verdedigers als door tegenstanders van historische wetmatigheden zijn ingebracht op basis van gebrekkige vergelijkingen met de natuurwetenschappen. We zullen proberen het probleem op te lossen door enkele denkbeelden, waar fysici en astronomen mee bekend zijn, toe te passen op typisch historische omstandigheden. Methodisch gezien is de natuurkunde het rijkst bedeed van alle empirische wetenschappen, sinds driehonderd jaar wordt binnen deze tak van wetenschap het begrip wetmatigheid gebruikt. Dat wekt het vermoeden, dat de meeste problemen die op andere gebieden ontstaan bij toepassing van het begrip wetmatigheid, deze hun pendant hebben in de natuurkunde en het gemakkelijkst met behulp van natuurkundige begrippen opgelost kunnen worden. Enige voorlopige voorbeelden van historische wetten worden aan het einde van dit hoofdstuk gegeven.

I

De relatie tussen historische wetten en historische uitspraken wordt soms verkeerd weergegeven. Astronomen kunnen aan de hand van Newtons wet geen voorspellingen doen over de stand van de planeet Mars op oudejaarsavond. Naast deze wet is namelijk kennis nodig van posities, snelheden en massa van enkelvoudige hemellichamen op een gegeven tijd: er is kennis nodig van de 'beginvoorwaarden', zoals de natuurkundige deze noemt. Inzicht hebben in een wet is daardoor geen voldoende voorwaarde, maar een noodzakelijke voorwaarde voor een voorspelling. Kennelijk geldt voor de geschiedenis het zelfde. Zelfs wanneer we zouden weten volgens welke wetmatigheden oorlogen tussen geïndustrialiseerde landen verlopen, dan nog is het altijd onmogelijk om op dit moment -anno 1941- de afloop te voorspellen van de huidige oorlog. Het aantal vliegtuigen onder andere is aan beide zijden bijvoorbeeld onbekend. Deze informatie valt niet te verkrijgen voor het einde van de oorlog, waarmee het te laat is om voorspellingen te doen.

Ook met het oog op het verleden zullen vele vergelijkbare kennislacunes waarschijnlijk nooit opgelost worden. Waarschijnlijk zullen we nooit weten hoe groot de bevolking in het oude Babylonië was en hoe groot het percentage priesters, edelen, handelaren, boeren en slaven. Dit gebrek aan kennis beïnvloedt niet alleen onze kennis van de beginvoorwaarden, maar, ongelukkigerwijs, ook die van de wetmatigheden. Iedere wetenschappelijke wet veronderstelt het bestaan van een terugkerend verband, of een regelmatige verbinding van bepaalde voorwaarden en gebeurtenissen. Als we in volslagen onwetendheid verkeren over de wezenlijke beginvoorwaarden, dan zullen we nooit in staat zijn terugkerende verbanden te ontdekken. Of, om het exacter te zeggen: hoe onvollediger onze kennis van de beginvoorwaarden is, des te moeilijker is het om wetten te ontdekken. We zullen ons dan ook bescheiden opstellen voor wat betreft onze verwachtingen ten aanzien van historische wetten.

In enkele takken van de natuurwetenschap is sprake van wetten waarbij in de formulering logische noodzakelijkheid lijkt te zijn opgenomen, louter op basis van geconstateerde terugkerende verbanden. Deze noodzakelijkheid komt voort uit de deductieve vorm, die alleen van toepassing is in de natuurwetenschappen. In de natuurkunde kunnen bijvoorbeeld de drie wetten van Kepler afgeleid worden uit Newtons wet; op een zelfde wijze zijn uiteindelijk alle wetten rond elektromagnetisme afleidbaar uit Maxwells vergelijkingen. Dit is echter niet meer dan een gegeven van de logische vorm, die niet van toepassing is op de empirie. Toen Galileo door middel van experimenten en meting de wet van de vallende lichamen ontdekte, leidde hij deze niet af uit meer algemene mechanische wetten, die immers tot dan toe nog onbekend waren. Er was vóór de tijd van Newton nog geen sprake van een deductieve verbinding met andere wetten, omdat deductieve theorieën bijna altijd kort na de ontdekking van losstaande empirische wetten werden geconstrueerd. Dit is van belang voor ons probleem. Het onderzoek naar historische wetmatigheden verkeert nog in een embryonaal stadium. Gezien hun korte bestaan mogen deze wetten niet vergeleken worden met de wetten van de mechanica of die van het elektromagnetisme uit de negentiende eeuw, maar met de wetten van recentere en nog onontwikkelde wetenschappen, zoals de astrofysica. Teruggrijpend op talrijke waarnemingen, beschrijft bijvoorbeeld de wet van Leavitt-Shapley een functionele relatie tussen de omlooptijd van een bepaald type veranderlijke ster en de lichtsterkte. Dit, en vele vergelijkbare afzonderlijke empirische regulariteiten in de astronomie van vaste sterren, zijn wetten die goed onderbouwd zijn, zonder dat men is teruggevallen op hypothetische pogingen ze uit de algemene natuurkundige principes theoretisch af te leiden. Binnen de geschiedenis, waar het onderzoek naar wetmatigheden nog maar nauwelijks begonnen is, zou de constructie van deductieve theorieën het empirisch onderzoek alleen maar hinderen. In ieder geval valt er geen basaal onderscheid te maken tussen afzonderlijke empirische wetten en wetten die door middel van deductie met elkaar in verband zijn gebracht.

Er is nog een reden waarom historische wetten enerzijds en mechanische en elektromagnetische wetten anderzijds niet vergelijkbaar zijn. De laatsten zijn ontdekt in laboratoria. In laboratoria staan kunstmatige apparaten, die gebouwd zijn voor specifieke doelen. Alle natuurkundige apparaten zijn zorgvuldig beschermd tegen mechanische schokken; overeenkomstig hun taken zijn ze elektrisch of thermisch geïsoleerd, ze zijn

luchtdicht gebouwd of beschermd tegen Röntgenstralen, etc. Het is dan ook één van de hoofddoelen van de natuurkunde in laboratoria om 'geïsoleerde systemen' te creëren, dat zijn systemen die vrij zijn van ongewenste inwerkingen van buiten. In de werkelijkheid bestaan er, afgezien van de astronomie, praktisch geen geïsoleerde systemen. Met name bij historische systemen is er nauwelijks sprake van isolering: culturen, landen, staten hebben invloed op elkaar op geestelijk, politiek en economisch niveau. Het oude Griekenland werd beïnvloed door het Oosten; in het Romeinse Rijk zwierven Germaanse stammen rond, de beschaving van deze stammen werd beïnvloed door de klassieke cultuur en het christendom; het moderne China is beïnvloed door het westerse kapitalisme, de moderne westerse filosofie door de Chinese en Indische denkbeelden, etc. Er bestaan geen luchtdichte ruimtes, geen geïsoleerde systemen in de geschiedenis. De geschiedenis mag daarom nooit vergeleken worden met de natuurkundige laboratoria. Ze is alleen vergelijkbaar met de geofysica, dat wil zeggen, de fysica die zich bezighoudt met aardbevingen, zeestromingen, vulkaanonderzoek en meteorologie; dit is een trivialiteit die echter in de meeste analyses vergeten wordt. Bovendien ontbeert de geschiedenis de hulp van natuurkundig laboratoriumonderzoek, die de achtergrond vormt van meteorologie en geofysica en op basis waarvan het mogelijk is voorzichtige conclusies te trekken. Neemt men dit alles in overweging, dan zijn historische gebeurtenissen nauwelijks moeilijker te voorspellen dan het weer en zeker niet moeilijker dan vulkaanuitbarstingen en aardbevingen. Wat zouden wetenschappers zeggen van een geofysicus die de het onderzoek naar geofysische wetmatigheden opgeeft vanwege haar onnauwkeurigheid?

II

Psychologische wetmatigheden hebben betrekking op individueel menselijk gedrag, historische wetmatigheden hebben betrekking op grote groepen mensen, zoals culturen, staten, naties, beroepen, maatschappelijke status, etc. Ze komen daardoor niet voort uit stootwetten, die in de klassieke gastheorie het gedrag van afzonderlijke moleculen reguleren ('microwetten'), maar komen overeen met de gaswetten ('macrowetten'). Historische [gebeurtenissen] en [het gedrag van] groepen mensen zijn echter alleen vergelijkbaar met gassen die aanzienlijk afwijken van de gassen die in laboratoria onderzocht worden. Deze bevinden zich in vaten met doorlaatbare wanden, ze bestaan uit relatief weinig moleculen, die zich, niet louter door toeval, maar deels op georganiseerde wijze bewegen. Bovendien is de impuls van sommige moleculen relatief groter dan van andere. Het hoeft nauwelijks verbazing te wekken dat onder deze voorwaarden de 'gaswetten' niet zeer exact gelden. Deze moeilijkheden moeten stap voor stap geanalyseerd worden.

1. De 'doorlaatbare wanden', de onvolledige isolatie van historische gebeurtenissen is al besproken.

2. Een doorsnee gashouder in een laboratorium bevat ongeveer 10^{23} moleculen. Aangezien de huidige totale wereldbevolking ongeveer 109 individuen telt, zijn alle historische groepen vele ordes van grootte kleiner dan de statistische systemen van de natuurkunde. Hoewel de juistheid van macrowetten niet alleen afhangt van de hoeveelheid betrokken individuen, zijn

over het algemeen statistische wetmatigheden van kleine groepen minder exact. Bepaalde historische groepen zijn bijzonder klein. Neem bijvoorbeeld een wetmatigheid die betrekking heeft op een bepaalde intellectuele ontwikkeling. Deze zou van toepassing kunnen zijn op niet meer dan honderd of zelfs slechts tien filosofen of schrijvers. Vooropgesteld dat rekening gehouden wordt met alle betrokken auteurs, is de zoektocht naar macrowetten alsnog gerechtvaardigd, aangezien de auteurs geselecteerd zijn uit een grotere groep. Enige jaren geleden heeft de statisticus Bortkiewicz zijn 'wet van de kleine getallen' opgesteld; hij kwam op deze wet van de kleine getallen via een verheffing over de aantallen Duitse soldaten die om het leven waren gekomen door de trap van een paard. Zonder verder in te gaan op de juistheid van deze bijzondere wet van Bortkiewicz, is de methode in algemene zin echter gerechtvaardigd.

Een historische wetmatigheid gebaseerd op een observatie van slechts 50 Franse filosofen zou bijvoorbeeld nog tamelijk goed gefundeerd zijn, wanneer deze gekozen zijn uit 40 miljoen Fransen. Astronomen zoeken eveneens naar wetmatigheden over het gedrag van supernova's en 'witte dwergen', hoewel er tegenwoordig maar zeer weinig van deze sterren bekend zijn. Maar astronomen zoeken hun onderwerpen niet uit op basis van een waardestelsel en persoonlijke voorkeuren.

3. Boltzmann fundeerde zijn gastheorie op de aanname dat moleculen zich 'voortbewegen op basis van toeval' ('hypothese van wanorde'), dat is een hypothese die nauwkeuriger in de moderne statistische natuurkunde geformuleerd wordt (door Mises). Voor historisch-sociologische groepen zijn dergelijke hypothesen slechts in beperkte mate toepasbaar. Staten zijn bijvoorbeeld 'georganiseerd', dat wil zeggen: ze bestaan uit geordende hiërarchieën en subgroepen. Desondanks blijft er ook in staten een restant over van 'ongeordend' gedrag. Nu is er ook in de moderne natuurkunde een statistische theorie over kristallen. Binnen kristallen zijn de atomen geordend in driedimensionale 'roosters'. Omdat zich in deze ordening interferentie van trillingen voordoet, is een statistische theorie mogelijk, bijvoorbeeld met betrekking tot het elektrische en thermale vermogen om kristallen te geleiden. Dat zelfde geldt voor historisch-sociologische groepen; het moderne statistische onderzoek naar de openbare mening wordt niet gehinderd door het feit dat staten 'georganiseerd' zijn.

4. De historische invloed van menselijke individuen is veel diverser dan de fysieke werking van verschillende atomen. Hier moet een onderscheid gemaakt worden tussen twee soorten menselijke ongelijkheden. De effectiviteit van personen kan variëren, omdat personen verschillende posities kunnen innemen in een organisatie. Wanneer in het leger een generaal verraad pleegt, zullen de effecten onvergelijkelijk veel groter zijn dan wanneer een privépersoon verraad pleegt. Daarom kan het in bepaalde statistische onderzoeken absurd zijn om generaals en particulieren, staatshoofden of ambtenaren en eenvoudige burgers een gelijk gewicht toe te kennen. Binnen staten, legers en vergelijkbare organisaties is de ongelijkheid van positie van doorslaggevende betekenis. Om deze reden zijn historische wetten in de politieke geschiedenis bijna nooit geldig. Op dit gebied zouden 'toevalligheden', dat zijn psychologische, biologische, en andere individuele omstandigheden, van grote invloed kunnen zijn op regelmatigheden die zich op macroniveau voordoen. Macrowetten zouden een grotere rol kunnen spelen in de geschiedenis van de beschaving dan [oorspronkelijk: 'en' red.] ideeën, kunst, wetenschap, filosofie en religie, waar een strikte organisatievorm minder van belang is.

Bovendien beïnvloeden menselijke individuen de geschiedenis in verschillende mate, doordat ze van elkaar afwijken voor wat betreft hun persoonlijke aanleg en vaardigheden: er zijn goede en slechte kunstenaars, goede en slechte wetenschappers en filosofen. Of deze verschillen groot genoeg zijn om statistische onderzoeken en macrowetten onmogelijk te maken, dat kan niet beslist worden op grond van a priori argumenten, dat kan alleen op basis van de resultaten van een empirische zoektocht naar zulke wetten. In ieder geval zou een 'statistische' geschiedenis, die gericht is op de wetten van de intellectuele, artistieke en religieuze ontwikkeling, sterk afwijken van de traditionele geschiedschrijving. Ze kan noch bij de meesterwerken stil blijven staan, noch de middelmatige massa negeren. De vraag, of een kunstwerk of een theoretisch werk het product is van een genie of van een stumper, zou zich nergens in het onderzoek voordoen. Bepaalde bestanddelen van dit waarde begrip zouden echter in andere en objectievere vormen weer opdoemen. In een 'statistische' geschiedenis zou ook, wanneer deze de feiten zou moeten weergeven, het onderscheid tussen denkbepelden van lange duur en die van korte duur naar voren moeten komen. En datzelfde geldt voor zowel de onderscheidingen tussen nieuwe creaties en regelrechte kopieën als ook voor de gelaagdheid van de literaire en artistieke smaak volgens de sociale ordening en de verschillende niveaus van opvoeding en vorming.

III

Sommige natuurkundige wetten omvatten de tijd als variabele, andere niet. Zo heeft bijvoorbeeld de tweede wet van de thermodynamica betrekking op een gebeurtenis in de tijd, waarbij de entropie van een geïsoleerd systeem toeneemt in de loop van de tijd. Aan de andere kant is er de wet van Wiedemann-Franz, waarin beschreven staat dat, zonder inachtneming van de tijd, het elektrische- en het thermale geleidingsvermogen van metalen evenredig is aan elkaar, dat alle geleiders die elektriciteit goed geleiden tevens goede warmtegeleiders zijn en omgekeerd. Deze twee soorten van regelmaat kunnen tijdgebonden wetten en simultaneïteitswetten genoemd worden. [4]

In de geschiedenis kunnen we beide soorten wetten verwachten. We geven enkele voorbeelden van het eerste soort (in voorlopige en vage formuleringen) en zetten de empirische bewijzen tussen haakjes.

1. In geïsoleerde historische systemen gaat de stammensamenleving vooraf aan de ontwikkeling van een staat (empirisch bewijs: het oude China, het oude Israël, het oude Griekenland, de Germaanse vorstendommen uit de vroege middeleeuwen en andere. Onder externe invloed, dat wil zeggen, in niet-geïsoleerde systemen, kan de ontwikkeling zich op verschillende manieren voordoen: vgl. de Britse Dominions (USA).

2. Aan de individuele kunst en de literatuur gaan anonieme volkskunst en volksliteratuur vooraf, aan de gesignde schilderijen en beeldhouwwerken gaan de niet-gesignde werken vooraf. Of, om het algemener te zeggen: het collectief bewustzijn in een periode van zelfgenoegzame huisnijverheid en ruilhandel gaat vooraf aan de individualistische geest van de periode van geldeconomie en economische concurrentie (het ontstaan van het

individualisme in het Griekenland van de 6e en 5e eeuw, in het Rome van de 3e en 2e eeuw voor Christus; de middeleeuwen en de renaissance). Deze wet stamt van Hegel en Jakob Burkhart en is veralgemeniseerd door Carl Lamprecht.

3. Vrije kunstenaars, bijvoorbeeld beeldhouwers, schilders en architecten, ontwikkelden zich stap voor stap uit ambachtlieden als steenhouwers, blekers en metselaars (China, het oude Griekenland, de renaissance).

4. De verering van excellerende individuen vindt plaats op grond van vooraf bepaalde kenmerken en is vooringenomen; dat wil zeggen, personen met tegengestelde of uiteenlopende doelen worden door verschillende mensen met verschillende interesses bewonderd of vereerd. Pas later ontwikkelt zich de spontane bewondering en verering van al de grote persoonlijkheden. Vooringenomen heldenverering gaat vooraf aan de onbevengene verering van genieën (klassieke oudheid, de vroege romantiek en de laatromantische periode in Europa; vgl. het onderzoek naar het ontstaan van het begrip 'genie' in noot 5).

Al deze 'wetten' zijn echter onvolledig, aangezien ze wel noodzakelijke, maar geen voldoende voorwaarden benoemen. Gebeurtenissen in de tijd worden immers veeleer in vage formuleringen beschreven en ze kunnen 'historische' wetten worden genoemd in de nauwe zin van het woord. Aan de andere kant zijn er in de geschiedenis ook simultaneïteitswetten. Hoewel ze gewoonlijk 'sociologische' wetten genoemd worden, is er geen fundamenteel verschil tussen regelmatig optredende sociologische verbanden en historische verbanden. Het onderscheid is kunstmatig, aangezien niet gezegd kan worden dat de sociologie het onderzoek naar gebeurtenissen in de tijd achterwege laat. We geven enkele voorbeelden van simultaneïteit.

5. Geleerde priesters, die waar dan ook, met de taak belast zijn om onderricht te geven aan priesterkandidaten, systematiseren de vage en conflictrijke mythologische tradities uit het verleden en ontwikkelen als wetenschappelijke methodes rationele onderscheidingen, classificaties en opsommingen. Zelfs wanneer ze zich richten op wereldlijke onderwerpen, ontwikkelen ze slechts in geringe mate causaal onderzoek en ze ontwikkelen nooit natuurkundige wetmatigheden (Arabische middeleeuwen en katholieke scholastiek; joods Talmoedisme, de vijf orthodoxe Indische 'filosofische' systemen, in het bijzonder de Sankhya; de Boeddhistische scholastiek in Japan).

6. Wanneer een vervlogen cultuur onder gunstige omstandigheden na een aantal eeuwen weer opleeft, worden de initiatiefnemers en dragers van deze intellectuele beweging gekenmerkt door de volgende eigenschappen: ze behoren niet tot de clerus; het zijn schrijvers en secretarissen in dienst van de politiek en ontwikkelen zich onder gunstige omstandigheden tot vrije literatoren: ze zijn buitengewoon trots op hun schrijf- en leesvaardigheid en minachten de analfabeten; voor hen is een ontwikkeld persoon vooral te herkennen aan zijn afgeronde literaire stijl; als stijlvoorbeeld dienen literaire documenten uit het verleden; de auteurs van deze documenten gelden als autoriteiten, die hoger staan dan alle representanten uit de daaropvolgende periodes (de Europese renaissance; de beide renaissances van het Confucianisme onder de Han- en Tang-dynastieën in China; waarschijnlijk ook de renaissance beweging van het nieuwe rijk in het oude Egypte en de renaissance van het nieuwe Parthenrijk).

Al deze beschrijvingen van historische 'wetten' moeten beschouwd worden als voorlopige en meer of minder waarschijnlijke beweringen. Ze zijn bedoeld als voorbeelden, die aangeven hoe historische wetmatigheden er bij benadering uit zouden moeten zien en ook op welke soort van empirisch bewijs ze gefundeerd moeten zijn.[5]

Aangezien het niet mogelijk is experimenten door te voeren in de geschiedenis, is een vergelijking tussen verschillende landen en culturen de enige manier om historische wetten te vinden. [6] De culturen die met elkaar vergeleken worden zouden zo onafhankelijk en talrijk als mogelijk moeten zijn. Bij het opstellen van historische wetmatigheden, moeten bijvoorbeeld Europa en Amerika, de moderne tijd en de klassieke oudheid, de beschavingen van India, China, Egypte en Perzië vergeleken en onderzocht worden vanuit identieke gezichtspunten. Bij deze aanpak dient de enige echte moeilijkheid zich aan bij de toepassing van het begrip wetmatigheid op de geschiedenis: deze [moeilijkheid] komt voort uit het relatief geringe aantal onafhankelijke historische systemen. Wanneer in de natuurwetenschap hypothetische wetten getoetst worden, dan is het in de meeste gevallen gemakkelijk om passende voorbeelden te vinden die los van elkaar staan. In de geschiedenis is alleen bij primitieve culturen een redelijke hoeveelheid niet van elkaar afhankelijke voorbeelden te vinden. Hogere beschavingen zijn in de meeste gevallen met elkaar verbonden door ruimtelijke interactie of via een gedeelde traditie gedurende een bepaalde periode. Dit vormt een ernstige barrière voor de toetsing van wetten. Zo zijn bijvoorbeeld de intellectuele ontwikkelingen in het Frankrijk en Engeland van de 18e eeuw terug te voeren op wederzijdse invloeden en kunnen ze hierdoor niet geëxtrapoleerd en gegeneraliseerd worden. Praktisch hetzelfde geldt voor de klassieke oudheid en het moderne Europa. Toch kunnen overeenkomsten, bijvoorbeeld tussen de middeleeuws-katholieke en de Japans-boeddhistische scholastiek, een extrapolatie mogelijk maken met een voldoende mate van betrouwbaarheid. Het binnen het onderzoek naar historische wetten kennisnemen van culturen die zich op grotere afstand van elkaar bevinden is daardoor bijzonder verhelderend en overtuigend. Maar ook in andere gevallen is het vaak mogelijk om, op basis van zorgvuldige wetenschappelijke kritiek, met succes een onderscheid te maken tussen de directe invloed en de feitelijke herhaling van dezelfde fenomenen onder vergelijkbare omstandigheden. Toch zal voorspelbaarheid altijd gelden als de ultieme toetsing voor de juistheid van een wet. Het is duidelijk dat een voorspellende uitspraak niet alleen voor een zekere tijd opgevat mag worden. Wanneer men door een vergelijking met bepaalde historische systemen op een historische regelmatigheid stuit, die in andere en onafhankelijke systemen bevestigd wordt, dan mag deze, op zijn minst tot het tijdstip van het heden, gelden als zijnde geverifieerd.

Aan de andere kant sluit het gebrek aan volledige overeenkomsten de mogelijkheid van [het opstellen van] historische wetten niet uit en is daarmee ook geen fundamenteel onderscheid gegeven tussen de historische wetenschap en de natuurwetenschappen. Dit wordt ten onrechte verondersteld door de school van Windelband-Rickert en is sindsdien veelvuldig herhaald. Het is waar, geen twee historische individuen zijn volledig hetzelfde en de geschiedenis herhaalt zich nooit. Toch wordt de mogelijkheid van herhaling in de natuurwetenschappen alleen overschat door diegenen die tamelijk ver afstaan van dit onderzoeksgebied. Wie ooit in een laboratorium gewerkt heeft, weet, dat ieder apparaat, wanneer het iets ingewikkelder is, zijn eigen karakteristieke kenmerken heeft en dat deze op een eigen, specifieke manier behandeld wil worden. Geen twee reflectoren van dezelfde soort

zijn het zelfde en twee planeten al helemaal niet. In de natuurwetenschap wordt via de methode van de stap-voor-stap benadering de verscheidenheid aan voorwerpen het hoofd geboden: met voorwerpen kan in eerste instantie omgegaan worden alsof ze gelijk zijn; op een later moment, in een tweede en een derde benadering, wordt rekening gehouden met hun verschillen, wanneer ze bij elkaar gezet zijn en vergeleken worden in een nieuwe opstelling. De verscheidenheid aan historisch-sociologische fenomenen overstijgt de verscheidenheid aan andere voorwerpen alleen in hiërarchie. Er is daarom geen reden waarom de stap-voor-stap benadering niet in de comparatieve historische wetenschap gebruikt zou worden. Eerst zouden de overeenkomsten vastgesteld kunnen worden qua culturele idealen van de Humanisten uit de renaissance en de ambtelijke geleerden uit China; de verschillen kunnen later afgehandeld worden.

Daarentegen is de methode van het 'begrijpen', die vaak aanbevolen wordt voor de sociale wetenschappen, niet voldoende voor het onderzoek naar historische wetmatigheden. Met 'begrijpen' wordt psychologisch invoelen bedoeld: een historisch proces is psychologisch 'begrepen', wanneer het inzichtelijk of plausibel is. Hoofdpunt van kritiek tegen dit toetsingscriterium bij een historische veronderstelling is dat historische gebeurtenissen die men onderzoekt, bijna altijd [zowel juist als] plausibel zijn. [7]

Wanneer een stad gebombardeerd wordt, is het plausibel, dat angst en verslagenheid zich verspreiden onder de bevolking. Maar het is net zo plausibel, dat het besluit tot verzet toeneemt. Daarentegen zou het niet plausibel zijn, wanneer het bombardement de uitspraak van medeklinkers in de gebombardeerde stad zou veranderen. Welk proces er feitelijk plaatsvindt, kan niet vastgesteld worden door psychologisch invoelen, maar alleen door statistische waarneming. Uiteindelijk is de methode van het begrijpen vergelijkbaar met de poging om historisch-sociologische wetten af te leiden uit de wetmatigheden van de introspectieve psychologie. De poging om regelmatigigheden af te leiden nog voor ze ontdekt zijn, zou evenwel voorbarig zijn. Bij de realisatie van nieuwe empirische wetenschappen kan het voor-deductieve stadium niet worden overgeslagen.

Het is zelfs mogelijk, dat bepaalde historische wetten nooit psychologisch inzichtelijk worden. Het spreekt voor zich dat de geschiedenis gegrondvest is op het gedrag van menselijke individuen, die psychologisch met elkaar omgaan. Er zijn echter binnen de natuurwetenschappen macrowetten, die gelijk zijn aan microwetten, en andere die dat niet zijn. Maxwellvergelijkingen zijn evenzeer van toepassing op macrofenomenen die door elektrische stroom veroorzaakt zijn als op het gedrag van (vrije) elektronen: de macro- en microwetten beschrijven in dit geval niet alleen dezelfde functionele relaties, maar ze bevatten ook dezelfde variabelen (elektrische en magnetische velden, enz.). Toch zijn de gaswetten totaal anders dan de elastische stootwetten, die het gedrag van moleculen in de klassieke gastheorie reguleren. In dat geval beschrijven de macrowetten namelijk een verband tussen variabelen als druk, volume en temperatuur van het gas, die helemaal niet van toepassing zijn op enkelvoudige moleculen. [8]

Zo kunnen er ook historische macrowetten zijn die alleen die parameters verbinden die zonder betekenis zijn als ze worden toegepast op menselijke individuen: hierin zou geen plaats zijn voor begrippen die betrekking hebben op emotionele of intellectuele gebeurtenissen. De historische wet zou in dat geval ontdaan zijn van de mogelijkheid tot psychologisch begrijpen

en invoelen. Desondanks valt een goed empirisch bewijs te leveren als waarneembare feiten in overeenstemming gebracht zouden worden met mogelijk zeer complexe en abstracte logische constructies. De wet van de consonantenverschuiving binnen de Indo-Europese taal komt in de buurt van deze vorm van 'niet-begrijpende' historische regelmatigheden. In de geschiedenis van de economie kan bijvoorbeeld een aanzienlijke hoeveelheid van dergelijke wetten voorkomen.

De historische wetenschap heeft zich op een andere manier ontwikkeld als de natuurwetenschap. Een man, die geïnteresseerd is in het hefboomprincipe omdat hij een lading omhoog wil hijsen, is het prototype van de natuurwetenschapper. Een vader, die elk jaar foto's van zijn zoon maakt, ze verzamelt en bewaart, zou gezien kunnen worden als overeenkomend met de oorsprong van de geschiedschrijving. Hij is niet geïnteresseerd in regelmatig optredende verbanden en voorspellingen, maar in de geleidelijke ontwikkeling van zijn onderwerp, omdat hij deze liefheeft. Niemand zal ook maar iets tegen deze vorm van geschiedschrijving inbrengen.

Ze zullen er altijd zijn, zolang mensen van hun landen, hun gemeenschap en hun cultuur houden. Anderzijds zou het onderzoek naar historische wetten niet gehinderd moeten worden door methodologische bezwaren. Het grootste gevaar op dit gebied is het gevaar van het dilettantisme en de oppervlakkigheid. Wie naar historische wetten zoekt, moet een immense en zeer complexe hoeveelheid materiaal verzamelen, interpreteren en vergelijken. Welke geleerde is tegelijkertijd een deskundige in de moderne en de klassieke, de Egyptische en de Chinese geschiedenis? Astronomen hebben vergelijkbare problemen overwonnen door middel van werkverdeling en samenwerking. De observatoria hebben de problemen opgedeeld en verdeeld, ze hebben over een bepaald onderwerp de immense hoeveelheid materiaal verzameld volgens gelijke grondbeginselen en hebben zo de sterrencatalogi en kaarten geproduceerd die de basis vormen van hun wetten. In de vergelijkende historische wetenschap is er tot op heden nog geen sprake van dergelijke samenwerking en werkverdeling. Toch zijn hun problemen uiterst interessant en kunnen deze in de toekomst van praktische betekenis zijn. Veel wetenschappers moeten een gemeenschappelijk onderzoeksprogramma ontwerpen en aan de hand daarvan samenwerken. Uiteindelijk worden historische wetten ontdekt door het filologisch exacte verzamelen en vergelijken van het materiaal en niet door algemene methodologische discussies zoals de onze.

Hoofdstuk 8

Historische wetenschap en de biologische evolutie

Van welke aard is de verhouding van de historische wetenschap ten opzichte van de fylogenetische evolutie van de mensheid? Historici beperken zich doorgaans tot hun eigen problemen en houden zich daardoor niet bezig met deze vraag. Slechts enkele populaire boeken over de wereldgeschiedenis overschrijden de scheidslijn tussen sociale wetenschap en natuurwetenschap. Ze beginnen met de aanvang van het zonnesysteem, beschrijven de ontwikkeling van de aardkorst en van het leven, buigen zich over de prehistorische beschaving en het oude Egypte en eindigen uiteindelijk bij de hedendaagse geschiedenis. Het is opvallend, dat deze uiteenzettingen des te gedetailleerder worden, naar mate ze het einde naderen. Aan het begin beslaat een pagina een tijdvak van 10 miljoen jaar, aan het eind een tijdvak van 10 maanden. Onderscheidende grenzen tussen de verschillende wetenschappen hebben de ontwikkeling van de wetenschap zo vaak geblokkeerd, dat het zeker nuttig en zelfs noodzakelijk is om de geschiedenis te beschouwen vanuit het gezichtspunt van een natuurwetenschapper. Maar wanneer dit gedaan wordt, moet het op een juiste manier gedaan worden. Sinds de aardkorst vast is geworden, zijn er 1 of 2×10^9 jaar voorbijgegaan, waar tegenover staat dat de gehele geschiedenis van de mensheid, gerekend vanaf het tijdstip van de eerste Egyptische en Sumerische koningen tot op heden, ongeveer 5000 jaar duurde. Zo verhoudt zich de 'geologische' tot de 'historische' tijdrekening als 300.000 staat tot 1. Vandaar dat de geschiedenis, beschouwd vanuit het standpunt van een natuurwetenschapper, nauwelijks meer dan een hoofdstuk vormt binnen alle andere hoofdstukken uit de evolutie van het leven. Wanneer men de biologische ontwikkeling van de zoogdieren in het Tertiair beschouwt als behorend bij een en dezelfde evolutionaire trap als de politieke ontwikkeling in Duitsland sinds 1933, dan zou dat hetzelfde zijn als wanneer men de overgang van de winter naar de zomer zou willen zien als een [nog] voortdurend proces van de afnemende ijstijd.

1. Hoe zou een natuurwetenschapper naar dit probleem kijken? Wanneer een wetenschapper de wederzijdse afhankelijkheid van grootheden onderzoekt, [en] de resultaten van zijn waarnemingen weergeeft in de vorm van een grafiek, dan verkrijgt hij doorgaans een kromming die niet gelijkmatig verloopt, maar die vervormd wordt door verbuigingen van diverse afmetingen. In de analyse van deze resultaten moet hij het verloop van de voornaamste kromming onderscheiden van de curven en de grote curven onderscheiden van de overlappende kleinere vormen. Zonder deze opdeling zal hij nooit de natuurwetten vinden die hij zoekt, want een onderscheid in ordes van grootheden wijst er altijd op dat de werkingen van verschillende oorzaken elkaar overlappen. Om dit aanschouwelijk te maken: wanneer men de loop van de sterren bestudeert, moet men hun dagelijkse cirkelbeweging, hun kleine schommelingen gedurende een jaar en de extreem langzame bewegingen waardoor de geanticipeerde constellatie in duizend jaar tijd verandert, van elkaar onderscheiden. De dagelijkse cirkelbeweging is gebaseerd op de dagelijkse rotatie van de aarde, de jaarlijkse

schommelingen worden veroorzaakt door de jaarlijkse omloop van de aarde om de zon, in combinatie met de buiging van het licht en de parallax, en de langzame, buitengewone verplaatsingen zijn de eigen bewegingen van de sterren waarmee zij door het wereldruim zwerven. Zonder deze bewegingen, die toebehoren aan verschillende ordes van grootte, te onderscheiden, kan er geen wetenschappelijke astronomie bestaan, want hiermee corresponderen totaal verschillende oorzaken en natuurwetten. Er zouden met gemak verdere voorbeelden gegeven kunnen worden, maar dit volstaat.

2. Dit willen we toepassen op de geschiedenis. Uiteindelijk is de historische evolutie van de mensheid ingesloten in de astro-natuurkundige evolutie van onze Melkweg. Wanneer we dan ook met deze evolutie beginnen, dan kunnen we van daaruit de evolutie van het zonnestelsel er uitlichten en daaruit vervolgens weer de geologische evolutie van de aarde, waarbij iedere gebeurtenis aan een andere orde van grootte toebehoort en daarom een eigen onderzoeksmethode nodig heeft. Binnen de ontwikkeling van de aarde zijn de oorsprong en de evolutie van het leven een deelgebeurtenis die [op zijn beurt] weer zijn eigen wetten heeft en onder andere het ontstaan van de mensheid omvat. Zo hebben we uiteindelijk de mens bereikt, maar de gebeurtenissen die met de mens in samenhang staan, kunnen uitvoeriger geobserveerd en onderzocht worden. Wanneer we dieren in tijdvakken van ongeveer 100.000 jaar observeren, kunnen we oog krijgen voor hun fylogenetische variaties. We nemen bijvoorbeeld de fylogenetische variatie van de mens waar wanneer we de schedel van de Pithecanthropus, de Heidelbergmens en een mens uit de tegenwoordige tijd met elkaar vergelijken. Afgezien daarvan treden binnen een periode van honderd jaar bepaalde varianten van menselijk gedrag op. Bij de mens treden dus overlappingsen op van fijnere en zeer karakteristieke processen binnen de fylogenetische variaties. Deze processen worden daardoor gekenmerkt, dat ze met een veel grotere snelheid optreden, verdwijnen en veranderen dan biologische veranderingen. Ze behoren tot een speciale orde van grootte, zijn daardoor gebonden aan bijzondere wetten en het onderzoek naar hun oorzaken vereist bijzondere methodes. Juist deze veranderingen bepalen tezamen de geschiedenis van de mensheid. Ook snellere processen, van enkele minuten, komen voor bij menselijke individuen: het zijn de biologische en psychologische reacties van de mens. En wanneer we menselijke individuen zouden willen of moeten indelen zouden we zelfs kunnen doorgaan tot aan moleculaire en atomaire processen.

We kunnen natuurlijk ook de constructie andersom beginnen, bij de snelste processen. We zouden dan kunnen beginnen bij de reacties van het menselijke individu; dan zouden de specifieke variaties van die reacties de geschiedenis vormen. En men zou de biologische evolutie verkrijgen, wanneer we de mens zouden samenvoegen met de andere dieren en de tragere varianten zouden onderzoeken in een ordening van grootheden. Voor wat betreft de geschiedenis hebben we in ieder geval een apart domein vastgesteld binnen de menselijke gegevens. Het historische toepassingsgebied omvat de menselijke gebeurtenissen en hun oorzaken die een graad trager zijn dan de reacties van individuen en een graad sneller dan de biologische evolutie. Op deze wijze hebben we, zoals het zich laat aanzien, een definitie gegeven van de historische wetenschap.

We moeten hier enkele opmerkingen aan toevoegen.

Ten eerste: onze 'definitie' van historische wetenschap is behavioristisch, aangezien er geen sprake is van de geestelijke wereld, maar van de reacties van mensen en hun veranderingen en bovendien is ze louter kwantitatief. Enkele filosofen, in het bijzonder de Duitse, benadrukken dat de historische wetenschap essentieel verschilt van de natuurwetenschappen, dat ze een 'geesteswetenschap' is en ze leiden daaruit af, dat er geen historische wetten bestaan.

Wanneer er gediscussieerd wordt over de relatie van historische wetenschap ten opzichte van wetenschap [in het algemeen], dan worden door deze filosofen meestal de begrippen van geestelijke fenomenen en waarden ingevoerd en de discussie benadert dan min of meer de metafysica. Wij hebben geprobeerd dit te vermijden en de eigenheid van de geschiedenis recht te doen met behulp van een louter kwantitatief criterium en zonder de metafysica hierin te betrekken.

Ten tweede moeten we er rekening mee houden, dat het in de empirische wetenschappen noch gebruikelijk, noch nuttig is om te beginnen met een definitie van het te behandelen voorwerp. Er is geen natuurkundige die de theorie van het elektromagnetisme zou beginnen met een definitie van elektriciteit. In plaats daarvan zou hij ermee beginnen de wetten van Maxwell uit te leggen. Daarom zouden we er ons ervan moeten vergewissen dat onze definitie van geschiedenis niet scholastisch en steriel is, maar dat het wezenlijke punten kan blootleggen van het historische proces. Aangezien in de geschiedenis, net als elders, bepaalde wetten en oorzaken overeenkomen met een bepaalde orde van grootheden, kunnen we aantonen dat het onderscheid tussen traditie en erfelijkheid is, dat correspondeert met de verschillende snelheden van de historische en de biologische evolutie, waarmee in de definitie rekening is gehouden. Klaarblijkelijk verloopt de fylogenetische evolutie veel langzamer dan de historische evolutie, omdat -en alleen daarom- de erfelijkheid een veel sterkere rem is dan de traditie. Anderzijds is dit heel vergelijkbaar met het onderscheid in snelheid tussen historische veranderingen en de reacties van individuen, wat nauw verbonden is met het feit dat historische processen sociale gebeurtenissen zijn. Het is beslist zodat zulke specifieke veranderingen van reacties en gewoontes, die het thema vormen van de geschiedenis, niet door kluizenaars worden uitgevoerd; hiervoor is de wederzijdse beïnvloeding nodig tussen vele individuen. Alleen samenlevingen beschikken over traditie en om deze reden beschikken ze over een evolutie met een historische snelheid. Zo wordt uit onze kwantitatieve definitie, die op het eerste gezicht overbodig en steriel mag lijken, het feit duidelijk dat de geschiedenis een sociaal proces is en niet een individueel proces, waarvan de snelheid bepaald wordt door het verzet tegen de traditie en niet door de erfmassa.

Ten derde moeten we opmerken dat de typische snelheid van de geschiedenis een bijzonderheid is van de mens, die de mens onderscheidt van het dier. Een verandering van

taal kan bijvoorbeeld na een of twee eeuwen waargenomen worden en daardoor behoort dit tot het historische proces. Alfred de Grote, die oud-Saksisch sprak, kon zich tegenover een man in de straat in het huidige Engeland niet duidelijk uitdrukken, maar het is vast zo dat onze honden nog op dezelfde wijze blaffen als eens in de tijd van de Angelsaksen; en zonder twijfel leven er nog vele mensen, die in hun biologische kenmerken en reacties volledig lijken op de tijdgenoten van Koning Alfred. Het voorbeeld toont aan dat alleen mensen beschikken over voldoende plastische reacties om zich binnen een eeuw tijd te veranderen en om die reden door de historische wetenschap en de sociologie bestudeerd te worden. Dit heeft niets te maken met het feit dat de mens samenlevingen vormt, maar het betekent eenvoudigweg dat alleen de mens beschavingen opricht. Ook in bijensamenlevingen is een bouwtechniek te vinden die vergelijkbaar is met die in menselijke samenlevingen en er zijn [bijen-]dansen, die in velerlei opzichten overeenkomen met de menselijke spraak, zoals de bioloog v. Frisch heeft aangetoond. Ongetwijfeld zijn deze sociale reacties veranderd en hebben ze zich ontwikkeld, want de bijen stammen af van solitair levende vliesvleugeligen en tot op heden hebben verschillende soorten vliesvleugeligen volslagen verschillende evolutionaire niveaus bereikt. Maar het spreekt vanzelf dat deze evoluties geen honderden jaren hebben geduurd, maar periodes in geologische ordes van grootte. We kunnen er daarom van uitgaan, dat de mens het enige historische levende wezen is. Of, wat hetzelfde is, alleen de mens creëert beschaving.

3. Het verschil tussen historische wetenschap en biologie wordt redelijk goed aanschouwelijk gemaakt door het onderscheid tussen natie en ras. Met uitzondering van het Chinese volk is er tegenwoordig geen natie die ouder is dan duizend jaar, want naties veranderen en verdwijnen binnen enkele eeuwen. Duizend jaar geleden had je geen Engelsen, alleen Kelten en Angelsaksen, Denen en Noormannen. Deze naties, of op naties lijkende groepen zijn producten van de geschiedenis. Menselijke soorten daarentegen, die producten zijn van biologische evolutie, laten een heel ander beeld zien. De verschillende menselijke rassen moeten ook veranderd zijn en zich ontwikkeld hebben, want naar alle waarschijnlijkheid stammen ze af van dezelfde soort als de aap. Maar binnen historische tijddramen schijnt het fysieke toonbeeld van de mens tamelijk onveranderd te zijn. We kunnen de relatie tussen de natie en het fysieke uiterlijk niet diepgaand bespreken. Want wij willen liever de verschillende wetten bespreken, die enerzijds in de 'rassenkundige' evolutie en anderzijds in de nationale evolutie werkzaam zijn.

De omstandigheden en wetten, waardoor soorten ontstaan en veranderen, zijn nog niet volledig helder. Hoe beter de omstandigheden en wetten, die hun werking hebben op het gedrag van fysieke soorten, bekend zijn, hoe beter het inzicht is in de erfelijkheid en haar wetmatigheden. We weten dat de overdracht van fysieke eigenschappen berust op het feit dat het gen van de kiemcellen fysiek overgebracht wordt van de ouders op de nakomeling en we kennen de wetten van Mendel, volgens welke de 'rassenkundige' eigenschappen bij de nakomeling verdeeld worden wanneer de ouders tot verschillende fysieke typologieën behoren. Al deze resultaten van de genetica zijn, zoals bekend, ook van toepassing op de mens.

Maar in menselijke samenlevingen zijn complexe fijnere processen die de ruwe biologische gebeurtenissen overlappen. Blijkbaar is een nationale kenmerkende verschijningsvorm niet alleen gebaseerd op erfelijkheid, maar ook op deze fijnere processen. Laten we als voorbeeld aannemen dat alle Spaanse documenten en manifestaties betreffende taal, literatuur, architectuur, enz. vernietigd zijn, maar de kinderen zijn door een of ander wonder in leven gebleven, zijn gegroeid en hebben zich voortgeplant. Dan bestaat er geen twijfel over, dat deze kinderen de fysieke eigenschappen van hun ouders overdragen op hun nakomelingen, maar dat ze vanzelfsprekend -overeenkomstig de wetten van Mendel- geen Spanjaarden meer zouden zijn. We beweren in geen geval dat traditie volstaat, om de nationaliteit te handhaven: want naties vullen lacunes op en vergroten zich meer of minder in hun afhankelijkheid van hun eigen biologische nakomelingen. Fysiek voorkomen en erfelijkheid zijn daardoor niet helemaal zonder betekenis voor het in stand houden van de nationaliteit: rassenfilosofie bevat een kleine kern van waarheid wanneer dit is wat ze verkondigt. Maar in ieder geval is de band van de traditie noodzakelijk, voor naties om zich in stand te houden; want wanneer deze band doorgesneden is worden naties vernietigd.

Traditie is duidelijk iets anders dan erfelijkheid en het volgt ook andere wetmatigheden. Wanneer men roodbloeiende en witbloeiende erwten kruist, staat het aandeel rode en witte exemplaren in de daaropvolgende generaties vast, zoals beschreven in de wetten van Mendel. Wanneer een Slowaak trouwt met een Hongaarse vrouw, hangt het van gecompliceerde wetten af aan welke natie hun kinderen en kindskinderen toebehoren. Ongelukkigerwijs zijn deze wetten zo complex, dat wetenschappers ze tot dusver niet konden vinden; wanneer dat echter het geval is, dan zullen ze een traditionele wet gevonden hebben -een sociologische wet, een historische wet, omdat alle historische en sociologische wetten van de traditie afhangen. Alle onderwerpen, waarvan de veranderingen bestudeerd worden door historici, zoals bijvoorbeeld zeden, talen, religies, kunststijlen, politieke doelen en instituties, worden door de ene generatie overgebracht op de andere en worden niet door verwekking overgedragen. De beschaving is een samenstelling van tamelijk complexe menselijke reacties, die niet erfelijk zijn, maar die vele jaren na de geboorte worden verworven dankzij de invloed van voorbeelden en de opvoeding. Nu kunnen we begrijpen waarom de snelheid van de geschiedenis hoort bij een andere orde van grootte dan de snelheid van biologische evolutie. Volgens onze beschrijving komt het hierop neer, dat de wetmatigheden van de traditie essentieel verschillend zijn van de wetmatigheden van erfmassa.

Zo kunnen we ook begrijpen waarom de mens het enige historische schepsel is. Laten we uitgaan van het verschil tussen reflexen en spontane handelingen. Reflexen en instincten - instincten zijn niets anders dan een keten van reflexen- beantwoorden uitwendige prikkels met starre en onveranderlijke reacties. Daarentegen kunnen vele reacties geconditioneerd en gemodificeerd worden door vroegere ervaringen; ze kunnen plastisch worden en zich aanpassen aan de omstandigheden, indien deze zich wijzigen. In dat geval noemen we ze spontane handelingen. Alleen reflexen en instincten kunnen erfelijk overgedragen worden, spontane handelingen daarentegen worden beïnvloed door voorbeelden en opvoeding en kunnen alleen overgedragen worden op de volgende generatie door de traditie. Fysiologische

reflexen en instincten zijn gebaseerd op een zenuwproces in het ruggenmerg en in de binnenste delen van de hersenen, terwijl spontane handelingen altijd samenhangen met corticale processen. Aangezien bij mensen de grote hersenschors veel meer ontwikkeld is dan bij andere soorten, spelen spontane handelingen in het menselijke gedrag een uiterst belangrijke rol.

Hoe meer de overgeërfde instincten op de achtergrond blijven, des te noodzakelijker wordt het dat een diersoort na de geboorte zijn gedrag ontwikkelt en zijn gewoontes aanleert. Daarom hebben menselijke zuigelingen en kinderen veel meer tijd nodig om hun leven op eigen kracht te leiden dan pasgeboren dieren. Twee verdere omstandigheden dragen bij aan deze bijzondere rol van het aanleren [van gedrag]. Ten eerste zorgt de mens, zoals alle zoogdieren en vele andere levende wezens, voor zijn pasgeborene en zijn halfvolwassen nakomelingen. Ten tweede leeft de mens in groepen en is zoals alle sociale diersoorten uitgerust met het imitatie-instinct. Hij kan niet alleen leren, maar hij neigt daar ook toe. Als gevolg daarvan worden menselijke kinderen altijd in gemeenschappen van volwassenen geboren, er wordt voor ze gezorgd en ze worden door de volwassenen gedurende vele jaren beïnvloed. Om deze reden worden de reacties en gewoontes van een menselijke generatie altijd overgedragen op de volgende door voorbeelden en opvoeding. Als de mensen mieren waren, die slechts instinct in plaats van keuzevrijheid hebben, of als ze Meikevers waren, die hun pasgeboren nakomelingen aan hun lot overlaten, of als de mollen, die geïsoleerd leven, dan zou er geen traditie bestaan, geen beschaving en geen geschiedenis.

Opmerkingen (noten) bij:

‘Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft’

De sociale oorsprong van de moderne wetenschap

1. Edgar Zilsel, *Die Entstehung des Begriffs des physikalischen Gesetzes*, zie elders in deze bundel.
2. Vgl. M. Winternitz, *Geschichte der Indischen Literatur* (Leipzig 1920), III, 509 e.v., 563 e.v.
3. Pierre Duhem bracht het belang van de Ockhamisten aan de universiteit van Parijs van de 14e eeuw naar voren (Buridan, Oresme e.a.) en probeerde hen een wetenschappelijke prioriteit te geven tegenover Copernicus en Galilei. Hoewel de kennis van de late scholastiek door het onderzoek van Duhem naar de Parijse geleerden een sterke impuls kreeg, overschatte hij de moderne natuurkundige en wiskundige ideeën met betrekking tot hun ‘anticipatio’. Hij legt een voorkeur aan de dag voor de zeldzame en oppervlakkige overeenkomsten met onze natuurwetenschappen en laat de overmaat aan verschillen achterwege. Duhems opvatting is lichtvaardig overgenomen door vele navolgers.
4. Het schijnt een tamelijk algemeen sociologisch verschijnsel te zijn, dat, daar waar er beroepsmatige ambtenarij voorkomt, de wereldlijke vorm van geleerdheid het eerst optreedt in de vorm van het humanisme. Ook in China ontwikkelde zich, na het verdwijnen van het feodalisme in het tijdperk van Confucius, een groep van geleerde ambtenaren, die voornamelijk geïnteresseerd waren in stilistische volmaaktheid en bepaalde oude geschriften erkenden als literaire voorbeelden. In de daaropvolgende tijdperken werd de toegang tot de publieke dienstverlening afhankelijk gemaakt van keuringen, die betrekking hadden op literaire stijl en kennis van de oudheid. In China hoorde zelfs het schoonschrijven (kalligrafie) tot de formele eisen van hogere opleidingen, waarbij de Chinese schrifttekens gecompliceerder zijn dan de Europese. Wereldlijke Schriftgeleerden, trots op hun beroep en hun geleerdheid en gebonden aan de voorbeelden uit de oudheid, zijn ook te vinden in het oude Egypte en in het nieuwe rijk van de Parthen. In de klassieke oudheid was er een overdaad aan retorici, grammatici, filologen en filosofen –tamelijk goed vergelijkbaar met de humanistische letterkundigen uit de renaissance. Het ontbreken van een beroepsmatige ambtenarij in de republikeinse periode verhinderde echter dat deze [periode] zich ontwikkelde naar een volmaakte overeenkomst [met de oudheid].
5. Over het prestige van letterkundigen, kunstenaars, uitvinders en ontdekkers, vgl. Edgar Zilsel, *Die Entstehung des Geniebegriffs: Ein Beitrag zur Ideengeschichte der Antike und des Frühkapitalismus* (Tübingen, 1926), blz. 130-75 en 176 e.v. (statistische bewijsstukken).
6. Vgl. de statistische data over bevolking en aantallen schoolkinderen in de kroniek van Giovanni Villani (x 162 [14e eeuw, Florence]) en J. W. Adamson ‘The Extent of Literacy in England in the 15th and 16th Centuries’, *Library*, x (4th ser., 1930), 167.

7. Vgl. bijv. het Oxford Dictionary of National Biography over de Engelse instrumentenbouwer Humfrey Cole (gest. 1580), William Bourne (gest. 1583) en Robert Norman.

8. Peter Martyr (1511, 1530), Peter Apian (1529), Gemma Phrysius (1530), Orontius Finaeus (1532), Nunes (1537, 1546, 1566), Georg Agricola (1544, 1556), Pedro de Medina (1545), Ramusio (1550), Leonard Digges (1556, 1571, 1579), Mercator (1569, 1578, 1594), Benedetti (1575), Guido Ubaldo (1577), Hakluyt (1589), Thomas Hood (1590, 1592, 1596, 1598), Robert Hues (1594), Edward Wright (1599) e.a. Het hoge percentage Engelsen is opvallend. Het schijnt dat zij eerder interesse hadden in de mechanische kunsten dan de continentale schrijvers. (Vgl. Francis R. Johnson, *Astronomical Thought in Renaissance England* [Baltimore 1937].) Anderzijds bereikten slechts enkele 'mechanici' een wetenschappelijk niveau in hun vaardigheden en geschriften: de Hollandse kopersteker en landkaartenmaker Abraham Ortelius (1527 – 98), die geograaf werd van Filips II uit Spanje en een wetenschappelijk cartograaf werd; de Franse wondarts Ambrois Paré (1510 – 90), die de arts werd van Henry II van Frankrijk en grondlegger van de moderne wetenschappelijke chirurgie; de administrateur en boekhouder van de gemeenteraad van Antwerpen en Brugge, Simon Stevin (1548 – 1620), die de technologische en wiskundige leerkracht en adviseur werd van Maurits van Oranje, generaal kwartiermeester van Holland en een van de grondleggers van de moderne wetenschappelijke mechanica.

9. Vgl. Zisel, *Die Ursprünge der Wissenschaftliche Methode* William Gilberts. Zie elders in deze bundel.

10. Brief aan Marsili (November 11, 1632), *Opere* (ed. Nazionale). XIV, 386.

11. *Novum Organum* I, aph 120.

12. De ontwikkeling van de moderne astronomie volgde een iets ander patroon. Sinds de tijd van de Babylonische priesters zijn de banden, die astronomie verbinden met het priesterschap, het opstellen van de kalenders en religieuze feesten, nooit helemaal verbroken. Astronomie was daarom verbonden aan het idee van de verhevenheid van de hemel en behoorde altijd tot de vrije kunsten. Als gevolg hiervan zijn bij Copernicus en Kepler pythagoreïsche en niet-mechanische voorstellingen te vinden. Anderzijds was de praktische astronomie verbonden met navigatie, die zich richtte op exacte positiebepaling van de sterren en interesse had in meetinstrumenten. In de tijd van Newton was de metafysische en animistische geest in de wetenschappelijke astronomie eindelijk overwonnen.

Het ontstaan van het begrip van natuurkundige wetten

1. Vgl. Het artikel 'Natural Law' in de *Encyclopaedia of the Social Sciences* (New York, 1933) XI, S 284 (Georges Gurvitsch).

2. De opmerkingen in: Ernst Cassirer, *Das Erkenntnisproblem* (tweede oplage, Berlijn, 1911), I, 367 e.v. en in het bijzonder in: Franz Borkenau, *Der Übergang vom feudalen zum Bürgerlichen Weltbild* (Parijs, 1934), 15-97, zijn niet echt betrouwbaar. Het artikel 'Gesetz' in

Murray's New English Dictionary levert het meest waardevolle materiaal. Er is enig materiaal te vinden in Littrés Franse, in Lidell-Scotts Griekse en in Harpers Latijnse lexicon. De Thesaurus Linguae Latinae is tot op heden niet doorgedrongen tot het artikel 'Gesetz'. Das Vocabulario della Crusca en Du Cange, Glossarium Mediae et Infimae Latinitatis bevatten geen materiaal dat betrekking heeft op ons probleem. Hans Kelsen, in zijn artikel Die Entstehung des Kausalgesetzes aus dem Vergeltungsprinzip, Journal of Unified Science (Erkenntnis), 1940, 69 e.v. en in zijn boek Vergeltung und Kausalität (1941), leidt het idee van causaliteit en natuurwetten af uit het juridische idee van vergelding. Kelsen waardevolle geschrift kon in dit artikel niet gebruikt worden.

3. De volgende Job-verzen zijn iets minder belangrijk: 28,25. De Heer schiep het gewicht van de wind en de maat voor het water; 38,5 er gaf de aarde de maat en trok er een lijn over; 38,8 hij sloot de zee met deuren. – Ik ben grote dank verschuldigd aan Dr. Boas Kohn, bibliothecaris van het Joodse theologische seminarie van Amerika, voor de informatie die hij gaf over de Hebreeuwse tekst.

4. Het is opmerkelijk, dat in het grandioze document van het oude Egyptische monotheïsme in Echnatons grote Hymnus at Aton, de zonnegod Aton geprezen wordt als schepper van het universum, maar niet als wetgever: er is geen sprake van morele, noch van natuurkundige wetten (vgl. James H. Breasted: The Dawn of Conscience, New York, 1933, 281). Dit hangt vermoedelijk samen met de stand van zaken, dat er in Egypte blijkbaar sociale voorwaarden bestonden, die de totstandkoming van wetgeving verhinderden, terwijl Babylon de codex van Hammurabi voortbracht. Feitelijk beschouwt het Babylonische scheppingsverhaal in het Gilgamesj epos de zonnegod Marduk als wetgever van de sterren. Het tablet stelt de retorische vraag: 'Wie schrijft de wetten voor de sterrengoden Anu, Enlil en Ea voor, wie stelt de grenzen vast?' – en verklaart verder, dat Marduk 'de sterren in hun baan houdt' terwijl hij 'bevelen' geeft en 'decreten' verstrekt (vgl. Morris Jastrow: The Civilization of Babylon and Assyria, Philadelphia 1915, 441, laatste deel e.v.).

5. Diels, Fragmente der Vorsokratiker, 5e oplage, Berlijn, 1934, 12 B 1.

6. Ibid. 22 B 94. In Fragment B 114 staat: 'Laten alle menselijke wetten gevoed worden door die ene goddelijke, want deze beveelt, zoveel als het maar wil...' In een enigszins twijfelachtig commentaar bij een middeleeuws gedicht van Nicander wordt van Heraclitus gezegd dat hij het vuur en de zee de slaven van de wind noemde 'overeenkomstig de goddelijke wet', Ibid, 22 A 14a.

7. Vgl. Bonitz, Index Aristotelicus. In de Physik II, 193a15, wijst Aristoteles erop, dat wanneer een houten bed ingegraven wordt en er groeit een scheut uit, deze scheut weliswaar hout is, maar geen bed. Hij stelt tegenover de afbreekbare en kunstmatige vorm van het bed een duurzame en natuurlijke materie, terwijl hij de eerste een louter 'arrangement volgens de wet' (κατὰ νομόν διασκευ) noemt. Dit staat in strikte tegenstelling met de terminologie van de moderne wetenschap, waarin wetten altijd betrokken zijn op de blijvende kenmerken van natuurkundige processen.

8. Tim. 83 e: Wanneer een mens ziek is, dan neemt het bloed de componenten van de voeding op, 'in tegenspraak tot de wetten van de natuur'. (παρά τοις τῆς φύσεως νομοῖς). Vgl. Ast, Lexicon Platonicum.

9. Amores 22: 'De dieren houden zich aan de wetgeving van de natuur (ή τής φνσεως νομοθεια) aangezien pederastie hen onbekend is'.
10. Zeno: Arnim, Stoicorum Veterum Fragmenta, I fg. 162 Cleanthes: Ibid., I fg. 537, pg. 121 I, 35, pg. 122 I. 20, pg. 123 I.5; Chryssipus: Ibid., II fg. 528, vgl. fg. 919.
11. Tristia, 1,8 vers 5. In met 15,71 (Rim) zegt Ovidius over Pythagoras dat hij alle geheimen van de natuur, de oorsprong van de sneeuw, de bliksem en aardbevingen kent – en ook 'de wet volgens welke de sterren zich bewegen'.
12. Met. 1, 477, Ars. Amat. III, 13 (over Ovidius vgl. Deferrari-Barry-McGuire, A Concordance of Ovid, Washington 1939, s. v. lex.).
13. Natural. quaest. VII, 25,3-5.
14. Over de namen 'Astronomie' en 'Astrologie', vgl. Pauly-Wissowa, Realencyclopädie d. class. Altertumswissenschaften, Stuttgart 1896, s. v. Astronomie (Hultsch). Vgl. aanvullend Thesaurus Linguae Latinae s. v. astrologia, astronomia, astronomicus, astronomus.
15. Nubes 194, 201.
16. Cassiodorus inst. 2, 7; Isidorus diff. 2, 152.
17. Anthologiae (Kroll) 5, cap. 9, pg. 219 L. 26 e.v. Het lot (εμπαρνή) heeft aan iedere zijnde een wet gegeven (ενομοτεθήχεν) en deze met een onafbreekbare muur omsloten; (de uitdrukking εμπαρνενή schijnt te duiden op stoïsche invloed); 7 hfst. 3, pg. 272 L. 9 e.v.: de natuur (φυσικη) bracht een wet voort (ενομοτεθσεν) en omsloot de mens met de muur der noodzakelijkheid: 9 hfst. 7, pg. 343 L. 33 e.v.: de sterren bevelen het universum door hun invloed zonder ooit de grenzen van de wetgeving (νομοθεσια) te overschrijden.
18. Vgl. Arnim, Loc. cit. vol. 2 hfst. 6 §4 pg. 270-272.
19. De zeer volledige Index Lucretianus, Göteborg 1911, door Johannes Paulson, benoemt slechts drie plaatsen waarin de term 'wet' gebruikt wordt in een niet-juridische betekenis. III, 692 (Munro) stelt vast dat de menselijke ziel niet onsterfelijk is, maar onderworpen is aan de 'wet van de dood' (letti lege); V, 58 stelt vast dat alle dingen zullen vergaan en dat niets de 'wetten van de tijd (avi leges)' kan breken; en V, 720 ontkent het bestaan van Chimaerae en stelt vast dat de delen van het lichaam zich slechts dan kunnen verbinden, wanneer ze zich aan elkaar aanpassen; alle dieren zijn 'door deze wetten' (teneri legibus hisce) gebonden.
20. I, 149 e.v.; I, 216 e.v.; II, 71 (Munro).
21. De Mechanica, die aan Aristoteles wordt toegeschreven, is waarschijnlijk niet oorspronkelijk. Er is sprake van een hefboomwet, zonder evenwel de term wet te gebruiken. Vgl. hierboven opmerking 7.
22. Stijgkracht: de corp. fluit. I Theorema's 3-7; hefboom: de plan. aeg. Theorema 6 e.v. De reflectiewet is een halve eeuw voor Archimedes gebruikt in de Optica van Euclides, Theo. 19 (Euclid, Opera, ed. Heiberg-Menge bundel 7, pg. 31); Archimedes was ermee bekend (vgl. Scholium 7, Euclides' Catoptrica, ibid. pg. 348; de Catoptrica van Archimedes is verloren gegaan) en verscheen als theorema I in de (vervalsde) Catoptrica van Euclides.

23. Tot op heden spreken natuurkundigen eerder nog van het principe van Archimedes dan van wet.
24. Vgl. Plutarchus, *Vitae, Marcellus* 14 en 17.
25. Dig. I, I, 3; Inst. I, 2.
26. Inst. I, 2, II: *naturalia iura... divina providentia constituta*.
27. Adv. Gentiles, I, 2.
28. Bijv. de lib. Arb. I,6; de civ. Dei XIX, 12.
29. Summa Theol. II, I qu. 90, Art. I resp.
30. Ibid. qu. 71, Art. 6 resp. 4.
31. Ibid. qu. 90, Art. 4, Aobj. I resp. De overeenstemming met het antieke begrip van de natuurwet is duidelijk.
32. Qu. 91, Art. 2, Obj2 resp. Hier wordt het begrip *lex naturalis* gebruikt en niet *jus naturale*.
33. Qu. 93, Art. I resp. (vgl. Qu. 91, Art. I).
34. De teleologische aard van de wereldordening wordt benadrukt en gelijkgesteld met de goddelijke voorzienigheid in I qu. 22, Art I Ibid. Art. 2. Obj. 1 en 3 verklaren dat Democritus en de Epicurianen de voorzienigheid ontkenden (en daarmee, zoals we kunnen toevoegen, ordening en eeuwige wet), terwijl ze de loop van de natuur de 'noodzakelijkheid van de materie' toeschrijven.
35. Op. Cit. Qu. 83, Art. 5, Obj. 1 en 2.
36. Ibid. Qu. 94, Art. 2 – Het is niet geheel duidelijk, of bij Thomas de natuurkundige regelmatigheden tot de natuurwet behoren, of tot de eeuwige wet. In het zojuist geciteerde artikel worden er enkele tot de natuurwet gerekend. Anderzijds worden ze in Qu. 93, Art. 5 tot de eeuwige wet gerekend. De natuurwet is ingeperkt tot de met rede begaafde wezens in Qu. 91, Art. 2, Obj. 2.
37. 15e oplage, Londen 1571, hfst. I, pg. 3 en hfst. 5 pg. 5 e.v. Bij de eerste oplage vergel. S. E. Thorne, 'St. Germain's Doctor and Student', *The Library*, IVth series, Vol. X (1930), pg. 421 – 426.
38. Boek I, hfst. 3, Works (Ed. Kehle, 7 oplage, Oxford 1888) I 200 e.v.
39. Hfst 3, pg. 206.
40. Ibid. pg. 207.
41. De *La République* (1577) biedt een algemene analyse van het wetsbegrip. *Universae Naturae Theatrum* (Francofurti 1597) beperkt zich in het voorwoord tot enkele algemeenheden over de onveranderlijke loop van de hemelse sferen. *Methodus ad facilem historiarum cognitionem* (1566) benoemt 'enkele eeuwige wetten van de natuur', volgens welke alles onderhevig is aan een cyclische verandering: ondeugd volgt op deugd,

onwetendheid de kennis, duisternis het licht (VII, 36). Het voorbeeld van de astronomie is duidelijk.

42. Moralia et naturalia, II, 2 § 12.

43. I. I § I.

44. 1.1 § 2.

45. II, 2 §§ 4, 10, 12, 13.

46. II, 2 § 12: questionem esse de modo loquendi.

47. I, 3 § 8.

48. 1, 1 § 9.

48 a. Voorwoord bij Billingsleys vertaling van Euclides, Sig. Dj 10.

49. Essays 2, 12: er is geen natuurwet, aangezien de gebruiken van de diverse volkeren van elkaar afwijken (ed. Villey, Parijs 1930, Vol. II, pag. 494 e.v.

50. Werke (Spedding and Ellis) VI, 222.

51. Nov. Org. II, 17 (Fowler, 2e oplage, Oxford 1889), pag. 389, 6 e.v. *ibid.* I. 51, pag 228 e.v., I, 75 pag. 268; II, 2 pag. 346; II, 4 en 5 pag. 348 e.v.; II, 17 pag. 399; II, 52 pag. 597.

52. De augmentis V, 3, 10.

53. De Revolutionibus, voorwoord bij de uitgave van Paul III, Thorn (Curtze) pag. 5 I, 32.

54. De Magnete VI, 9 pag. 237.

55. *Ibid.* II, 32 pag. 99. Aangezien ze meestal over het hoofd gezien worden, mogen ze hier aangehaald worden. Ze zeggen, dat ijzeren kogels elkaar naderen met dezelfde ‘aandrijving’ (Incitatio). Dit geldt evenzeer voor magnetische en niet-magnetische lichamen. –In de tijd van Gilbert was noch de theoretische mechanica in het algemeen, noch een exact begrip van kracht in het bijzonder ontwikkeld. Zijn drie wetten vergelijken magnetische krachten met het oog op hun dynamiek door de aandrijving van de veroorzaakte beweging. ‘Incination’, aandrijving is vermoedelijk iets vaags tussen snelheid, impuls en kinetische energie. Hij beperkt zich tot het geval van de gelijkheid van krachten en hanteert niet een werkelijke maat. Zijn wetten komen bij benadering overeen met de derde wet van Newton (actio = reactio).

56. Opere, edizione nazionale, II, 147 e.v.

57. *Ibid.* VIII, 139 e.v. en 147 e.v.

58. *Ibid.* 139, I. 29 e.v.

59. *Ibid.* 197 e.v. en 288 e.v.

60. *Ibid.* 266, waar verwezen wordt naar Archimedes, Euclides en Appolonius. De deductieve beschrijvingen bevinden zich in de Latijnse hoofdstukken van de Discorsi, de experimenten in de Italiaanse. Hierin het sociale vooroordeel tegen het ambacht naar voren. De gerespecteerde wetenschap deduceert en gebruikt de Latijnse taal; het experimenteren is

het werk van handwerkslieden, die de landstaal spreken. –Ibid. pag. 156-165 e.v. bespreekt hij kwantitatief, zoals de draagkracht van een pijler afhangt van zijn draagvlak, zijn gewicht en zijn lengte. De resultaten worden geen ‘wetten’ genoemd, maar worden als proposities en uitspraken genummerd weergegeven in de kantlijn.

61. Ibid. VIII, 152 L. 3 e.v., 13 en 16 (Dialogen).
62. Ibid. VII, 43 1.6 (Dialogo) en VIII, 60 1.14 (Discorisi).
63. Ibid. V, 282 1.30. Een letterlijke overeenkomst is zijn brief aan de groothertogin van Toscane (1615) ibid. 316 1.25.
64. Revaisson-Mollien, *Les Manuscrits de Léonardo da Vinci*, Paris 1891, Vol. 6, MS. 2038 fol. 3 r. Aan de andere kant zegt Leonardo in een meer poëtische en theologische stemming bij een discussie over de verspreiding van het licht: ‘Oh wonderbaarlijke noodzakelijkheid... door een opperste en onherroepelijke wet gehoorzaamt iedere natuurlijke handeling je met de hoogst mogelijke prioriteit... Door de wet zet je alle gevolgen ertoe aan, om op de meest directe wijze voort te komen uit hun oorzaken.’ (*Codice Atlantico*, ed. Pinnati, Milaan 1901, III, 1161).
65. *Quesiti et Inventioni* 1,1: ‘Tien penning’ (scudi) ibid. III, 10.
66. Galilei zelf verklaarde het probleem van de ballistische baan (waar de schutters van zijn tijd mee worstelden) als het uitgangspunt van zijn studie over de wet van de vallende lichamen. *Opere*, Brief 2300 aan Marsili (1632), XIV, 386.
67. *Hypomnemata Mathematica*, 1608, Vol. 4, Statik.
68. *Traites de l’équilibre etc. Œuvres* (ed. Brunschvieg-Boutroux III, 224 en 254).
69. Ibid. 163, 171, 178.
70. *Fragmenten, Œuvres*, II, 520.
71. *Pensées, Œuvres XIII*, 216 no. 294.
72. III cap. 59 e.v.
73. V Cap. 3 (*Opera* ed. Frisch V, 280).
74. *Astr. Nov.*, *Opera* III, 391: lege staterae; *Epitome Astr. Cop. Opera* vol. VI, 373: quae sunt huius celeritatis et tardiatas leges et exempla? Exemplum genuinum est in stratera. – *Rationes staterae: Astr. Nov. Opera* III, 300, 390, 391 en *Ep. Astr. Cop. Opera* VI 405.
75. *Astr. Nov. Opera* III, 315: quibus legibus opus sit as... orbitam repraesentandam; ibid. 149 leges celeritatis et tardiatas suae accipere ex modulo accessus... et recessus.
76. Ibid. 303.
77. Ibid. 397.
78. *Opera* III, 37.

79. In zijn *Ad Vitellionem Paralipomena* (1604, Opera II) stelt hij meerdere optische wetten op (weliswaar nog niet de wet van de breking van het licht). De term 'wet' wordt nooit door hem gebruikt; ze zijn als proposities en uitspraken genummerd op de wijze zoals Euclides dat deed.
80. *Astr. Nov.* Hfst. 57 (Opera III, 392 – 397); *ibid.* Hfst. 39, pag. 317 – 320. De astrologische regel pag. 319.
81. De vraag hoe de planeten het klaarspelen zich op regelmatige wijze voort te bewegen, komt doordat Tycho Brahe het bestaan van de vaste sferen uit de wereld geholpen heeft, zoals Kepler zelf vaststelt (*ibid.* pag. 319). Hetzelfde probleem werd enige jaren eerder (1591) besproken door Patrizzi (*Nova de Universis Philosophia, Pancosmia* 12;2 uitg. Venetië 1593, Fol. 91 Col. 3). Hoewel Patrizzi niet spreekt over wetten en slechts de 'ordering der wereld' poneert tegenover de chaos, is hij dicht genaderd tot de aanzet van het begrip van een natuurwet. Zoals Kepler concentreert hij zich op de *animae rationales* van de sterren, die de 'Goddelijke voorzienigheid' volgen en vergelijkt hij hen met soldaten die manoeuvres maken, volgens de bevelen van een officier. God staat in deze metafoor voor de officier en de natuurwet voor zijn bevelen. –Patrizzi's militaire metafoor geeft de betekenis weer van sociale verandering voor de ideeëngeschiedenis. Hijzelf voert de antieke Spartanen en Macedoniërs op als voorbeelden. Een middeleeuwse auteur had echter niet kunnen denken aan militaire metaforen omdat de veldslagen in de feodale tijd uit een veelvoud aan duellen bestonden met vaak een zeer geringe discipline. Het is duidelijk dat Patrizzi geïnspireerd is door de nieuwe infanterietactiek, die zich in het vroege kapitalisme ontwikkelde uit het leger van Zwitserse huurlingen.
82. *Disc.* 5 (*Œuvres*, ed. Adam-Tannery, VI 41).
83. *Ibid.* 42 e.v. zie ook 45 L. 11 e.v.
84. *Ibid.* 54 L. 26 e.v.
85. *Œuvres* VI, 100 1.27 e.v. De wet van de breking van het licht werd in 1621 ontdekt door Snell en voor het eerst gepubliceerd door Descartes.
86. *Princ.* II § 36 *Œuvres* VIII 61.
87. *Ibid.* II § 37 (pag. 62). In zijn *Discours* heeft Descartes eveneens vastgesteld dat zijn natuurwetten van geen ander principe afkomstig zijn dan van de Goddelijke volkomenheid.
88. *Ibid.* II §§ 37-42.
89. II §§ 45-52.
90. II § 64.
91. III § 55.
92. III § 56.
93. IV § 200.

94. Wetten en regels veranderen; Nr. 114 aan Huygens (II, 50); No. 371 aan Clerselier (IV, 183 e.v.; Nr. 179 aan Mersenne (IV, 396); Nr. 514 aan Burman (VI, 168); Nr. 566 aan Morus (VI, 405).
95. Vgl. Edgar Zilsel, *Probleme des Empirismus*, zie elders in deze bundel.
96. De relatie van Descartes met de technologie van zijn tijd keert terug op de achtergrond van zijn geschriften. Hij benadrukt in zijn *Discours* in elk geval het nut van zijn stelregels en verwijst 'naar de verschillende vaardigheden van onze handwerkslieden' (*Œuvres* VI, 62). Aan het Cartesiaanse dualisme ligt het Nieuwe Testament ten grondslag (Begrip van de ziel), zijn wetsbegrip aan het Oude (God de wetgever).
97. *Tract. Theol.-Pol.* Hfst. 4. *Opera* (uitg. Vloten-Land in 4 volumes, Den Haag 1914) II 134.
98. Hfst. 6 (*ibid.* 156-170 *Passim*).
99. Hfst. 4 pag. 135. – In zijn eerste werk (1663), de *Renati Des Cartes Principiae Philosophiae*, geeft hij de zeven Cartesische 'regels' aan (II, prop. 24-31). In de aanhang *Cogitata Metaphysica* spreekt hij regelmatig over de 'decreten' van God (I. Hfst. 3).
100. *Ethik* 4 app. Hfst. 6 e.v. –Brief Nr. 13 (aan Oldenburg, *leges mechanicae*). Vgl. Brieven Nr. 31, 33, 42.
101. Vgl. boven, opmerking 104. Huygens was toentertijd 19 jaar oud.
102. Huygens, *Œuvres Complètes* (ed. Soc. Holl. d. Sc.) XVI 95 (Ms. uit 1652) 104 (Ms. uit 1654) 139 (Ms. uit 1656) 181 (Brief aan Journal d. Sc.), pag. 33, 91 (de motu corp.). In zijn *Horologium Oscillatorium* (*ibid.* XVIII 69 e.v.) en zijn *De vi centrifuga* (*ibid.* 366 e.v.) wordt het begrip 'wet' niet gebruikt, hoewel hier belangrijke natuurkundige wetten voor het eerst genoemd werden.
103. *Phil. Trans.* VI (1669), 925. –De Royal Society werd gegrondvest in 1663; de *Trans.* verschenen voor het eerst in 1665.
104. *Ibid.* III (1668) 864 e.v.
105. *Phil. Trans.* 1.4 Auzot heeft het in zijn Franse werk over de kometen van 1664/65, dat in Parijs gedrukt werd, ook over 'wetten' (pag. 1 en 7). – Hij gelooft dat de komeet in kwestie zich in een kringloop bevindt. Hij is er trots op, deze hypothese te hebben gevonden op basis van slechts drie waarnemingen (*Phil. Trans.* I 19).
106. *Phil. Trans* I 31 e.v.
107. Weer afgedrukt in R. T. Gunther, *Early Science in Oxford*, Oxford 1938, VIII 334 en 336.
108. *Ibid.* VI 83.
109. *Works* (ed. Birch) I 158, 162.
110. *Ibid.* V 170 e.v.
111. Pag. 171.
112. Pag. 177, vgl. pag. 194, 225, 251, 252.

113. Pag. 215.
114. Pag. 242.
115. Opera (ed. Horsley) II 13 e.v. Zij formuleren zoals bekend het traagheidsprincipe, de proportionaliteit van kracht en versnelling, en de gelijkheid van Actio en Reactio. Het hoofdstuk heet 'Axioma's of Bewegingswetten'.
116. Pag. 23. Zoals bij Descartes, Wren, Wallis en Huygens woorden de stootwetten afwisselend 'wetten' en 'regels' genoemd.
117. Opera III, 174. In zijn derde brief aan Bentley staat er: 'zwaartekracht moet door een actief principe worden veroorzaakt, dat gelijkmatig handelt volgens bepaalde principes' (IV 438).
118. I, sect. 2 prop. 10, probl. 5. Zie ook I sect. 3, probl. 6, en prob. 12 e.v.
119. Lib. 3, scholium generale (III 171).
120. Ibid., 170.
121. Opera II, IV.
122. Elements de la philosophie de Newton (1738) 3, 1: Œuvres Firmin Didot, V, 721), les lois d'attraction; 3, 3 (pag. 726): lois de la chute de corps trouvées par Galilée; 3,5 (pag. 730): lois de la gravitation, règles de Kepler. Essai sur la nature du feu 2, 3 (ibid. pag. 776): Acht 'Gesetze'. Zijn Dictionaire Philosophique (1764) geeft echter alleen de juridische betekenis, te weten 'loi naturelle' (VIII 21 e.v.).
123. Locke, Essay 1.3 § 13, benoemt alleen de juridische betekenis. Berkeley, Principles § 30. Hobbes, De Cive hfst. 2-4, Leviathan 1, hfst. 14 e.v., II chap. 26.
124. Zie ook Edgar Zilsel, Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft, zie elders in deze bundel.
125. Vgl. § 2, opm. 4.
126. Summa Theologica II, I qu. 95, Art. 4, resp. 2.
127. Ibid. qu. 91, Art. 6 resp.
128. Zie ook § 9 boven, opm. 79.
129. Na Suarez (1612) werd dit inzicht bij Spinoza (1670) en Boyle (1666) aangetroffen. Bij Thomas (1270) ontbreekt dit nog.

De oorsprong van de wetenschappelijke methode van William Gilbert

1. De Magnete Magneticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure, Physiologia Nova plurimis et argumentis et experimentis demonstrata, Londini 1600. Wanneer geen andere bronnen aangegeven worden, hebben alle citaten in dit hoofdstuk betrekking op deze

uitgave. Een Engelse versie met parallelle vertaling door Silvanus P. Thompson is uitgegeven door de William Gilbert Society, Chiswick Press, London 1900. Ze bevat waardevolle opmerkingen. Gilberts tweede werk wordt geciteerd aan de hand van zijn enige uitgave, *De mundo nostro sublunari Philosophia nova, Opus posthumum. Ab Authoris fratre collectum pridem et dispositum...* Amstelodami, 1651. *De Mundo* werpt niet veel licht op de oorsprong van de ideeën van Gilbert. We weten nu eenmaal niet zeker of het voor of na *De Magnete* geschreven is. In de kantlijn van pagina 139 van *De Mundo* staat een verwijzing naar *De Magnete* VI, 4, en een vergelijkbare opmerking is aan het einde van het hoofdstuk toegevoegd. Aangezien echter de broer van de auteur, die *De Mundo* uitgaf, zelf in het voorwoord verklaart, dat hij niet weet welk boek eerder tot stand kwam, zijn beide opmerkingen kennelijk later door de uitgever toegevoegd. In ieder geval wordt in *De Mundo* (pag. 118 en 151) kritiek geleverd op twee beweringen van Patrizzi. Deze citaten kunnen alleen betrekking hebben op Patrizzi's *Nova de Universis Philosophia*, deel *Pancosmia*, Boek 26 en resp. Boek 12 (in de tweede oplage, Venetië 1593, fol. 132 col. 2 en fol. 91 col. 3). De eerste uitgave van het werk van Patrizzi werd gedrukt in 1591. *De Mundo* moet daarom na 1591 geschreven zijn (Gilbert stierf in 1603). In haar geheel beschouwd, maakt *De Mundo* de indruk van een groot gebrek aan rijpheid; het is betweterig en bevat meer restanten van de scholastieke terminologie dan *De Magnete*. Het eerste boek van *De Mundo* ageert tegen de doctrine van de vier elementen, het 2e behandelt de astronomie, de boeken 3 en 5 bespreken 'meteorologische' problemen; ze beginnen met kometen, de Melkweg en wolken en eindigen met de zee en de lucht. Er worden slechts weinig experimenten aangehaald. *De Mundo* bevat een aantal resultaten die een moderne indruk maken -bijv. dat verondersteld werd dat de ruimte boven de atmosfeer van de aarde leeg en koud is-, maar de methoden en argumenten zijn niet bepaald opvallend.

2. De elektroscoop van Gilbert bestaat uit een lichte, horizontale naald van metaal die bevestigd is op een puntige standaard, zodat deze gemakkelijk kan draaien. In *De Magnete* wordt het benoemd als *Versorium*, een benaming die ook voor magneetnaalden gebruikt wordt. –We gaan hier niet nader in op een beschrijving van Gilberts vier magnetische meetinstrumenten. De deklinometer werd in 1526 uitgevonden door Felipe Guillen. Hij werd vóór Gilbert verbeterd door Francisco Falero (*Tratado del Esphera*, Sevilla 1535) Pedro Nunes (*Tratado del Sphera*, Lissabon 1537), William Borough (*A Discourse of the Variation of the Compass*, Londen 1581) en Simon Stevin (*De Havenvinding*, Leiden 1599). De inklinometer werd uitgevonden door Robert Norman (*The New Attractive*, Londen 1581). Deze werken zijn weer uitgegeven in G. Hellman: *Rara Magnetica*, 1269 – 1599 (Neudrucke von Schriften... über Erdmagnetismus Nr. 10) Berlin 1898. Zoals blijkt uit citaten op andere plaatsen in *De Magnete*, was Gilbert bekend met de werken van Nunes, Borough, Norman en Stevin. Gilbert vond twee nomogrammen uit en construeerde deze ook. De eerste (IV, 12 pag. 176) vereenvoudigt de bepaling van de astronomische meridiaan met behulp van een grafische calculus. De tweede (V, 8) – die weliswaar berust op incorrecte aannames- is bedoeld om geografische afstand grafisch weer te geven.

3. II, 17 pag. 86; II, 25 pag. 92; II, 29 pag. 97; II, 32 pag. 99; III, 15 pag. 145; III, 17 pag. 150.

4. De astrologische theorie van de correspondentie tussen metalen en planeten noemt hij echter 'ziek' (pag. 20). Volgens Gilberts opvatting vormen de metalen, ijzer in het bijzonder, het ware wezen van de aarde en staan om die reden los van de sterren.

5. Het is duidelijk dat het religieuze geloof van Gilbert eerder neoplatoons is dan protestants. Het hoofdstuk is in haar geheel sterk beïnvloed door Patrizzi. Vgl. onderaan § 4, voetnoot 13.

6. Bijv. het begin van het voorwoord en op de pagina's 12, 26, 38 (tweemaal), 41, 117, 152, 210. –Bovendien vergelijkt Gilbert het binnenste van de aarde graag met een moederlichaam. Naar zijn opvatting zijn alle metalen afkomstig van verdichte uitademingen van het binnenste deel van de aarde, die dichtbij het aardoppervlak gestold zijn in warme holtes 'zoals het sperma of de embryo stolt in de warme baarmoeder' (I, 7 pag. 20). De Mundo bepleit de leer (pag. 39), dat alle soorten materie haar oorsprong hebben in de aarde en dat de aarde daardoor het enige element zou zijn.

7. Het verhaal van de roterende bolvormige magneet wordt ook genoemd in De Mundo (pag. 138). Gilbert noemt dezelfde redenen dat de terella niet draait 'hoewel ze ertoe in staat is en door de natuur neigt tot draaien'. Om het argument van Gilbert te begrijpen, moet men zich voor ogen houden, dat hij in Engeland behoorde tot de vroegste aanhangers van Copernicus en reeds overtuigd was van de draaiing van de aarde.

7a. Sciolisten zijn mensen met gebrekkige kennis (verkleinwoord van Scius, de wetende; opm. van de vertaler).

8. Gilbert bespot (I, 1 pag. 2) 'de oude slimme ondeskundigen en overschrijvers' die de zelfverzonnen verhalen van de klassieke auteurs aanhangen. Hij beschuldigt 'de moderne filosofen' (I, 10, pag. 28), ervan dat ze hun kennis afleiden uit boeken in plaats van uit dingen. Hij lacht (sic) de boeken uit, 'waar de boekenwinkels mee volgepropt zijn', die mysterieuze verhalen verkopen in plaats van dat ze, zoals de barbaren enthousiast worden over Griekse woorden, die indruk proberen te maken op het volk met behulp van Latijnse fragmenten. Hij beschuldigt Fracastoro (II, 39, pag. 113) ervan dat hij een voorliefde heeft voor Griekse woorden en klaagt 'de weinige filosofen en overschrijvers' (II, 38 pag. 109) aan omdat ze oude opvattingen en vergissingen blijven herhalen.

9. Zoals bekend was het ipse dixit (αὐτος εἶπα) de spreuk van de school van Pythagoras, waarmee gerefereerd werd naar hun leermeester.

10. Thales, Empedocles, Anaxagoras, Pythagoreërs, Plato worden geroemd V, 1; Plato aangevallen pag. 61; Aristoteles: zijn betekenis erkend (voorwoord, tegen het einde), zijn (en Galens) opvatting over het ijzer als juist bevonden, pag. 39; Hippocrates wordt geroemd in De Mundo, pag. 5, omdat hij niet pleitte voor de leer van de vier elementen, aangevallen in De Magnete, pag. 35; Galen wordt bekritiseerd pag. 35 en pag. 62, zijn betekenis erkend, voorwoord, tegen het einde; Strabo, Ptolemaeus, Tacitus en Plinius de oudere worden geciteerd, respectievelijk de IJzermijnen pag. 25; Plinius de oudere wordt (met betrekking tot de vervaardiging van glas) aangevallen pag. 112.

11. Avicenna wordt geciteerd met betrekking tot meteorieten, pag. 26; de medicinale opvattingen van Avicenna, Raes (=Abu Bekr al Rasi) en niet met name genoemde Arabische artsen worden aangevallen, pag. 34 e.v.; de alchemisten Geber en Gilgil aangevallen, pag. 19.

12. Nicolaus Cusanus ('hij is niet te versmaden') pag. 64; Marsilius Ficino, pag. 3 ('herkauwt klassieke opvattingen') en pag. 16; De Sympathia van Fracastoro wordt genoemd pag. 5, 9,

110, 113; zijn theorie van de bewegingen van de planeten (opgesteld in zijn *Homocentricorum seu de Stellis Liber*) besproken in *De Mundo* II, 10; *De Subtilitate* van Cardanus (1552) aangevallen pag. 5, 27, 37, 42, 63, 107, 110, 169; *Exercitationes Esotericae* van Scagiler (1557) aangevallen pag. 5, 27, 37, 42, 63, 107, 110, 169; *Magia Naturalis* van Porta (1589) geciteerd pag. 6, 24, 63, 137 e.v., 143 e.v., 166 e.v.; de 'schaamteloze charlatanerie' van Paracelsus aangevallen pag. 93, zijn verdiensten erkend, maar de aanhangers van Paracelsus aangevallen in *De Mundo* pag. 7; de antiparacelsist Thomas Erastus geciteerd pag. 3 en 23. Tycho Brahe wordt genoemd pag. 174 (over de coördinaten van de poolster).

13. Het hoofdwerk van Patrizzi, *Nova de Universis Philosophia*, verscheen in Venetië, 1591. Wij citeren echter uit de tweede oplage, Venetië 1593. Het deel *Panpsychia*, boek 4, heeft betrekking op de presocraten, Plato, de neoplatonisten, de Egyptenaren en Chaldeërs en op Zarathustra, Hermes en Orpheus; het benadrukt het feit, dat sterren geen organen nodig hebben, hoewel ze bezielde zijn; tot drie keer aan toe (fol. 55, col. 2 en 3) noemt het de filosofie van Aristoteles een 'gedrocht', omdat in zijn leer het gehele universum bezielde is, met uitzondering van de aarde. Deze beweringen worden in hun samenhang letterlijk herhaald in *De Magnete* V, 12 en zelfs de uitdrukking 'gedrocht' verschijnt daar (pag. 209).

14. Over Pierre en zijn brief, zie ook Silvanus P. Thompson: *Petrus Peregrinus de Maricourt and his Epistola de Magnete*, *Proc. Brit. Acad.* vol. 2 (1905/6) pag. 377-408, en Erhard Schlund: *Archivum Franciscanum Historicum*, vol. 4 (1911) en vol. 5 (1912). De brief over het magnetisme is weergegeven in G. Hellmann: *Rara Magnetica* (Neudrucke etc.) Berlijn, 1898. – Over de oorsprong van de wetenschappelijke methode van Pierre, zie ook hieronder § 8.

15. Feitelijk leunt Roger Bacon meer op Pierre, dan dat Pierre op Bacon leunt. – Het plagiaat van Taysner werd in 1562 gedrukt in Keulen.

16. De boeken van Agricola (1490 – 1555) over mijnbouw en metallurgie zijn nog altijd de beste bron van kennis over deze tak van technologie in de 16e eeuw. Gilbert (I, 1 pag. 2) noemt hem 'bijzonder uitmuntend in de wetenschap', hij betreurt echter, dat hij die oude verhalen over de anti magnetische effecten van knoflook en diamant overneemt. Hij wijst de bewering van Agricola van de hand (I, 38 pag. 110) dat de magneet van pas komt bij de vervaardiging van glas en hij verwijt Agricola, dat hij zich wat dit punt betreft heeft laten beïnvloeden door de 'ignorante filosofie' van Plinius de oude. Gilbert weet natuurlijk, dat glas niet aangetrokken wordt door magneten. Hij heeft waardering (I, 7 pag. 19) voor de scheikundige opvatting van Agricola, dat ijzer is samengesteld uit aarde en water. Agricola en andere –niet met name genoemde- 'geschoolde metallurgen' werden aangetrokken (I, 2 pag. 10) vanwege het voorkomen van ijzererts in Duitsland en Bohemen. Vanwege een bijzondere soort ijzererts voert hij de tegenstanders van Paracelsus op, Thomas Erastus, als literaire informant (I, 7 pag. 23). In *De Magnete* I,8 worden Strabo, Ptolemaeus, Tacitus en Plinius geciteerd over ijzermijnen in verschillende delen van Europa en het benadrukt dat ijzer het meest voorkomende mineraal is, zoals 'iedere vakman uit de metallurgie en de scheikunde' kan bevestigen. Dan wordt Agricola nog eenmaal opgevoerd, om de vondst en de bewerking van via dagbouw gewonnen ijzererts te beschrijven (pag. 26). 'Zoals enige auteurs schrijven' (blijkbaar Spaanse kosmografen of zeelieden), is er ook in West-Indië ijzer, maar 'Spanjaarden zoeken uitsluitend naar goud'. Het hoofdstuk eindigt met een bericht over ijzermeteorieten en Avicenna, Scaliger en Cardanus worden aangehaald.

17. De bezitter was geen verwant van de auteur. Vergel. de familiestamboom in Silvanus B. Thompson: *The Family and Arms of Gilbert of Colchester*, Trans. Essex Archaeol. Soc., vol. 9, Neue Folge (1906), pag. 211.
18. Vergel. Ludwig Beck: *Geschichte des Eisens*, Braunschweig 1893-95, vol. 2, pag. 879-97.
19. Aangezien de autoriteiten die Gilbert aanhaalt typisch zijn voor de sociale omgeving waar de moderne natuurwetenschap uit ontstond, zijn hun vaardigheden en beroepen van belang. De wiskundige en astronoom Hariot of Harriot (1560-1621), die als jongeman de wiskundeleraar was van Sir Walter Raleigh, werd door hem naar Virginia gestuurd als landmeter en kwam later terug naar Engeland. Hij publiceerde een artikel over Virginia en wiskundige werken. De wiskundige Robert Hues (1553-1632) begeleidde Thomas Cavendish op zijn zeiltocht rond de wereld en publiceerde een *Tractatus de Globis et eorum Usu*, Londen 1594, gewijd aan Sir Raleigh. De wiskundige Edward Wright (1558-1615) begeleidde de graaf van Cumberland op zijn reis naar de Azoren. Hij gaf in Oost-Indië les in navigatie. In zijn boek *Certaine Errors in Navigation*, Londen 1599, voerde hij de cartografische projectie in, die abusievelijk toegeschreven wordt aan Mercator. Abraham Kendal of Kendall is de enige niet-geleerde van de vier. Hij was kapitein op het schip van Sir Robert Dudley, De Beer, en nam later deel aan Drake's laatste expeditie (zie ook *The Oxford Dictionary of National Biography* en de vertaling van *De Magnete* door de Chiswick Press, Londen 1900, opmerking pag. 19. Wright schreef het tweede voorwoord voor *De Magnete*. Hoogstwaarschijnlijk waren ook de anderen persoonlijke vrienden van Gilbert (vgl. opm. 22 hieronder).
20. Hij stelt vast, dat de diepte van de oceaan slechts op weinig plaatsen meer is dan een mijl en normaliter niet meer dan 50 tot 100 vadem beslaat. De diepste mijnen zijn volgens hem 400 tot 500 vadem, de dwarsdoorsnee van de aarde is volgens hem 6.872 mijlen.
21. Pag. 153 e.v. De oostkust van de Atlantische Oceaan van Guinea tot Noorwegen, de westkust van Florida tot aan Kaap Race in Newfoundland; pag. 161 de Azoren; pag. 163 e.v. Londen; pag. 167 de Noordkaap van Noorwegen, Corvo in de Azoren, Plymouth; pag. 178 e.v. op de evenaar in de zuid Atlantische Oceaan (St. Helena); pag. 179-182 Nova Semlja (uit Hollandse waarnemingen), de Zuidelijke Grote Oceaan, de Middellandse zee, de Indische Oceaan.
22. Kapitein Kendall (vgl. opm. 19) publiceerde geen boek. Aangezien Gilbert zijn waarnemingen goed kent, moet hij hem persoonlijk gekend hebben.
23. De (verouderde) oplossing is: de afwijkingen op verschillende plaatsen van het aardoppervlak moeten eerst genoteerd worden op een lijst, dan kan de geografische positie van het schip vastgesteld worden door de waargenomen afwijking te vergelijken met de lijst. Stevins Papier (*De Havenvinding*, Leiden 1599) is opnieuw uitgegeven in G. Hellmann, *Rara Magnetica*, Berlijn 1899. Gilbert citeert niet de originele versie, maar de Latijnse vertaling van Hugo de Groot (sr.) *Portuum Investigandorum Ratio*, 1599. In hetzelfde jaar werd deze door de vriend van Gilbert, Edward Wright, vertaald in het Engels (*The Havenfinding Art*, Londen 1599) en in het Frans (*Le Trouve Port*, Leiden 1599). De vier publicaties in een jaar, waarvan drie in volkstalen en een in het Latijn, geven een goed beeld van de snelle ontwikkeling van de wetenschappelijke navigatie uit deze tijd en van het soort mensen waarmee Gilbert in

contact stond. Hij citeert Stevin net een jaar na de publicatie van zijn boek. Voor die tijd is dat opmerkelijk.

24. Gilbert zelf onderscheidt in het zojuist weergegeven citaat onder zijn leermeesters 'Illustrissimi naucleri' en 'nautae etiam sagaciores plurimi'. De kapitein Abraham Kendal (vgl. de opmerkingen 19 en 22) was hij persoonlijk mee bekend. Edward Wright was een vriend van hem, evenals waarschijnlijk Thomas Hariot en Robert Hues (vgl. opmerking 19). Deze drie waren echter academisch onderlegde wiskundigen, die nauwe betrekkingen onderhielden met navigatoren en met de navigatie in algemene zin.

25. § 1, opm. 2.

26. Blundeville is ook een vriend van Gilbert. Hij schreef populaire wetenschappelijke boeken in het Engels voor edelen. Naast het geciteerde werk publiceerde hij verhandelingen over de kunst van het paardrijden, de Aristotelische logica, over de vervaardiging van landkaarten, over moraal en over het advies aan vorsten. De ondertitel van zijn *Theorique of the seven Planets* illustreert op een treffende wijze welke maatschappelijke lagen, naast de universiteiten, in Gilberts tijd belangstelling hadden voor de astronomie. Deze luidt: *A Booke most necessarie for all Gentlemen that are desirous to be skillful in Astronomy and for all Pilots and Sea-men or any others that love to serve the Prince on the Sea or by the Sea to travell into forraine Countries*. (Een hoogst noodzakelijk boek voor alle heren die de wens koesteren om vaardig te zijn in de astronomie en voor iedere stuurman en zeeman of ieder ander die geneigd is om de vorst op zee te dienen of die over zee wil reizen naar verre landen). Dit betekent, dat astronomische geschriften –wanneer ze Engelstalig waren- van belang waren voor overzeese handelaren en scheepseigenaren, hun kapiteins en stuurmannen en voor de legers van de Royal Navy. De publicatie van Blundeville is niet alleen gestoeld op Ptolemaeus, maar ook op de Ephemeriden van Feuerbach, Copernicus en hun navolgers Reinhold en Mestlin.

27. Barlow was de zoon van een bisschop en was zelf ook geestelijke en hij was geïnteresseerd in navigatie, hoewel hij nooit ter zee ging. Hij publiceerde *The Navigators Supply*, Londen 1597, naast andere geschriften. Hij was een persoonlijke vriend van Gilbert. Vgl. de brief van Gilbert aan hem, die gepubliceerd werd in Barlow, *A Brief Discovery of the Idle Animadversions of Mark Ridle*, Londen, 1618.

28. Hij laat een magneetnaald op het water drijven met behulp van een stuk kurk en let er zorgvuldig op, dat deze volledig ondergedompeld is; uit het feit dat de magneetnaald zichzelf aanpast in de richting van het aardmagnetisme, maar niet naar de rand van het schip getrokken wordt, concludeert hij, dat hier geen sprake is van aantrekking. Hij (en Norman) vergeten, dat de magneetnaald twee tegengestelde polen heeft, die in tegenovergestelde richting aangetrokken worden.

29. *The New Attractive, containing a short discourse of the Magnes or Lodestone and amongst other hies vertues, of a newe discovered secret and subtil propertie concerning the Declining of the Needle touched therewith under the plaine of the Horizon, Now first founde by Robert Norman Hydrographer. Hereunto are annexed certaine necesserie rules for the art of Navigation by the same R. N.*, Londen 1581. (De nieuwe aantrekking, bevattend een korte verhandeling van de magneet of richtsteen en zijn deugden, onder andere van een nieuw

ontdekt geheim en subtiële eigenschap, het gedrag van een magnetisch behandelde naald onder het vlak van de horizon. Nu voor het eerst gevonden door de hydrograaf Robert Norman. Verder zijn bepaalde regels van de kunst der navigatie toegevoegd door dezelfde R.N.). Het boek, heruitgegeven in 1558, 1592, 1596, 1614 en 1720, is een bibliografische zeldzaamheid geworden. G. Hellmann, *Rara Magnetica*, Berlijn 1898, liet een herdruk verschijnen van de uitgave van 1720; hierin ontbreken het voorwoord, de inleidende gedichten en de astronomische tabellen. Wij citeren hier uit de uiterst zeldzame tweede oplage, Londen 1592.

30. Norman deed dit met behulp van een klein stukje kurk. Men moet zich in herinnering brengen, dat deze nieuwe experimentele opstellingen door Gilbert in *De Magnete* eenvoudigweg overgenomen werden.

31. Feitelijk had de Duitse medicus Gerg Hartmann de declinatie eerder geobserveerd, zij het minder nauwkeurig. Hartmanns niet-gepubliceerde brief (1544) aan de hertog Albert van Pruisen over zijn ontdekking is heruitgegeven door Hellmann, loc. cit. Door Norman wordt de neiging altijd declinatie genoemd, terwijl de magnetische afwijking 'variatie' genoemd wordt. Deze terminologie wordt door Gilbert eveneens overgenomen. Gilberts inklinometer is een directe kopie van het instrument van Norman, maar Norman blijkt de meer ervaren instrumentenmaker te zijn. Hij vervaardigt bijvoorbeeld de lagers van de as, waar de naald op rust, van glas. Gilbert besteedt geen aandacht aan dit excellente detail.

32. Geciteerd volgens Hellmann loc. cit. De opmerking is in de latere uitgaves weggelaten, waarschijnlijk omdat Robert Norman was overleden.

33. Hij werd geboren in 1536, bevoer de Witte Zee, werd in 1583 inspecteur van de Koninklijke vloot en commandeerde een Engels schip in de slag om de Armada van 1588. Sociaal gezien behoorde hij tot een hoger niveau van zeelieden dan Norman en hij genoot een hogere opleiding. In het voorwoord tot zijn *Discourse* beveelt hij de zeeman dringend de wiskunde aan en benadrukt dat hier voldoende Engelstalige boeken over zijn. Hij noemt een 'Vitruius' (sic), Albrecht Duerer en de scheepsbouwer Mathew Baker als uitstekende representanten van de 'mechanische wetenschappen', waartoe ook de navigatie behoort. Hij prijst de goede kaarten van Abraham Ortelius en bekritiseert de slechte [kaarten] van de Parijse professor Postillus. Ortelius (1527-98), de beroemdste cartograaf van zijn tijd, had een ambachtelijke achtergrond, maar werd geograaf bij Filip II van Spanje. Guillaume Postel (1505-81) is een geleerde polyhistor. De navigator Borough vormt, met zijn relaties met de hogere ambachten enerzijds, met de praktische astronomie, cartografie en een beetje wiskunde anderzijds, een goede illustratie van de voedingsbodem waaruit Gilberts werk voortkwam.

34. Hij verwijt hem (Voorw. Vol. III), om te gaan 'met versluierde dingen in duisternis en verborgenheid met behulp van halve woorden'. Hij noemt ze (I, 3 pag. 19) 'meedogenloze heersers over metalen, die ze met behulp van vele uitvindingen folteren en kwellen'. Ze 'spreken dwaasheid' (pag. 20) en hun leer, die beweert dat metaal veranderd kan worden in goud, is 'uitzichtloos' (pag. 24).

35. Het aanzienlijke deel, dat bij deze optelling tot de militaire technieken behoort, kan verrassend overkomen. We zijn reeds bij Gilberts uiteenzetting over de metallurgie gestuit op de kanonnenbouw (I, 7 pag. 23 e.v.), werden meerdere malen gewezen op de marine en de

vrijbuitelij en zouden zelfs nog vaker militaire ingenieurs tegenkomen, wanneer we de uitvindingen van Leonardo da Vinci, Tartaglia, Dürer en Galileo zouden bespreken. De militaire technologie heeft een grote bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van de experimentele mentaliteit in de natuurwetenschap. Haar invloed op Gilbert is echter in vergelijking klein.

36. Over het volgende: zie ook Leonard Olschki, *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur* (vol. 1: *Die Literatur der Technik und der angewandten wissenschaften vom Mittelalter bis zur Renaissance*, Heidelberg 1918; vol. 2: *Bildung und Wissenschaft im Zeitalter der Renaissance in Italien*, Leipzig-Rome-Florence-Genua (1922; vol. 3: *Galilei und seine Zeit*, Halle 1927). Deze bundels staan vol met waardevolle informatie over de wetenschappelijke literatuur en de literatuur van ambachtslieden uit die tijd en bevatten vele sociologische aspecten. Het derde deel bestaat uit bevindingen –tot op heden nauwelijks gebruikt- over de invloed van de technologie uit de tijd van Galilei (over de relaties van kunstenaars ten opzichte van het ambacht, mechanici, militaire ingenieurs en wiskundigen, zie ook I, 30-447; over de wiskunde en de mechanica III, 72-110; over Galilei III, 117-469). Over een later tijdperk vgl. Robert K. Merton: *Science and Technology in the 17th Century*, Osiris, Vol. 4 (1938), pag. 360-630. Over het vooroordeel tegen handmatig werk en de intellectuele implicaties daarvan vgl. Edgar Zilsel: *Die Entstehung des Geniebegriffes*, Tübingen 1926 (pag. 112-130, de humanistische schrijvers, 130-143, de uitvinders en ontdekkers, pag. 143-154, de kunstenaars en kunstenaar-ingenieurs, pag. 310-315, twee lagen van intellectuele activiteiten). Over het effect van het vooroordeel tegenover de ambachten en de astronomie, vgl. Edgar Zilsel, *Kopernikus und die Mechanik*, zie elders in deze bundel. Over het effect op de anatomie, vgl. Benjamin Farrington: *Vesalio and the Ruin of Ancient Medicine*, in: *Modern Quarterly*, Londen, vol. I (1938), pag. 23 e.v.

37. Galileo had al enkele jaren geëxperimenteerd, voor *De Magnete* verscheen. Hij leerde Gilberts boek tamelijk snel kennen. We zijn in bezit van een brief van Gilbert aan William Barlow, die meedeelt dat Gilbert de gezant uit Venetië ontmoette die hem een Latijnse brief van Jo[h]annes Franciscus Sagredus overhandigde. Gilbert vervolgt: 'Sagredo is een grote man op het gebied van magnetisme en hij schrijft dat hij gesproken heeft met ... de lezer van Padua en hij deelt mee dat mijn boek hem wonderbaarlijk goed bevalen is' (Barlow, *Magneticall Advertisement*, Londen 1616). De brief moet geschreven zijn tussen 1600 en 1603. Sagredo was een vriend van Galilei en figureert later als een van de gespreksgenoten in een discours binnen Galileo's grote dialoog. Zonder twijfel is Galilei, die toentertijd wiskundecollege gaf aan de Universiteit van Padua, de 'lezer van Padua'. Dertig jaar later roemt Galileo Gilbert vanwege zijn nieuwe en waarachtige observaties en om zijn gewoonte om alle beweringen van autoriteiten te toetsen met eigen experimenten. Het enige wat hij bij hem vindt ontbreken, is een beetje meer wiskundige kennis (*Discorsi, Opere*, Edizione nazionale, VII, 432).

38. Over het volgende, zie ook de geschriften over Petrus Peregrinus, geciteerd in opm. 14.

39. Roger Baco, *Opus tertium*, Hfst. 12, pag. 46 (ed. Brewer).

40. Ludwig Beck: *Geschichte des Eisens*, Braunschweig 1893-95, Vol. II, pag. 892 en 896.

Het ontstaan van het begrip wetenschappelijke vooruitgang

1. 'The idea of Progress' (Londen, 1924). Zie ook Jules Delvaille; Histoire de l'idée de progrès (Parijs, 1910).
2. De Septuaginta is het enige literaire product uit de klassieke oudheid dat door verschillende auteurs in samenwerking tot stand is gekomen. – Otto E. Neugebauer verklaart het niet-voorkomen van 'systematisch georganiseerde samenwerking' door het gebrek aan wetenschappers (Exacte Wissenschaft in der Antike' in: Studies in Civilization, Philadelphia, 1941, 25).
3. Almagest. I,1 (pag. 4, Heidelberg) is een uitzondering in de nog voorhanden zijnde literatuur (πρᾶξις... προσθηκὴν οὐκ εἰσενέγκειν).
4. Seneca, Nat. Quaest. VII, 25 en 31, over de loop van kometen. Vgl. Bury, loc. cit. 13.
5. Belopoika, ed. Diels-Schramm, Abhandlungen der Kgl. Preuß. Akademie der Wissenschaften (1918), philosoph.-histor. Klasse, Nr. 16, pag. 9.
6. Vgl. bijv. H. Diels, Antike Technik (3e oplage, Leipzig 1924), 29-35, 40 e.v. Onlangs werd een uitstekend gedocumenteerde weergave van de klassieke technologie gepresenteerd door A. Rehm, 'Zur Rolle der Technik in der griech.-röm. Antike', Archiv für Kulturgeschichte, XXVIII (1938), 135 – 162. Rehms verklaring voor het niet-voorhanden zijn van machines (het grote aantal metoiken) is echter niet bevredigend.
7. Uitzonderingen: Thukydides II, 40, Socrates, de Cynici, Dio van Prusa en anderen.
8. Natuurlijk wisten de scholastici dat, 'wegens het gebrek aan kennis, degenen die voor het eerst de wetenschap hadden uitgevonden', de wetenschappen in de loop van de tijd zouden laten toenemen (augmentum factum est) en dat hetzelfde geldt voor de praktische dingen (in operabilibus). Zie ook Thomas, Summ. Theol. II, 2, qu. I, art. 7, obj. 2, en II, 1, qu. 97, art. 1.
9. Weergegeven in Beriah Botfield: Prefaces to the First Editions of the Greek and Roman Classics (Londen, 1861), pag. 656.
10. Voorbeelden: Filelfo: Epistolae familiares (Venetië, 1502), 12 r, 54 e.v.; Emile Legrande: Cent-dix lettres de Filelfo (Parijs 1892), 63; Georg Voigt: Die Wiederbelebung des classischen Altertums, 3e oplage (Berlijn (1891), 334, 446, 527; E. Zilsel: Die Entstehung des Geniebegriffes (Tübingen, 1926), 111-123.
11. De eerste van hen was Aldo Manuzio. Hij grondvestte rond 1500 de Neo-Academia in Venetië: het merendeel van de leden bestond uit assistenten van hem. De humanistische 'Academies' van Ficinus in Florence, van Pomponius Letus in Rome en van Pontanus in Napels, allen in de tweede helft van de 15e eeuw, hielden debatten en banketten, maar verrichtten geen echte onderzoek werkzaamheden. Michelle Maylender: Storia delle Accademie d'Italia (Bologna 1926), I, 125 e.v., IV, 249 e.v., 320 e.v. en 327 e.v.

12. Johann Neudörfer, *Nachrichten von Künstlern und Werkleuten* (Neurenberg, 1547); opnieuw uitgegeven door G. W. K. Lochner, *Quellenschriften zur Kunstgeschichte*, X (Wien, 1875) gaat in op twee analfabetische meesters onder de Neurenberger ambachtslieden van zijn tijd: de slotenmaker Hanns Bulmann (gest. 1549), constructeur van een astronomisch uurwerk, en de timmerman Georg Weber (gest. 1567), bouwer van een gecompliceerd houten uurwerk (pag. 65, 79). Zij waren echter duidelijk uitzonderingen (2 van de 111 meesters), en het feit dat ze analfabeet waren wordt genoemd als curiositeit.
13. Cenninis *Libro dell'arte*, uitgebracht door D. V. Thompson, Jr. (New Haven, 1933); borstels pag. 170, make up pag. 125, 'met eigen hand' I. – De *Schedula Theophili* (11e eeuw) is geschreven door een monnik, het schetsboek van Wilars de Honecourt (circa 1255) was louter geschreven voor Wilar's eigen werkplaats; in beide werken wordt niet gesproken over vooruitgang. Om verschillende redenen wordt de ontwikkeling niet genoemd in enkele vroeg-moderne verhandelingen over de gildes, Ghibertis *Commentarii* (1477), Leonardo's *Malbuch table* (1563), Biringuccio's *Pirotechnia* (1540), en Paissy's *Recepte Véritable* (1563) en *Discours admirable* (1580).
14. *Von der Fialen Gerechtigkeit*, ed. A. Reichensberger (Trier, 1845). Het aangevoerde citaat in het eerbetoon pag. 13.
15. Opnieuw uitgegeven met een inleiding in: *Anzeiger für Kunde der deutschen Vorzeit*, Nieuwe uitgave XXVIII (1881), 66-78. Het citaat pag. 73.
16. Ed. Moriz Thausing, *Quellenschriften zur Kunstgeschichte III*, Wenen, 1872, pag. 62.
17. *Ibid.*, 63 e.v. Dürers opvatting dat de schilderkunst uit de klassieke oudheid 'volmaakt' was, neemt hij over van het humanisme. Het spreekt vanzelf dat hij niet bekend was met de schilderkunst uit de klassieke oudheid.
18. *Ibid.* 61, nr. 1 en 7.
19. *Ibid.* 54.
20. 'Gründlicher Bericht des Büchsengießens', gedrukt in het *Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik*, VII (1916). De aangehaalde passage pag. 171 e.v., 174 b.
21. Vgl. Max Jähns: *Geschichte der Kriegswissenschaften* (München 1889), I, 382, 384, 408, 591, 608.
22. *Loc. cit.*, Voorwoord voor de lezer, tegen het einde. Over Bourne vgl. B. G. R. Taylor: *Tudor Geography*, Londen 1930, 153 e.v.. *Ibid.*, 155, een voorbeeld van een triangulatie, uitgevoerd door Bourne. De methode van de triangulatie is in 1533 uitgevonden door Gemma Frisius van Louvain.
23. *The New Attractive* (Londen, 1581). De citaten zijn afkomstig uit de tweede oplage (Londen, 1592), voorwoord voor de lezer tegen het einde en opdracht aan W. Borough, aan het begin. Over Norman en zijn boek, vgl. E. Ziesel: *Die Ursprünge der wissenschaftliche Methode William Gilberts*; zie elders in deze bundel.
24. Over zijn jeugd, *Quesiti et Invenzioni VI*, nr. 8 'tien penningen (scudi)' *ibid.*, III, nr. 10; 'functie-concept', *ibid.* I, nr. 1, vgl. E. Ziesel: *Die Entstehung des Begriffs des physikalischen*

Gesetzes; elders in deze bundel; de afgedragen mantel: Travagliata Invenzione, Venetië, 1551, sig. Fij. v.

25. Tweede oplage Venetië, 1554, Fol. 4r. In de opdracht van zijn Travagliata Invenzione (Venetië 1551) maakt hij de winst van Venetië tot doel van zijn publicatie. Zijn uitgever Troiano vermeldt in de opdracht van Tartaglia's versie van Euclides (Venetië 1565), dat hij het postume manuscript gepubliceerd heeft, 'om tot nut te zijn voor de wereld en de naam van deze auteur beroemd te maken' (Tartaglia's? Euclides'?). Dit is een aardig compromis tussen het taalgebruik van de humanisten en dat van de ambachtslieden.

26. Overleg van geschutgieters, Ques. et Inv. Nr. 22 e.v. door militaire ingenieurs (architecten), *ibid.*, II, nr. 9.

27. Hypomnemata Mathematica, I, 41 Œuvres Mathém. Ed. Girard. Leyden, 1634, II, 126. Over Stevin, vgl. Georges Sarton, *Isis*, 21 1934, 241-262.

28. Stevin schrijft (*loc. cit.*) dat zonder het gebruik van de moederspraak 'de kunsten en de wetenschappen niet in staat zijn de volmaaktheid van een ontwikkelde eeuw te bereiken'. Hij geloofde aan het bestaan van een voor-Griekse, 'ontwikkelde eeuw', waarin de wetenschap bloeide, omdat ze gefundeerd is op experimenten in plaats van het geloof in een autoriteit (*Hyp. Math.*, I, 11 F.; ed. Girard, II, 106 e.v.). Slechts spaarzame restanten van de gouden eeuw zijn –volgens Stevin– in de hermetische literatuur overgeleverd, maar ze kunnen opnieuw tot leven worden gewekt, 'omdat het menselijk vermogen om uitvindingen te maken in geen geval kleiner is geworden'. Stevin is ervan overtuigd, dat de wetenschap voortdurend vooruit kan komen en dit zelfs moet. Hij weet echter nog niets van een progressieve interpretatie van de geschiedenis en dateert de gouden eeuw van de wetenschap in het verleden. Natuurlijk vond Stevin de 'ontwikkelde eeuw' niet zelf uit: hij relateert het bestaan ervan aan zijn geleerde vriend, de jurist Hugo de Groot, en de humanist Joseph Justus Scaliger. Van deze moet hij ook de eigenaardige waardering hebben overgenomen voor Hermes Trismegistus. Zijn eigen wetenschappelijke analyses zijn strikt mechanistisch en volledig vrij van welke invloed van occulte wetenschap dan ook – in tegenstelling tot bijna alle ontwikkelde natuurfilosofen uit deze tijd.

29. *Hyp. Math.* I, 17, e.v. (ed. Girard II,) 111 e.v.).

30. Over de Parijse chirurg en zijn leven, zie ook Ambroise Paré: Œuvres, ed. J.F. Malgaigne (Parijs, 1840), inleiding; zijn belangstelling voor de opleiding van zijn collega's, *ibid.* I, pag. CCCIV, 11 e.v., en 16; over het gilde geheim, I, 12 en 14; over de vooruitgang, I, 8 e.v. over de astronomie, I, 15.

31. Een opsomming van auteurs in E. Zilsel: Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft. Zie elders in deze bundel.

32. Luca Pacioli's *Summa de Arithmetica* (Venetië, 1494), is vermoedelijk het eerste boek van een hoogopgeleide auteur, die in zijn inleiding het praktische nut benadrukt. De tekst gaat voor het grootste deel over problemen van de commerciële rekenkunde en bevat de eerste gedrukte beschrijving van de dubbele boekhouding. Luca was monnik en professor in de rekenkunde bij verschillende Italiaanse universiteiten, maar hij moet in nauw contact hebben gestaan met kunstenaar-ingenieurs en handelslieden. Een praktische toepassing wordt

uitdrukkelijk weergegeven in: *Recordes* opdracht in zijn tekstboek over algebra, *The Whetstone of Witte* (1557), naar voren gehaald in de voorwoorden van de Engelse verhandelingen over toegepaste geometrie en meetinstrumenten van Thomas Digges (*Tectonicon*, 1556; *Pantometria*, 1571); in de werken van Jacques Besson over meetinstrumenten en machines (*Le Cosmolable*, 1567; *Theatrum Instrumentorum et Machinarum*, 1569); in John Dee's voorwoord voor Billingsley's Engelse versie van Euclides (1570); in Thomas Hoods inaugurale rede bij zijn aantreden als wiskundedocent in de stad Londen (1588, opnieuw uitgegeven door Francis R. Johnson, *Journal of the History of Ideas*, III, 1942, 94 e.v.). Al deze auteurs hadden een academische opleiding genoten. De meesten van hen verbonden utilitaristische denkbeelden met humanistische, Pacioli en *Recordes* zelfs met scholastische denkbeelden.

33. *Quadrans Astronomicus* (Ingolstadt, 1532), opdracht. *Instrument Buch* (ibid. 1533), opdracht en deel 5. – De polemieek van Apian tegen de overwaardering van de oudheid is duidelijk geïnspireerd door Pico della Mirandola. Het hoofdstuk over de natuur, die nog verbruikt is, is een bijna letterlijk overgenomen toespeling op Plinius de Jongere, ep. VI, 2. Dit hoofdstuk werd vaak geciteerd door Giovanni Pico della Mirandola, zijn neef Giovanni Francesco en andere voorlopers van de querelle des anciens et modernes, die zich in de eeuw daarop ontwikkelde. Vgl. E. Zilsel, *Entstehung des Geniebegriffs*, 215, 302, 305. Over het leven van Apian, vgl. *Allgemeine Deutsche Biographie*, en 'Die Apianus Druckerei in Ingolstadt', in publicaties van de Gutenbergvereniging, Mainz, XXI (1930), 59-82.

34. Vgl. *Biogr. Nat. Belg.*

35. Mercators opmerking in de inleiding bij de kaarten van Frankrijk (4e uitgave van de *Atlas* [Antwerpen, 1630], 121). Hond's opmerking in het voorwoord, ibid. De uitgever van kleinere publicaties, Petrus Montanus, benadrukte ook het algemeen nut (*Atlas Minor* [Antwerpen, 1607], Voorwoord). Over Mercators leven, vgl. *Biogr. Nat. Belg.*

36. In Campanella's utopische geschrift, *Civitas Solis* (geschreven in het jaar 1602, gepubliceerd in het jaar 1623), is sprake van publieke musea, maar niet van onderzoeksinstituten. Wetenschappelijke vooruitgang en samenwerking worden niet genoemd. Ze worden ook niet genoemd in Campanella's interessante weergave van zijn wetenschappelijke voornemens, *De libris propriis et recta tatione studendi syntagma* (geschreven in het jaar 1632, gepubliceerd in het jaar 1642; ed. Spampanato, Florence, 1927), waar ze besproken hadden moeten worden, wanneer Campanella deze ideeën gekend zou hebben. In Johann Valentin Andreae's utopische tekst *Christianopolis* (Straatsburg, 1619, tr. F. E. Held, New York, 1916) is sprake van een bibliotheek, een anatomisch theater, een scheikundig en een natuurkundig laboratorium en een observatorium. Andreae is echter niet geïnteresseerd in onderzoek, maar in opvoeding en benoemt de wetenschappelijke vooruitgang niet. Hij was een Duitse protestantse geestelijke, een vriend van Comenius en lid van de Rozenkruisersbeweging.

37. *Œuvres* (Adam-Tannery), VI, 63.

38. Over de eerste wetenschappelijke verenigingen en tijdschriften, vgl. in eerste instantie Martha Ornstein: *The Rôle of Scientific Societies in the Seventeenth Century*, 3rd ed. (Chicago, 1938). Latere aanvullingen in: Harcourt Brown: *Scientific Organizations in the 17th Century*

France (Baltimore, 1934) en 'Martin Fogel et l'idea Accademica Lincea', Reale Acca. Naz. Dei Lincei, Scienze Morali, Rendiconti, VI/11 (1935), 814 e.v.; Guiseppe Gabrielli: 'Il Carteggio Linceo', ibid., Mem., VI/1 (1925), 137 e.v. en VI/7 (1938/39), 1 e.v. en 'Le Schede Fogeliane', ibid., Rendiconti, VI/15 (1939) 141 e.v.; Frances R. Johnson: 'Gresham College, Precursor of the Royal Society', Journal of the History of Ideas, I (1940), 413 e.v. Michele Maylender: Storia delle Accademie d'Italia, 5 vols. (Bologna, 1926); Robert Merton; Science and Technology in the 17th Century, Osiris, IV (1938), 360 e.v. (over de Royal Society). Van de voorlopers van de moderne wetenschappelijke verenigingen en de eerste gezamenlijke boeken van diverse auteurs, zal ergens anders een sociologische analyse gepubliceerd worden.

Copernicus en de Mechanica

1. Zie ook: Angus Armtiage: Copernicus. The Founder of Modern Astronomy, Londen 1938, pag. 90 en 161 e.v.
2. Alle citaten uit De Revolutionibus zijn afkomstig uit de Thorn Editie, 1873 (Ed. M. Curtze).
3. Het idee dat onbeweeglijkheid edeler is als beweging, is Platonisch en Pythagoreeans (vgl. de bekende Pythagoreaanse waardentabellen; Diels Fragmente der Vorsokratiker 45 B 5). Uiteindelijk valt dit terug te voeren op de eleatische school (Xenophanes, Diels Fragmente der Vorsokratiker 11 B 26).
4. Hier moet opgemerkt worden, dat ook de medische voorschriften van Copernicus –hij was een tijdlang als arts in dienst bij zijn oom, de bisschop van Ermland- een volledig middeleeuwse geest uitademen. Voor voorbeelden, vergelijk M. Curtze, Inedita Copernicana, Leipzig 1878 (Mittheilungen des Copernicus-Vereins, I. Heft), pag. 56 e.v. Copernicus gelooft bijv. dat het zaad van de waterkers 'ongezonde vochtigheid' veroorzaakt, omdat waterkers op vochtige plaatsen groeit. Loc. cit. pag. 64, 15.
- 4a. Aristoteles, De coelo, I, 23; Ptolemeus, Amalgest III, 3.
5. Almagest I, 7.
6. Copernicus gebruikte hetzelfde argument eerder in zijn Commentariolus: M. Curtze, op. Cit., pag. 6, Quarta petitio. Vertaling van Edward Rosen, Three Copernican Treatises, 1939, pag. 58 Assumption 4.
7. Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, 1632, Opere, Edizione nazionale VII, 221, 7 e.v.
8. Zie ook Dialogo, Ed. naz. , VII, 434, 17 e.v.; Discorsi, Ed. naz. VIII, I 16.
9. De dialoog verscheen in 1632, Kepler publiceerde zijn wetten in 1609 en 1619.

Problemen van het empirisme

1. De empirische prestaties van Bacon en Albertus worden vaak overgewaardeerd (zie ook L. Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, New York, 1923, Vol. II).
2. Over de geschriften van tijdgenoten over uitvinders en ontdekkers zie Edgar Zilsel, *Die Entstehung des Geniebegriffs* (Tübingen, 1926 pag. 130-143).
3. Over de kunstenaar-ingenieurs en hun werken, vgl. Leonard Olschki, *Geschichte der neusprachlichen Literatur*, I (Heidelberg 1917) pag. 45 tot 447, en Zilsel, op. cit. pag. 144-157.
4. Over Galileo, vgl. Olschki, op. cit. III (Halle, 1927) pag. 117-467.
5. Galileo, *Opere* (ed. nazionale), XIX, pag. 32 e.v.
6. Voor de oprichting van de Accademia del disegno kregen jonge kunstenaars hun opleiding altijd in een werkplaats, zoals alle leerlingen. De nieuwe school laat duidelijk zien, hoe het ingenieurswezen geleidelijk binnendrong bij de academische opleidingen en alles wat daar mee samenhang.
7. Galileo, op. cit. XIX, 130 e.v.
8. Vgl. E. Zilsel, *Die Ursprünge der wissenschaftlichen Methode* William Gilberts. Zie elders in deze bundel.
9. Inderdaad is de metafoor niet ouder dan dat. In de scholastiek had de uitdrukking 'natuurwet' een volslagen andere en louter juridische en ethische betekenis. In de middeleeuwen kon het moderne begrip van de natuurwet niet tot ontwikkeling komen, omdat de feodale staat niet door positief recht, maar geregeerd werd door ongeschreven en los traditioneel recht. Voor zover de vorsten van de middeleeuwen zich überhaupt uitlieten over richtlijnen, waren het voor het grootste deel privileges, die verleend werden aan enkele adellijken, kloosters of steden. Ze zijn als gevolg daarvan eerder uitzonderingen dan dat ze vergelijkbaar zijn met de regelmatigheden van de natuur. Ook bij de schrijvers uit de oudheid komt de metafoor van de natuurwet slechts zeer zelden voor en dan nog in een zeer vage vorm. De klassieke oudheid was echter vertrouwd met het mythologische idee van 'het noodlot'.
10. Vgl. Philipp Frank, *Interpretation and misinterpretations of Modern Physics*.

Natuurkunde en het probleem van de historisch-sociologische wetten

1. Bijv. Kohlschütter-Adams: Intensität gewisser Spektallinien und Helligkeit des Sterns; Adams-Joy: Präzision der Spektrallinien und Helligkeit; Lindblad: Intensität des kontinuierlichen Spektrums und Helligkeit.
2. De problemen van de moderne kwantummechanica zijn niet van invloed op ons probleem. Historische wetten zijn macro-wetten. Heisenbergs onzekerheidsbeginsel zet vraagtekens bij het bestaan van natuurkundige micro-wetten; de geldigheid van macro-wetten staat geheel los van de kwantummechanica. Datzelfde geldt voor het zo vaak

besproken probleem van het determinisme. Zelfs individuen met 'vrije' willen zijn in staat om statistische macro-wetten te volgen.

3. Het beweert, dat de 'verspreiding' in zulke kleine groepen bijna 'normaal' is. Zie ook v. Bortkiewicz: *Das Gesetz der kleinen Zahlen*, Leipzig 1898.

4. In de natuurkunde worden vaak de uitdrukkingen 'dynamisch' en 'statisch' gebruikt. Deze terminologie wordt hier vermeden, omdat het te nauw is en omdat in de filosofie en de sociale wetenschappen het woord 'dynamisch' vaak een gebrek aan wetenschappelijke analyse verhult. De magische en animistische connotaties van deze terminologie, die de natuurkunde reeds 300 jaar geleden van zich af geworpen heeft, zijn uit de sociale wetenschappen nog niet geheel verdwenen.

5. Na het verzamelen van het historische materiaal heeft de auteur van dit artikel ongeveer 20 andere hypothetische wetten geformuleerd aan het einde van zijn boek '*Die Entstehung des Geniebegriffs!* Ein Beitrag zur Ideengeschichte der Antike und des Frühkapitalismus', Tübingen 1926, pag. 324-326. Met de noodzakelijke wetenschappelijke precisie is een historische wet eerst door Frederick J. Teggart opgesteld: *Rome and China. A Study of Correlations in Historical Events*, Berkeley 1939. Professor Teggart verifieert statistisch een correlatie tussen politieke conflicten in West-China en conflicten in de Aziatische grensgebieden van het Romeinse Rijk en anderzijds een [correlatie] tussen de invasies door de barbaren in het Donau- en het Rijngebied. Teggarts wet behoort echter tot een meer specifieke soort dan de hierboven beschreven 'wetten'. Hij geldt, hoewel toepasbaar op diverse gebieden, alleen voor de late oudheid. Het moge duidelijk zijn dat dit niets afdoet aan de wetenschappelijke waarde. De mechanica van vaste lichamen is ook slechts in een bepaald tijdperk geldig. 1010 jaar geleden bestonden er nog geen vaste lichamen. In de empirische wetenschappen gelden alle wetten slechts zolang, als de voorwerpen en systemen, waarop ze van toepassing zijn, bestaan.

6. Vgl. F. J. Teggart, loc. cit., pag. 245.

7. Dit komt voort uit het feit, dat op het gebied van emotionele en intellectuele processen de voorbeelden goedkeuring-afkeuring en beaming-ontkenning overheersen.

8. De correspondentie van een macroparameter ten opzichte van een klasse van volledig verschillende microparameters is een voorbeeld van een relatie, die met een tamelijk vaag begrip emergentie genoemd wordt.