

# Geschiedenis van de natuurwetenschap I:

## Wetenschap en ambacht

### Inleiding

#### 1: Het begin

- 1.1: Praktische kennis
- 1.2: De wereld is vol goden
- 1.3: Wetenschap los van de praktijk
- 1.4: Het probleem van de verandering
- 1.5: Atomen en elementen

#### 2: Wiskunde voor de natuurwetenschap

- 2.1: De Pythagoreers
- 2.2: Plato
- 2.3: Archimedes
- 2.4: Onderwijsinstellingen
- 2.5: Ptolemaïus

#### 3: De filosoof

- 3.1: Vorm en materie
- 3.2: Potentie en actualisering
- 3.3: Vier soorten verandering
- 3.4: (Tegen)Natuurlijke veranderingen
- 3.5: De vier elementen van de kosmos
- 3.6: Theorie en waarneming
- 3.7: Experiment

#### 4: Licht uit het oosten

- 4.1: De Arabische cultuur
- 4.2: Antieke filosofie van het zien
- 4.3: Hunayn en Al-Kindi
- 4.4: Alhazen
- 4.5: Grosseteste, Bacon en Witelo
- 4.6: Kepler en terug naar Bacon
- 4.7: Het verblindende licht
- 4.8: Natuurkunde en ambacht
- 4.9: De scheiding tussen fysica en fysiologie

#### 5: Triomf van het ambacht

- 5.1: Kathedralen
- 5.2: Landbouw
- 5.3: Machines
- 5.4: Uurwerken

5.5: Magnetisme

5.6: Peregrinus

5.7: Epistola de Magnete

5.8: De emancipatie van het handwerk

#### 6: De hiërarchie van het zijn

- 6.1: De kosmos
- 6.2: De andere rijken
- 6.3: Het dierenrijk
- 6.4: Het plantenrijk
- 6.5: De Renaissance
- 6.6: De Reformatie

#### 7: De ezel van Buridanus

- 7.1: Natuurlijke beweging
- 7.2: Gedwongen beweging
- 7.3: De impetustheorie
- 7.4: Eenparige en versnelde beweging
- 7.5: Meten en rekenen
- 7.6: Het onderwijs in de Middeleeuwen
- 7.7: Het conflict om Aristoteles
- 7.8: Realisten, idealisten en nominalisten

#### 8: Ora et labora

- 8.1: Alexandrie
- 8.2: De Griekse bijdrage
- 8.3: De Babylonische bijdrage
- 8.4: Het goudmaken
- 8.5: Het heilige weten
- 8.6: Via Arabie naar Europa
- 8.7: Hekserij
- 8.8: De 16<sup>e</sup> en 17<sup>e</sup> eeuw

#### 9: Het jaar 1543

- 9.1: De autoriteit
- 9.2: De hiërarchie
- 9.3: De taal
- 9.4: Van kwaliteit naar kwantiteit
- 9.5: Van rationalisme naar empirisme
- 9.6: Waarneming en experiment
- 9.7: Slot

## Inleiding

Deze samenvatting van een tekst van D. Stafleu, gaat over de relatie tussen wetenschap en ambacht. De verdeling heeft de ontwikkeling van de wetenschap meer kwaad dan goed gedaan. Aan de opkomst van de wetenschap moest de emancipatie van het ambacht voorafgaan. We spreken van ambacht, niet van techniek, techniek als zelfstandig aspect bestond niet voor de Renaissance, wetenschap bestond wel zelfstandig. De nadruk ligt niet op feiten, maar op ideeën, achtergronden en relaties met de algemene geschiedenis.

## Hoofdstuk 1: Het Begin

Als natuurwetenschap kennis van de natuur is, dan is ze zeer oud. Als ze als doel heeft wetmatige kennis van de natuur dan bestaat zo sinds rond 500 v.C. Als de experimentele methode bepalend is, dan bestaat ze sinds de 16<sup>e</sup>/17<sup>e</sup> eeuw.

1.1. Praktische kennis De oude culturen hadden al veel praktische kennis: voedsel bereiden; potten bakken; metaal en bewerken. Rond 10.000 v.C. ontstond naast jacht en verzamelen veehouwen en landbouwen. Rond 4.500 v.C. ontstond er in de culturen langs de Nijl, Eufraat, Indus en Gele Rivier taakverdeling en specialisatie: naast landbouwers ontstonden er handelaars, smeden en andere ambachtlieden. Daarnaast ook ontstond er behoefte aan organisatie, rechtspraak, milities, bestuur. Rekenkunde was nodig voor belastingheffing, distributie van staatsmiddelen. Meetkunde was nodig voor bouwwerken (o.a. irrigatiesystemen) en kadastrale taken. Deze bestuurstaken vereisten ook geschreven taal. In de landbouw, nijverheid en handel kwam met tot kennis over: maten en gewichten; metalen en keramiek; planten en dieren; andere landen. Geneeskunde was een mengsel van ervaringskennis en magie. Al deze culturen kwamen tot het opstellen van kalenders en het meten van tijd. Vooral in Babylonie was men bedreven in astronomische waarnemingen. Verder maakte men zonnewijzers en waterklokken.

1.2: De wereld is vol goden Alle handelingen werden in gebracht met magie en/of goden. In de grote culturen werd de natuurreligie omgebogen naar een cultuurreligie, die de staat moest versterken. Priesters waren vaak tevens sterrenkundigen (astrologen). De religie stond de ontwikkeling tot vrij onderzoek naar natuurwetten in de weg. In Israel werd dit ondergraven door het idee dat er maar een god was, die alles geschapen heeft, maar boven de schepping uitgaat, die alles bestuurd, maar die ook verantwoordelijkheid voor het geschapene bij de mens legt, en de na-

tuur vaste wetten heeft opgelegd. Deze joods-christelijke ontmythologisering van de natuur is vooral vanaf de Middeleeuwen zeer van belang geweest. Ongeveer tegelijkertijd ontwikkelden in de Griekse koloniën zich handelaren, die kennis op deden over vele culturen. Zij voerden na het opdoen kennis van vele de concrete natuurgoden abstracte begrippen in die al die goden met elkaar in verband brachten, zoals vruchtbaarheid. Maar ook: warmte, koude, zwaarte, materie, het schone, recht, haat, liefde, macht. Op basis van deze abstracte begrippen zochten ze naar generalisaties en wetmatigheden – wat ook leidde tot ontmythologisering.

1.3: Wetenschap los van de praktijk De Grieken koppelden de wetenschap los van de praktijk. Het ging hen niet om hoe of wat, maar vooral om waarom. Zo was de 3-4-5 hoek al lang bekend. Maar de Pythagoras en zijn volgelingen gingen verder, en leiden een wet of voor lengte van de drie zijden voor alle rechthoekige driehoeken:  $a^2 + b^2 = c^2$ .

1.4: Het probleem van de verandering De Grieken zochten naar oorzaken en naar de eenheid van alles. Dat bracht ze op het probleem van de verandering. Parmenides pakt het probleem aan: abstract, logisch, rationalistisch, (on)denkbaarheid. Hij, en ook Zeno, komt tot de conclusie dat verandering onmogelijk is. De atomisten, Plato, Aristoteles e.v.a. trachten in deze kwestie te antwoorden op Parmenides/Zeno.

1.5: Atomen en elementen Een mogelijk antwoord op Parmenides is stellen dat wat verandert onbelangrijk is t.o.v. wat onveranderlijk is. Dit is het antwoord van de atomisten Leukippos en Democritos. Zij stelden dat de materie bestaat uit onveranderbare, ondeelbare, onvernietigbare atomen bestaan. Alle veranderingen zijn slechts bewegingen van deze atomen. De waarneembare eigenschappen van stoffen brachten zijn terug niet tot die stoffen zelf, maar op hun effecten op onze zintuigen. Die stoffen kenden zij slechts de meetkundige eigenschappen: vorm, grootte, rangschikking en beweging toe. Alle atomen, volgens hen een oneindig aantal verschillende, bestaan toch alle slechts uit dezelfde oermaterie. Andere filosofen hadden al eerder die oermaterie bedacht. Thales dacht dat alles uit water bestaat. Empedokles kwam tot vier elementen: aarde, water, lucht, vuur. Aristoteles bracht deze vier in verband met heet, koud, nat en droog. Later werden nog toegevoegd: bloed, slijm, witte gal, zwarte gal. In de geneeskunde was het doel deze in evenwicht te houden. Later werden nog de psychologische stemmingen toegevoegd: chole-

risch, melancholisch, sanguistisch, flegmatisch. Het was een zeer krachtige en veel omvattende theorie, maar het ontbrak aan kritisch-experimenteel onderzoek.

## Hoofdstuk 2: Wiskunde voor de natuurwetenschap

Een belangrijke stroming zocht de oplossing voor het rationeel verklaren van de natuur in de wiskunde. Deze wiskunde kan zelf rationeel opgebouwd worden. Als men de natuur afbeeldt in de wiskunde krijgt de natuur een rationele basis. De wiskunde zelf is onveranderlijk, de basis voor het onderzoek aan het onveranderlijke in de natuur. De wiskunde kan relaties blootleggen en noodzakelijke verklaringsprincipes aangeven.

2.1: De Pythagoreers Pythagoras en zijn school wilden alles in de natuur uitdrukkingen in de verhoudingen tussen gehele getallen, in verhoudingsgetallen of ratio's. Zo ontdekte men de octaaf in de muziek, twee tonen op een snaar/blaas-instrument klinken alleen consonant als de snaar/buislengtes door eenvoudige verhoudingsgetallen weer te geven zijn (zoals 1:2, 2:3, 3:4, etc.). Dit bracht men over op de hemel. De stralen van de banen van de planeten (inclusief de aarde) om een centraal vuur moesten ook tot eenvoudige ratio's terug te brengen zijn (de harmonie der sferen). De Pythagoreers ontdekten dat de diagonaal van een vierkant met zijden van lengte 1 geen ratio van gehele getallen kan zijn. Dit betekende het einde van de Griekse pogingen om de relaties in de natuur tot getalsverhoudingen terug te brengen. Ze gingen de weg op van de meetkunde, alleen passer en liniaal constructies werden toegelaten -> Euclides "Elementen".

2.2: Plato Plato had eveneens een grote achting voor de wiskunde. Hij en zijn volgelingen deden onderzoek naar lichamen in relaties met gehele getallen. Ook werd er ontdekt dat er precies vijf regelmatige lichamen bestaan (4-, 6-, 8-, 12- en 20-vlak), die weer in gebracht werden met de vier elementen van Empedokles plus aether (het hemelse element). Plato ging er ook vanuit de verandering niet mogelijk is, en dat waarnemingen ons bedriegen. Volgens Plato hebben waarneming geen betrekking op de echte werkelijkheid (de ideeën), maar op een onvolmaakte schijnwerkelijkheid (de materie). De echte werkelijkheid bestaat uit abstractheden, ideeën, zoals: het schoone, het goede, het ware, het recht, de staat, etc. In het gewone leven zien we daar slechts onvolmaakte afspiegelingen van. Modellen in de huidige natuurkunde spelen nog steeds een grote rol: b.v. het ideale gas. Plato remde meer de weten-

schap af dan hij deze bevorderde. Remmend was zijn mening dat hemellichamen zich cirkelvormig bewegen. Plato ging ook uit van het idee van de zielelaap, alle ideeën zijn bij alle mensen aangeboren, maar veelal slapend, het doel is deze wakker te maken en tot kennis te komen die men al had.

2.3: Archimedes Opvallend aan Archimedes is dat hij zaken eerst experimenteel ontdekt, en daarna wiskundig bewijst dan het niet anders kon. Daarnaast construeerde hij ook werktuigen en machines.

2.4: Onderwijsinstellingen De belangrijkste scholen, alleen voor rijken, waren in Athene. Zo waren er een muziekschool en een gymnasium (lichamelijke oefening). Plato stichtte er de Academie, die bestond van 387 v.C. tot 529 n.C. Aristoteles stichtte er, na eerst nog de privé leraar te zijn geweest van Alexander de Grote, er in 347 v.C. het Lyceum, ook wel peripathise school genoemd. Aristoteles en Plato beheersten de filosofie en de wetenschap tot aan de 17<sup>e</sup> eeuw., Aristoteles' werk bestreek vrijwel de gehele toenmalige wetenschap. Hij schreef zowel exotherische boeken voor de buitenwacht, als esotherische boeken voor het onderwijs aan het Lyceum. Van de eerste groep had een dialectische vorm, maar zijn verloren gegaan. De tweede groep is bewaard gebleven en daarin tracht Aristoteles zijn stellingen wetenschappelijk te bewijzen. In de Middeleeuwen was in Europa alleen zijn werk over Logica in het latijn vertaald. Pas na 1100 werden zijn andere werken ook vertaald in het latijn. In Alexandrie werd in de tijd van Alexander de Grote het Museum gesticht, dat trachtte van elk geschriften het origineel of een kopie te verkrijgen. Er werkten o.a. de geograaf Eratosthenes, de astronoom Ptolemaios en de wiskunde Euclides. In de 1<sup>e</sup> eeuw v.C. bereikte het Museum zijn hoogtepunt. De neergang zette in toen de Romeinen Egypte veroverden. De Romeinen stichtten geen belangrijke scholen, het onderwijs (aan huis aan rijken) werd gegeven door Grieken en in het Grieks.

2.5: Ptolemaios De Heleense cultuur had zijn centrum in Alexandrie. Een hoogtepunt was het werk van de astronoom Ptolemaios "Almagest". Het is een samenvatting van de Griekse astronomie, en beschrijft de banen van de hemellichamen als cirkels. Het vreemde baangedrag van de planeten, en het optreden van seizoenen, werd verklaard met de stelling dat de zon en planeten niet in cirkels om de aarde draaien, maar om een denkbeeldig andere punten. Daarnaast werden hulpcircels gebruikt om de schijnbaar terugke-

rende beweging van de planeten te verklaren. Dit systeem was anders dan het vermelde van Aristoteles, waar alle hemellichamen om een kosmisch vuur draaien. Voor beschrijving van de baan van de maan moest nog een extra vereffeningspunt worden gepostuleerd. Aan de extra cirkels, centrale punten en vereffeningspunten werd geen realiteit toegekend, het ware louter hulpmiddelen nodig voor het voorspellen van de posties van de hemellichamen.

### **Hoofdstuk 3: De filosoof**

Nog meer dan Plato, en vooral na 1200, werd Aristoteles voor de Middeleeuwen DE filosoof. De moderne wetenschap, die onstond in de 16/17<sup>e</sup> eeuw, moest zich steeds tegen zijn opvattingen afzetten. Aristoteles, i.t.t. Plato, hechte groot belang aan waarnemingen. Zijn opvatting over de leer van veranderingen was het onderscheid maken tussen het onveranderlijke – universele en het veranderlijke – individuele.

3.1 Vorm en materie Wat volgens Aristoteles onveranderlijk is zijn twee principes “vormen” en “materie”. Individuen zijn dan een veranderlijke combinaties van onveranderlijke vorm en materie. Zo was een geslaagd beeldhouwwerk noch de expressie van individuele gevoelens van de kunstenaar, noch het veranderen van materie of vorm, daar vorm en materie deel van het onveranderlijke zijn en dus reeds bestonden, het kunstwerk is daar slechts een afbeelding van.

3.2: Potentie en actualisering Er moet echter ook nog “potentie” zijn als men het over verandering heeft. Marmer heeft de potentie een beeld te worden, water niet. Een kippe-ei heeft de potentie om een kip te worden, maar geen paard. Als vierde verklaringprincipe is er de “actualisering”. Het ei moet bebroed worden, het marmer bewerkt, om wat in potentie is te actualiseren. Voor het verklaren van veranderingen heeft men al deze vier oorzaken nodig.

3.3: Vier soorten verandering Aristoteles onderscheidde vier soorten verandering, in afnemende belangrijkheid zijn dat de verandering van: aard (mutatie); kwaliteit; kwantiteit; plaats.

3.4: Natuurlijke en tegennatuurlijke veranderingen Vaak spreken Aristoteles c.s. over doelloozen en werkende oorzaken, en maakte daarin geen onderscheid tussen de mens en de natuur. Pas in Renaissance plaatste men de mens tegenover de natuur, en kwam de gewoonte op om alleen over de mens en doelen te spreken. Voor de Grieken had het woord natuur een andere betekenis: de eigen aard, wezen, vorm van de dingen. Aristoteles kent dan ook natuurlijke (onge-

dwongen) en onnatuurlijke (gedwongen) veranderingen, de eerste heeft geen uitwendige oorzaak (motor) nodig, de inwendige oorzaak verklaart de verandering. Uitwendige oorzaken verklaren onnatuurlijke verandering (zoals een boom die tot planken wordt) en belemmering van natuurlijke veranderingen (zoals het belemmeren van de groei van een boom door deze licht en water te onthouden).

3.5: De vier elementen en de kosmos Aristoteles verbond de 4-elementen met tegengestelde eigenschappen: warm-koud en droog-nat. De elementen zouden ontstaan zijn uit de ongevormde materie waaraan de eigenschappen warm of koud en droog of nat waren toegevoegd. Materie die we dagelijks tegenkomen is weer een mengsel van de elementen. Voor verandering is dan een tegenstelling nodig: warm naar koud; vochtig naar droog; van boven naar beneden. Sommige van die tegenstellingen waren zintuigelijk waarneembaar, zoals zwaar-licht, hard-zacht, sommige waren occult, zoals magnetisme, het doel was die te herleiden tot niet-occulte tegenstellingen. Volgens Aristoteles is de kosmos bolvormig en heeft een centrum. Er zijn 3 soorten natuurlijke bewegingen: van het centrum af, naar het centrum toe, om het centrum heen. De eerste twee zijn tegengesteld, dus onvolmaakt, de derde is volmaakt. Van de 4 elementen is aarde de zwaarste, en de aarde bevindt zich daarom in het centrum van het heelal. De cirkelbeweging is volmaakt, daarom zijn de hemellichamen bolvorming en bewegen ze in cirkels. Ze bestaan uit het een vijfde volmaakt element: aether. Aristoteles construeerde een stelsel met 55 bollen, die t.o.v. elkaar bewegen, om zo de beweging van de zon, maan en planeten om het centrum de aarde te (globaal) verklaren. I.t.t. het stelsel van Ptolemaios, was het stelsel van Aristoteles bedoeld om aan te geven hoe de kosmos fysisch in elkaar zit, niet om gedetailleerd de beweging van hemellichamen te beschrijven.

3.6: Theorie en waarneming Net als alle Griekse filosofen was Aristoteles vooral een theoreticus, schouwen werd als de hoogste menselijke activiteit gezien, waardoor men zich boven het onvolmaakte en veranderlijke verheft. Plato was t een idealist, die zich van waarnemen afwende, Aristoteles een realist: men kan zich door waarnemen en door denken kennis verwerven, omdat in alles zowel vorm als materie aanwezig is. Helaas was dit laatste niet bekend in de Middeleeuwen, waardoor de opvatting ontstond dat voor Aristoteles waarnemen niet belangrijk was.

3.7: Experiment Aristoteles moest niet hebben van experimenten, omdat hij deze als gedwongen en dus tegennatuurlijk zag. Experimenten hoorden thuis bij de lagere activiteit van de werktuigbouwers. De bovenlaag van de Griekse samenleving keek neer op slaven, handwerkslieden en hun handwerk. Filosofen deden alleen aan met denken en discussie, en keken ze neer op degenen die geld vroegen voor het verstrekken van kennis en redeneervermogen voor praktische doelen. De aristocratische houding remde de wetenschap af. Experimenten vonden slechts plaats in de ambachtelijke sfeer. Een uitzondering was Archimedes, maar zijn experimentele opvattingen oefenden geen invloed uit in de Oudheid en Middeleeuwen, werden pas in de 20<sup>e</sup> eeuw herontdekt.

#### **Hoofdstuk 4: Licht uit het Oosten**

De periode 400-1200 n.C. was een tijd zonder veel belangstelling voor de wetenschappelijke werken uit de Grieks-Helleense cultuur. Grieks werd niet meer beheerst. Enige werken, vooral van Plato, waren vertaald. Pas na 1200 kwam er contact met de Arabische cultuur, waardoor het culturele peil in West Europa steeg.

4.1: De Arabische cultuur De Islam rukte snel uit vanuit het Midden Oosten in de periode 632-732 n.C. Daarna volgde consolidatie en culturele bloei 800-1400 n.C. De Arabische geleerden vertaalden vele Griekse werken, veelal via het Syrisch en het Perzisch. Daarnaast werden er vele commentaren op die werken geschreven, o.a. door Averroes. Via Spanje en Italië kwam er vanaf 1150 n.C. contact van Europa met de Arabische cultuur. Vele vertalingen vanuit het Arabisch naar het Latijn volgde, veelal via Catalaans of Hebreeuws. Met name de Dominicaanse en Franciscaanse geleerden ondergingen de invloed van de Grieks-Helleense wetenschap en de Arabische commentaren. Sommigen kwamen in conflict met de kerk, anderen, zoals Albertus Magnus en Thomas van Aquino, harmoniseerden de nieuwe kennis met de leer van de kerk.

4.2: Antieke theorieën van het zien In de Grieks-Helleense boeken komen 5 theorieën over het zien voor. Een was de extramissie theorie (Euclides, Ptolemaios) die stelt dat het oog licht uitzendt. Twee was de intromissie theorie, die stelt dat het voorwerp licht uitzendt naar het oog. Drie is de extramissie-intromissie theorie (Plato) een mengvorm. Vier is de mediumtheorie (Aristoteles), die stelt dat voorwerpen de omgeving veranderen, waaruit een lichtervaring kan voortkomen. Vijf

(Galenos) is de theorie die over de bouw en werking van het oog gaat.

4.3: Hunayn en Al-Kindi Hunayn ben Ishaq bouwde voort op Galenos over de bouw en werking van het oog. Al-Kindi verdedigde de extramissie theorie tegen de concurrerende intromissie theorie.

4.4: Alhazen Alhazen verdedigde de intromissie theorie, maar nam ook delen uit de mediumtheorie en extramissie theorie over, en van de bouw en werking van het oog, dus hij synthetiseerde alle bekende opvatting over het zien. Alhazen was de eerste die stelde dat elk punt, niet gehele voorwerpen, licht uitzenden in alle richtingen, onafhankelijk van de andere punten. Nu is deze theorie, de incoherente extramissie theorie, wordt nu algemeen aanvaardt. Alhazen stelde ook dat alleen loodrecht op het oog invallende lichtstralen het netvlies bereiken, de andere niet want die worden gebroken. Dit laatste deel is niet bevredigend in een verder indrukwekkende theorie.

4.5: Grosseteste, Bacon en Witelo Grosseteste was de eerste westerling die weer over optica schreef, hij kende het werk van Plato, Aristoteles, Avicenna en Averroes wel, maar dat van Alhazen niet. R. Bacon kende Alhazen's werk wel. Witelo schreef ook over lichtbreking en zien.

4.6: Kepler – en terug naar Bacon Kepler ontdekte de werking van de ooglenzen, de convergeerde de divergerende lichtstralen, daardoor komen lichtstralen die uit een punt werden weggezonden ook weer terecht op een punt op het netvlies. Reeds 350 jaar eerder was de oplossing in feite al aanwezig in het werk van Witelo en R. Bacon, zoals Kepler zelf stelde. Zij en vele anderen kenden al de werking van lenzen, maar brachten deze niet in verband met de werking van het oog. Waarom niet?

4.7: Het verblinde licht. Wellicht dacht men dat alle kennis al in de Griekse werken moest staan. Daardoor werden voor de hand liggende oplossingen wellicht niet gezien, omdat de Grieken ze niet vermelden.

4.8: Natuurkunde en ambacht Wellicht speelde ook mee dat de Grieken neerkeken op handwerk. Filosofie werd daarboven verheven geacht. Zo was de scholastische wetenschap erg theoretisch, en bestond vooral uit het bestuderen van geschriften. Slecht enkele geleerden, zoals Grosseteste en R. Bacon, deden aan experimenten. Pas Kepler vergeleek het oog met een camera obscura. Zo besteden de geleerden ook geen aandacht aan de bril, die rond 1300 opkwamen, ook al gebruikte ze die wellicht om te lezen. Pas in de Renaissance komt het idee op dat wetenschap ene samen-

spel is van handwerk en hoofdwerk. In die tijd werd ook de verrekijker uitgevonden. Een belemmering was ook steeds geweest dat de Grieken een scherp onderscheid maakten tussen natuur en techniek, waarbij de natuur slechts door nadenken kan worden bestudeerd, en de techniek niet door geleerden wordt bestudeerd. Mede daardoor vergeleek men niet het natuurlijke oog met de kunstmatige lens.

4.9: De scheiding van fysica en fysiologie Alhazen had de scheiding tussen het fysische van de beeldvorming en het fysiologische probleem van het zien opgeheven. Nadat Kepler de fysische beeldvorming van het oog verklaarde keerde de scheiding terug, omdat onduidelijk was hoe het verder gaat met het zien nadat de lichtstralen het netvlies raken. In de Oudheid en de Middeleeuwen zag men de natuur als een geheel, de Renaissance zette de mens tegen over de natuur, de mens wil de natuur beheersen. R. Bacon had de scheiding van Kepler wellicht niet kunnen aanvaarden. Er is continuïteit in de wereldvisie van de Grieken, Arabieren en W. Europese Middeleeuwen, de Renaissance betekende een breuk.

## **Hoofdstuk 5: Triomf van het ambacht**

Handwerk en wetenschap bleven geschieden tot aan de Renaissance. De middeleeuwse techniek bereikte rond 1300 een hoogtepunt. Ook kijken we naar magnetisme, die als occulte zaak niet werd bestudeerd door de geleerden, maar wel door ambachtslieden.

5.1: Kathedralen Opvallend is de open structuur van de gotische kathedralen, gebouwd zonder veel technische hulpmiddelen. Van de bouwers weten we weinig, van Villard de Honcourt is een schetsboek bewaard gebleven.

5.2 Landbouw Rond 1100 was de agrarische productie sterk vooruit gegaan, hetgeen de financiering van o.a. kathedralen mogelijk maakte. Dit kwam vooral door technische verbeteringen: betere ploegen, invoering van het drieslagstelsel, invoering van hoefijzers en borsttuig voor paarden – maar ook langere werkuren. Naast voedsel werd er meer grondstoffen voor de industrie verbouwd. De bevolking nam in 1100-1300 met 50% toe.

5.3: Machines Men keek voortdurend naar de mogelijkheid om arbeidsbesparende machines te gebruiken: zoals de watermolen en windmolen, de zaagden, papiermaakt, water pompte. De Cisterciënzers speelden een grote rol in de verspreiding van de techniek.

5.4: Uurwerken De geleerden leken dit alles niet te zien, behalve het uurwerk. Deze uurwerken

gaven niet zo zeer de tijd aan, maar waren een model voor het weergeven van de beweging van de hemellichamen. Eind Middeleeuwen voerden men in de een dag 24 even lange uren telde, niet meer 12 lichte en 12 donkere uren. Nauwkeurige klokken, met slingers en balans, kwamen er pas in de 17<sup>e</sup> eeuw, en waren zeer van belang voor het plaatsbepalen op zee.

5.5: Magnetisme De Grieken kenden al verschijnselen die pas in de 18<sup>e</sup> eeuw als elektrische en magnetische verschijnselen werden herkend. Men dacht wel na over magneten, Thales, Epikouros, Lucretius, Empedokles, Plutarchus en Aristoteles dachten na over magneten, en beïnvloedden Gassendi, Descartes, Thomas van Aquino, maar experimenteren deed men niet. Rond 1180 werd de magneet als kompas gebruikt, vermoedelijk via de Arabieren overgenomen van de Chinezen.

5.6: Peregrinus Van Peregrinus is een brief bekend over experimenten met magneten, zonder verwijzen naar de Grieken.

5.7: Epistola de Magnete Hij beschrijft de manifeste eigenschappen van magneten, maar probeert de verborgen principes niet te verklaren. Hij laat zien hoe je de polen kan vinden, en hoe je een magneet als kompas kan gebruiken, hij toont afstoting en aantrekking tussen magneetpolen, en stelt dat de magnetische en de hemelpool niet samenvallen. Dit laatste bleef nog lang aan beroepsastronomen onbekend. Hij laat ook zien dat men met een magneet een stuk ijzer kan magnetiseren, dat magneten die men in stukken zaagt magnetisch blijven, dat noord- en zuidpolen elkaar opheffen. Hij probeert wel te verklaren waarom een magneet zich noord-zuid richt, volgens hem komt dit door de draaiing van de hemel om de aarde, niet door het ijzer in de aarde. Wilbert Gilbert, die aannam dat de aarde draaide, stelde in 1600 dat de aarde draait en een magneet is. Galilei kwam er ook op terug. Peregrinus geeft twee manieren om een kompas te maken, een om een perpetuum mobile te maken met een magneet.

5.8: De emancipatie van het handwerk Vermoedelijk is er buiten de kloosters en universiteiten meer origineel werk, zoals dat van Peregrinus, gedaan, maar het meeste zal niet op schrift zijn gesteld. Pas in de 15<sup>e</sup>/16<sup>e</sup> zien we de emancipatie van de kunstenaar-ingenieur: Brunelleschi, Leonardo da Vinci, Albrecht Durer, Michelangelo, Agricola. Brunelleschi ontdekte het tekenen in perspectief, Leonardo da Vinci deed talloze uitvindingen, naast schilderen. Zijn veelzijdigheid

verhinderde hem systematisch onderzoek te doen, en zijn invloed bleef daarom gering.

### **Hoofdstuk 6: De hiërarchie van het zijn**

De Middeleeuwers dachten hiërarchisch, waarbij ze bij het Romeinse Rijk aanknoopten. Vanaf Karel de Grote kwam de theorie van de twee rijken op: een wereldlijk rijk, geregeerd door de Roomse keizer; een geestelijk rijk, geregeerd door de Roomse paus. Er waren veel conflicten over wie voorrang had: de paus of de keizer. De zijnshiërarchie als goddelijk ordening treft men ook in het natuurwetenschappelijke denken aan. 6.1: De kosmos Voor rond 1100 waren kaarten vooral religieus, meer dan geografisch, geïnspireerd. Na 1100 accepteerden de middeleeuwers dat de aarde rond is en in het centrum staat. Meer dan Aristoteles ordende men de kosmos hiërarchisch. De centrale plaats van de aarde is daarin de laagste niet, de hoogste; de hemelen zijn hoger en meer volmaakt. Nog lager dan het aardoppervlak waar de mensen wonen is de hel, het verst van God af – zie Dante's "Divina Commedia". De astrologie bloeide in de Middeleeuwen, ondanks bezwaren van de kerk.

6.2: De andere rijken Het plantenrijk is hoger dan het mineralenrijk, maar lager dan het dierenrijk. Ook binnen de rijken is er een hiërarchie. Men er van uit dat er een oneindig aantal soorten bestaat, maar die zijn wel onveranderlijk, hun vorm en natuur liggen vast (Aristoteles). De Bijbel bevestigde dit, God schiep de soorten, en zag dat het goed was. Evolutiedenken ging in tegen de Bijbel en Aristoteles. Ook ging men er van uit dat de aarde 6000 jaar oud is, te kort voor evolutie van nieuwe soorten. Wel ging men, tot aan Pasteur, er vanuit dat leven spontaan uit nietlevende materie kon ontstaan.

6.3: Het dierenrijk Aristoteles beschrijft rond 500 diersoorten, zijn indeling was gebaseerd op uitgebreide waarnemingen, maar dit werk werd pas in de Renaissance bekend. Wat bekend was in de Middeleeuwen was overgenomen van secundaire bronnen, die niet op eigen onderzoek waren gebaseerd. Naast boeken met indelingen van soorten komen er in de Middeleeuwen ook boeken met praktische kennis van dieren voor. Zoals het boek over valken van keizer Frederik II van Hohenstaufen, die een universiteit stichtte in Napels, en samenwerkten met christelijke, joodse en islamitische geleerden. Daarnaast zijn er ook stichtelijke boeken over dieren, waarin de mens moraal wordt voorgehouden. De fabels over de Vos Reinaerde bijvoorbeeld.

6.4: Het plantenrijk Theophrastus, een medewerker van Aristoteles, schreef een boek over planten dat bewaard is gebleven. Het had weinig invloed, want het werd pas eind 15<sup>e</sup> eeuw herontdekt en gedrukt. Tweederangs werken hadden invloed. Naast geleerde, encyclopedisch werken over planten zijn er herbariums. Deze herbariums zijn praktisch van opzet, niet moralistisch, empirisch en vaak nauwkeurig. Ze bevatten ook kennis over planten i.v.m. de voedselvoorziening en geneeskunde. De soort indeling is vaak grof, vaak zijn de tekeningen die er bijstaan zeer gedetailleerd en nauwkeurig.

6.5: De Renaissance In de 15<sup>e</sup> eeuw worden de geschriften van Aristoteles en Theophrastus herontdekt. Ontdekkingsreizigers nemen veel nieuwe planten- en diersoorten mee. Dit had invloed op de wetenschap, maar ook op de voedselvoorziening (aardappel, tabak, koffie, thee, etc.). De ontdekkingsreizen leverde ook op dat men in zag dat veel van het overgeleverde niet correct was. De Renaissance nam aan dat dit door corruptie kwam, en wilde – reactionair – de Griekse geschriften oncorrupt, dus in de oorspronkelijke versie heronderzoeken. Maar later ging men meer vertrouwen op eigen waarneming en inzicht, en ging men vooruit kijken in plaats van teruguit naar de antieken. Een doorbraak was dat men lijken begon te onderzoeken door ze open te snijden, wat daarvoor door de kerk sterk werd afgeremd. Aanvankelijk slechts als illustratie voor het werk van Galenos, dat lang onaanvaardbaar was. Vesalius boek uit 1543 rekende af met Galenos dwalingen. Het past in een reeks van anatomische studies, ook van Leonardo da Vinci b.v., van de mens, dieren en planten. Het zelfde jaar verscheen ook het astronomieboek van Copernicus.

6.6: De Reformatie Moderne inzichten treffen we in de 16<sup>e</sup> eeuw veel aan bij aanhangers van de Reformatie. Het zwaartepunt van de natuurwetenschap verschoof van Italië en Spanje naar Frankrijk, Engeland en de Nederlanden. Het protestantisme gaat samen met het verwerpen van de hiërarchie in de kerk, met opkomend nationalisme, de vorming van staten, het vervangen van absoluut koningschap door parlementair monarchisme of de republiek. Uit de wetenschap verdwijnt ook veel van het hiërarchisch denken, de alchemie en astrologie worden onwetenschappelijk, de koppeling van wetenschap en (vooral geneeskundige) praktijk blijft bestaan tot in de 18<sup>e</sup> eeuw.

### **Hoofdstuk 7: De ezel van Buridanus**

Volgens Aristoteles zijn er 4 soorten verandering: van wezen, kwaliteit, kwantiteit, plaats. De laatste 3 noemden de Middeleeuwers beweging, de laatste lokale beweging. Na 1350 ging men meer doen dan alleen commentaar leveren op Aristoteles. Buridanus staat aan het begin van een beweging richting de moderne mechanica.

7.1: Natuurlijke beweging Aristoteles kent 2 lokale bewegingen: de natuurlijke en de gedwongen. De natuurlijke beweging heeft een interne oorzaak, en de beweging is t.o.v. het centrum van kosmos. Ondermaanse lichamen bewegen van dit centrum af of er naar toe, naar gelang ze naar hun aard licht of zwaar zijn. Volmaakte hemellichamen bewegen cirkelvormig om het centrum heen. Natuurlijke bewegingen in het ondermaanse is de beweging van een gedwongen toestand naar de natuurlijke plaats. Alleen tegennatuurlijke bewegingen hebben volgens Aristoteles een uitwendige oorzaak. Natuurlijke bewegingen kunnen worden afgeremd door een medium dat weerstand biedt. Zware voorwerpen vallen sneller dan lichte. Vacuum is onmogelijk, de weerstand zou dan nul zijn, en de valsnelheid daardoor oneindig, d.w.z. dat een vallend voorwerp tegelijkertijd in het beginpunt, eindpunt en alle tussenvallende punten zou zijn. Eigenlijk zou Aristoteles moeten verwachten dat de valsnelheid constant is, maar hij zegt dat deze toeneemt. De Middeleeuwers hadden het moeilijk ermee, nam in de val de zwaarte toe, en daardoor de valsnelheid?

7.2: Gedwongen beweging Voor gedwongen bewegingen is een uitwendig motor, een kracht nodig. Dat is duidelijk genoeg voor een paard en wagen, de snelheid hangt af van de trekkracht van het paard en van de weerstand. Maar hoe zit het met een weggeschoten pijl, de boog is de uitwendige oorzaak van het bewegen van de pijl. Maar wat is de motor van de beweging als de pijl de boog verlaten heeft? 7.3: De impetustheorie Buridanus meende dat een voorwerp kan worden voortbewogen door of een uitwendige motor, of door een inwendige motor die er eerst van buiten af is ingebracht. De laatste motor noemde hij impetus, en deze is evenredig met de hoeveelheid materie en de snelheid van het voorwerp. Het is een aanzet tot het impulsbegrip, maar er zijn toch behoorlijke verschillen tussen de 2 begrippen. Aristoteles stelde ook dat een voorwerp niet tegelijkertijd natuurlijk en tegennatuurlijk kan bewegen. Een voorwerp kan dus niet (gedwongen) bewegen en tegelijkertijd (natuurlijk) vallen. Buridanus stelde dat tijdens een val de impetus toeneemt, die wordt omgezet in motor, waardoor

de snelheid toeneemt. Onduidelijk is waarom de impetus tijdens een val toeneemt, bij andere gedwongen bewegingen neemt de impetus juist af tot deze nul is.

7.4: Eenparige en versnelde beweging De Middeleeuwers poogden niet de versnelling van een valbeweging vast te leggen. Eenparige en eenparig versnelde beweging waren slechts wiskunde, en werd niet op echte bewegingen toegepast. Integreren en differentieren was nog niet uitgevonden. Momentane snelheden konden slechts grafisch bepaald worden. Osmesme vond een meetkundige manier daarvoor, met coördinaten. Een rechte lijn daarin dat een kwaliteit verandert. De oppervlakte onder de lijn gaven aan wat voor beweging het over ging. Oresme kwam tot de conclusie dat het oppervlak onder de lijn in de grafiek gelijk was aan de afgelegde weg tijdens de beweging. En dat deze het produkt was van de gemiddelde snelheid en de verstreken tijd.. Pas in de 16<sup>e</sup> eeuw paste men dit toe op valbewegingen.

7.5: Meten en rekenen De 'Calculatores' toetsten niets aan de werkelijkheid. Snelheden werden berekend als verhoudingsgetallen zonder eenheden. De ontwikkeling tot het meten werd door tegengehouden: doordat men meende dat men alleen gelijksoortige grootheden met elkaar kan vergelijken; dat men geen overeenstemming had over te gebruiken maten en gewichten; men nauwelijks kon rekenen. Pas in de tijd van Napoleon kwam men tot een eenheidssysteem van maten en gewichten, alleen in de astronomie was er al overeenstemming over de graden. Het rekenen ging beter nadat men de Romeinse cijfers verving door Arabische (in feite Indische), de nul werd ingevoerd, en het positiestelsel werd gebruikt. Daarna werden de decimale breuken uitgevonden (Simon Stevin) en de logaritmen. Behalve astronomen kon daarvoor vrijwel niemand beter rekenen, ook aan de universiteit, dan wat nu in de laagste klassen van de basisschool wordt geleerd. 7.6: Het onderwijs in de Middeleeuwen De universiteiten in Frankrijk van de 12<sup>e</sup>-14<sup>e</sup> eeuw kwamen voort uit de kathedraalscholen. Men trainde er geestelijken om te lezen en schrijven in het Latijn. In de onderbouw, 6 jaar lang, begon met als men 12-14 jaar was. Men leerde er het trivium en quadrivium: resp. grammatica, dialectiek, rhetorica en arithmica, geometrica, musica, astronomia. De bovenbouw bestond uit 3 faculteiten: theologie, geneeskunde, rechten (burgerlijk en kerkelijk). School betekent vrije tijd, omdat men geen lichamelijke arbeid hoefde te doen. Vakanties waren bedoeld om te oogsten. De



scholastieke methode is die van de disputatie: stelling, tegenargumenten, argumenten voor, conclusie. Deze methode is rationalistisch, conservatief, ongeschikt om eigen onderzoek te stimuleren; maar geeft wel verworpen opvattingen door, zoals atomisme, materialisme en atheïsme.

7.7: Het conflict om Aristoteles Filosofie en wetenschap werd toen vooral bedreven door magistraten in de onderbouw van de universiteit. In de heropgedoken werken van Aristoteles vonden zij na 1200 allerlei zaken die niet klopten met de leer van de kerk. De bisschop van Parijs veroordeelde in 1277 200 stellingen die te aan de universiteit werden verdedigd, later herroepen door de paus. De magistraten werden voorzichtiger met wat ze beweerden. Met name Thomas van Aquino wist de opvattingen van Aristoteles te harmoniseren met die van de kerk. De magistraten waren ondertussen al verder gegaan, en kwamen tegenover de conservatieve maar gecanoniseerde Aristoteles te staan. Buridanus schreef b.v. dat het eenvoudiger is aan te nemen dat de aarde draait, dan dat het hele hemelgewelf draait – maar dat dit slechts een hypothese is en dat de theologen maar moesten beslissen hoe het werkelijk zit. De wetenschap liep in de Middeleeuwen dood, omdat ze niet kon kiezen tussen de kerk volgen of het eigen onderzoek (net zoals de ezel die niet kan kiezen tussen twee balen hooi en daarop verhongerde). De leer van de dubbele waarheid raakte in diskrediet in de tijd van de Renaissance en Reformatie.

7.8: Realisten, idealisten en nominalisten De kerk stond over het algemeen welwillend t.o.v. zowel wetenschap als techniek. De magistraten waren alle monikken. Maar zo nu en dan meende de kerk corrigerend te moeten optreden. De strijd om Aristoteles had een machtspolitiek en een filosofisch aspect. De meeste discussie ging over de universalia: abstracte, algemene begrippen. De idealisten meenden dat al het waarneembare een hogere, ideale, onzichtbare werkelijkheid afspiegelt. Algemene begrippen (aangeboren) gaan vooraf aan het waarneembare: ante rem. De realisten – Aristotelianen meenden dat de vorm het wezen van de dingen bepalen, en men die door waarneming kan afleiden. De universalia zijn dus in de dingen: in re. De nominalisten, o.a. Buridanus en van Ockham, meenden dat God bij het scheppen niet gebonden is aan eeuwige vormen of ideeën. Volgens de nominalisten zijn de universalia verzinsel van mensen, de enige werkelijke dingen zijn individuele, concrete dingen. Algemene begrippen zijn slechts bedachte namen, die ten doel hebben overzicht te creëren. Deze

begrippen komen na de werkelijkheid: ante rem. Het nominalisme is kritisch t.o.v. Plato en Aristoteles, anti-rationalistisch en empirisch ingesteld. Het speelde een grote rol in de overgang naar de moderne natuurwetenschap.

## **Hoofdstuk 8: Ora et Labora**

De alchemie van de periode tot de 14<sup>e</sup> eeuw moet onderscheiden worden van die van na de 16<sup>e</sup>/17<sup>e</sup> eeuw. De laatste is mystiek, anti-wetenschappelijk, de eerste was wel van belang voor de wetenschap.

8.1: Alexandrie Bolos, rond 200 v.C. is de eerst bekende alchemist. Anderen zijn Maria de Jodin, rond 100 n.C., en Hermes Trismegistus, 150 n.C., verder een anoniem schrijver van het leidse papyrus X, rond 250 n.C., Zosimos, 400 n.C. Invloed onderging de alchemie in deze tijd van de Babylonische astrologen, Griekse filosofen, en vanuit Perzië, Syrië en Palestina.

8.2: De Griekse bijdrage Naast de 4-elementen leer ging men uit van 2 principes: mercur (kwik) en sulfur (zwavel), die niet identiek zijn met de stoffen die we nu kwik en zwavel noemen. Mercur is het metallische, pleetbare, smeedbare, combinatie van aarde en water, het passieve, het materiële, het vrouwelijke, het grof-stoffelijke. Sulfur is het brandbare, de kleur, combinatie van lucht en vuur, de zielestof, mannelijk, actief. Paracelsus verving in de 16<sup>e</sup> eeuw deze 2 door 3 andere, ontleend aan destilleren: kwik (de geest), zwavel (de ziel), zout (het lichaam). Galenos' geneeskunde en Pythagorese en kabalistische getallenmystiek beïnvloedden de alchemie eveneens.

8.3: De Babylonische bijdrage De Babyloniers en ook Ptolemaïes deden aan astrologie. De alchemisten brachten de metalen, de dagen van de week, de planeten met elkaar in verband. Astrologie gaat uit van het macro/microcosmos thema, analogie van gebeurtenissen op kosmische en menselijke schaal.

8.4: Het goudmaken Goud maken was een belangrijk doel. Tot Lavoisier (1780) werden metalen niet als elementen maar als mengsels van mercur en sulfur gezien. Men kan door veredeling van onedele metalen edele metalen maken, dat was het idee. De alchemisten wisten een toetssteen te vinden die kon aantonen of iets goud was of niet, deze toetssteen heet "de steen der wijzen". Een tweede, verwant, soms moeilijk te onderscheiden, doel was het vinden van een panacee, medicijn tegen alle kwalen, of een levenselixir, dat eeuwig leven zou moeten geven.

8.5: Heilige wetten De alchemist en gingen er vanuit dat de goden het geheim van goudmaken of het levenselixir aan de ouden hadden geopenbaard. Om het terug te vinden onderzocht men oude teksten en experimenteerde men zelf. Magie en tovenarij werden niet geschuwd, deels naar analogie van de transmutatie van de transmutatie in het lichaam van Jezus tijdens de mis. De gnosis beïnvloedde wellicht de alchemie. De gnosis gaat er vanuit dat men directe kennis kan krijgen van de waarheid of van God. Deze mystiek gaat in tegen de joods-christelijke-islamitische opvatting dat kennis alleen door profetische openbaring wordt verkregen. De alchemie is syncretistisch, haalt overal info vandaan.

8.6: Van Arabie naar Europa De Arabieren gaven de alchemie door aan W. Europa, veel chemische woorden zijn Arabische woorden. De alchemie bereikte Europa pas in de 11<sup>e</sup>/12<sup>e</sup> eeuw. In de 14<sup>e</sup> eeuw werden vele chemische stoffen ontdekt, o.a. door destillatie, zoals alcohol, zwavelzuur, zoutzuur, salpeterzuur. Maar ook het verschil tussen organische en anorganische stoffen. Men gaf het goudmaken in die tijd op. Ook maakte men onderscheidt tussen essentiële en niet-essentiële (accidentele) eigenschappen. Alleen accidentele eigenschappen kan men veranderen, essentiële niet, daarom gaf men het goud maken uit andere metalen op, en legde men de basis voor een nieuw elementbegrip.

8.7: Hekserij Na 1300 raakte de alchemie door deze ontdekking in diskrediet. Het was een eeuw van achteruitgang: de honderdjarige oorlog, de pest, etc. De bevolking nam met 25%. De periode 1350-1600 was vol angst bijgeloof, en ook zwarte magie en astrologie. De kerk gaf de schuld van de ellende aan de heroplevende natuurgodsdienst en het volksgeloof. Velen waren de aanhangers daarvan vrouwen, vele werden als heks gedood. Daarnaast werden ketters hard vervolgd, net als joden en moslims. In America vernietigden de Spanjaarden de Inka en Azteken culturen.

8.8: De 16<sup>e</sup> en 17<sup>e</sup> eeuw De alchemie kwam weer op in de 16<sup>e</sup> eeuw. Dit kwam mede door de nieuwe belangstelling voor metaalbewerking, zie "De Re Metallica" van Agricola, dat overigens geheel niet-mystiek/astrologisch is. Paracelsus blies de medische kant van de alchemie, de iatrochemie, nieuw leven in. Hij brak met Galenos, voerde het inwendig medicijngebruik in, en verenigde de kennis van de ambachtelijke, snijdende genezers met die van de academische artsen. Hij had vaak succes, maar werd ook vervolgd. Daarnaast zijn we een herleving van de mystieke kant van de alchemie met o.a. Fludd. Onder invloed van ato-

mistisch eopvattingen ging de alchemie na Fludd snel ten gronde, mede door de "Skeptical Chymist" van Boyle. Na de overwinning van de atomistische opvattingen komt de chemie als experimentele wetenschap snel op in 17<sup>e</sup> eeuw. Achtereenvolgens ontstonden de flogistrontheorie, de calorische theorie en de atoomtheorie. Het lab was echter de uitvinding van de alchemisten.

## Hoofdstuk 9: Het jaar 1543

Copernicus boek uit 1543 revolutioneerde de astronomie, Vesalius boek de anatomie, en ook de verbeterde Archimedes vertaling van Tartaglia, die de mechanica stimuleerde. De boekdrukkunst droeg veel bij aan de verspreiding van de kennis.

9.1: De autoriteit Vesalius' ondermijnde de autoriteit van Galenos en de ouden in het algemeen. De wetenschap kan niet op autoriteit vertrouwen. Onder invloed van het protestantisme verdween het gezag van de kerk in de wetenschap, en werden de wetenschappelijke principes belangrijker.

9.2: De hiërarchie Het hiërarchische denken over de kosmos als een geheel werd doorbroken, men ging de kosmos als een machine zien. In de Oudheid verklaarde men machines door naar organismen te wijzen, in de moderne tijd andersom. Copernicus doorbraak de hiërarchie der hemellichamen.

9.3: De taal Achtereenvolgens waren Grieks, Arabisch en Latijn de taal van de wetenschap. Dit vergrootte de kloof met het ambacht. In de Renaissance wordt de volkstaal de taal van de wetenschap, al bleef voor de interntionale contacten Latijn de taal tot in de 8<sup>e</sup> eeuw.

9.4: Van kwaliteit naar kwantiteit Wiskunde gaat een steeds groter wordende rol spelen. De enige interessante eigenschappen waren grootheden die kwantitatief kunnen worden afgebeeld. Archimedes werk en dat van Copernicus stimuleerden de kruisbestuiving wiskunde – natuurkunde. Copernicus leer dat de aarde beweegt stelde Aristoteles bewegingsleer in vraag, Galilei, Descartens, Huygens en Newton ontwikkelden de moderne mechanica.

9.5: Van rationalisme naar empirisme Oudheid en Middeleeuwen overschotten het autonome denken. De moderne wetenschap verschuift de aandacht naar waarneming en experiment, in wisselwerking met denken. Dat schoot wel eens te ver door, empirisme als de keerzijde van het eerdere rationalisme.

9.6: Waarneming en experiment De desastreuze scheiding wetenschap-ambacht werd opgeheven

door de moderne wetenschap: de techniek gaat vanaf de 16<sup>e</sup> eeuw de wetenschap dienen, maar pas in de 19<sup>e</sup> eeuw gaat de wetenschap ook de techniek dienen. Experimenten worden niet meer afgewezen.

9.7: Slot Naast een breuk tussen de wetenschap van Oudheid en Middeleeuwen en de moderne wetenschap is er ook continuïteit.

*Samenvatting: Richard (1984 / 2009)*