

GTR 20607

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
FACULTEIT VAN LETTEREN EN WIJSBEGEERTE

Academiejaar 1976 - 1977

Wetenschap en Techniek

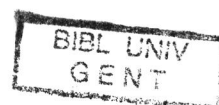
**Bijdrage tot de kritiek van een verantwoording
van wetenschappelijk onderzoek**

AL-526979-10

Promotor:
Rudolf BOEHM

Proefschrift ingediend ter behaling van de
graad van licentiaat in de wijsbegeerte,
door

Guy QUINTELIER



1989 B 13

WOORD VOORAF

Deze licentiaatsverhandeling over de zakelijke verhouding tussen wetenschap en techniek ordent zich in in een kritisch onderzoek naar de verantwoordingen van de wetenschap. De noodzakelijkheid van zo een onderzoek wordt in de eerste paragraaf aangeduid.

De verantwoordingen die men voor wetenschap geeft lijken mij van drieërlei aard te zijn. Men stelt dat wetenschap (ten minste) noodzakelijk is voor de techniek : zonder wetenschap is hedentendage geen techniek (meer) mogelijk. In deze verantwoording, die in de literatuur veelvuldig voorkomt, wordt soms kortweg alle techniek als iets maatschappelijk zinvols gezien. Een tweede verantwoording ligt in de stelling dat door het objectiviteitsideaal de mens in de wetenschap de waarheid bereikt; daardoor is de wetenschap ook superieur ten opzichte van elke ideologie. De wetenschap stelt zich in de door haar geponeerde waardevrijheid en neutraliteit tegenover elke noodzakelijk waardengeladen ideologie.

Wetenschap wordt ook als een (noodzakelijk) geweldloos middel gezien om een betere maatschappij mogelijk te maken. Ze is niet alleen in staat de heersende problemen op te lossen, maar ook een betere toekomst wordt door haar gewaarborgd. Deze derde verantwoording herleidt zich grotendeels tot de twee voorgaande: de wetenschap helpt niet alleen noodzakelijk mee aan de technieken die deze toekomstige maatschappij mogelijk maken, ze weet ook, aangezien ze de objectieve waarheid bezit, hoe deze maatschappij moet geordend worden.

Het is betwifelbaar of er nog andere dan deze drie verantwoordingen kunnen gegeven worden. Alle in de literatuur vermelde verantwoordingen laten zich gemakkelijk tot deze drie herleiden. Rudolf Boehm maakte me attent op het feit dat tussen deze drie verantwoordingen en Aristoteles' indeling van het menselijk handelen in poïesis, theorie en praxis, er een opmerkelijke analogie bestaat. Daar de wetenschap zich op deze drie gebieden

verantwoordt, lijkt het me - tenzij er op eenzelfde gebied van elkaar afwijkende verantwoordingen worden geformuleerd - zo goed als vaststaand dat er geen andere verantwoordingen kunnen gevonden worden.

zijn onderzoek is negatief-kritisch. Nu lijkt me een kritiek op verantwoordingen mogelijk vanuit twee van elkaar verschillende "invalshoeken". Men kan proberen de aangegeven verantwoordingen als onvoldoende of niet aanvoerbaar aan te duiden: de waarden die in de verantwoordingen aangevoerd worden kunnen indruisen tegen een bepaalde moraal. Vanuit een moreel standpunt kan er dus kritiek gegeven worden door aan te duiden dat de verantwoordingen niet of niet geheel aanvaardbaar zijn. Maar ook zakelijk kan men op verantwoordingen kritiek proberen uitbrengen: als men kan aanduiden dat de zogenaamde verantwoording niet opgaat voor het te verantwoorden object. Als men wetenschap verantwoordt door haar superioriteit dankzij het objectiviteits-ideaal tegenover elke ideologie aan te duiden, dan kan men deze verantwoording dus vanuit een moreel standpunt bekritisieren door aan te duiden dat in deze maatschappij, gezien de daarin heersende of andere morele principes, objectief weten niet gewenst is. Men kan deze verantwoording voor de wetenschap ook zakelijk bekritisieren door aan te tonen dat objectiviteit hoe dan ook niet bereikbaar is en het nastreven van dit ideaal zinloos is. Zijn onderzoek van de verantwoording van de wetenschap in haar technische toepassingen zal zakelijk-kritisch zijn: vervult de wetenschap een (noodzakelijke) rol bij de techniek?

wenselijk?

ideale
niet
bereikbaar

zijn onderzoek is geen wetenschapswetenschap. Als het dit zou zijn, dan werd de mogelijkheid tot een negatief-kritische houding tegenover de wetenschap onmogelijk zonder daarbij in een paradox te vallen. Als er in een onderzoek een negatief-kritisch resultaat ten opzichte van de wetenschap te voorschijn komt, dan komt het wetenschappelijk onderzoek dat als object de wetenschap zelf heeft, tot een negatieve houding tegenover zichzelf, of haar eigen resultaat wordt door haarzelf in twijfel getrokken.

Mijn onderzoek is dus filosofisch-kritisch. Een lezer die kritiek en rationaliteit enkel als specifieke karakteristieken van de wetenschap zelf ziet zal-zo vrees ik- wanneer er een negatief-kritisch resultaat ten opzichte van de wetenschap naar voren komt, mijn onderzoek misschien opvatten als een pleidooi voor obscurantisme, irrationalisme, metafysisme, mysticisme....en alle andere mogelijke termen die wetenschapskritiek soms nog al vlug opgekleefd krijgt. Ik kan enkel maar zeggen dat dit niet mijn bedoeling is, en daarom hopen dat de mensen die me irrationa-^{me dit moeten aantonen.} liteit en onkritisch-zijn zouden verwijten/niet vrij van irra-^{misschien is wetenschap} tionele en onkritische elementen, en is er een denken mogelijk dat meer kritisch en rationeel is en daardoor ook in staat is de wetenschap te bekritisieren...

Deze verhandeling is een bijdrage tot het kritisch onderzoek van de verantwoordingen van de wetenschap. Ze draagt hiertoe bij omdat nog andere benaderingswijzen van deze problematiek mogelijk zijn. Ook kan men niet alleen vanuit een moreel standpunt kritiek leveren op de verantwoordingen voor wetenschap, maar ook bij-
id. voorbeeld vanuit de maatschappelijke situatie aantonen dat weten- schap al of niet noodzakelijk of gewenst is. De voornaamste reden waarom deze thesis een bijdrage is, is de vaststelling dat het onderzoek op sommige punten kan (en dient) uitgediept te wor- den. Dit kan zowel op historisch als op theoretisch vlak. Dit geschrift is dan ook een eerste terreinverkenning. Toch vermoed ik dat een verdere uitdieping de kritiek enkel maar kan verscher- pen en niet verzwakken.

Sommige lezers irriteren zich misschien aan de veelvuldige ci- taten, meestal nog wel in vreemde talen. Hoewel het citeren soms de vlotheid en vatbaarheid van de tekst misschien schaadt, lijkt het me toch noodzakelijk dit procédé te verkiezen boven het parafraseren van teksten : de controleerbaarheid van het "bewijs- materiaal" wordt zodoende gewaarborgd en mogelijke misinterpre- taties van mijnentwege grotendeels uitgeschakeld. Deze laatste reden heeft me er ook toe aangezet de teksten in hun oorspronke- lijke taal weer te geven en ze niet te vertalen. Ook het feit

dat een licentiaatsverhandeling niet gericht is op het grote publiek en hoogstens dient voor academische circulatie deed me hiertoe besluiten.

Ook wil ik in dit woord vooraf mijn dank uitdrukken. Op de eerste plaats wil ik mijn ouders bedanken die me deze studies materieel mogelijk hebben gemaakt. Ook de mensen die mijn opleiding hebben verzorgd wens ik te bedanken, in het bijzonder mijn promotor Rudolf Boehm, die de eerste schetsen van deze verhandeling kritisch heeft doorgelezen en me zodoende stimuleerde. Zijn filosofisch denken heeft me - zoals wel zal blijken - zeer beïnvloed en aangesproken. Anni, Bea, Gerd, Hilde, Maggy en Myriam hebben het tijpwerk verzorgd. Ze hebben ook dit werk op typografisch en taalkundig gebied verbeterd. Tony en Rita stonden in voor het stencilwerk. Zonder hun bereidwillige, technische hulp zou deze thesis nooit bijtijds zijn klaargekomen. Aan al deze lieve mensen is deze verhandeling dan ook opgedragen.

augustus 1977.

INHOUDSTABEL

VOORWOORD I

INHOUDSTABEL V

GEDETAILLEERDE INHOUDSTABEL VOOR § 7 VI

INLEIDING 1

 § 1. Over de noodzakelijkheid van een kritisch onderzoek
 van de verantwoordingen van wetenschappelijk
 onderzoek 1

 § 2. Het ontbreken van een zakelijk-kritisch onderzoek
 van de verantwoording van wetenschap in techniek 7

DEFINITIEPROBLEMATIEK 10

 § 3. Wat is wetenschap ? 12

 § 4. Wat is techniek ? 19

ZAKELIJK - KRITISCH ONDERZOEK NAAR DE VERHOUDING TUSSEN
WETENSCHAP EN TECHNIEK 20

 § 5. Wetenschap en technisch handelen 21

 § 6. Objectieve wetenschap en technische innovatie .. 27

 § 7. Historisch onderzoek naar de relatie tussen weten-
 schap en technische innovatie 46

 § 8. Modelwetenschap en technische innovatie; een
 eerste benadering 178

BESLUIT 181

 § 9. Kan wetenschap zich in haar technische toepas-
 baarheid verantwoorden ? 181

Appendix 1 : Experimentele methode en leefwereldApp.I

Appendix 2 : Marxisme en de twee wetenschapsidealen ...App.II

BIBLIOGRAFIE Bibl.

Verantwoording	46
A. 'Wetenschap' en techniek in de prehistorie	50
B. De Grieken (en het bronzen tijdperk)	54
C. De Middeleeuwen	62
D. Zestiende, zeventiende en begin achttiende eeuw (de wetenschappelijke revolutie)	64
1. Metallurgie	65
2. Cartografie en landmeting	72
3. Navigatie	74
4. Precisie-instrumenten	76
5. Pendulunklok (wat is een wetenschappelijke ontdekking ?)	84
6. Industriële scheikunde	90
7. Besluit : de wetenschappelijke revolutie en de technische innovaties gedurende de zestiende, zeventiende en begin achttiende eeuw	93
E. De industriële revolutie	99
1. De veiligheidslamp (is laboratoriumonderzoek steeds wetenschappelijk ?)	100
2. De stoommachine	102
3. Chemische industrie	110
4. Optisch glas voor speciale doeleinden	128
5. Instrumenten voor navigatie en plantekenen	129
6. Besluit : industriële revolutie gevolg van wetenschappelijke revolutie ?	137
F. 1850-1900	142
1. Synthetische kleurstofindustrie	144
2. Electriciteitsindustrie	154
3. Besluit 1850-1900	166
G. De twintigste eeuw	170
H. Besluit historisch onderzoek	174

Het maatschappelijk leven is wezenlijk praktisch.
Alle mysteriën, die de theorie tot mysticisme
verleiden, vinden hun rationele oplossing in de
menselijke praxis en in het begrijpen van deze
praxis. (Karl Marx, 8^{ste} these over Feuerbach).

INLEIDING

§ 1. Over de noodzakelijkheid van een kritisch onderzoek van van de verantwoordingen van wetenschappelijk onderzoek.

Moet de wetenschap zich verantwoorden? Walter Verraes, die zelf aan natuurwetenschappelijk onderzoek doet maar zich toch niet rechtstreeks geconfronteerd voelt met de problematiek van de sociale functies der natuurwetenschappen, stelt :

"Ik heb niet de indruk dat het merendeel der natuurwetenschapsmensen aan 'zuiver' natuurwetenschappelijk onderzoek doet onder het motto van dienstbetoon, ook al was dit reeds 2500 jaar geleden bij sommige denkers een grondgedachte. (Natuur)wetenschappelijke kennis is wél een noodzakelijke voorwaarde tot het inzichtelijk kunnen handelen, maar het is niet toereikend. Het merendeel der natuurwetenschapsmensen doet aan natuurwetenschappelijk onderzoek omdat zij dit leuk vinden." (Verraes, 1973, p.28)

Alhoewel het merendeel van de natuurwetenschapsmensen hun bedrijvigheid individueel verantwoorden (1), zouden zij zich weinig zorgen maken over de sociale gevolgen van hun onderzoek :

"Ik heb de globale indruk dat er niet veel voorbeelden zijn van natuurwetenschapsmensen die een vanuit kennis-oogpunt gefundeerd natuurwetenschappelijk onderzoek niet zullen beginnen uit vrees voor de toepassing der kennisformulering die mogelijk volgt uit hun onderzoek, tenzij zij grondig menen hierdoor zelf in gevaar te kunnen komen." (Verraes, 1973, p.27)

Toch is het zo dat wetenschap als kollektieve bezigheid tijd, geld en werk - drie niet onbeperkte bronnen - opslorpt. Daar men dit evengoed, en misschien beter, kan besteden aan andere sociale activiteiten, dient de wetenschap zich maatschappelijk te verantwoorden. Dit is een eis die men in de huidige maatschappij zeker mag stellen aan elke kollektieve bezigheid, ook al zijn er voorbeelden op te noemen waar dit niet het geval is.

(1) Verraes vermeldt buiten het leuk-vinden van het onderzoek nog als andere individuele verantwoordingen : het is een vorm van ambitie (men toont wat men kan en het staat interessant); het is een middel om geld te verdienen. Deze individuele verantwoordingen zijn niet steeds sociaal aanvaardbare redenen. Het individueel leuk-vinden van een handeling kan niet als een voldoende sociale verantwoording gelden. Sommige vormen van agressie zouden dan verantwoord zijn. Sommige individuele ambities zijn ook schadelijk voor de gemeenschap. Diefstal is ook een middel om geld te verdienen.

Ook omdat de wetenschap niet steeds goed te keuren gevolgen lijkt te hebben, dient ze zich te verantwoorden. Op materieel vlak lijkt de wetenschap zowel constructieve als destructieve gevolgen te hebben. Enerzijds zouden door haar de materiële levensvoorwaarden verbeteren. Anderzijds is het mogelijk door de meer geperfectioneerde vernietigingswapens het menselijk leven compleet uit te roeien. De ecologische problemen groeien de mensheid ook boven het hoofd : milieupollutie, voedseltekort, grondstoffenverspilling....

Alhoewel een groot deel van de wetenschapsmensen stellen dat de destructieve gevolgen te wijten zijn aan een misbruik van de door hen verworven kennis, en ze er niet rechtstreeks verantwoordelijk voor zijn, beweren ze meestal dat "zonder (natuur)wetenschappelijke kennis geen inzichtelijk handelen mogelijk is." Als de wetenschap noodzakelijk is voor haar destructieve gevolgen als resultaat van inzichtelijk handelen, is het toch zo dat de wetenschap dit mogelijk heeft gemaakt. Ze zou dit evengoed niet mogelijk gemaakt kunnen hebben. Ze zou -als ze ervoor noodzakelijk of voldoende is- wel verantwoordelijk zijn voor de destructieve toepassingen. Wetenschapsmensen en -theoretici stellen dat deze problemen, evenals alle andere wereldproblemen, oplosbaar zijn ofwel door nog meer aan wetenschap te doen, maar dan voornamelijk op het gebied van de sociale wetenschappen, met name de sociale besluitvorming, moraal en politiek, ofwel door een sociale revolutie door te voeren, zodat de beslissingsmacht over de toepassingen van de wetenschap niet meer ligt bij de mensen die het niet goed voorhebben met deze wereld of niet in staat zijn juiste beslissingen te nemen. Het zou dus niet aan de wetenschap zelf liggen !

De oplossingen zouden hoe dan ook van de wetenschap moeten komen. Daarbij stelt een zeer groot deel van de mensheid haar hoop en verwachtingen op de wetenschap. De beleidsbeslissingen betreffende de wetenschap zijn echter in handen van een kleine minderheid: politici, industriëlen en in mindere mate gespecialiseerde technologen en wetenschapsmensen. Gezien haar 'grote taak' is de wetenschap verplicht zich te verantwoorden. Geeft de wetenschap geen valse hoop en verwachtingen? Doet ze geen valse beloften? Is het uitblijven van oplossingen voor de wereld-

problemen het gevolg van het slecht aanwenden van haar resultaten of juist van haar principiële onmogelijkheid deze problemen op te lossen? De wetenschap heeft niet het recht valse beloften te doen of valse verwachtingen te doen ontstaan omwille van haar voortbestaan alleen.

Op geestelijk - kultureel vlak stelt de wetenschap zich in haar objectiviteitsideaal scherp tegenover gelijk welke ideologie. In een ideologie zijn er waarden ingeschreven die juist dienen om akties te justifiëren en te leiden. Door haar waardevrijheids- en neutraliteitsideaal stelt de wetenschap zich niet alleen superieur ten opzichte van elke ideologie, maar probeert ook de ongeldigheid van sommige ideologische beweringen aan te tonen. Ze houdt de mens zelfs voor op de eerste plaats wetenschappelijk te zijn : men moet zich niet van de wetenschap bedienen, men moet ze dienen, stelt Nobelprijswinnaar Jacques Monod (1970, p.215). De handelende mens staat dus voor de keuze ofwel onwetenschappelijk te zijn ofwel in een vacuüm op waardegebied terecht te komen.

Om objectief weten te kunnen bereiken moet men als mens afzien van eigen behoeften, waarden, doelstellingen : enkel door zich als subjectum, onderworpen tegenover het object te stellen kan men objectief weten bereiken. Op onderwijsgebied staat men dan ook - volgens de humanistische kritiek - voor het dilemma van ofwel tot een ver doorgedreven specialisering, die noodzakelijk is om aan wetenschappelijk onderzoek te kunnen doen en de noodzakelijke waardevrijheid en neutraliteit daarvoor te kunnen nastreven, op te leiden, of een menselijke, maar onwetenschappelijke vorming te geven. Zijn de offers die men moet brengen op menselijk vlak om aan objectief weten te komen, dit wel waard?

Waarom moet men objectief weten nastreven? Worden de praktische doeleinden het best bereikt door middel van een streven naar objectief weten, vrij van elke doelbepaling? Zijn er buiten deze paradoxale, mogelijke verantwoording nog andere verantwoordingen voor objectief weten mogelijk? Is objectief weten maatschappelijk bruikbaar? Deze vragen dienen echter voorafgegaan te worden door een andere vraag : is objectiviteit bereikbaar? Is het objectiviteitsideaal vervulbaar?

Tussen de verschillende verantwoordingen bestaat er een (schijnbaar ?) onderlinge tegenspraak. Vooreerst is er de bovenvermelde paradox : objectieve wetenschap is het beste weten voor de praktijk : een doelloos weten is het beste weten om doelen te bereiken. Anderzijds is de objectieve, ideologie-superieure wetenschap een geschikt middel om een betere maatschappij op te bouwen : een waardevrij weten zou aan de basis liggen van een betere, waardevolle maatschappelijke ordening. Een kritisch onderzoek dringt zichzelf vanuit de verantwoordingen op.

In academische kringen is er, en wordt er nog steeds, gestreden rond de vraag of wetenschap nu vrij of gepland en gecontroleerd dient te zijn. Deze polemiek houdt nauw verband met de problematiek van de verantwoordingen van wetenschappelijk onderzoek. Men kan vooreerst stellen dat deze polemiek zinloos is als wetenschap maatschappelijk nutteloos blijkt te zijn. Als wetenschap maatschappelijk zinvol zou blijken, dan blijkt elke verantwoording een bepaalde stellingname in de polemiek van geplande of vrije wetenschap meer gelijk te geven : als wetenschap zich enkel kan verantwoorden in haar technische toepassingen blijken de voorstanders van geplande wetenschap meer gelijk te krijgen, als daarbij nog zou blijken dat dit niet het gevolg kan zijn van objectieve wetenschap. Als dit laatste echter niet zou blijken, en objectieve wetenschap dus werkelijk het beste weten is om praktische doelstellingen te vervullen, dan zouden voorstanders van vrije wetenschap meer gelijk krijgen. Als wetenschap zich enkel kan verantwoorden in haar superioriteit ten opzichte van elke ideologie dankzij haar objectiviteitsideaal, dan krijgen de 'vrije wetenschappers' gelijk. De uitkomst dat wetenschap zich in haar mogelijkheid om een betere maatschappelijke ordening op te bouwen zou verantwoorden, valt gezien haar eigen mogelijke opsplitsing terug op vorige mogelijkheden. Als de wetenschap zich zowel in haar technische toepasbaarheid als in haar ideologie-superioriteit zou verantwoorden, dan zou de onderling-interne tegenstelling van de verantwoordingen schijnbaar zijn, en zou dus ook de op het eerste gezicht paradoxale stelling dat doelloos weten het beste weten is voor doelloos handelen opgaan. Een onderzoek van de verantwoordingen van wetenschap zou dus beslissend kunnen zijn

voor de polemiek tussen voor- en tegenstanders van vrij onderzoek.

Tegen de oorspronkelijke, Aristotelische stelling van het objectief weten als godgeleijk en daarom niet typisch menselijk weten in, wordt objectieve wetenschap soms verantwoord door te stellen dat het een specifiek menselijke activiteit is. Als hoogste kennisvorm van het "geestelijke", wat het specifieke zou zijn waardoor de mens zich van andere levende wezens zou onderscheiden, zou het objectief-wetenschappelijk onderzoek de specifiek menselijke bedrijvigheid bij uitstek zijn. Objectieve wetenschap wordt, zo gesteld, bijna een noodzakelijke voorwaarde voor het voortbestaan van het specifiek-menselijke, en dus de mens, op deze wereld. (Een stelling die zich bijna gelijkaardig, maar dan op een meer materialistische wijze uitdrukt in de bewering dat wanneer men zou stoppen objectieve wetenschap na te streven, men daarmee de techniek stillegt en opheft, en zodoende een mensvernietigende, maatschappelijke catastrofe zou veroorzaken. Voor deze stelling moet echter blijken dat objectieve wetenschap noodzakelijk is voor de techniek.) Aristoteles stelde tegenover het objectief, goddelijk weten een menselijk weten :

"Met de natuur van de mens zou alleen een menselijk, niet zo'n in waarheid goddelijk weten overeenkomen : een onvrij, namelijk niet alleen ter wille van zichzelf bestaand, veel-
 eer een noodzakelijk, door menselijke noodzakelijkheden verlangd weten, een praktisch, technisch, of, zoals Aristoteles zegt, 'poëtisch' (dit is voor het maken van noodzakelijke voorwerpen van alle aard geschikt) weten."
 (R. Boehm, 1975, D. p.23, Ned. p. 38)

Een traditionele verantwoording komt hier blijkbaar tegenover een oorspronkelijke verantwoording te staan : een hedentendage als specifiek-menselijk aanzien weten blijkt hetzelfde te zijn als een in de antieke tijd als goddelijk aanzien weten, dat zelfs toen in tegenstelling stond met een menselijk, niet-objectief weten.

"La tradition est oubli des origines, disait le dernier Husserl"
 (Merleau-Ponty, 1960, p.241). Heeft men hier enkel met een woordenspel te maken ? Ligt het specifiek-menselijke werkelijk in het objectief weten, of is dit slechts een verantwoording die op "wishful thinking" is gebaseerd. Deze verantwoording valt onder die verantwoording, die stelt dat (objectieve) wetenschap een (noodzakelijke) bijdrage is voor het opbouwen van een betere maatschappij, want dit is toch een maatschappij die in overeenstemming is met het specifiek-menselijke.

Daar wetenschap een kollektieve bezigheid is die moet 'strijden' met andere kollektieve bezigheden om het verwerven van mankracht en geld, daar wetenschap aan de grondslag zou liggen van technische innovaties die niet steeds door het merendeel van de mensheid gewenst zijn, daar wetenschap zichzelf naar voor schuift en door een groot deel van de mensheid verwacht wordt als de redder die de wereldproblemen zal oplossen, daar de objectieve wetenschap, als opponent van elke ideologie die noodzakelijk aan de basis ligt van menselijke acties, de mens voor de moeilijke keuze tussen menselijk of wetenschappelijk handelen stelt, gezien de (schijnbaar ?) onderling-interne tegenstelling tussen de verschillende verantwoordingen, gezien de polemiek tussen voorstanders van vrije of van geplande wetenschap, en gezien de tegenstelling tussen een oorspronkelijke en traditionele verantwoording wat betreft het specifiek-menselijke weten, lijkt het mij noodzakelijk en de hoogste tijd om de verantwoordingen, waarop de wetenschap zich baseert en waarin ze zich als noodzakelijk en nuttig voorstelt, aan een kritisch onderzoek te onderwerpen.

x

x x

7.

§ 2. Het ontbreken van een zakelijk-kritisch onderzoek van de verantwoording van wetenschap in techniek

Wetenschap verantwoordt zich in de techniek :

"It is not uncommon for many of us, in justifying the investment in basic scientific research to point out that technology feeds on the results of research and thus that the state of technology justifies our present rate of investment in science." (W. Dale Compton (ed.), 1969, p.V)

Naast de algemene redenen die een onderzoek van de verantwoordingen voor wetenschap noodzakelijk maken, komt er hier nog een reden bij :

"The fact is that the application of science is so much taken for granted that the way in which it works has never been seriously looked into." (Bernal, 1939, p.126)

Deze vanzelfsprekendheid van de technische bruikbaarheid van wetenschap, die volgens Peter Mathias (1972, p.59) vanaf de zeventiende eeuw steeds bij monde is beleden, en die men dus meestal kritiekloos aanneemt, is nog niet grondig onderzocht.

"However, our understanding of the processes by which science and technology interact to effect this expansion (in knowledge and its proper utilization) is not commensurate with its importance to society." (Price, 1969, p. 32)

Een onderzoek naar de verhouding tussen wetenschap en techniek dringt zich mede vanuit deze acute situatie op : men vindt het vanzelfsprekend dat wetenschap zich in techniek verantwoordt, maar men weet niet (of niet meer ?) hoe de interactieprocessen tussen wetenschap en techniek verlopen.

In de literatuur vindt men meestal een moreel-kritische benadering van het verschijnsel techniek, waarbij men soms tot een kritische - en dan nog meestal constructief-kritische - attitude ten opzichte van de wetenschap komt. Alhoewel men hierbij aanneemt dat er een verband bestaat tussen wetenschap en techniek, diept men dit niet uit. Het voorstellen van de verhouding tussen wetenschap en techniek beperkt zich grotendeels tot het weergeven van de "vanzelfsprekendheid", waarvoor men dan ook meestal geen argumenten geeft, of een lichte, nauwelijks geargumenteerde variatie erop. Een pregnant voorbeeld in dit verband is Arnold Thackray's artikel met de ronkende titel "Science and Technology in the industrial revolution" (1972) waarbij hij enkele algemene trekken van de voorwaarden voor een systematisch onderzoek van wetenschap in de industriële revolutie heeft

8.

gegeven , tot het klaarblijkelijke thema komt, namelijk het ontbreken van een degelijke biografie van de Engelse scheikundige John Dalton. Dit ontbreken van een definitieve biografie van deze hoofdfiguur van de industriële revolutie noemt hij, bij het besluit van zijn artikel, indicatief voor de onderontwikkelde staat van kennis over dit studiegebied. Toch meent hij dat wetenschap een belangrijke rol gespeeld heeft in de industriële revolutie. Een zakelijk-kritisch onderzoek, dat de verhouding tussen wetenschap en techniek nagaat, ontbreekt niet alleen in de literatuur, men betwijfelt zelf de mogelijkheid om tot houdbare uitspraken ten opzicht van deze verhouding te komen :

"I'm not sure that one can generalize about science and its applications. It may be a more practical problem, from which no general statements can be made, where you can find a hundred counter examples to every example you can put forward in support of any one theory"

(Rabi, 1965, p. 9)

Wat kan dit betekenen? (1) Betekent dit dat de verantwoording van wetenschap en techniek niet geheel opgaat? Hieraan liggen toch ook bepaalde theoretische beweringen ten grondslag, waarvoor ook tegenvoorbeelden zullen bestaan. Kan deze verantwoording dan nog opgaan?

Wetenschap kan zich het sterkst verantwoorden in de techniek wanneer ze stelt dat ze ervoor noodzakelijk is; dit wil dus zeggen wanneer techniek zonder wetenschap niet mogelijk is. Wanneer wetenschap als een bijproduct techniek oplevert - dus wanneer wetenschap voldoende grond is van techniek, en techniek noodzakelijke voorwaarde voor wetenschap - en wetenschap niet noodzakelijk is voor techniek, zou wetenschap zich op een mindere mate in de techniek verantwoorden. Het is dan mogelijk dat techniek zonder wetenschap kan bestaan en ontstaan? Er zouden dan andere fenomenen kunnen bestaan, die wetenschap in haar rol van scheppen van technieken kunnen vervangen. Wetenschap dient dan niet nagestreefd te worden omwille van de techniek.

(1) Volgens Thomas Kuhn (1970, p. 79 e.v. ; Ned. p. 99 e.v.) zou elk wetenschappelijk onderzoek tegenvoorbeelden hebben, maar kunnen deze tegenvoorbeelden, die binnen het normaal-wetenschappelijk onderzoek als puzzels worden opgevat, slechts vanuit een ander gezichtspunt gezien en in bepaalde omstandigheden, als oorzaken van een crisissituatie op dit wetenschappelijk gebied optreden.

Dikwijls wordt de grondverhouding tussen wetenschap en techniek als volgt voorgesteld :

"Neither would be possible without the other, for without the advance of science techniques would fossilize into traditional crafts, and without the stimulus of techniques science would return again to pedantry."
(J. D. Bernal, 1939, p. 126)

Ook bijvoorbeeld Harvey Brooks stelt dit :

"Not only does technology depend increasingly on contemporary science, but the advance of pure science depends increasingly on the application of technologies."
(Brooks, 1968, p. 29)

Eveneens Feibleman (1961, p. 315) stelt zulk een wederzijdse noodzakelijkheid. Als A noodzakelijk is voor B, en B is noodzakelijk voor A dan kan dit alleen als A gelijk is aan B. Dus volgens Bernal en Brooks zouden wetenschap en techniek hetzelfde zijn. Meestal echter onderscheidt men - ook als men de noodzakelijkheid van techniek voor wetenschap en van wetenschap voor techniek verdedigt - wetenschap van techniek. Van Melsen stelt bijvoorbeeld zowel :

"Juist zijn beide benamingen (- techniek als toegepaste natuurwetenschap en natuurwetenschap als toegepaste techniek -) in zoverre natuurwetenschappelijke kennis slechts door toepassing van de techniek verkregen kan worden en technische resultaten slechts door toepassing van de natuurwetenschap."
(Van Melsen, 1960, p. 82)

als :

"Die wederzijdse insluiting van kennen en maken verhindert echter niet dat het onderscheid tussen wetenschap en techniek blijft bestaan, omdat het verschil tussen immanent kennen en transuënt maken nu eenmaal niet uitgewist kan worden."
(Van Melsen, 1960, p. 230)

Deze contradictie tussen het logisch gelijkstellen en het feitelijk onderscheiden van wetenschap en techniek dwingt me er eveneens toe de relatie tussen beide meer nauwlettend en grondiger na te gaan.

DEFINITIEPROBLEMATIEK

De noodzakelijkheid van exakt-gedefinieerde begrippen wordt in de hedendaagse wetenschaps- en taal filosofie dikwijls gesteld. Deze eis, die gebaseerd is op een streven naar helderheid en duidelijkheid, veronderstelt dat de fenomenen steeds exakt in begrippen te vatten zijn. Toch is het zo dat de definities die gegeven worden voor de fenomenen "wetenschap" en "techniek" bij elke auteur verschillend zijn. Deze auteurs definiëren hun begrippen juist om exakt te zijn, maar lijken bij vergelijking met elkaar als onexakt over te komen. Hoe komt het dat ze verschillende specificaties geven om wetenschap en techniek van andere fenomenen te onderscheiden? Hoe komt het dat men op het eerste zicht akkoord kan gaan met deze definities? Ze verschillen van elkaar en toch lijken ze niet incorrect. Is het niet omdat men onbewust, intuïtief weet wat wetenschap en techniek is, dat men deze onderling verschillende definities als 'richtig' aanvoelt? Is het zelfs niet zo dat men over de juistheid van een definitie beslist vanuit een rationeel denken dat in gang is gezet door een intuïtief aanvoelen van de al of niet geldigheid van een definitie? De mens heeft intuïtieve, niet geëxpliciteerde begrippen van de fenomenen die hem materieel en ideëel omringen. Deze begrippen zijn - meen ik - het resultaat van een socio-cultureel leerproces, van een omgaan met materiële zaken, van een communiceren met mensen; ze zijn niet aangeboren. Dit wil niet zeggen dat mensen expliciet tot in het detail dezelfde zaken bedoelen wanneer ze eenzelfde term gebruiken. Iedereen, die in een bepaald socio-cultureel milieu opgegroeid is, kan een intuïtief begrip van "wetenschap" hebben, maar ook bijvoorbeeld van "god". Een intuïtief begrip kan dus duidelijk misleidend zijn wat het werkelijk bestaan van intuïtief aangevoelde fenomenen betreft. Deze mogelijke misleiding is echter nog geen voldoende reden om alle begrippen exakt te bepalen.

Ook definities bezitten een gevaar, namelijk het feit dat erin bewijskracht voor bepaalde stellingen is ingebouwd. Door enkele al of niet bewust handig gekozen definities is het mogelijk bepaalde beweringen een schijn van waarheid te geven. Zo geeft Spinoza een bewijs voor het noodzakelijk bestaan van

god (Ethica, deel I, stelling XI) waarbij hij zich baseert op zijn definitie (VI) dat god een zelfstandigheid is, wat volgens zijn stelling VII betekent dat god bestaat. Spinoza geeft nog andere godsbewijzen, die zich baseren op eenzelfde denkprocédé.

Daar men meestal intuïtief weet waarover de spreker of schrijver het heeft, lijkt me het op voorhand nastreven van exakt-gedefinieerde begrippen - begrippen die men hoe dan ook meestal eerst in de praktijk verworven heeft - neer te komen op een zuiver-theoretische, nutteloze bezigheid. Het beweren dat alle filosofische problematiek neerkomt op begripsverwarringen - zoals het toch in de twintigste-eeuwse analytische wijsbegeerte gebeurd is - sluit de stelling in dat filosofie enkel maar een woordenspel is, los van elke maatschappelijk belangrijke problematiek. Beweerde Kant zelfs niet dat het dikwijls bij het begin van een onderzoek niet mogelijk is te bepalen waarover men het heeft, en dat het op het einde van het onderzoek al niet meer nodig is, omdat uit het onderzoek zelf bleek waarover men het had? De noodzakelijkheid van bepalingen dringt zich in de praktijk zelf op. In het alledaagse leven weet men ongedefinieerd wat een stoel, een tafel, een lamp ... is. Het geven van nadere bepalingen dringt zich op wanneer men niet (meer) weet waarover de spreker of schrijver het heeft, of wanneer hij iets nieuws probeert aan te duiden.

Ik geef op voorhand geen bepalingen van de twee centrale begrippen uit deze verhandeling. Ik garandeer mezelf hierdoor bij de heersende verstaanstraditie voor deze twee fenomenen aan te sluiten en niet door middel van eigengemaakte definities boven of naast deze traditie te spreken, of bewijzen te leveren die op een al of niet handig gekozen definitie berusten. In de plaats hiervan probeer ik in de volgende twee paragrafen moeilijkheden aan te duiden of uit de weg te ruimen die bij een definitie van "wetenschap" en "techniek" kunnen optreden.

§ 3. Wat is wetenschap?

Wat is wetenschap? Het mag vreemd lijken dat men nu nog deze vraag stelt. Doch lijkt ze ver van opgelost te zijn. In de literatuur vindt men verschillende, van elkaar afwijkende definities. Onder deze al of niet licht van elkaar afwijkende definities kan men een tweedeling maken volgens het door de wetenschap nagestreefde doel. Enerzijds beweert men dat wetenschap enkel belang stelt in de ontdekking van de waarheid. Ze probeert de werkelijkheid weer te geven zoals ze is, onafhankelijk van elke doelgerichtheid bij het verwerven ervan en van elke praktische bruikbaarheid van haar verworven kennis. John Desmond Bernal (1939, p.4) noemt deze opvatting idealistisch, Andreas M. Van Melsen (1960, p.16) noemt ze echter realistisch. Anderzijds beweert men dat wetenschap als hoofdtak heeft bruikbare kennis op te leveren en dit onafhankelijk van de waarheidswaarde; ze is een denkmiddel dat de mens gemakkelijker in staat stelt zich in de natuur te bewegen, doordat ze de waarneembare verschijnselen zodanig ordent dat de mens door middel van dit logisch geordend katalogiseringssysteem de natuurverschijnselen kan anticiperen. Deze visie noemt Bernal realistisch en Van Melsen positivistisch. Daar de benamingen die deze beide auteurs gebruiken duidelijk tot verwarring (kunnen) leiden, stel ik een andere "terminologie" voor, die enigszins aansluit bij degene die Jerome R. Ravetz (1971) voorstelt : hij noemt de eerste opvatting "science as the pursuit of truth" en de tweede "the technocratic conception of science". Men heeft dus enerzijds het zuiver wetenschapsideaal en anderzijds het technokratisch wetenschapsideaal.

Er blijken twee manieren te zijn om het zuiver wetenschapsideaal, dat zijn grondlegging heeft in de filosofie van Plato en Aristoteles, na te streven. Enerzijds heeft men degenen die dit zuiver wetenschapsideaal au sérieux nemen in de zin dat ze de werkelijkheid trachten te beschrijven zoals ze zich voordoet : de Husserliaanse "strenge Wissenschaft" die "zu den Sachen selbst" gaat. Anderzijds heeft men degenen die de absolute zekerheid boven alles wensen en daarvoor de relativiteit van de subjectieve opvattingen, die nu eenmaal wezenlijk is voor de empirisch-

aanschouwelijke wereld trachten te vervangen door een model waarin de werkelijkheid een 'Ideenkleid' wordt aangepast, waardoor men dezelfde exaktheid en objectiviteit tracht te krijgen als in de wiskunde : de Galileïsche modelwetenschap. (zie appendix I). Men kan zich afvragen welke van beide "zuivere wetenschappen" werkelijk objectief is. Husserl gaat duidelijk uit van het Platoons-Aristotelisch wetenschapsideaal en zijn verantwoordingen (zie bijvoorbeeld "Philosophie als *Stränge Wissenschaft*", p.12, Logos-artikel, p.293), en keert zich tegen de "verbastering" van dit ideaal in de moderne wetenschap. Galileï en Descartes worden in de geschiedenis-handboeken aangeduid als fervent anti-Aristotelianen en anti-Scholastici, maar liggen aan de grondslag van de moderne wetenschap, die doorgaat als objectief. Is de moderne wetenschap objectief?

Van Melsen (1960, p.171) stelt als één van de mogelijke verklaringen voor de oorzaken van de verschillende wetenschapsidealén dat er in latere dan de Griekse maatschappelijke verhoudingen een tekort was aan goedkope arbeidskrachten, doordat onder invloed van het bewustworden van de menselijke waarde de slavernij werd afgeschaft. Dit tekort gaf toen aanleiding tot "een toenemende drang naar rationalisatie en automatisering en daarmee een opgave aan de techniek om nieuwe technische middelen uit te denken, hetgeen weer tot natuurwetenschappelijk onderzoek aanleiding geeft."

"Toch kan de aangevoerde verklaring bezwaarlijk als laatste verklaring van de ontwikkeling van de wetenschap gelden, omdat de natuurwetenschap, die juist de wetenschappelijke techniek mogelijk heeft gemaakt, in het verleden te zeer zijn eigen wegen is gegaan, wegen die niet bepaald werden door maatschappelijke behoefte, maar door de drang naar het begrip van de natuurverschijnselen." (Van Melsen, 1960, p. 171 - 172)

Ook hier ziet men twee doelstellingen in het wetenschappelijk onderzoek : enerzijds staat wetenschap in verband met het uitdenken door de technicus van nieuwe technieken, al of niet naar aanleiding van (aanwezige) maatschappelijke behoeften; anderzijds wordt wetenschap gekenmerkt door "de drang naar het begrip van de natuurverschijnselen."

Hier rijzen volgende vragen op : Hebben we hier te maken met twee fenomenen die wel dezelfde naam hebben meegekregen, omdat ze misschien enkele kenmerken gemeen hebben, maar die essentieel scherp van elkaar te scheiden zijn? Enerzijds zou men een wetenschap hebben die doelgericht is, (de technokratische wetenschap), anderzijds een wetenschap die principieel niet praktijkdoelgericht is (zuivere wetenschap). Of hebben we te doen met slechts één fenomeen -de wetenschap- dat werkt met interne impulsen -het zoeken naar verklaringen van de natuurverschijnselen- maar dat ook nog praktisch toepasbaar schijnt te zijn? Een antwoord op deze vragen krijgen we o.a. wanneer we weten of zuivere (objectieve?) wetenschap praktisch toepasbaar is. Een antwoord kunnen we ook krijgen uit wat sommige marxisten stellen, namelijk dat er twee soorten wetenschap zijn : één die behoort tot de onderbouw (wetenschap als een produktiekracht) en één die behoort tot de bovenbouw (wetenschap als een sociale bewustzijnsvorm). Als we de verhouding tussen onderbouw en bovenbouw kennen, zouden we een (gedeeltelijk) antwoord kunnen krijgen op de vraag naar de verhouding van zuivere en technokratische wetenschap. (1)

x

x x

J. D. Bernal (1939) spreekt zich duidelijk uit ten gunste van het technokratisch wetenschapsideaal (wat hij dus "realistisch" noemt) en tegen het zuiver wetenschapsideaal :

"Science as pure thought - Science is taken as one means of finding the answer to the deepest questions which men may ask about the origin of universe or of life, of death and the survival of the soul. The use of science for this purpose is paradoxical, what science "cannot" know rather than what it has established is made the of affirmation about the universe...There is no doubt

(1) In appendix twee hebben we de visie van Marx t.o.v. de twee wetenschapsidealën trachten na te gaan. Hieruit blijkt dat er dubbelzinnigheid bestaat wat Marx's visie op de verhouding tussen wetenschap en techniek betreft, alsook wat de wetenschap die in deze verhouding gebruikt wordt betreft. Anderzijds blijkt ook dat Marx's visie op de verhouding tussen onderbouw en bovenbouw niet zo sterk vaststaand te zijn.

that this apologetic use of science is one of its social functions in present society, but it cannot provide any justification of science as such, since equally satisfactory and equally unprovable solutions to cosmic problems can be found by the aid of simple intuition" (Bernal, 1939, p. 4-5)

In zijn bespreking van Bernal's boek "The social function of science" wijst H. Dingle (1949) erop dat de ongedefinieerdheid van het concept 'wetenschap' bij Bernal tot verwarring en dubbeldzinnigheden leidt. Hij steunt daarbij op het volgende citaat :

"In spite of the fact that this (i.e. the 'ideal' view) is a view held by many scientists themselves, it is essentially self-contradictory. If the contemplation of the universe for its own sake were the function of science, then science as we know it now would never have existed, for the most elementary reading of the history of science shows that both the drive which led to scientific discoveries and the means by which those discoveries were made were material needs and material instruments" (Bernal, 1939, p.5-6)

Dingle merkt op dat hij wetenschap één ding laat betekenen in een deel van de zin en iets anders laat betekenen in een ander deel van de zin. Als wetenschap het nastreven van zuivere kennis is, is de geschiedenis van de wetenschap de geschiedenis van het nastreven van zuivere kennis. Maar als wetenschap het beheersen van de natuur betekent, dan is de geschiedenis van de wetenschap de geschiedenis van het beheersen van de natuur. Dingle pleit dan ook voor een aanpak die eerst zo goed mogelijk bepaalt wat wetenschap is, voordat de sociale functie ervan wordt nagegaan.

In zijn werk "Science in history" replikeert Bernal hiertegen :

"Science is so old, it has undergone so many changes in its history, it is so linked at every point with other social activities, that any attempted definition, and there have been many, can only express more or less inadequately one of the aspects, often a minor one, that it has had at some period of its growth... The word science or scientific has a number of different meanings according to the context in which it is used." (Bernal, 1969, p.30-31).

Daar volgens Bernal een definitie van wetenschap intrinsiek onmogelijk is, meent hij dat wat onder wetenschap dient verstaan te worden enkel mededeelbaar is door een uitgebreide en onthullende beschrijving, door de hoofdaspecten van wetenschap te analyseren. Wetenschap kan gezien worden als een institutie, als een methode, als een cumulatieve traditie van kennis, als een hoofdfactor in het behoud en de ontwikkeling van de produk-

tie en als een van de meest machtige invloeden die de geloofsopvattingen en attitudes ten opzichte van het universum en de mens kunnen veranderen. De vragen die in dit verband ten opzichte van deze aspecten oprijzen, zijn :

- a) Hebben we te doen met twee instituties van wetenschappelijke bedrijvigheid : één die zich nogal tamelijk georganiseerd heeft in de 'universiteit', en één die zich - in het kapitalisme door de onderling concurrentiële economische verhoudingen tussen de verschillende bedrijven nogal versnipperd voorkomend - manifesteert in de industriële laboratoria?
- b) Is de wetenschappelijke methode de werkelijke kern van de wetenschap, - alhoewel soms met een theoretisch, soms met een praktisch gezichtspunt toegepast -, die de twee wetenschapsfenomenen samen verbindt? Ontstaan de zogenaamde wetenschappelijke technieken uit de wetten, hypotheses, theorieën, principes, die zelf samengesteld zijn uit de resultaten van experimenteel onderzoek of juist rechtstreeks uit dit experimenteel onderzoek?
- c) Hebben we te doen met één of met twee cumulatieve tradities van kennis, die mekaar enkel occasioneel beïnvloeden, maar gezien onder andere hun doelstellingen wezenlijk verschillen?
- d) Zijn de aspecten 'produktiekracht' en 'kennisbron' niet juist die aspecten die het onderlinge verschil tussen de essentieel verschillende wetenschapsfenomenen ten zeerste benadrukken? Zouden dit niet eerder twee aspecten zijn die niet gewoon gezichtspunten op eenzelfde fenomeen zijn, maar juist geconstitueerd zijn door een wezenlijk verschil in de 'bekeken' zaken?
- Bernal beantwoordt niet expliciet deze vragen (hij stelt ze ook niet), maar men kan wel zijn mogelijke antwoorden vermoeden. Deze antwoorden echter bevatten soms contradicties : enerzijds kan men bijvoorbeeld afleiden dat hij meent dat de zuivere wetenschap zich uitbreidt door haar contact met de praktijk, anderzijds stelt hij dat zuivere wetenschap een eigen interne dynamiek heeft. Bernal meent zelf dat :

"Indeed, it is only by a fairly detailed presentation of the interactions of science and society throughout history that we can even begin to understand what science means and what its future may hold." (Bernal, 1969, p.55)

Een antwoord op deze vragen zullen we dus maar kunnen geven,

nadat we de geschiedenis van de interactie tussen wetenschap en maatschappij volledig onderzocht hebben.

X

X X

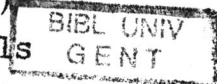
Derek J. De Solla Price heeft getracht op een sociologisch-wetenschappelijke basis een modelbeschrijving en definitie te geven voor het fenomeen "wetenschap".

"The basic technique employed was originally that of simple head count of men and the scientific papers they published, though this had been reasonably easy to elaborate without structural damage by paying attention to the way in which the papers are published, and several indicators of the quality and scientific importance of papers, men, and journals." (De Solla Price, 1965, p.555).

Hier blijkt duidelijk dat De Solla Price reeds met een intuïtief begrip van wetenschap werkte : hij telde de mensen en de wetenschappelijke artikels die ze publiceerden. Hoe weet hij dat een bepaald artikel wetenschappelijk is of niet? Een "operationele definitie", die hij duidelijk slechts na een intuïtief begrip hiervoor invoert, gaat uit van het feit dat auteurs van wetenschappelijke artikels andere artikels citeren. Deze vaststelling kan hij enkel maar doen wanneer hij weet dat dit in een wetenschappelijk artikel kan gebeuren. De Solla Price ontkent in feite zelf de bruikbaarheid van deze methode en definitie :

" The model just displayed involves no distinction between science and technology, though indeed it happens that many parts of the world total of literature, as we have defined it, seem to be far toward the non-science end of the spectrum, showing very little of those short-range connections between papers that indicate one has the special scientific process of interaction with a close group of peers who are not merely contemporary but actually treading on each others' heels. In small part, these non-sciences consist of the few special sciences involving such things as biological taxonomy, where preference is given to the citing as a first published description, and in another part they are obvious non-sciences that have been included by taking every paper in journals that publish or review humanistic as well as scientific scholarship. Unhappily it would appear that the great bulk of non-science emanates from journals that one would intuitively describe as "technical" rather than "scientific" (De Solla Price, 1965, p.558-559, mijn onderstreping)

Bij het opstellen van een lijst van wetenschappelijke artikels door middel van deze sociologisch-mathematische methode sluit men



zowel intuïtief als niet-wetenschappelijk aangevoelde artikels in als intuïtief wel als wetenschappelijk aangevoelde artikels uit. De Solla Price's methode is dus niet bruikbaar. Heeft Bernal dan toch gelijk wanneer hij stelt dat wetenschap niet los van de techniek, de praktijk kan bestudeerd worden?

x

x x

3 4. Wat is techniek?

Van Dale geeft in zijn "Groot woordenboek der Nederlandse taal" volgende betekenissen voor de term "techniek" aan :

1. de techniek of het geheel der bewerkingen of verrichtingen, nodig om in een bepaalde **tak van kunst** , **handwerk**, **nijverheid** enz. iets tot stand te brengen : " de techniek van het weven, van het schilderen"; vergelijk "radiotechniek, luchtvaarttechniek en dergelijke";
2. geheel der bewerkingen en verrichtingen **behorende** tot de nijverheid en de toegepaste exacte wetenschap : "de wonderen der techniek";
3. (als cultuurverschijnsel) de zinvolle toepassing van de mogelijkheden die de natuur biedt tot **verwezenlijking** van door de mens beoogde doelen : "de techniek moet **hulpmiddel** blijven, niet als doel gesteld worden, wil zij blijven dienen tot **bevordering** van de menselijke beschaving";
4. de manier waarop en middelen waardoor een **scheppend kunstenaar** of een beoefenaar van een tak van sport enz. zijn prestaties **verricht**; manier van werken, **bedrevenheid**, **vaardigheid** : "de techniek van een pianist, van een tennisspeler";
5. (metonymisch) **technische hulpmiddelen** en installaties : "zo'n vol techniek gestopt booreiland"

Deze verschillende opvattingswijzen blijken zich te kunnen verenigen in de elementaire bepaling : "Techniek is een middel om bepaalde doelstellingen te bereiken of te verwezenlijken" In de Engelstalige literatuur gebruikt men dikwijls de term "technologie" als synoniem voor techniek. Daar men ook "Technologie" bepaalt als "wetenschap, studie van de techniek", leidt dit dikwijls tot verwarring? Zo kan men in eenzelfde boek zowel "technology is the science of the industrial arts" als "pre-scientific technology" lezen. (Blackett in Goldsmith & Mackay (eds.), 1964, p.54 en 56)

ZAKELIJK-KRITISCH ONDERZOEK NAAR DE VERHOUDING TUSSEN WETENSCHAP
EN TECHNIEK

Bij het onderzoek naar de verhouding tussen wetenschap en techniek dient het technisch fenomeen opgesplitst te worden in technisch handelen - het gebruiken van een middel om een bepaald doel te bereiken - en technische innovaties - het creëren van nieuwe middelen. Er bestaat een wezenlijk verschil tussen beide aspecten van het technisch fenomeen, waarmee hier zeker rekening moet gehouden worden. Bij het onderzoek van de rol van wetenschap bij technische vernieuwingen heb ik het wetenschappelijk fenomeen ook in twee gedeeld, namelijk objectieve wetenschap en modelwetenschap. Deze opdeling is problematisch. In de derde paragraaf werd wetenschap opgesplitst in zuivere wetenschap en technologische wetenschap. Hier wordt de indeling gebruikt die ik toen vermeld heb bij zuivere wetenschap. Toen duidde ik ook reeds het probleem van de verhouding tussen beide aan; de daarbij belangrijke vraag was of modelwetenschap objectief is. (Deze problematiek wordt hier niet expliciet behandeld. Ze valt meer onder een onderzoek naar de verhouding tussen wetenschap en ideologie, waarbij het objectiviteitsideaal centraal staat.) Technologische wetenschap wordt hier niet strikt expliciet maar terloops behandeld. Dit komt omdat hier de centrale vraag is of zuivere wetenschap een rol speelt in de techniek. De verhouding tussen wetenschap en technische innovaties wordt ook op historisch vlak onderzocht. Dit wordt me in het onderzoek opgedrongen.

x

x x

§ 5. Wetenschap en technisch handelen

Bij het technisch handelen - in de elementaire zin van het gebruiken van een bestaand middel om een doel te bereiken - in het niet zo dat wetenschap bij alle technieken een bemiddelende of noodzakelijke rol speelt. De mens heeft leren omgaan met technische middelen; hij kent hun gebruikswijze; hij beschikt over ervaringskennis door het omgaan met de materie; hij heeft een idee van wat hij wil maken, van wat hij wil realiseren.(1) Men dient slechts te denken aan routine-arbeid om te weten dat deze kennis niet noodzakelijk bewust dient te zijn.

Voor alle technieken dient deze kennis echter niet noodzakelijk van wetenschappelijke aard te zijn. Bij "de oude techniek" gebruikte en gebruikt de mens nog steeds "een natuurkennis die echter niet verder ging dan wat de gewone zintuiglijke waarneming aan de dingen zelf opmerkte. Deze waarneming bleef aan de buitenkant; ze beperkte zich tot de uitwendig ervaarbare eigenschappen van de stof, terwijl de wetenschappelijke kennis ook tot de interne structuur er van doordringt om van daaruit mogelijke constructies te bedenken. Alle maken steunt immers op kennis." (Van Melsen, 1960, p.221) (3).

"In alle cultuurkringen treffen we uiteraard op meer of minder bescheiden schaal natuurkennis aan in samenhang met bepaalde technische vaardigheden, maar slechts daar waar

(1) cfr. Karl Marx (1867, p.193). De term 'Arbeitsprozess' lijkt mij een synoniem te zijn voor de term 'technisch handelen'.

(2) Van Melsen gebruikt de term "oude techniek" in tegenstelling tot "wetenschappelijke techniek". Daar deze 'oud-technische' werkwijze hedentendage nog steeds voorkomt, lijkt mij deze term slecht gekozen. (cfr. "Even today, not all of our technology is science-based in the usual sense" - J.A.Morton, 1967, p.21). Van Melsen zou beter spreken van "niet-wetenschappelijke techniek".

(3) Van Melsen spreekt in dit citaat reeds over technische vernieuwingen ('mogelijke constructies bedenken'). Hij gebruikt de term 'maken' die zowel het produceren van iets origineels als het reproduceren omvat. Van Melsen's redenering over kennis binnen de 'oude techniek' is tenminste waar voor wat betreft het 'reproduceren' binnen de 'oude techniek'. Of wetenschap technische innovaties mogelijk maakt, zal later onderzocht worden.

deze kennis geleid is door een diepgaande wijsgerige reflexie van het Griekse type is de natuurwetenschap ontstaan." (Van Melsen, 1960, p.21).

De voor ons belangrijke vraag hierbij is of de natuurwetenschap, die juist ontstaan is daar waar het spontaan-menselijke, voorwetenschappelijke kennen (4) "geleid is door een diepgaande wijsgerige reflexie van het Griekse type", haar technische toepassingsmogelijkheid dankt aan de voorwetenschappelijke kennis, die in haar besloten ligt (5)(6), of dat het specifieke van de natuurwetenschap, waardoor ze zich onderscheidt van het voorwetenschappelijke kennen, juist maakt dat wetenschap technische toepassingen heeft. Ik vraag me dus af of de mens kan spreken van toepassingen van de natuurwetenschap zelf of enkel van de in de natuurwetenschap geïmpliceerde voorwetenschappelijke natuurkennis.

De vraag is dus ofdat wetenschap werkelijk noodzakelijk is voor bepaalde technieken, die in de literatuur de naam dragen van wetenschappelijke technieken. Deze vraag is beantwoordbaar door een onderzoek naar de mogelijkheid van technische toepassing van de natuurwetenschap zelf, die slechts kunnen ontstaan is daar waar voorwetenschappelijke kennis geleid is door "diepgaande wijsgerige reflexie van het Griekse type". Hoe manifesteert zich deze wijsgerige reflexie in de natuurwetenschap?

(4) Van Melsen gebruikt zelf deze termen : "spontaan-menselijk kennen" (p.30), "voorwetenschappelijk denken" (p.26).

(5) "Wat de natuurwetenschap zich kan permitteren, namelijk het gebruik maken van al datgene wat in ons kennen spontaan aanwezig is, kan de wijsbegeerte zich niet veroorloven." (Van Melsen, 1960, p.20-21).

(6) "Les vues scientifiques selon lesquelles je suis un moment du monde sont toujours naïves et hypocrites, parce qu'elles sous-entendent, sans la mentionner, cette autre vue, celle de la conscience, par laquelle d'abord un monde se dispose autour de moi et commence à exister pour moi. Revenir aux choses mêmes, c'est revenir à ce monde avant la connaissance parle toujours, et à l'égard duquel toute détermination scientifique est abstraite, signitive et dépendante, comme la géographie à l'égard du paysage où nous avons d'abord appris ce que c'est qu'une forêt, une prairie ou une rivière." (M. Merleau-Ponty, 1945, p. III)

"Voor het verwerven van een der onontbeerlijke factoren van de natuurwetenschap, de wetenschappelijke geesteshouding, was reflexie nodig. Wanneer echter eenmaal de natuurwetenschap is geconstitueerd en de natuurwetenschappelijke methode gevonden, is de daarvoor nodige geesteshouding geïnvesteerd in de methode van de natuurwetenschap. ... De schat van het Griekse wijsgerige denken is aldus geïnvesteerd in de natuurwetenschappelijke methode, die een blijvend cultuurbezit geworden is." (Van Melsen, 1960, p.25)

De natuurwetenschappelijke kennis onderscheidt zich - volgens Van Melsen - van de voorwetenschappelijke kennis doordat ze ontstaat door gebruik te maken van de wetenschappelijke methode. Een wetenschappelijke techniek zou zich dus van andere technieken onderscheiden doordat in haar de natuurwetenschappelijke methode geïmpliceerd is. Dit kan op twee wijzen : een wetenschappelijke techniek zou een techniek zijn, die ofwel de wetenschappelijke methode zelf op het praktisch vlak toepast, ofwel juist noodzakelijk gebruik dient te maken van wetenschappelijke kennis, - kennis die juist ontstaan is door het gebruik van de wetenschappelijke methode. Kan één van beiden mogelijk zijn?

x

x x

"De natuurwetenschap is echter nooit een abstracte wetenschap die als het ware door een onpersoonlijk subject uitgeoefend wordt; zij is weliswaar een abstracte wetenschap, maar één die uitgeoefend wordt door een levende mens, die ook weet heeft van andere zaken en andere aspecten dan de natuurwetenschappelijke. Daarom kent ook de fysicus en chemicus de grenzen van zijn wetenschap, daarom heeft hij weet van vrijheid, zowel als van determinisme. Omdat hij van beide weet heeft kan hij ook de natuurwetenschappelijke methode toepassen op terreinen, waar zij overigens slechts een ondergeschikte rol speelt. Zo kan de kunsthistoricus de chemie gebruiken om vast te stellen wie de schilder van een schilderij is. De chemie wordt hierbij dus opgenomen in een ruimer en breder verband dank zij de kennende mens, die de abstractie van de chemie doorbreekt. De mens in de chemicus heeft weet van schilderen, iets waarvan hij als chemicus, als staande in de abstracte geesteshouding van de chemie geen weet heeft. Zo wordt de natuurwetenschappelijke methode altijd gehanteerd door de mens, die van meer weet dan de natuurwetenschap in haar abstracte methode viseert." (Van Melsen, 1960, p. 114.)

De wetenschappelijke methode zou dus niet zomaar toepasbaar zijn op andere zaken, er is nog kennis van deze zaken zelf vereist.(7) Het is dus juist omdat de mens voorwetenschappelijke, zakelijke kennis heeft dat de natuurwetenschappelijke methode toepasbaar zou zijn. Maar, past men de wetenschappelijke methode in dit praktisch verband wel toe? Is de wetenschappelijke methode niet juist een abstracte term voor een handelwijze, die erin bestaat dat men bepaalde aspecten van of omstandigheden waarin een onderzocht object zich bevindt varieert, om tot wetenschappelijke kennis te komen.(8) 'De' wetenschappelijke methode toepassen op praktisch vlak zou dus betekenen dat men de behandelde zaak onder bepaalde aspecten zou variëren of in verschillende omstandigheden zou plaatsen om de variaties die in het object zouden optreden waar te nemen. Dit zou als onmiddellijk resultaat enkel wetenschappelijke kennis opleveren. Het toepassen van de wetenschappelijke methode heeft dus geen direkt praktisch nut.(9) Bij het variëren om wetenschappelijke kennis te bekomen gebruikt de wetenschapsmens wel andere technieken (10), zoals bijvoorbeeld in een scheikundig laboratorium het verwarmen van de inhoud van een recipiënt of het bijeenvoegen van de inhoud van twee recipiënten. Deze subtechnieken van de wetenschappelijke methode variëren naargelang het beschouwde object en de gewenste kennis van bepaalde wetenschappen van dit object.

Van Melsen stelde dat kennis van de zaak noodzakelijk was voor het kunnen toepassen van de wetenschappelijke methode op praktisch vlak. Er is gebleken dat het toepassen van de wetenschappelijke methode geen direkt praktisch nut kan opleveren, daar ze juist een techniek is die aangewend wordt om wetenschappelijke

(7) De wetenschappelijke methode, die bij haar toepassing wetenschappelijke kennis oplevert, levert dus zelf geen zakelijke kennis op! "En precies dat concrete ding heeft nu juist in de abstracte natuurwetenschappelijke beschouwing zijn betekenis verloren." (Van Melsen, 1960, p.95)

(8) "In het experiment immers analyseren we de verschillende factoren door hetzelfde object onder gevarieerde omstandigheden te onderzoeken." (Van Melsen, 1960, p.29)

(9) Later zal ik nagaan of wetenschappelijke kennis zelf praktisch nut heeft.

(10) Van Melsen gebruikt hiervoor de term 'concrete methoden' (p.29)

kennis te verwerven. Kennis van de zaak is juist noodzakelijk omdat ze ons in staat stelt technieken te kunnen aanwenden, die in de wetenschappelijke methode een subsidiaire rol spelen en ze zelfs daarin wisselen qua behandeld onderwerp en eigenschappen ervan.

Deze subtechnieken, concrete methoden, worden ook op buitenwetenschappelijk vlak toegepast :

"The technology associated with an experimental science tends to be passed from worker to worker somewhat independently of the conceptual scheme of the science. There is a collection of "tricks of the trade" which lie outside the body of formal scientific literature. Technologies developed for scientific purposes often later grow into technologies useful for industrial or other operational purposes. Research instruments are first commercialized, then used in other sciences, and finally used to control production processes. Laboratory tools and techniques such as high pressures, cryogenics, high vacuum, spectroscopy, vapor-phase chromatography, and so on, begin in a research laboratory and end up on the production line. One of the most dramatic examples is the cathode-ray tube which originating as a physics laboratory device, became the basis of the modern television picture tube. These experimental technologies undergo transformation and improvement in the process of being applied, but their origin in experimental pure science is still evident." (Harvey Brooks, 1968, p. 304-305).

Men kan dus niet ontkennen dat binnen of ter gelegenheid van wetenschappelijke experimenten technieken zijn ontstaan. De vraag is echter of deze technieken toepassingen zijn van wetenschappelijke kennis, of dus de wetenschap ervoor noodzakelijke kennis moet opleveren.

Het is natuurlijk ook zo dat technieken die eerst buiten de wetenschap ontstaan, daarna in wetenschappelijk-experimentele kontekst kunnen worden toegepast.

Men kan zich nu afvragen of de doelstelling van de wetenschappen - het verwerven van wetenschappelijke kennis - noodzakelijk is voor het ontwikkelen van deze subtechnieken van de wetenschappelijke methode.

"There are cases in which it may be desirable to develop a field of pure science partly for the sake of the by-product technology that it generates. Although, in principle, this technology might be developed for its own sake without the associated science, in practice the scientific end use

provides the focus and motivation, which generalized development could not do. In addition, it attracts more dedicated and able people through the intellectual challenge of the science. Often the other uses of the tools so developed do not become apparent until after the development has been completed." (H. Brooks, 1968, p. 305, mijn onderstreping).

Principieel is het dus mogelijk de technieken te ontwikkelen zonder de wetenschappelijke doelstelling. De hoofdfunctie van de wetenschap zou hier dus haar motiverende rol zijn. Kan men niet gemotiveerd worden door bijvoorbeeld de maatschappelijke noodzakelijkheid van bepaalde technieken? Hoe is anders een nieuwe techniek ontstaan in de prehistorische tijden? Men kan zich ook afvragen of de wetenschap, die juist in haar objectiviteitsideaal de buitenwetenschappelijke ongemotiveerdheid predikt, zulk een stimulerende rol speelt. Dat andere toepassingen van een techniek dikwijls slechts duidelijk worden nadat de techniek is ontwikkeld, is geen specifieke eigenschap van technieken die binnen een wetenschappelijk laboratorium zijn ontstaan; ook andere technieken hebben deze eigenschap. Concluderend kunnen we dus zeggen dat de wetenschappelijke doelstelling geen noodzakelijke voorwaarde is voor het ontwikkelen van zogenaamde 'wetenschappelijke' technieken, d.w.z. technieken die binnen een laboratorium zijn ontstaan.

x

x x

De vraag of wetenschappelijke kennis noodzakelijk is voor een bepaald technisch handelen - namelijk het gebruiken van "wetenschappelijke technieken" - is gemakkelijk beantwoordbaar als men kijkt naar de dagelijkse praktijk. Voor het bedienen van bijvoorbeeld een televisietoestel hoeft men geen wetenschappelijke kennis te hebben; men hoeft enkel gebruikskennis te hebben.

Of een subtechniek van de wetenschappelijke methode het adjectief 'wetenschappelijk' - wanneer dit zou betekenen dat wetenschap ervoor noodzakelijk is - mag dragen; zou nog enkel kunnen afhangen van het feit of ze bij haar ontstaan noodzakelijk gebruik dient te maken van wetenschappelijke kennis.

x

x x

6. Objectieve wetenschap en technische innovatie

Tussen uitvinden en ontdekken maakt men meestal een onderscheid, soms zodanig zelfs dat men stelt dat de natuurwetenschap gekenmerkt wordt door de ontdekking en de techniek door de uitvinding.(1)

"Ontdekking heeft betrekking op iets dat reeds voor de ontdekking bestond, maar dat nog niet aan het licht gebracht was. De uitvinding daarentegen betreft het voor het eerst maken van iets dat daarvoor nog niet bestond. De electriciteit is dus ontdekt, de gloeilamp echter uitgevonden. Zo treden natuurwetenschap en techniek duidelijk als twee onderscheiden zaken naar voren, de eerste heeft betrekking op het ontdekken van de natuur, de tweede op het vinden van mogelijkheden de natuurgegevens in zodanige vorm te combineren, dat daaruit iets nieuws te voorschijn treedt, dat een of ander menselijk doel kan dienen." (Van Melsen, 1960, p.228)

Naast dit aangeduide onderscheid tussen uitvinden en ontdekken, - en dus ook tussen natuurwetenschap en techniek -, is er echter ook een gemeenschappelijke grond. Van Melsen stelt dat die twee fenomenen nauw verweven zijn :

"Wanneer er immers nieuwe verschijnselen ontdekt worden, dan is dat gewoonlijk het gevolg van het op nieuwe wijze zien van het reeds bekende ... Nu is het ook een nieuwe wijze van zien van het oude, dat aan de uitvinding ten grondslag ligt. Ook de uitvinding berust immers op het ontdekken van mogelijkheden en dat is ten slotte toch niets anders dan in het voorhandene iets nieuws zien." (Van Melsen, 1960, p.229).

Het op nieuwe wijze zien van het reeds bekende ligt dus zeker aan de grondslag van de uitvinding, en gewoonlijk ook aan die van de ontdekking. Van Melsen ontkent echter niet dat men ook iets dat nog niet bekend was kan ontdekken. In dit laatste geval speelt er echter ook een subjectieve factor mee, want : voor wie is dit 'iets' nog niet bekend? Heeft bijvoorbeeld Christophorus Columbus Amerika ontdekt? Het ontdekte gebied was toch niet onbekend voor de daar levende inboorlingen. Dat het interpreteren, het op een nieuwe wijze zien, in de ontdekking een belangrijke rol speelt, blijkt uit het feit dat Columbus tot zijn dood overtuigd was de oostkust van China en Japan te hebben verkend.

(1) Dat niet iedereen natuurwetenschap met ontdekking en techniek met uitvinding in verband brengt, blijkt uit het volgende : "The association of science with discoveries and technology with inventions is even less reliable." (R. Multhauf, 1959, p.44)

"Voor het ontdekken zijn immers niet alleen instrumenten die nieuwe waarnemingen mogelijk maken nodig, en ook niet alleen experimentele constructies, waardoor de verschijnselen geanalyseerd kunnen worden. Evenzeer zijn verstandsconstructies noodzakelijk. Elke ontdekking vraagt ook om het vinden van de geschikte modellen, teneinde de nieuw verworven kennis af te beelden." (Van Melsen, 1960, p.229)

Deze verstandsconstructies incorporeren het'op een nieuwe wijze zien! Het'op een nieuwe wijze zien' ligt dus noodzakelijk aan de grondslag van uitvinden en ontdekken. Bij een technische innovatie ligt er dus ook een'op een nieuwe wijze zien' noodzakelijk ten grondslag. Dit betekent dus dat men moet kunnen onderscheiden tussen een oude en nieuwe, al of niet gerealiseerde toestand, dus zeker tussen een natuurlijk object, dat de mens nog niet bewerkt heeft (bijvoorbeeld een rivier, een berg) en een artificieel object of artefact (een zakdoek, een auto). In welke mate speelt in dit'op een nieuwe wijze zien', in dit onderscheiden de doelstelling en doelgerichtheid een rol? Een antwoord op deze vraag zal ons de weg openen naar de oplossing van de vraag of objectieve wetenschap een invloed kan hebben bij technische vernieuwingen.

x

x x

In "Le hasard et la nécessité", een boek waarvan de ideeën gesuggereerd zijn door de wetenschap, stelt Jacques Monod dat de mens onmiddellijk en ondubbelzinnig het onderscheid kan maken tussen natuurlijke en artificiële objecten. Dit is voor de mens duidelijk, omdat hij zelf een maker van artefacts is en omdat het artefact de voorafbestaande intentie materialiseert. Het artificieel object, dat door de mens gemaakt wordt, is het produkt van een bewuste, doelgerichte activiteit. Monod wenst dit onderscheid, dat door de mens op een subjectieve wijze wordt gemaakt, echter te kunnen aanduiden met objectieve en algemene criteria, die in een computerprogramma zouden kunnen gebruikt worden. De onderscheiding zou volgens Monod moeten kunnen gemaakt worden door een daarvoor ontworpen of geprogrammeerde machine (2), die de mens met zijn

(2) De mens zou dan de door hem expliciet gemaakte onderscheidingscriteria overdragen aan een machine. Hij zou enkel nog de resultaten moeten "lezen" en volgens vooraf vastgestelde criteria inter-

subjectieve en niet-geëxpliciteerde criteria vervangt. Monod probeert dus, ook al zegt hij het niet expliciet, aan te tonen dat doelgerichtheid niet noodzakelijk is voor het kunnen onderscheiden van artefacten en natuurlijke objecten. Eén van Monod's expliciet gestelde doelen is dit programma te kunnen gebruiken bij het onderzoek naar levende wezens op andere planeten, waarbij dan het vinden van artificiële objecten een voldoende indicator zou zijn voor het daar bestaan (hebben) van levende wezens.

Wil Monod slagen dan moet hij in staat zijn een programma op te stellen dat enkel uitgaat van "algemene en objectieve criteria". Dit probeert hij dan ook. Eerst gaat hij enkel uit van de vorm van de te onderzoeken objecten. Er zijn twee formele criteria waaraan men volgens hem een artificieel object kan herkennen: 'regulariteit' - de artificiële objecten vertonen in 't algemeen eenvoudige geometrische structuren; natuurlijke objecten bijna nooit - en 'herhaling', wat hij het meest decisieve criterium noemt - homologe (gelijkaardige) artefacten reproducieren zo goed mogelijk de constante intenties van hun schepper -; daarom is de ontdekking van verscheidene exemplaren van objecten met een voldoende bepaalde vorm zeer betekenisvol (3).

Deze twee formele aspecten dienen echter aangevuld te worden door een kwantitatief criterium: de te onderzoeken objecten dienen van macroscopische dimensies (grootte-eenheid: 1 cm) te zijn, en niet microscopisch (grootte-eenheid: 1 Angström = 1 honderd-

vervolg (2): preteren. Zulk een machine is daarbij nog gebouwd en geprogrammeerd door de mens. Het enige verschil tussen mens en machine als "onderscheider" zou dus liggen in het feit dat de machine noodzakelijk dient te werken met vooraf geëxpliciteerde criteria, - criteria die even goed door een mens kunnen gebruikt worden. De mens zou dus nog superieur zijn tegenover zulk een machine, want hij moet niet noodzakelijk die expliciete criteria gebruiken.

(3) Het criterium van de 'herhaling' dient niet door een mens gebruikt te worden om een artificieel object te kunnen onderscheiden. Een kunstwerk is hier een gepast voorbeeld, omdat het duidelijk toont dat haar "eenmaligheid" ligt op het gebied van de "geestelijke" schepping. Een kenmerk dat ook geldt voor elke menselijke uitvinding. De stoommachine werd maar eenmaal uitgevonden. De ontdekking van een of ander werktuig is voor de mens voldoende om van mensgelijkende levende wezens te spreken (cfr. de archeologie).

miljoenste cm), omdat men dan in moeilijkheden zou komen op microscopisch vlak waar men atomaire en moleculaire structuren zou hebben, waarvan de simpel geometrische en repetitieve vormen duidelijk niet getuigen van een bewuste en rationele intentie. Monod komt echter na twee voorbeelden - kwartskristallen en een korf van wilde bijen - te hebben onderzocht, tot het besluit :

"En fait, sur la base de critères structuraux (macroscopiques) il est sans doute impossible de parvenir à une définition de l'artificiel qui, tout en incluant tous les "véritables" artefacts, tels que les produits de l'industrie humaine, exclurait des objets aussi évidemment naturels que les structures cristallines, ainsi que les êtres vivants eux-mêmes, que pourtant nous voudrions également classer parmi les systèmes naturels." (Monod, 1970, p.22-23)

Monod meent - terecht - dat de fout van het mislukken van het programma ligt aan het feit dat het enkel werkt met formele, structurele, geometrische aspecten (4); en dat men zodoende de notie "artificieel object" van zijn essentiële inhoud berooft, namelijk dat zulk een object bepaald wordt, zich onderscheidt door de functie waarvoor het geschapen is, door de "gedragwijze", die zijn uitvinder ervan verwacht. Het doelaspect, - daar waarvoor het geschapen is - blijkt dus toch bepalend te zijn voor het onderscheid tussen artificiële en natuurlijke objecten.

Monod, wiens bedoeling het nu juist was, dit doelaspect als noodzakelijke voorwaarde voor deze onderscheiding te ontkennen (5),

(4) Het begrip "vorm" dat door Etienne Vermeersch (1967) in zijn vormtheorie wordt gebruikt, dient duidelijk gedifferentieerd te worden van het door Monod expliciet bepaalde begrip. Vermeersch' vormbegrip heeft een andere inhoud dan dat van Monod. Vermeersch bepaalt vorm namelijk als een "onderscheidbare (door minstens één I'nformatie'-systeem) toestand van een bepaald substraat". (p.204). Hij stelt daarbij dat elke informatie die een systeem opdoet of uitstuurt, een vorm is. De onderscheiding tussen artificiële en natuurlijke objecten, die volgens Monod niet op grond van formele aspecten kan gemaakt worden, zou volgens Vermeersch wel een vorm zijn, daar het een toestand van een bepaald substraat is, die onderscheidbaar is door één I-systeem, namelijk de mens. Vermeersch' vormtheorie is een theorie die steeds achter het praktisch handelen komt, omdat zijn centraal vormbegrip slechts toepasbaar is, wanneer men een onderscheid gemaakt heeft. Dit in tegenstelling met Monod.

(5) Monod ontkent niet dat de mens als artefact-maker, als doelgericht wezen, dit onderscheid kan maken. Hij tracht enkel de noodzakelijkheid van doelgerichtheid ervoor te ontkennen.

dient echter een soort bepaling uitgaande van een doel te aanvaarden; hij doet dit op een merkwaardige wijze :

"Tout artefact est un produit de l'activité d'un être vivant qui exprime ainsi, et de façon particulièrement évidente, l'une des propriétés fondamentales qui caractérisent tous les êtres vivants sans exception : celle d'être des objets doués d'un projet qu'à la fois ils représentent dans leurs structures et accomplissent par leur performances (telles que, par exemple, la création d'artefacts)." (Monod, 1970, p.25)

Deze fundamentele eigenschap, die hij met de term teleonomie aanduidt, is merkwaardig omdat ze een levend wezen essentieel bepaalt door een doelgerichtheid die voortvloeit uit interne eigenschappen die buiten de wil van de mens om gaan, een soort intern determinisme dus. Deze intern-deterministische bepaling vindt Monod echter niet geschikt omdat ze uitgaat van niet objectieve criteria, die volgens Monod daarbij zelfs niet zouden toelaten levende wezens van hun artefacten te onderscheiden. Monod stelt echter wel dat degene die het artefact gemaakt heeft dit onderscheid tussen zichzelf en zijn produkt kan maken. Maar ja, ... dit noemt hij een te subjectieve bepaling. Ook stelt hij dat het niet voldoende is op te merken dat het project dat aan het artefact ten grondslag ligt, "behoort tot" het dier dat het geschapen heeft, en niet tot het artificiële object zelf. Deze evidente notie is ook te subjectief en kan niet gebruikt worden in een machineprogramma. Hier stelt hij :

"Par le seul examen de la structure achevée et l'analyse de ses performances, il est possible d'identifier le projet, mais non son auteur. Pour y parvenir, il faut un programme qui étudie non seulement l'objet actuel, mais son origine, son histoire et, pour commencer, son mode de construction. Rien ne s'oppose, au moins au principe, à ce qu'un tel programme puisse être formulé." (Monod, 1970, p.26)

Is zulk een programma in principe formuleerbaar? (6) Eén zaak

(6) Hoe kan een machine op objectieve wijze aan een objekt zijn oorsprong, zijn geschiedenis en zijn constructiewijze bestuderen? Is dit mogelijk? Welke verbanden dient een machine niet na te gaan om de constructiewijze van bijvoorbeeld een potlood te bestuderen? Kan een machine dit? Welke algemene verbanden dienen er op een objectieve wijze nagegaan te worden - want zulk een programma moet toch elk artificiële object kunnen onderzoeken? Bestaan er zulke algemene, objectief-nagaanbare verbanden? Dient men niet noodzakelijk het doelverband na te gaan om de constructiewijze, geschiedenis en oorsprong te bepalen? Stelde Aristoteles, één van de grondleggers van het objectiviteitsideaal, niet reeds dat geschiedenis geen objectieve wetenschap kan zijn?

blijkt duidelijk : Monod doet het niet; hij geeft enkel resultaten die zo'n programma zeker moet bekomen :
vooreerst het feit dat zowel artefacten en natuurlijke objecten gevormd worden door invloed of toepassing van uitwendige natuurkrachten op het object zelf, maar dat daarentegen de structuur van levende wezens wordt gevormd door een proces van interne "morfogenetische" interacties op het object zelf (de autonome morfogenese van levende wezens)(7).

Het programma dient ook - buiten het feit dat de levende wezens worden gekarakteriseerd door 'teleonomie' - nog te registreren dat het reproductie- en transmissieapparaat de informatie die overeenkomt met de structuur van het levende wezen niet verandert (de invariante reproductie of invariantie).

x

x x

Tussen twee van deze drie karakteristieken treedt er echter een diepgaande moeilijkheid op, namelijk welke van de twee - de invariantie- of de teleonomie-eigenschap - causaal en temporeel de prioriteit heeft. Dit probleem hangt ten zeerste samen met wat Monod "une flagrante (et profonde) contradiction épistémologique" noemt (p.37 en 38).

"La pierre angulaire de la méthode scientifique est le postulat de l'objectivité de la Nature. C'est-à-dire le refus systématique de considérer comme pouvant conduire à une

(7) Het is op zijn minst merkwaardig dat Monod, die een "objectief" programma tracht op te stellen om natuurlijke van artificiële objecten te onderscheiden, zijn toevlucht neemt tot een hulpprogramma - dat dient voor makers van hun producten te onderscheiden - dat tot een resultaat moet leiden dat een gelijkheid onder een bepaald opzicht tussen artificiële en natuurlijke objecten stelt. Deze gelijkheid ligt op het gebied van het ontstaan van deze objecten, namelijk de invloed of toepassing van uitwendige natuurkrachten. Monod stelt echter ook (p. 19) dat de mens juist de onderscheiding tussen artificiële en natuurlijke objecten kan maken, omdat hij zelf een artefactmaker is. Hieruit blijkt dus - om reeds enigszins voorop te lopen - dat een eenvoudig oorzakelijkheidsbegrip, zoals het in de moderne wetenschap wordt gebruikt, niet voldoende zal zijn om het menselijke handelen te beschrijven : men zal o.a. onderscheid moeten maken tussen "toepassen van natuurkrachten" en de "mens als maker" : beiden liggen (onder andere) ten gronde aan het ontstaan van artificiële objecten.

connaissance "vraie" toute interprétation des phénomènes donnée en termes de causes finales, c'est-à-dire de "projet" Mais le postulat d'objectivité est consubstantiel à la science, il a guidé tout son prodigieux développement depuis trois siècles. Il est impossible de s'en défaire, fût-ce provisoirement, ou dans un domain limité, sans sortir de celui de la science elle-même. L'objectivité cependant nous oblige à reconnaître le caractère téléonomique des êtres vivants, à admettre que, dans leurs structures et performances, ils réalisent et poursuivent un projet." (Monod, 1970, p.37-38).

Enerzijds verplicht het objectiviteitsideaal ons principieel elke interpretatie van fenomenen die gegeven is in termen van doelloorzaken uit te sluiten; anderzijds verplicht het objectiviteitsideaal ons het teleonomisch karakter van de levende wezens als een onderzoeksresultaat te erkennen. Deze diepgaande epistemologische contradictie komt dus neer op het niet kunnen samengaan van objectiviteit en teleonomie binnen het wetenschappelijke denksysteem. Beide echter hangen met dit denksysteem samen, het ene als principe, het andere als resultaat. Het komt er dus op neer dat een resultaat een principe van een denksysteem in vraag stelt. In feite wordt het ganse denksysteem in vraag gesteld want Monod stelt zelf dat het objectiviteitspostulaat en de wetenschap noodzakelijk samengaan, namelijk in de verhouding "objectiviteitspostulaat is een noodzakelijke voorwaarde voor de wetenschap."

Een tegenstelling tussen twee gegevens kan nooit opgelost worden door op één van die twee gegevens een beroep te doen. Dit is een logische denkfout, namelijk een petitio principii : een bewijs is niet geldig wanneer men op het te bewijzende beroep doet; het in-vraag-gestelde wordt niet logisch verantwoord door er naar te verwijzen. Dit echter doet Nobelprijswinnaar Jacques Monod :

"Du fait même que les propriétés téléonomiques des êtres vivants semblent mettre en question l'un des postulats de base de la théorie moderne de la connaissance, toute conception du monde, philosophique, religieuse, scientifique suppose nécessairement une solution, implicite ou non, de ce problème. Toute solution à son tour, quelle qu'en soit d'ailleurs la motivation implique de façon également inévitable une hypothèse quant à la priorité, causale et temporelle, des deux propriétés caractéristiques des êtres vivants (invariance et téléonomie) l'une par rapport à l'autre. Nous réservons pour un chapitre ultérieur l'exposé et les justifications de l'hypothèse considérée comme seule acceptable aux yeux de la science moderne : à savoir que l'invariance précède nécessairement la téléonomie." (Monod, 1970, p.41, mijn onderstreping).

Hoe verantwoordt Monod deze hypothese, ook al doet hij beroep op een petitio principii?

Het objectiviteitspostulaat stelt dat elke verklaring die gebruik maakt van doelloorzaken niet tot "ware" kennis kan leiden. Monod stelt (p.59) dat al de theorieën en ideologieën, die teleonomie prioritair stellen aan invariantie, verkeerd zijn in de ogen van de moderne wetenschappelijke theorie, en dit niet alleen om methodische redenen - het hoe dan ook afwijzen van het objectiviteitsideaal - maar ook om feitelijke redenen. Deze laatste blijken echter niet zo 'feitelijk vaststaand' te zijn.

Ook al stelt Monod :

"... la stratégie fondamentale de la science dans l'analyse des phénomènes est la découverte des invariants. Toute loi physique, comme d'ailleurs tout développement mathématique, spécifie une relation d'invariance; les propositions les plus fondamentales de la science sont des postulats universels de conservation." (Monod, 1970, p.134) ,

toch blijft hij zich een klassiek probleem stellen :

"On peut certes se demander si toutes les invariances, conservations et symétries qui constituent la trame du discours scientifique ne sont pas des fictions substituées à la réalité pour en donner une image opérationnelle, vidée d'une part de substance, mais devenue accessible à une logique elle-même fondée sur un principe d'identité purement abstrait, peut-être "conventionnel". Convention dont, cependant, la raison humaine semble incapable de se passer." (Monod, 1970, p.134)

Dit klassiek probleem, dat de wetenschappelijke resultaten in vraag stelt, wordt door Monod opgelost door te verwijzen naar ... een wetenschappelijk postulaat :

"Le principe d'identité ne figure pas comme postulat physique dans la science classique. Il n'y est employé qu'en tant qu'opération logique, sans qu'il soit nécessaire de supposer qu'il corresponde à une réalité substantielle. Il en va autrement en physique moderne, dont l'un des postulats les plus fondamentaux est l'identité absolue de deux atomes se trouvant en même état quantique. ... Il semble donc qu'on ne puisse plus aujourd'hui restreindre le principe d'identité au statut de simple règle pour la conduite de l'esprit : il faut admettre qu'à l'échelle quantique au moins il exprime une réalité substantielle." (Monod, 1970, p.134-135, mijn onderstreping).

Dat deze identiteit op een conventie steunt, blijkt uit de beschrijving van de belangrijke Solvay-bijeenkomst (gehouden van

24 tot en met 29-10-1927 te Brussel), die door de medewerkers van de natuurkundige Louis de Broglie, J. Andrade e Silva en G. Lochak, in hun boek "Quanta. De quantumtheorie en de nieuwe fysica" gegeven wordt. Men trachtte toen "tot een wereldbeeld te komen op basis van de zegevierende microfysica". Daar manifesteerde zich de zogenaamde School van Kopenhagen, bestaande uit Niels Bohr, Max Born, Werner Heisenberg, Paul Dirac, Hendrik Kramers en Wolfgang Pauli, die een interpretatieschema van het quantumformalisme voorstelden. Born zei : "We beschouwen de quantummechanica als een afgeronde theorie waarvan de fundamentele fysische en mathematische hypothesen niet meer voor wijziging vatbaar zijn." (Andrade e Silva & Lochak, 1969, p.148).

"Hoewel het door hen vastgestelde abstracte, formele schema mathematisch sierlijk was, werd het toch door een gedeelte van de aanwezigen sceptisch en door enkelen zelfs vijandig ontvangen. Maar werkelijk verzet werd alleen geboden door Einstein, de Broglie en Schrödinger ... Met name de Broglie en Schrödinger hadden geen enkele reden als grondgedachte het bestaan van de quanta aan te nemen, daar ze immers bij de opstelling van hun golfmechanica niet uitgegaan waren van de bewering dat de quanta bestaan, maar van de vraag waarom de quanta bestaan." (Andrade e Silva & Lochak, 1969, p.148-149).

De ideeën van de School van Kopenhagen zijn nooit door Planck, Einstein of Schrödinger aanvaard.

Hieruit blijkt toch duidelijk dat één van de "feitelijke" redenen die Monod meent te kunnen aanvoeren om wetenschap te plaatsen boven ideologieën en theorieën die gebruik maken van een doelbegrip om te verklaren, blijkbaar niet "feitelijk" is. Het blijkt neer te komen op een conventie, - want wat is anders een postulaat?

De andere feitelijke reden hangt samen met het volgende:

"Nous savons que tout phénomène, tout événement, toute connaissance impliquent des interactions, par elles-mêmes génératrices de modifications dans les composants du système. Cette notion cependant n'est en aucune façon incompatible avec l'idée qu'il existe des entités immuables dans la structure de l'univers." (Monod, 1970, p.133-134).

Eenzijds beweert Monod dus dat er veranderingen optreden in de bestanddelen van een systeem, anderzijds beweert hij dat dit niet

onverzoenbaar is met de gedachte dat er onveranderlijke entiteiten bestaan in de structuur van het universum. Onafhankelijk van de vraag of er absoluut onveranderlijke entiteiten bestaan, kan men wel stellen dat er in de veranderingen onveranderlijke componenten blijven bestaan, zoals het even onontkenbaar is dat er veranderingen bestaan. De vraag is of die bestaande veranderingen kunnen verklaard worden door te verwijzen naar onveranderlijke entiteiten alleen, zonder dus beroep te doen op een veranderings- of bewegingscomponent. Deze vraag dient toch de vraag te zijn die beslist over het feit of invariantie temporeel en causaal prioritair staat ten opzichte van teleonomie.

Op het gebied van de biologie - Monods vakgebied waar hij zijn tweede feitelijke reden haalt - hebben we de celtheorie die ons toelaat een nieuwe eenheid te zien in de grote diversiteit die er onder de levende wezens bestaat. Men stelt vandaag dat, vanaf de bacterie tot en met de mens, de chemische "machinerie" essentieel dezelfde is, zowel in zijn structuur als in zijn functioneren. Welk is nu echter de oorsprong van de morfologische en fysiologische verschillen tussen de levende wezens ? Hoe behoudt een soort zijn specifieke kenmerken, als ze dezelfde "bouwstenen" gebruikt en dezelfde chemische transformaties ondergaat als alle andere soorten ?

De universele constituenten - de nucleotiden en de aminozuren - zijn het logische equivalent van een alfabet waarmee de genetische structuur geschreven is. Enerzijds kan in dit alfabet de ganse diversiteit van de levende wezens worden geschreven, anderzijds is het de invariante reproductie die maakt dat de neergeschreven tekst onveranderd van de ene generatie op de andere wordt overgedragen, zodat de invariantie van de soort verzekerd is. In de reproductie echter kunnen er veranderingen, mutaties optreden. Die veranderingen zijn toevallig. Het toeval alleen is de oorsprong van elke nieuwigheid, elke creatie in de biosfeer.

"Il existe enfin, à l'échelle microscopique, une source d'incertitude plus radicale encore, enracinée dans la structure quantique de la matière elle-même. Or une mutation est en soi un événement microscopique, quantique, auquel par conséquent s'applique le principe d'incertitude. Événement donc essentiellement imprévisible par sa nature même." (Monod, 1970, p. 150)

Als er veranderingen optreden in deze "onveranderlijke" reproductie zijn deze zo scherp toevallig dat ze door hun natuur zelf onvoorzienbaar zijn. De biologen dienen dus ook te stellen dat de veranderingen die optreden in de reproductie van de cellen niet verklaarbaar zijn door enkel maar te wijzen op de onveranderlijke entiteiten. De prioriteitsvraag is duidelijk niet beslisbaar ten voordele van de invariantie.

Monod beweert ook dat deze zuivere toevalsnotie het meest intuïtief onaanvaardbare begrip is voor alle vitalistische en animistische ideologieën. De vitalisten beweren dat er een teleonomisch principe is, dat enkel in de levende materie werkt; de animisten zien in de levende wezens de meest afgewerkte produkten van een universeel georiënteerde evolutie - een universeel teleonomisch principe -, die diende uit te lopen op de mens en de mensheid. Dat deze toevalsnotie duidelijk moeilijkheden oplevert voor deze ideologieën, is omdat ze uitgaan van een teleonomisch principe - een principe dat intern-deterministisch is, die de doelgerichtheid als een zich noodzakelijk aflopend proces voorstelt, niet als een specifiek menselijk vermogen; de mens als een doelstellend wezen. De toevalsnotie brengt elk deterministisch systeem in moeilijkheden.

Het prioritair stellen door de wetenschap van invariantie ten opzichte van teleonomie wordt niet om feitelijke redenen verantwoord. Enkel de methodische redenen - het hoe dan ook afwijzen of aanvaarden van het objectiviteitsideaal - kan nog het prioritair stellen - en dan gaat het hier duidelijk om een "stellen" en niet om een "zijn" - van invariantie tegenover teleonomie verantwoorden, en dit dan alleen wanneer deze methodische redenen verantwoord zijn. Is dit zo? We weten dat elke ideologie en elke theorie, die het objectiviteitspostulaat opzij schuift, geen absolute scheiding tussen kennis- en waardeoordelen kan maken.

"Dans un système objectif au contraire, toute confusion entre connaissance et valeurs est interdite. Mais (et ceci est le point essentiel, l'articulation logique qui associe, à la racine, connaissance et valeurs) cet interdit, ce "premier commandement" qui fonde la connaissance objective, n'est pas lui-même et ne saurait être objectif : c'est une règle morale, une discipline. La connaissance vraie

ignore les valeurs, mais il faut pour la fonder un jugement, ou plutôt un axiome de valeur. Il est évident que de poser le postulat d'objectivité comme condition de la connaissance vraie constitue un choix éthique et non un jugement de connaissance puisque, selon le postulat lui-même, il ne pouvait y avoir de connaissance "vraie" antérieure à ce choix arbitral. Le postulat d'objectivité, pour établir la norme de la connaissance, définit une valeur qui est la connaissance objective elle-même. Accepter le postulat d'objectivité, c'est donc énoncer la proposition de base d'une éthique; l'éthique de la connaissance." (Monod, 1970, p. 220).

Deze primaire keuze - die op het vlak van de ethiek ligt - om het objectiviteitspostulaat na te streven, dient zich nog te verantwoorden. Het komt er dus op aan dat het ideeëngeheel, dat wetenschappelijke kennis is, zich zou verantwoorden tegenover andere ideeëngehelen, die niet het objectiviteitspostulaat gebruiken. Monod duidt in het laatste hoofdstuk twee gebieden aan, waarop ideeën zich superieur kunnen stellen t.o.v. andere ideeën, en zich zodoende kunnen verantwoorden :

"Cette sélection (des idées) doit nécessairement opérer à deux niveaux : celui de l'esprit lui-même et celui de la performance." (Monod, 1970, p. 209).

Monod stelt daarbij dat de waarde die een idee voor het praktische vlak, de gedraging ("performance") heeft, zonder noodzakelijk verband is met het deel objectieve kennis die het idee insluit. Hij verwijst hierbij naar de religie, die duidelijk invloed heeft (gehad) op het menselijk gedrag. Op het geestelijk niveau zijn die ideeën succesrijk die de mens "verklaren" door hem een plaats te geven in een immanente wereldbestemming. De wetenschap als een ideeëngeheel, en daardoor ook het objectiviteitspostulaat als een methodische eis, zou zich op deze twee gebieden kunnen verantwoorden. Jaques Monod meent dat de wetenschap succesrijk is op het praktisch vlak :

"Les sociétés modernes sont construites sur la science. Elles lui doivent leur richesse, leur puissance et la certitude que des richesses et des pouvoirs bien plus grands seront demain, s'il le veut, accessibles à l'Homme." (Monod, 1970, p. 213-214). (8, zie p. 39)

Op het geestelijk vlak heeft de wetenschap zich niet superieur kunnen opstellen t.o.v. andere ideeëngehelen :

"Armées de tous les pouvoirs, jouissant de toutes les richesses qu'elles doivent à la Science, nos sociétés

tentent encore de vivre et d'enseigner des systèmes de valeurs déjà ruinées, à la racine, par cette science même." (Monod, 1970, p. 214).

Men kan zich afvragen in welke mate deze waardesystemen in de kern vernietigd zijn door de wetenschap. De wetenschap heeft namelijk zelf een waardesysteem nodig om zich te funderen : de zogenaamde kennisethiek. Het blijkt gewoon neer te komen op een principiële strijd tussen deze kennisethiek en de ideologieën met hun inherente waardeoordelen. De wetenschap die zich superieur waant ten opzichte van elke ideologie, is zelf gebaseerd op een ideologie. De keuze die er gemaakt dient te worden is er één tussen ideologieën. De oplossing die de wetenschap als ideologie, en zich daardoor juist tegenover elke andere ideologie opstellend, suggereert, is : "zie af van deze keuze !" "Ook al ben je een levend wezen, dat essentieel bepaald wordt door uw teleonomie, zie af van je eigen teleonomisch karakter" - om het in Monod's termen te stellen. "Mens, zie af van je eigen mens-zijn, zie af van je verantwoordelijkheid." De vraag, die me nu juist bezighoudt - en waarop deze verhandeling een gedeeltelijk antwoord tracht te geven - is in welke mate de ideologie, de verantwoordingen die de wetenschap ondersteunen, intern-zakelijk verantwoord zijn. Zijn de beloften die de wetenschap pretendeert te (kunnen) volbrengen door haar na te komen?

Alhoewel ik niet rechtstreeks de principiële onmogelijkheid van een objectief programma of een objectieve verklaring - die dus geen aanspraak moet maken op doelloorzaken - voor het maken van het onderscheid tussen artificiële en natuurlijke objecten heb aangetoond, maar enkel heb vastgesteld dat Monod's voorstel daartoe niet slaagt, lijkt het me toch dat zulk een programma of verklaring niet mogelijk is. Monod stelde namelijk terecht vast dat een

(8) (zie p.38) Monod stelt dat het succesrijk zijn van ideeën op praktisch vlak - techniek behoort toch tot het praktisch vlak, en hangt toch nauw samen met de menselijke gedraging - zonder noodzakelijk verband is met het deel objectieve kennis die het idee insluit. Men kan dus sterk betwijfelen of objectieve wetenschap zich wel kan verantwoorden door te stellen dat ze noodzakelijk is voor de techniek. Als men zou kunnen beweren dat de wetenschap voldoende is voor de techniek, dan zou dit niet zijn door haar objectieve kennis.

een programma dat alleen werkt met formele aspecten niet kan slagen; omdat het voorbijgaat aan een essentiële inhoud van de notie 'artificieel object', namelijk zijn functie, zijn doelaspect. Deze inhoud kon Monod niet objectiveren; hij uitte alleen zijn geloof in de principiële formuleerbaarheid van een objectief programma, dat tot dit laatste in staat was. Dit geloof komt er in feite op neer dat men gelooft dat men geen doelloorzaken nodig heeft om 'teleonomische' fenomenen - om Monod's term nog eens te gebruiken - te verklaren, dat invariantie steeds causaal en temporeel voorafgaat aan alle 'teleonomische' fenomenen. Dit laatste blijkt echter niet op te gaan : niet alleen begaaf Monod een petitio principii, maar er zijn ook geen 'feitelijke' redenen waarom men dit kan 'stellen' en de methodische redenen, die Monod opgeeft, blijken ook onvoldoende verantwoord te zijn.

x

x x

Monod trachtte aan te duiden dat aan de teleonomische eigenschappen van de levende wezens de invariantie-eigenschap reeds ten grondslag lag. Deze theoretische poging noemt hij Darwiniaans (p. 41), ook al zegt hij dat Darwin ze niet kon voorstellen omdat hij in zijn tijd geen weet kon hebben van de chemische mechanismen van de reproductieve invariantie, noch van de natuur van de storingen waaraan deze mechanismen lijden.

In voetnoot 89 van het dertiende hoofdstuk van "Das Kapital; I" betreurt Karl Marx het vooreerst dat er nog geen kritische geschiedenis van de technologie geschreven is, en hij gaat verder :

" Darwin hat das Interesse auf die Geschichte der natürlichen Technologie gelenkt, d.h. auf die Bildung der Pflanzen- und Tierorgane als Produktionsinstrumente für das Leben der Pflanzen und Tiere. Verdient die Bildungsgeschichte der produktiven Organe des Gesellschaftsmenschen, der materiellen Basis jeder besondrer Gesellschaftsorganisation, nicht gleiche Aufmerksamkeit? Und wäre sie nicht leichter zu liefern, wie Vico sagt, die Menschengeschichte sich dadurch von der Naturgeschichte unterscheidet, dass wir die eine gemacht und die andre nicht gemacht haben? Die Technologie enthüllt das aktive Verhalten des Menschen zur Natur, den unmittelbaren Produktionsprozess seines Lebens, damit auch seiner gesellschaftlichen Lebensverhältnisse und der ihnen entquellenden geistigen Vorstellungen." (Marx, 1867, p. 392-393).

Darwin heeft dus de aandacht getrokken op de geschiedenis van de natuurlijke technologie, d.w.z. op de vorming van de plant- en dierorganen als produktieinstrumenten voor het leven van planten en dieren. Marx wenst een kritische geschiedenis van de 'menselijk'-technologie, die de vorming van de produktieve organen van de maatschappijmens zou weergeven. Marx trekt dus een scheiding tussen de vorming van de produktieve organen van de maatschappijmens en de vorming van plant- en dierorganen als produktieinstrumenten voor het leven van planten en dieren. Een onderscheid dat tot uiting komt in het noodzakelijk stellen van respektievelijk enerzijds een 'menselijke'-technologiegeschiedenis en een mensengeschiedenis en anderzijds een 'natuurlijke-technologie'-geschiedenis en een natuurgeschiedenis. Een onderscheid dat o.a. ligt in het feit dat de mens de ene geschiedenis zelf gemaakt heeft, en de andere niet, een onderscheid dat dus ligt op het vlak van het handelen. De technologie omhult de aktieve verhouding van de mens tot de natuur, zegt Marx. Als er een onderscheid tussen beide geschiedenissen is, moet het in het handelen duidelijk tot uiting komen.

In het vijfde hoofdstuk van "Das Kapital, I" schrijft Marx :

"Wir unterstellen die Arbeit in einer Form, worin sie dem Menschen ausschliesslich angehört. Eine Spinne verrichtet Operationen, die denen des Webers ähneln, und eine Biene beschämt durch den Bau ihrer Wachszellen manchen menschlichen Baumeister. Was aber von vornherein den schlechtesten Baumeister vor der besten Biene auszeichnet, ist, dass er die Zelle in seinem Kopf gebaut hat, bevor er sie in Wachs baut. Am Ende des Arbeitsprozesses kommt ein Resultat heraus, das beim Beginn desselben schon in der Vorstellung der Arbeiters, also schon ideell vorhanden war. Nicht dass er nur eine Formveränderung des Natürlichen bewirkt, er verwirklicht im Natürlichen zugleich seinen Zweck, den er weiss, der die Art und Weise seines Tuns als Gesetz bestimmt und dem er seinen Willen unterordnen muss. Und diese Unterordnung ist kein einzelner Akt. Ausser der Anstrengung der organe, die arbeiten, ist der zweckmässige Wille, der sich als Aufmerksamkeit äussert, für die ganze Dauer der arbeit erheischt, und um so mehr, je weniger sie durch den eignen Inhalt und die Art und Weise ihrer Ausführung den Arbeiter mit sich fortreisst, je weniger er sie daher als Spiel seiner eignen körperlichen und geistigen Kräfte geniesst." (Marx, 1867, p.193)

Het grote verschil tussen menselijk en dierlijk handelen ligt dus in het feit dat de mens niet zomaar een vormverandering in het natuurlijke tot stand brengt; hij realiseert in het

natuurlijke zijn doel. De mens tracht door zijn arbeidsproces een resultaat te bereiken, dat van het begin af reeds ideëel aanwezig was. Er bestaat dus een wezenlijk onderscheid tussen mens en dier, een onderscheid dat tot uiting komt in het specifieke handelen van de mens, dat doelgericht en doelstellend is. Daarom is het vermoedelijk ook dat Marx een andere dan Darwiniaanse technologiegeschiedenis wenst, één die aan het menselijke van de 'menselijke' technologie recht doet. Te meer daar hij zelf stelt dat zulk een technologie niet alleen de actieve verhouding van de mens tot de natuur, het onmiddellijk produktieproces van zijn leven onthult, maar tevens zijn maatschappelijke levensverhoudingen en de daaruit ontstane geestelijke voorstellingen.

Benjamin Franklin bepaalde de mens als "a toolmaking animal". Het onderscheid tussen mens en dier bij Marx ligt o.a. in de doelgerichtheid en doelstelling van het menselijk handelen. Deze beide bepalingen van het specifiek menselijke spreken elkaar niet tegen : men kan alleen zeggen dat ofwel Franklin's bepaling misschien te specifiek is, of die van Marx nog niet specifiek genoeg, daar doelgericht handelen niet steeds het maken van werktuigen betekent.(9)

(9) Kenneth P. Oakley heeft aan de hand van studies van het dierlijk gedrag nagegaan in welke mate de bepaling van Franklin opgaat. (zie Singer, I, 1954 : "Skill as a human possession" p.1 e.v.). Hij komt daarbij tot de vaststelling dat chimpansees in uitzonderlijke situaties soms ook werktuigen maken. Dus Franklin's definitie zou nog niet specifiek genoeg zijn, alhoewel men zou kunnen opmerken dat het maken van werktuigen door chimpansees zo occasioneel en primitief is dat men van een gradueel overgangsfenomeen moet spreken. Het hoofdverschil tussen chimpansees en mensen zou volgens Oakley liggen in het feit dat de tijd waarin chimpansees leven erg beperkt is in verleden en toekomst. Ze zouden daardoor ook erg beperkt zijn in het visualiseren en het denken over relaties tussen afwezige, niet-zichtbare objecten. Het maken van werktuigen door de mens zou hierdoor gekenmerkt zijn dat de mens daarover conceptueel nadenkt, dat hij het resultaat eerst conceptueel opvat, voordat hij het in het materiaal realiseert. Chimpansees daarentegen zouden perceptueel te werk gaan : de door hen gemaakte werktuigen zijn steeds gemaakt wanneer het toepassingsveld perceptueel aanwezig is en wanneer het te gebruiken materiaal om het werktuig te construeren zich zo goed als gebruiksklaar - d.w.z. zonder dat het nodig is om het erg om te vormen - voordoet. Chimpansees handelen dus duidelijk ook doelgericht bij het maken van werktuigen, alhoewel toch verschillend van de mens. Zowel Marx' als Franklin's bepaling zouden dus nog niet specifiek genoeg zijn

43.

Daar - zoals Monod het reeds stelde - een werktuig steeds gemaakt is om een bepaalde functie, een bepaald doel te vervullen, is het duidelijk dat men doelgericht moet zijn om een werktuig te maken. Doelgerichtheid is een noodzakelijke voorwaarde voor een technische innovatie.

x

x x

In Marx' beschrijving van menselijke arbeid worden duidelijk de vier oorzaken, die door Aristoteles werden naar voren gebracht, gebruikt : de causa materialis is het natuurlijke dat wordt bewerkt; de causa formalis is het resultaat dat wordt bereikt, de vorm waarin de materie wordt gebracht; de causa finalis is het einddoel waarvoor het resultaat dient; de vierde oorzaak - de arbeider - bewerkstelligt het resultaat. Martin Heidegger wijst er in "Die Technik und die Kehre" (p.9) op dat Aristoteles de causa efficiens - de bewegingsoorzaak, die door het moderne wetenschappelijke denken als het enige oorzakelijkheidsbegrip wordt gezien - als zodanig niet kent. De arbeider - de vierde oorzaak - overlegt en verzamelt de drie andere oorzaken. Heidegger geeft in hetzelfde werkje aan de hand van een voorbeeld aan hoe bij het maken van een artefact - namelijk een zilveren schaal voor de offerdienst - de vier oorzaken onderling bij elkaar horen. Hij stelt daarin dat het doel bepaalt hoe het artefact er zal uitzien - de causa formalis - en welk materiaal er zal gebruikt worden - de causa materialis. Marx stelt in zijn beschrijving van de menselijke arbeid : "...., er verwirklicht im Natürlichen zugleich seinen Zweck, den er weiss, der die Art und Weise seines Tuns als Gesetz bestimmt und dem er seinen Willen unterordnen muss." Het doel bepaalt dus de aard en de wijze van het menselijk handelen; ze bepaalt ook de vierde oorzaak - de arbeider : hij dient aandachtig te blijven. De doelloorzaak heeft dus een erg bepalende rol in het menselijk handelen - en dus ook in het maken en uitvinden van artefacts. Ze bepaalt de drie andere oorzaken.(10)

(10) Vermeersch (1967) stelt dat het schema van een autoregulerend systeem, een systeem dat voorzien is van terugkoppeling (feedback) een wijsgerige betekenis heeft :

"De wijsgerige betekenis van dit schema ligt hierin, dat ie-

Dat op het vlak van de vier oorzaken kennis een rol speelt is onbetwifelbaar. We hebben ervaring met het omgaan met materie, we hebben een idee van wat we willen maken, waarom we het maken, en hoe en waarmee we het zullen maken. Kan kennis die afziet van elke doelstelling, van elk doelaspect, - kennis die dus echt aan het objectiviteitsideaal tracht te voldoen -, hier een rol spelen? De vraag is beantwoordbaar wanneer we weten in welke mate het doelaspect de drie andere oorzaken van het menselijk handelen bepaalt. Is het doelaspect noodzakelijk om geschikte kennis op de drie andere gebieden te bezitten? Of is het mogelijk het doelaspect "op te plakken" op objectieve kennis?

We weten dat wetenschappelijke, objectieve kennis, kennis is die enkel tracht te verklaren door middel van een eenduidig oorzakelijkheidsbegrip, dus door middel van het schema oorzaak - gevolg. Als A plaatsgrijpt, dan weet men dat B volgt. Als men B wil realiseren dan weet men dat het voldoende is A te laten plaatsgrijpen. De oorzaak is dus een middel om als doel het gevolg te realiseren. Buiten de vraag in welke mate wetenschap op zulke wijze fenomenen verklaart, blijft de moeilijkheid dat het hier niet kan gaan om een vernieuwing of een nieuw fenomeen, want in de wetenschap verklaart men enkel bestaande fenomenen : men duidt aan dat het verschijnsel B, dat gekend is, A als oorzaak heeft. Objectieve wetenschap kan dus geen invloed hebben op een technische innovatie. Dikwijls is het echter zo dat een uitvinding ontstaat door een nieuwe combinatie van (onderdelen van) bestaande fenomenen - cfr. het op-een-

(vervolg 10): "mand, die van het mechanisme dat aan de basis ligt geen notie heeft, spontaan zou denken aan een doelgericht proces. De raket zoekt haar doel op, precies op dezelfde wijze als een kat die een muis achtervolgt. Wanneer men bedenkt dat allerlei vormen van homeostase bij levende wezens (zoals het herstel na verwondingen, het constant houden van het suikergehalte in het bloed, enz.) volgens hetzelfde feedback-beginsel kunnen verklaard worden, dan is de hoop gewettigd, dat hier principieel het middel gegeven is, om teleologische verklaringen tot eenvoudige causale verklaringen te herleiden." (Vermeersch, 1967, p.194)

Deze reductie berust niet alleen op een overdreven extrapolatie en verwachting, maar het feedback-beginsel kan ook geen verklaring geven voor de mens als planmaker en doelsteller. Het feedback-beginsel geeft wel een model voor doelgerichtheid weer, maar het is geen noodzakelijke verklaring.

nieuwe-wijze-zien. Dit op-een-nieuwe-wijze-zien veronderstelt echter een doelgerichtheid, die boven de bestaande fenomenen uitreikt.

"(Great technical discoveries) were more ancient than philosophy and the intellectual arts; so that, to speak the truth, when contemplation and doctrinal science began, the discovery of useful work ceased."

(Francis Bacon, *Novum organum scientiarum*, IV aforisme 85, geciteerd in Singer e.a., II, 1956, p.604)

x

x x

§ 7. Historisch onderzoek naar de verhouding tussen wetenschap en technische innovatie

Omdat er tussen verschillende auteurs enorm scherpe tegenspraak bestaat over de verhouding tussen wetenschap en techniek, en de ingenomen stellingen daaromtrent grotendeels zakelijk-logisch niet geargumenteed worden, en omdat de historische argumenten elkaar zo erg tegenspreken dat zelfs één en dezelfde uitvinding dient om elkaar tegensprekende stellingen te bewijzen, zie ik me verplicht historisch naar de verhouding tussen wetenschap en technische innovatie te zoeken.

In het begrip "technische innovatie" zit er een tijdsmoment : iets is nieuw als het daarvoor voor de mens niet bestaan heeft, of als de mens bekende zaken op een voorheen onbekende wijze ziet. Een historisch onderzoek kan dus een opzoekingsmiddel zijn om vast te stellen hoe de verhouding tussen wetenschap en techniek is : men kan inzicht krijgen in het ontstaan van het nieuwe, in de technische innovatie; men kan nagaan welke rol wetenschap bij dit ontstaan speelt. Een ander voordeel dat dit onderzoek met zich meebrengt, is dat ik me met concrete uitvindingen ga bezighouden en zodoende voorbeelden voor een meer abstracte uitzetting ga vergaren. Ik tracht hier dus een soort verifikatie te geven, die blijkt samen te gaan met de opzoeking van de verhouding.

De tekst is duidelijk op het opzoekingsvlak geschreven : wanneer het materiaal er aanleiding toe geeft, probeer ik al tastend en zoekend de verhouding tussen wetenschap en techniek weer te geven en sommige van de daarbij horende problemen op te lossen. Ik probeer ook problemen aan te duiden die in het historisch materiaal te voorschijn komen. Het is dus geen dogmatische uiteenzetting, en zeker niet "more geometrico". In de inhoudstabel, die speciaal van deze zevende paragraaf gemaakt is, heb ik tussen haakjes de voornaamste theoretische beschouwingen aangeduid waartoe het materiaal aanleiding gaf. In een volgende paragraaf ga ik dan trachten de hier opkomende beschouwingen, samen met materiaal uit meer theoretisch gerichte literatuur, tot één geheel samen te

brengen. Een hinderend aspect in de tekst kan ook het veelvuldig citeren zijn. Dit is hier zeker een noodzakelijkheid omdat het hier om het geven van bewijsmateriaal gaat ter ondersteuning of ontkrachting van één of andere stelling.

Karl Marx betreurt in "Das Kapital, I" (1867, p. 392-393, voetnoot 89) het ontbreken van een kritische geschiedenis van de technologie. Een geschiedenis is volgens Marx kritisch wanneer ze niet van de materiële basis, van de actieve handelen van de mens ten opzichte van de natuur, van het onmiddellijk productieproces van zijn leven abstraheert. Ik onderzoek slechts een deel van de materiële basis, een gedeelte van de productievoorwaarden, namelijk bepaalde technieken in hun wetenschappelijke ontstaansvoorwaarden. Maar anderzijds stelt Marx dat de technologie de actieve verhouding van de mens ten opzichte van de natuur, het onmiddellijk productieproces van zijn leven onthult, en daarmee ook zijn maatschappelijke levensverhoudingen en de hun ontspringende geestelijke voorstellingen. Moeilijk kan men mijn onderzoek een geschiedenis van de technologie noemen, en dit om twee redenen : ten eerste valt het geschiedenisaspect weg omdat zo goed als niet de verbanden tussen de verschillende uitvindingen onderling en hun relaties met andere fenomenen worden nagegaan; ook valt het technologieaspect weg, omdat het geen onderzoek is van de technologie in het algemeen, maar het hier specifiek gaat om een onderzoek in de geschiedenis van de verhouding tussen wetenschap en techniek. Ik ga na of de door mij onderzochte auteurs gelijk hebben wanneer ze beweren dat wetenschap een (noodzakelijke) rol gespeeld heeft voor techniek. Ik meen dat dit onderzoek wel kritisch is - misschien niet geheel rechtstreeks zoals Marx dit bedoelde - namelijk in de zin dat ik de argumenten die gegeven worden voor bepaalde stellingnamen op hun geldigheid tracht te onderzoeken.

Er bestaat geen overeenstemming over de periode(n) waarin wetenschap een (noodzakelijke) rol begon te spelen bij het ontstaan van nieuwe technieken. Sommige auteurs stellen een bepaald tijdstip voorop waarop wetenschap plotseling een rol ging spelen :

James Feibleman (1961, p.313) stelt dat op het einde van de 18e eeuw de grondslagen van de "technologie" verschuifden van vakmanschap naar wetenschap. Peter Mathias (1972, p.78) beweert dat "the main impetus from formal applied science to innovation came after 1850 on an ever widening front,...". Hervey Brooks (1965, p.38 en 1968, p.294), Robert Multhauf (1959, p.44) en Thomas Kuhn (1971, p.284) komen in die mate overeen dat ze respectievelijk stellen dat men in de "German chemical industry in the 1880's" een eerste voorbeeld kon vinden van een industrie waarbij de technologie grotendeels steunde op de wetenschap, dat men in de "synthetic organic chemistry, developed in the third quarter of the nineteenth century" misschien het eerste voorbeeld vindt van een "production technology depending extensively and continuously on the scientist...", en dat in "the organic-chemical dye industry in the 1870s" wetenschap zich voor het eerst vertoonde als een "prime mover in socio-economic development." James Kip Finch (1961, p.328) duidt de eerste wereldoorlog aan als de periode waarin men begon te beseffen dat wetenschappelijk onderzoek de sleutel voor het uitvinden was. Daniël Alpert (1969 b, p.31) stelt dat "only in the course of the twentieth century, and, in particular, since World War II has there been a deliberate effort to apply science to technology on a broad scale."

Thomas Kuhn beweert ook expliciet dat het hier gaat om een plotseling fenomeen :

" Science's emergence as a prime mover in socio-economic development was not a gradual but a sudden phenomenon, first significantly foreshadowed in the organic-chemical dye industry in the 1870's, continued in the electric power industry from the 1890's, and rapidly accelerated since the 1920's ". (Kuhn, 1971, p.284)

John D. Bernal meent in tegenstelling hiermee dat het niet gaat over één plotselinge doorbraak van de wetenschap waarna ze een definitieve rol ging spelen bij technische innovaties, maar dat er in de geschiedenis vijf periodes waren, waarin de scheiding van theorie en praktijk werd opgeheven, en zodoende de stimulatie van wetenschap op techniek, en omgekeerd, mogelijk werd.

"Those opportunities came, as has been shown, in the few periods in world history when the class distinction partly broke down and there was mutual stimulation of scientist

and craftsman. Counting as one period the first creative outburst of early civilization, before the division between scientist and craftsman occurred, we can find in the whole of history only five such major periods. The other four were : that of the Greeks ; of the sixteenth and seventeenth centuries in Europe ; of the Industrial Revolution in Britain ; and of the scientific technical transformation of our own time." (Bernal, 1969, p.1221)

De uitgevers van "A history of technology", Charles Singer, E.J. Holmyard, A.R. Hall en Trevor I. Williams (1954-1958), menen dat het hier om een gradueel verschijnsel gaat, sluimerend beginnend op het einde van de Middeleeuwen maar tot volle opbloei komend rond 1900.

Een nader onderzoek van deze verschillende perioden zal aantonen of één van deze verschillende visies waar is, en zo ja, welke.

x
x x

A. Wetenschap en techniek in de prehistorie

Kan men in de prehistorie reeds van wetenschap spreken?

"More immediately relevant to science are the rituals concerned with totem ceremonies, particularly those of birth, initiation, and burial. These rites, through which everyone had to pass, were accompanied with hymns expressing explanations or myths of the origin and development of the world in totem terms. This was the first formal education, that is the inculcation of a set of explicit beliefs about the world and how to control it, which completed, though it never took the place of, the practical apprenticeship of the actual techniques of hunting, cookery, etc. ... It is from such totem myths, after many changes but with an unbroken continuity of tradition, that not only the creeds of the religious, but also the theories of science have come down to us." (Bernal, 1969, p.76-77)

De wetenschappelijke theorieën zouden hun historische wortels hebben - langs een ongebroken, continue traditie, maar met vele veranderingen - in de prehistorische totemmythen, die de praktische beheersing van de technieken completeerden, maar er nooit de plaats van innamen.

"The different kinds of knowledge acquired by primitive man - those from implements and tools, from fire, from animals and plants, and from the rituals and myths of society - were not, at their first winning, at all distinct. Wherever they existed they blended into one common culture." (Bernal, 1969, p.77)

Hier blijkt dus geen scheiding te bestaan tussen praktijk en 'theoretische beschouwingen' over de wereld. Deze totemmythen mogen dan de historische wortels zijn van onze wetenschappelijke theorieën, ofdat ze als wetenschap kunnen doorgaan, hangt af van de zakelijke criteria die men gebruikt om wetenschap te kunnen onderscheiden. (Zo stelt Vermeersch bijvoorbeeld een essentieel verschil tussen wetenschap en mythe aan de hand van enkele kritische eisen, waar onder andere coherentie en verificatie toebehooren.)

"The archeological evidences of the earliest civilizations are largely technological in character. Science, being more dependent upon the written word, has left no evidence of comparable antiquity, although, if appropriately defined, it can be held to have preceded technology." (Multhauf, 1959, p.39)

Tegenover deze door Multhauf gesuggereerde mogelijkheid, waarbij het geven van een definitie blijkbaar niets te maken heeft met een zakelijk bepalen maar eerder lijkt neer te komen op een spelen met woorden, stelt Bernal :

"But the first human approach to nature could hardly be

a scientific one." (Bernal, 1939, p. 13)

Dit wordt nog bevestigd doordat Bernal stelt dat wetenschap ontstaat na de techniek.

"Science in the sense of rational, explicit and cumulative human enterprise came late compared with the traditional, implicit, though also cumulative, techniques of the craftsman." (Bernal 1939, p.127)

Op te merken valt wel dat Bernal hier blijkbaar een bepaald soort wetenschap op het oog heeft, nl. wetenschap in de zin van een rationele, expliciete en cumulatieve menselijke onderneming. Bestaat er dan een wetenschap die niet zo rationeel, expliciet en cumulatief is?

"A fully rational and usable science can arise only where there is some hope of understanding enough of the inner workings of a part of the environment to be able to manipulate it at will to human advantage." (Bernal 1969; p. 78-79)

Bernal geeft hier duidelijk een noodzakelijke voorwaarde voor een ontstaan van een volledig rationele en bruikbare wetenschap aan. Deze zou slechts kunnen ontstaan wanneer men enige hoop heeft voldoende kennis van de innerlijke werking van de omgeving te bezitten om er praktisch voordeel uit te halen. Dit houdt niet alleen in dat er reeds een kennis van de omgeving bestaat, die niet volledig rationeel en bruikbaar wetenschappelijk is en toch noodzakelijk om het ontstaan van deze wetenschap mogelijk te maken, maar ook dat bij Bernal een ontstaansvoorwaarde voor deze wetenschap duidelijk praktijkgebonden is.

Waar komt deze praktijkgebondenheid vandaan, en waar komt ze tot uiting? Ligt ze reeds in de voorwetenschappelijke kennis maar komt ze daar nog niet tot uiting? Er zou enkel enige hoop zijn. Komt het praktisch voordeel dan slechts tot uiting - en wordt de hoop als dusdanig vervuld - wanneer de desbetreffende kennis wetenschappelijk wordt? Is het zo voor Bernal dat kennis juist wetenschappelijk wordt omdat ze praktisch voordeel oplevert? (1) Dit laatste kan dan echter niet de wetenschap in

(1) In contrast met de praktijkvoorwaarde voor het ontstaan van wetenschap, staat de bewering van Thomas Kuhn : "No science, however highly developed, need have applications which will significantly alter existing technological practice" (Kuhn, 1971 p.278). Deze tegenstelling is terug te voeren op de tegenstelling tussen de technologische, "realistische" en de zuivere wetenschapsopvatting.

de zin van een rationele, expliciete en cumulatieve menselijke onderneming zijn, want daarvoor had men reeds traditionele, impliciete en cumulatieve technieken, en deze sloten toch kennis in op het vlak van het handelen. Bernal heeft het over een ontstaansvoorwaarde voor een volledig rationele en bruikbare wetenschap. Betekent dit dan dat een expliciete wetenschap geen bruikbare wetenschap kan zijn? Enkele regels verder schrijft Bernal :

"By making and using implements, man was transforming Nature according to his deliberate will. This was the origin of rational mechanics, the laws of the movement of matter in bulk expressed in the practical handling of the trap, the bow, the boomerang, and the bolas." (Bernal, 1969, p. 79).

Een rationele wetenschap-- rationele mechanica - zou haar oorsprong hebben in het maken en gebruiken van werktuigen waardoor de mens de natuur vervormde volgens zijn weloverwogen wil. Het is niet door de rationele mechanica dat de mens weet hoe hij deze werktuigen moet gebruiken of maken. Het praktisch voordeel zou dus reeds op het vlak van de woorwetenschappelijke kennis tot uiting komen. Men kan ook sterk in twijfel trekken of de prehistorische mens de innerlijke werking van de val, de boog, de boemerang en de werpslinger begreep. Begreep de mens toen de wetten van de beweging van de materie in massa? Dit was niet zo. Bernal gaat zelf als volgt verder :

"Even without such an understanding of the workings of Nature it was still possible for man to take advantage of any part of the environment in which there was any sign of regularity. It was only necessary for man to know what to expect without any need to bring things about himself, and to be there to take what Nature gave. This is the field of the observational and descriptive sciences, such as are the basis of the arts of hunting and of gathering fruits in their season. Beyond what might be controlled by direct human action and what might be expected from Nature, man still strove to exert his power, but by other means, at first magically, later in terms of religion" (Bernal, 1969, p. 79)

Zonder rationele en bruikbare wetenschap is het voor de mens dus toch mogelijk voordeel te halen uit de omgeving. Maar is een observationele en descriptieve wetenschap dan geen volledig rationele en bruikbare wetenschap? Observationele en descriptieve wetenschap voldoet volgens Bernal niet aan de noodzakelijke voorwaarde hiervoor, nl. enige hoop om genoeg te verstaan van de interne werking van een deel van de omgeving om in staat te zijn

haar naar willekeur te manipuleren ten voordele van de mens. Is Bernal's noodzakelijke voorwaarde voor een rationele en bruikbare wetenschap misschien niet juist?

De prehistorische totemmythen nemen niet de plaats in van de voorwetenschappelijke kennis van het maken en gebruiken van de technieken. In deze prehistorische totemmythen liggen de historische wortels voor de wetenschap, die daaruit ontstaat langs een ongebroken, continue traditie met vele veranderingen. Een bruikbare wetenschap kan slechts ontstaan wanneer er voorwetenschappelijke, praktische kennis bestaat. Het is dus niet zo dat de kennis die aan de prehistorische technieken ten grondslag ligt wetenschappelijk is. En Bernal geeft me zelfs enigszins gelijk :

"Stone, bronze, and iron were recognized from antiquity as marking eras in human culture; they were technical achievements owing nothing to science. The same can be said of the revolutionary introductions of fire, pottery, weaving, the wheel, and the ship(...) (Bernal, 1969, p.1229)

Een van de kenmerken van wetenschap is toch dat de mens zich ervan bewust is : het is een menselijke onderneming, d.w.z. een vorm van menselijke arbeid, die zich van dierlijke arbeid onderscheidt door haar doelgerichtheid en bewuste doelstelling. Uitspraken over rationele en bruikbare wetenschap, rationele mechanica, observationele en descriptieve wetenschap met betrekking tot de prehistorie dienen als anachronistisch beschouwd te worden. De technieken in de prehistorie zijn dus zonder wetenschap ontstaan.

"Long before there was anything that we can recognize as self-conscious science, long before steel or even iron had come into general use, long before any fuel was available other than wood and charcoal or any roads but tracks, men had produced such masterpieces of dexterity as the Gebel-el-Arak knife of flint and ivory of about 3800 B.C., such triumphs of portraiture as that of Sargon I of about 2600 B.C., and a work of such unsurpassed technical skill as the inner coffin of Tutankhamen of about 1350 B.C." (Singer e.a., I, 1954, p.V-VI)

x

x x

B. De Grieken (en het bronzen tijdperk)

"Right up to late Greek times, when most of the techniques on which our lives are based had already been evolved, it does not seem that science, except in such by-products as monumental architecture, and perhaps in water-works (p.218) entered technology at all. The speed of its advance seems to have depended entirely on social and economic factors... We may suspect, though we cannot prove, that the professional scientists had a hand in the development of machinery, in the design of gears, screws, and pumps, even if it was only to polish up crude devices invented and used by the workmen themselves." (Bernal, 1969, p.1229)

"Only to a limited degree, however -and notably in surveying operations- did these Greek scientific beginnings find practical application (sic) and use in Greek life." (Finch, 1961, p.320)

"During the Greek period attention was occasionally given by scientists to civil and military engineering, technologies which are particularly esteemed by governments and which always had a particular relationship to science." (Multhauf, 1959, p.39-40)

In architectuur, waterwerken, landmeting en burgerlijke en militaire bouwkunde (engineering) zou de Griekse wetenschap invloed op techniek hebben gehad. Wanneer dit nader wordt onderzocht, blijkt er iets anders uit de bus te komen.

Wat de architectuur betreft :

"The operation of building itself also contributed, probably even before land survey, to the foundation of geometry... The practice of building in brick, particularly of large religious buildings of pyramid form, gave rise not only to geometry, but also to the conceptions of areas and volumes of figures and solids reckonable in terms of the lengths of their sides." (Bernal, 1969, p.121)

"Architecture in Greek times advanced to the level of a citizen's profession, not of a mere manual art... Now architecture is pre-eminently an art depending on geometry and involves accurate drawing. It could therefore hardly fail to affect the queen of Greek science, mathematics. Two instruments helped in the same direction, the draughtsman's compass and the lathe..." (Bernal, 1969, p.167)

Oorspronkelijk is de invloed van techniek op wetenschap en niet omgekeerd. Bij de waterwerken blijkt wetenschap geen invloed gehad of gegeven te hebben.

"It was in mechanics that the Hellenistic age furnished its greatest contribution to physical science. The first

impetus probably came from the technical side. Greek workmanship, particularly in metals, had reached a high level before Alexander. Transplanted to countries such as Egypt and Syria, with far greater resources at their command, it could be used to effect radical improvements in all machinery, especially those of irrigation, weight shifting, shipbuilding, and military engines. We know that a great crop of apparently new devices appeared around the third century B.C., but their origin is still obscure. They may well have come from the discovery of invaders of traditionally developed machinery of local craftsmen, afterwards written up and further developed by liberated Greek technicians." (Bernal, 1969, p.218)

Bij de landmeting heeft men niet eerst wetenschappelijke invloed op de techniek, maar is het de techniek die aanleiding geeft tot een wetenschap :

"The Greeks created a science of geo-metry (i.e. land measurement) based on the practical rules evolved by Egyptian and other early workers. Similarly a science of mechanics (i.e. contrivances) sought to explain some of many long known and used mechanical devices."
(Finch, 1961, p.320)

Op het gebied van architectuur en landmeting blijft de vraag hangen of wetenschap, ook al heeft ze niet bijgedragen tot het ontstaan van de technieken, misschien een noodzakelijke voorwaarde was om bepaalde technieken bruikbaar te maken.

"Contrary to popular belief the major role of science in engineering has been, as in the case of medicine, its contributions themselves of more fully rationalized, exact, and quantitative techniques. ...Every practical art contains the germ of such a practical science, but little need or incentive for its development in engineering was to evolve until well into modern times."
(Finch, 1961, p.320)

Wetenschap zou hier dus wel een rol spelen, nl. ze zou bijdragen tot het ontstaan van meer gerationaliseerde exacte en kwantitatieve technieken. Betekent dit ook een bruikbaar maken van deze technieken? Elke praktijk bezit de kiem voor zo'n praktische wetenschap. Volgens Bernal is deze kiem noodzakelijk voor het ontstaan van deze praktische wetenschap (cfr. zijn ontstaansvoorwaarde voor een rationele en bruikbare wetenschap). Voor "engineering" was volgens Finch tot in de moderne tijden, dus zeker niet bij de Grieken, geen aanleiding om deze praktische wetenschap te ontwikkelen.

Volgens Robert Multhauf echter zouden de hier gebruikte

methoden reeds de tendens vertonen om wetenschappelijk te zijn :

"In aiming at utility, civil and military engineering possess the essential characteristic of technology. They were considered among the arts in antiquity, and in modern times served as the nucleus around which was built the engineering profession as we now understand it. Yet their methods tend to be scientific, men who were principally scientists have at most times participated directly in their advancement, and civil and military engineering have until modern times been one of the most important sources of support for the impecunious scientist." (Multhauf, 1959, p.45 , fn,5)

Dat de wetenschapsmens in geldnood zich moest bezighouden met ingenieursproblemen kan toch geen reden zijn om aan de gebruikte methoden ter oplossing ervan het statuut van "wetenschappelijkheid" te verlenen. Men kan dit laatste toch enkel toekennen wanneer in de behandelingswijze van deze problemen wetenschap wordt aangewend of wetenschappelijke middelen worden gebruikt. Daar "engineering" in de oudheid beschouwd werd als behorend tot de "arts" en zelfs Archimedes, wiens populaire reputatie grotendeels berustte op zijn (legendarische ?) mechanische uitvindingen, leerde om ze te beschouwen als onbelangrijk en onwaardig om te vermelden. (Finch, 1961, p.320), kan men ten zeerste betwijfelen of zuivere wetenschap bij de oplossing van de ingenieursproblemen werd gebruikt.

Uit volgend citaat blijkt duidelijk dat wetenschap in "engineering" tijdens de oudheid geen rol speelde :

"Standards of economic efficiency in the ancient world were very different from those of modern industrial society and, above all, the fertile interplay between science and technology was almost totally absent. The ancient engineer was sometimes aware of its necessity, for as Pappus (third to fourth century) remarked :

"The mechanicians of Hero's school say that mechanics can be divided into a theoretical and a manual part : the theoretical part is composed of geometry, arithmetic, astronomy, and physics ; the manual of work in metals, architecture, carpentry, and the art of painting, and the manual execution of these things. The man who has been trained from his youth in the aforesaid arts and in addition has a versatile mind, will be they say, the best architect and inventor of mechanical devices. As it is not possible for the same man, to excel in so many academic studies and at the same time to learn the aforesaid crafts, they advice one who wishes to undertake 'mechanical work' to use such crafts as he already possesses in the tasks to be performed in each particular case." " (A.R.Hall in Singer e.a., II, 1956, p.603-604)

Hall beweert dat de "ancient engineer" soms bewust was van de noodzakelijkheid van een vruchtbare wisselwerking tussen wetenschap en "technologie". In het citaat uit Pappus blijkt dit echter niet voor te komen : eruit blijkt dat het theoretisch deel niet noodzakelijk is .

Op het eerste zicht mag het verwonderlijk lijken dat Bernal de Griekse beschaving aanduidt als één van de perioden waarin de scheiding tussen wetenschapsmens en vakman gedeeltelijk werd opgeheven. Wordt de scheiding tussen theorie en praktijk niet juist gemotiveerd in het Platoon-Aristotelisch wetensideaal, het ideaal van het weten om het weten los van elke praktijkgebondenheid ? Hij blijkt dit ook te bevestigen :

"The unique character of Greek thought and action resides in just that aspect of their life which we have called the scientific mode. By this I do not mean simply the knowledge or practice of science but the capacity to separate factual and verifiable from emotional and traditional statements." (Bernal, 1969, p.161)

"Greek science has an altogether different character from that of the early civilizations ; it is far more rational and abstract, but it remained as far or farther removed from technical considerations." (Bernal, 1969, p.164)

"This typically Greek contrast between the liberal arts and the artes mechanicae precluded all efficient co-operation between science and technology." (A.R.Hall in Singer e.a., II, 1956, p.604)

Anderzijds blijkt er in het geval van de architectuur en de landmeting wel invloed geweest te zijn van techniek bij het ontstaan van de geometrie als wetenschap : de scheiding werd dus wel gedeeltelijk opgeheven ; de stimulatie verliep echter blijkbaar in één richting.

Multhauf trekt dit laatste in twijfel :

"Technology made no such spectacular advance under the Greeks (although we know that it was not static), nor is it clear that it exercised much influence on the Greek scientist, who was characteristically contemptuous of manual labour." (Multhauf, 1959, p.39)

Bernal blijkt gedeeltelijk Multhauf gelijk te geven :

"The technical advances of the Iron Age did not, however, affect the learned in the same way as had those of the early Bronze Age. It was partly because they were essentially improvements and not radical innovations that they did not strike the imagination. Further, they created little demand for new auxiliary scientific techniques. There was

enough arithmetic and geometry to cope with them already. The most powerful reason, however, was that the craftsman was still despised. The handworker, 'cheir ourgos' in Greek (our surgeons are still called Mr, not Dr), was considered a definitely inferior being to the brain worker or contemplative thinker. This was no new idea ; it was inherited from the old civilization, but it was strongly reinforced, especially in later Greek society, by its association with slavery. Although much craft work was done by free men, they were degraded by competition with slaves, so that their work was called base or servile." (Bernal, 1969, p.165-166)

Ondanks de theoretisch scherp gestelde scheiding tussen vakman en wetenschapsmens blijkt er - alhoewel minder dan in het Bronzen Tijdperk - toch invloed van de techniek op de wetenschap, met name de geometrie, te zijn geweest. De technieken blijken tijdens het Ijzeren Tijdperk zo goed als geen nood te hebben aan "nieuwe wetenschappelijke hulpmiddelen" : de aritmetika en de geometrie waren in het Bronzen Tijdperk reeds voldoende gevorderd om de opduikende technische problemen op te lossen. Een onderzoek van het Bronzen Tijdperk en haar wiskundige verworvenheden dringt zich dan ook op om na te gaan of we hier te doen hebben met invloed van wetenschap op techniek.

Belangrijk in het Bronzen Tijdperk is het ontstaan van steden. In deze steden waren er klasseonderscheidingen. De steden lagen gecentreerd rond de tempel van één of meer goden. De priesters bestuurden dan ook deze steden.

"The priests formed the first administrative class, having definite and indeed essential functions ; they arranged for the distribution of water and seed, for the timing of sowing and harvest, for storing of grain, and for collecting and apportioning the herds and their produce." (Bernal, 1969, p.205)

De priesters waren verplicht de hoeveelheid goederen en zaden die ze ontvingen en verdeelden op te tekenen, omdat ze omwille van de omvang niet meer op hun geheugen konden vertrouwen. Het gebruik van maten en gewichten drong zich dan ook op. De balans en de getallen waren hiervoor nodig. Astronomie, meer in de vorm van astrologie, en geneeskunde, nog in een zeer primitieve vorm, waren ook twee activiteiten van deze priesterkaste.

De scheiding tussen theorie en praktijk wordt hier gedeeltelijk opgeheven - gedeeltelijk, in de zin dat de activiteiten deze zijn van een priesterkaste, een klasse die zich alleen bezighield met de distributie van goederen en zaden en niet met de produktie ervan. De activiteiten van de priesters omvatten dus niet het ganse economische leven van deze steden. Het is dan ook zo dat er technische ontdekkingen zijn gedaan, waarmee de 'wetenschap' niets te maken heeft gehad, zoals de ontdekking en het gebruik van metalen, voornamelijk koper en zijn legering brons - in het begin alleen bebruikt voor het produceren van luxe-artikelen -, schepen die grote ladingen goederen konden transporteren, zeilschepen en karren.

"But the Egyptian, having abundant labor and facing few challenges to progress, was intensively practical in interests, seeking only "how" best to use his resources and never asking the "why" of the simple rules and methods he derived from experience." (Finch, 1961, p. 319).

Duidelijk is echter nog niet in welke verhouding de wetenschap stond tot dat deelgebied van de praktijk, namelijk de stadstempelactiviteiten.

"The wide scope of operations and the large quantities of materials and services involved in operations of the city temple provoked this qualitative change which marks the beginning of conscious science." (Bernal, 1969, p. 117).

De aangeduide kenmerken van de operaties in de stadstempel maakten een kwalitatieve verandering, namelijk het gebruik van een klassificerings- en maatsysteem, noodzakelijk. Deze kwalitatieve verandering was een noodzakelijke voorwaarde voor het ontstaan van een bewuste wetenschap. Het is duidelijk dat de techniek noodzakelijk was om wetenschap - hier nu bewuste wetenschap - te doen ontstaan. Duidelijk blijkt hier ook een onderscheid tussen twee niveaus: enerzijds heeft men een classificerings- en maatsysteem en anderzijds een bewuste wetenschap. Kan een mens onbewust aan wetenschap doen of wetenschap gebruiken, Wetenschap is toch een bewuste menselijke activiteit. Dus zou er een voor-wetenschappelijke geometrie en aritmetika bestaan, die aan de wetenschap noodzakelijk ten grondslag ligt.

"Mathematics, indeed, arose in the first place as an auxiliary method of production made necessary and possible

by city life. (Bernal, 1969, p. 121) (1).

Dat er reeds een voorwetenschappelijk "mathematika" bestond, blijkt ook uit volgend citaat.

"Ook de wiskunde als wetenschap bood nog weinig gelegenheid van praktische toepassing. Natuurlijk werd de wiskunde toegepast, de naam geometrie -aardmeetkunde - wijst daar al op. Maar de Griekse prestatie is juist geweest de meetkunde uit de sfeer van de toepassingen te halen en ze tot het niveau van wetenschap te verheffen, waarbij de meetkundige relaties geaxiomatiseerd werden. Dat was voor de directe praktijk van weinig betekenis."
(Van Melsen, 1960, p. 85).

Men kon wetenschap niet toepassen, voordat ze bestond. De toepassingen, die van de wetenschappelijke wiskunde werden gemaakt, werden niet door de wetenschap mogelijk gemaakt : ze bestonden reeds vroeger onder de vorm van reken -en meet'technieken'. Op deze praktische regels creëerden de Grieken de wiskunde als wetenschap. Deze praktische zegels reeds als wetenschap beschouwen betekent dus een anachronisme aanhangen. Ik maak dus een onderscheid tussen 2 soorten wiskunden : de wetenschappelijke en de voorwetenschappelijke, die zou bestaan uit elementaire reken- en meettechnieken. Van Melsen vermeldt als onderscheid tussen deze twee soorten wiskunden de axiomatisatie van de relaties. De elementaire rekenkunde zou dan slechts wetenschappelijk geworden zijn op het einde van de 19^e eeuw toen Guiseppe Peano deze axiomeïseerde. Is Van Melsen's onderscheidingscriterium een zekelijk juist criterium? Het is ook niet zo dat wetenschap de technieken voor de architectuur, de landmeting en de waterwerken bruikbaar maakte; het is juist zo dat deze technieken de wiskunde als wetenschap hierop toepasbaar maakten :

"Mathematics, especially geometry, was the field which the Greeks esteemed most highly and where their methods of deduction and proof are those we still use. Because of the immense prestige of these methods we are apt to overlook the fact that they are applicable to only a very limited part of Nature, and even there only where the

(1)'City life' dient hier duidelijk gedifferentieerd te worden ten opzichte van de twee grondverhoudingen : bepaalde kenmerken van de technieken maakt de "mathematika" mogelijk als een hulpproduktiemiddel. Mathematika is noodzakelijk om deze technieken goed uit te voeren. Bijvoorbeeld : ' the wide scope of operations and the large quantities of materials' maakt mathematika mogelijk als een hulpproduktiemiddel. Ze was nodig voor het goed opslaan en distribueren van produktiegoederen en zaden.

spade-work of observation and experiment has been done."
 (Bernal, 1969, p. 164-165).

Op p. 138 stelt Bernal zonder verdere kommentaar :

"Plato considered that the only practical use for geometry was the drawing up of ranks and files in an army."
 (Bernal, 1969, p. 138).

Als conclusie voor het Bronzen tijdperk en de Griekse periode kan ik enkel de woorden van A. Turpert Hall beamen wat de verhouding tussen wetenschap en techniek betreft :

"The classical scientist at his best had a clear apprehension of scientific method, he was aware of the need for deduction and verification, and he conducted experiments. But he was too naïvely empirical and scarcely appreciated the difficulties involved in adequate observation. The effect of craft-knowledge on his science seems extremely small and doubtful : certainly classical science yielded no conclusions helpful to the engineer and the craftsmen, who were left to travel the hard road of trial and error alone." (A.R. Hall in Singer e.a., II, 1956, p. 604).

x

x x

C. De Middeleeuwen

"Taking the very long view from medieval times to the present day is to see a dramatic change in these relationships (between science and technology). Broadly we may postulate the earlier position as a context where empirical discoveries and the development of industrial processes in such industries as metals, textiles, brewing, dyeing took place and advanced without being directly consequential upon knowledge of fundamental scientific relationships in the materials concerned." (Mathias, 1972, p. 54).

"Similarly, the Middle Ages, which may be characterized as an Age of Craftmanship, again emphasize the fact experience has long been the great teacher. Modern science was still to be born when later medieval times witnessed some of the most outstanding works and technical developments in man's long history." (Finch, 1961, p. 321).

De Middeleeuwen zijn dus een tijdperk van vakmanschap. Alhoewel de moderne wetenschap nog niet bestond, meent de redactie van "A history of Technology" dat er reeds elementen in de literatuur en de methoden van de techniek aanwezig zijn die we als wetenschappelijk kunnen aanduiden :

"Elements that we can reasonably call scientific begin to be traceable in both the literature and the methods of technology, though science does not yet occupy a recognized and independent position in them. For that we must wait until the sixteenth century. A much longer period was to elapse before technology gained formal academic and educational acceptance." (Singer, e.a., II, 1956, p. V).

Hier hebben we - zoals vóór de Grieken - ook weer te maken met wetenschap avant la lettre. Als wetenschap nog geen erkende en onafhankelijke positie in de literatuur en de methoden van de techniek innam, betekent dit dat een bewuste wetenschap uit deze technieken ontstaan is. Het regressief aanduiden van deze technieken als wetenschappelijk leidt tot een verwarren van de grondverhoudingen : techniek was noodzakelijk voor de wetenschap, niet omgekeerd.

J. D. Bernal meent twee voorwerpen te kennen, waar er toch invloed van wetenschap is geweest bij hun ontstaan of verbetering :

"Certainly nearly all the set of inventions, mostly Chinese, that were to change medieval into modern economy - the horse-collar, stern-post rudder, trip-hammer, and mechanically driven bellows - owe nothing to science. Even spectacles, gunpowder, and printing are largely practical achievements, though the inspiration must have come from the learned (...). Only in the compass and the clock, essential for navigation does the scientist seem to have

63.
made a larger contribution." (Bernal, 1969, p. 1229).

Wat de wetenschap voor het kompas betreft :

"The slow development of the compass after its first discovery bears all the marks of traditional, technical improvement; but science was early invoked to explain its action. (Bernal, 1969, p. 317).

De ontdekking van het magnetisme van de aarde en de invloed ervan op een natuurlijke magneet is door de Chinezen gemaakt. Alhoewel Bernal zelf zegt dat de wetenschap vroeg ingeroepen werd om haar gedrag te verklaren - dus het kompas is niet een wetenschappelijke ontdekking - stelt Bernal het kompas voor als een wetenschappelijke ontdekking.

Daarbij stelt hij nog:

"The first original scientific work of western Christendom was 'Epistola de Magnete' (1269), the work of Peter the Pilgrim (de Mericourt), ... From this work - after a long interval - were to stem the researches of Norman and Gilbert from which was to come the whole of the theory and practice of magnetism and electricity." (Bernal, 1969, p.317-318)

Een wetenschappelijk onderzoek werd maar eerst gedaan op het einde van de zestiende eeuw - als we het onderzoek van Petrus Perigrinus uit 1269 niet meerekenen. Hoe kan men dan stellen dat de ontdekking van het kompas door de Chinezen wetenschappelijk zou zijn? Ook de verdere verbetering ervan was een traditioneel-technische aangelegenheid.

Ook het uurwerk is geen wetenschappelijke uitvinding :

"The clock can no longer be claimed as a European invention, though it was most developed there. Clocks were objects of prestige, rather than of use. They were the pride of towns or cathedrals, but the rare trade of clockmaker and afterwards of watchmaker was in the Renaissance to become for science what the millwright was to be for industry - a fruitful source of ingenuity and workmanship." (Bernal, 1969, p.317)

Ook hier krijgen we dus te maken met de eenzijdige invloed van techniek op wetenschap.

"Historical research is paying increasing attention to the upsurge of medieval science, but these activities of the human intellect could not properly be described as having any profound scientific influence on technology." (Ubbelohde in Singer e.a., IV, 1958, p. 667)

64.

D. Zestiende, zeventiende en begin achttiende eeuw in Europa
(De wetenschappelijke revolutie)

In deze periode waarin de grondslagen voor de moderne wetenschap werden gelegd, zijn er volgens Singer, Holmyard, Hall en Williams, op enkele uitzonderingen na, geen punten van contact tussen wetenschap en techniek.

"At the close of the Middle Ages the points of contact between science and technology were few and tenuous : certain aspects of them are discussed in chapter 19 and 22." (Singer, e.a., III. 1957, p. V) .

Deze hoofdstukken handelen over "cartografie, landmeting en navigatie tot 1400", en "precisie-instrumenten tot 1500".

"From the time of Francis Bacon, Galileo, and Descartes there have always been men in Europe believing that science must ultimately guide the operations of the technician, and that a scientific technology would shape the future course of civilization.

Despite this, it would be absurd to overestimate the effect of such thinking, or of the achievements of pure science, on the technology of Europe in the period covered by this volume. Some few techniques - those of navigation (ch. 20) and industrial chemistry (ch. 25), for example - were directly modified by the application of scientific ideas, but in relation to many other premature attempts to rationalize and improve craft methods failed dismally." (Singer e.a., III, 1957, p.VI).

"Il n'y a que le premier pas qui coûte. In the perspective of three more centuries of history the apotheoses of long technological traditions regarded as the marvels of the age - the great wooden ships (ch. 18), the ponderous machine for raising water (ch.13), the massive stone buildings (ch. 10) and the intricately woven tapestries (ch. 8) - diminish in importance as compared with the first humble off-shoots of scientific research. These, for our period, were the pendulum clock(ch. 24), inquiries into the properties of metals (ch. 2), and, indeed, the very instruments that science invented to prosecute its own researches(chs. 22, 23)." (Singer e.a., III,1957,p.VI)

Volgens J.D. Bernal is er slechts één groot praktisch succes voor de nieuwe wetenschap :

"The solutions reached in mining and metal-working, transport and textiles, were technical solutions, but by breaking with tradition they raised new problems which modern science was created to solve (...). It is true that first the scientist claimed to be able to achieve greater results than were possible at the time. Until the end of the eighteenth century science drew far more from industry that it could yet give back. ... The impro-

vement of mills was for long to be in the hands of the millwrights, that of guns in those of the founders. Working in wood or in roughly cast metal it was impossible to make use of the refinements which the new mathematics and dynamics could provide... The one great success of the new science lays in navigation." (Bernal, 1969, p.491)

Hoe was de verhouding tussen wetenschap en techniek in de metallurgie, in de cartografie en de landmeting, in de navigatie, bij de precisie-instrumenten uitgevonden om wetenschappelijk onderzoek te doen, bij de pendulumklok, en in de industriële scheikunde?

1. De metallurgie :

In 16^e; 17^e en begin van de 18^e eeuw doet er zich een verschuiving voor wat betreft de verhouding tussen de wetenschap enerzijds en de metallurgische praktijk en het essayeren anderzijds (d.w.z. het bepalen van het gehalte zuiver zilver of goud in een legering met andere materialen)

"The great sixteenth-century works on metals have many quantitative aspects derived from experience, but make no effort to elucidate theory. To discern any theoretical metallurgical considerations of lasting importance we must await the eighteenth century. However, the great physicists and chemists of the seventeenth century consulted craftsmen, and Boyle, Hooke and Glauber in particular appreciated the two-way interdependence of science and the arts."
(C.S.Smith & R.J.Forbes, in Singer e.a., III, 1957, p.56)

In de zestiende eeuw had men dus in de metallurgie vele kwantitatieve aspecten afkomstig uit de ervaring. Ook op het gebied van het essayeren kwam de praktische kennis voort uit ervaring :

"In the sixteenth century there was no field of applied science more advanced than that of assaying. By centuries of purely empirical experiment precise methods had been developed for quantitative analysis in circumstances where it was economically justified. ... The techniques for the assaying of ores and metals containing gold and silver had so developed that they were changed only in incidental details until the present century."
(Smith & Forbes, in Singer e.a., III, 1957, p.59)

Smith en Forbes noemen het gebied van het essayeren het meest gevorderde wat toegepaste wetenschap betreft. Hier blijkt duidelijk de dubbelzinnigheid van de term "toegepaste wetenschap" : er kan hier geen sprake zijn van het toepassen van een zuivere wetenschap want op het gebied van het essayeren of aanverwante fenomenen bestond deze nog niet. Het zou hier dus moeten gaan om een weten-

schap die een autoriteit op de toepassing gericht "bestaan leidt".
of we hier reeds van praktijkgerichte wetenschap kunnen spreken, is sterk te betwijfelen. Kan men de ervaringen, die men gedurende zovele eeuwen heeft opgedaan bij het bewerken en verwerken van metalen, zien als een doelgericht onderzoek??

In de zeventiende eeuw blijkt er geen wederzijdse afhankelijkheid van wetenschap en metallurgisch vakmanschap bestaan te hebben. De appreciatie ervan door Boyle, Hooke en Glauber geeft dan ook aanleiding tot een verkeerd voorstellen van de rol van wetenschap bij metallurgische innovaties :

"The writings of the best seventeenth century chemists contain many descriptions of facts well known to the metallurgist and assayer, cited as experimental support for a theory. Conversely, however, metallurgical books long remained without a shred of theoretical explanation of the processes described. Even the exquisite quantitative methods of the assayers were presented only as recipes."
(C.S.Smith, 1961, p.359)

De kennis opgedaan in de praktijk dient dus als ondersteuningsmateriaal voor een wetenschappelijke scheikundige theorie. De metallurgische processen worden zelfs nog niet door een theorie verklaard.

In het begin van de achttiende eeuw komt hierin verandering :

"Early in the eighteenth century, however, this began to change. The work of R.A.F. de Réaumur (L'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, Paris, 1722) - undertaken at the express request of the académie des Sciences to benefit the French steel industry - is a masterly example of the application of theoretical principles (in this case the corpuscularism of Descartes) to a practical problem." (Smith, 1961, p.360)

Réaumur's onderzoek is duidelijk doelgericht onderzoek : het doel is het bevorderen van de Franse staalindustrie, meer concreet : een zoeken naar voor Frankrijk nieuwe methoden voor het maken van staal. Dit onderzoek zou gesteund zijn op de corpusculaire theorie van Descartes, een theorie die echter niet in staat was de complexe, fysische fenomenen te reduceren tot een kwantitatief schema :

"Both the followers of Descartes (1596 - 1650) and the opposing atomists were deeply concerned with the structure of matter, and their writings contain remarkably prescient remarks concerning the dependence of the properties of metals on the disposition of their component parts. Though there is much confusion as to the nature of the minute structure of matter (...) there is nevertheless a clear

67.

concept of a metal as composed of parts which can slide over each other without losing their attraction, which are agitated by heat, and which can interdiffuse. The physical phenomena, however, were too complex for easy reduction to a quantitative scheme." (C.S. Smith & R.J. Forbes in Singer e.a., III, 1957, p. 56-57)

Isaac Asimov vermeldt bij Réaumur :

"... and he did work on new methods for steel manufacturing. For the last, which was the first attempt to make a science out of what was almost a secret art, he earned a considerable cash award, which he turned over to the Academy of Sciences." (Asimov, 1964, p.151)

Het werk van Réaumur lijkt dus een combinatie te zijn van enerzijds praktisch onderzoek -het vinden van nieuwe methoden voor staalfabrikatie- en anderzijds theoretisch werk -het creëren van een metallurgische wetenschap uit zijn geheime vakkennis. Deze wetenschap zou gebaseerd zijn op Descartes' corpusculaire theorie ; ze kon dan ook niet de complexe metalen verklaren :

"Despite Réaumur's important efforts to understand the structure of metals on the basis of ~~intercrystalline~~ and transcrystalline fractures, it remained for the nineteenth century to realize the nature of polycrystalline materials." (C.S. Smith & R.J. Forbes in Singer e.a., III, 1957, p.57)

Deze theorie was niet enkel in staat om, maar belette later ook de complexe metalen te begrijpen :

"Thereafter, however, the very perfection and elegance of crystalline mathematics somehow prevented its application to metallurgical realities, and physicists developed no interest in the irregular and imperfect crystalline grains of most real matter until nearby the middle of the twentieth century." (C.S. Smith, 1961, p.361)

De vraag blijft echter of Réaumur's theoretisch werk -ook als is de theorie niet geheel bevredigend- bijgedragen heeft tot het oplossen van het technisch probleem, of omgekeerd, dat de wetenschappelijke theorie een reflexie is op de reeds gekende oplossingswijze van het probleem. In het eerste geval zou een onbevredigende theorie toch praktisch bruikbaar zijn en dient een theorie dus niet zakelijk waar te zijn om tot praktische gevolgen te kunnen leiden. In het tweede geval zou de verandering die Cyril Stanley Smith (p.360) aankondigde, enkel duiden op het begin van het verklaren van metallurgische processen door middel van een wetenschappelijke theorie, en niet op het

oplossen van een technisch probleem door middel van zo'n theorie.

De meest voorkomende verhouding tussen wetenschap en de metallurgische praktijk blijkt de volgende te zijn :

"But, on closer inspection, it is apparent that science was more important is (sic) explaining processes that had been in use for long periods and in providing methods for the control of them than in directly promoting the invention of entirely new processes. Although all innovation must build on the platform of the past, the big changes in metallurgy have always had less of logical science in them than of inspiration, intelligent observation, deduction, and empirical experiment. Very rare are cases where theory preceded the reality. Certainly, with today's chemical theory, it would be simple to devise methods of smelting iron. But actually the experiments had preceded the theory, and charcoal was used for fuel and reductant long before the combined chemical and physical nature of its effect was understood, or even the chemical role of air suspected. Even today, chemical theory is not enough. A knowledge of complex properties of materials is as important as of the kinetics of reactions." (C.S.Smith, 1961, p.365)

Is Réaumur's onderzoek één van die zeldzame gevallen waar de zuivere theorie, die van hem of van Descartes, de praktijk voorafging ?

In zijn "premier mémoire" van het eerste deel dat gaat over het omzetten van smeedijzer in staal, beschrijft Réaumur hoe hij tot zijn inzicht gekomen is :

"La possibilité de la conversion du fer en acier n'avait pas besoin d'être prouvée, elle était démontrée de reste par le succès avec lequel on y travaille en Angleterre, en Allemagne, en Italie & c. Toute la question, était donc de savoir si avec le secret pratiqué dans les pays étrangers, nous pourrions de nos fers, faire des aciers qui égalassent ceux qu'ils font des leurs, ... (p.8)... Je supposai donc je crus pouvoir supposer le fer propre à être converti en acier tout trouvé, qu'il ne s'agissait plus que d'avoir les procédés convenables pour le convertir, sauf ensuite à les éprouver sur toutes nos espèces de fer. Mais ces procédés sont un secret, gardé comme tel par ceux qui les pratiquent. Les livres à secrets ne manquent pas de donner celui-ci, pour un, même qu'on y cherche, on y en trouve à choisir, tous éprouvés & (p.9) surs pour qui ne les essaye pas. Le nombre de ces prétendus secrets, rapportés par différents Auteurs, est si grand que quand le véritable secret en serait un, on aurait aussi-tôt fait de le chercher de nouveau que d'entreprendre de le demesler d'avec les faux secrets parmi lesquelles il est confondu.

Ce qui m'a plus aidé dans cette recherche, que les livres, c'est une réflexion que j'ai faite sur des procédés fort en usage parmi les Ouvriers qui ont besoin de donner une grande dureté à des ouvrages de fer. Ceux qui font les

68,

grosses limes n'y employant que du fer. ils les rendent néanmoins aussi dures que les limes d'acier. Les Arcbusiers font prendre une dureté pareille à quantité de pièces de fusil, composées de pur fer & cela par le moyen des trempes en paquet ; c'est-à-dire, comme nous l'expliquerons ailleurs plus ou long, qu'après, que les Ouvriers ont donné à leurs pièces de fer une figure convenable, ils les renferment dans des boîtes de terre & les mettent ensuite dans un fourneau, où ils leurs donnent un feu plus ou moins long selon la grosseur des pièces renfermées. Après avoir retiré ces pièces du feu ils les trempent toutes rouges dans l'eau froide, elles s'y endurent comme l'acier. Or pourquoy cette opération rend-elle le fer capable de prendre une pareille dureté ? Quand j'ai cherché à le découvrir, j'ai reconnu que c'est qu'elle convertit en acier les premières couches du fer. Alors les limes de fer (p.10) agissent comme celle d'acier, leurs dents sont d'acier comme celles des autres. Des expériences inutiles à rapporter ici m'ont pleinement convaincu du changement de cette partie du fer en acier, auquel les ouvriers ne prennent pas garde ; ils se servent d'outils réellement d'acier, & ils les croient de fer.

La conséquence que j'ai tirée de cette observation, c'est que les matières employées pour les trempes en paquet, pourroient faire la base des compositions propres à convertir le fer en acier ; que si ceux, qui trempent en paquet, donnoient un feu plus long à leurs pièces qu'ils les rendroient acier jusqu'au centre ; cela seroit fort inutile aux outils dont nous avons parlé, qui n'ont besoin de dureté que dans leurs premières couches ; mais la remarque m'étoit essentielle à moy qui cherchais à rendre des barres de fer entièrement acier." (Réaumur, 1722, p.7-10)

Uit dit citaat blijkt dat men buiten Frankrijk reeds wist hoe men uit ijzer staal moest maken : de wetenschappelijke kennis kan dus niet noodzakelijk zijn om staal te fabriceren. Réaumur verantwoordt op p.11 zijn onderzoek echter nog door te zeggen dat men misschien daardoor verbeteringen kon aanbrengen aan de "geheime" procédés. Was Réaumur's onderzoek gesteund op Descartes' corpusculaire theorie ? Réaumur stelt dat hij meer hulp ondervonden heeft van een inzicht dat hij gekregen heeft -en de daaropvolgende reflexie- door de procédés die gebruikt worden door werklui die een grote hardheid dienen te geven aan hun ijzerwerken, dan door de geschriften die de geheime werkwijzen bevatten maar niet zo betrouwbaar zijn. Het inzicht heeft hij dus van werklui bezig te zien, en niet uit de geschriften of kennis van Descartes. Bij de verklaring die hij geeft van het procédé dat door deze werklui wordt toegepast, gebruikt hij ook geen corpusculaire termen. Men dient wel

duidelijk onderscheid te maken tussèn de opzoeking en de uiteenzetting van een werkwijze. Réaumur legt hierop in zijn "Préface" de nadruk :

"Mais les regles que nous avons à donner actuellement étant ou entierement nouvelles, ou, ce qui revient au même, conservées mysterieusement, nous n'avions pas seulement à les rapporter, nous avions en même temps à enprouver la bonté.

A la verité nous eussions pû commencer par donner des regles & venir ensuite aux preuves, c'est-à-dire aux experiences que nous avons faites ; ou lieu que nous avons commencé, presque par tout, par detailler scrupuleusement nos experiences. Je doute que la premiere methode soit la meilleure pour les matieres qui tiennent à la Physique. On voit mieux quel degré de certitude ont des assertions, quand elles sont immediatement à la suite des experiences, d'où on les a deduites : par cette voye on montre à nud tout ce qu'on a fait ; on n'en impose point sur la force des preuves ; on ne donne point lieu d'imaginer de ces reficences qui tendent à faire penser qu'on a negligé de prouver ce qui pouvoit l'être aisément. Commence-t'on par donner des propositions pour vrayes, le Lecteur a quelque penchant à croire qu'on les a tenues pour telles, avant que d'avoir tenté les experiences qu'on a faites pour les appuyer. Or il y a une grande difference pour la force des preuves entre des experiences d'où une proposition a été tirée, qui semble l'avoir fait naitre necessairement, & entre des experiences employées après coup pour prouver une proposition. Ce n'est pas que ces dernieres ne soient excellentes, qu'on ne doive souvent y avoir recours, mais il est plus avantageux que ce soit pour achever d'établir des consequences tirées des premieres." (Réaumur, 1722, Préface)

Wat duidelijk blijkt is dat Réaumur's ontdekking vóór Réaumur's theorie kwam : hij verwerft een inzicht, reflecteert erover, maakt daarna experimenten waaruit hij beweringen met een graad van zekerheid kan afleiden ; hij bouwt zijn theorie op door middel van deze beweringen.

Réaumur stelt wel dat zijn uiteenzetting zo getrouw mogelijk zijn opzoeking zal volgen : hij geeft dus een uiteenzetting van zijn opzoeking.

Réaumur's onderzoek is niet één van die zeldzame gevallen -bestaan deze wel ?- waar de theorie de praktijk voorafging. Ten eerste bestond deze praktijk reeds buiten Frankrijk, waar deze niet door wetenschappelijk-theoretische overwegingen konden voorafgegaan zijn. Ten tweede is het zo dat Réaumur's onderzoek duidelijk technologisch-doelgericht onderzoek is :

hij zou kennis opdoen die in de praktijk bruikbaar is - zakelijke kennis die op voorhand in Frankrijk nog niet bestond. De kennis die Réaumur verwierf door zijn onderzoek was bruikbare praktische ervaring. Zijn onderzoek kon alleen geleid worden door zijn vermoedens: vermoedens die niet door Descartes' corpusculaire theorie werden opgewekt, maar door de praktische handelingen van werklui, die door Réaumur geïnterpreteerd werden. Daar Descartes' theorie slechts een gedeelte van de werkelijkheid interpreteerbaar maakte, en er later een ~~andere theorie kwam~~ die niet alleen de onkunde van Descartes' theorie aantoonde, maar tevens de complexe metalen theoretisch afbeeldde, kon deze theorie niet noodzakelijk zijn om deze interpretatie mogelijk te maken. Ze was voldoende om deze interpretatie te maken waarop Réaumur zijn theorie bouwt. . Ze kon door andere interpretaties vervangen worden, interpretaties die geen wetenschappelijk-theoretisch statuut hebben. Want hoe verklaart men anders het reeds bestaan van geschikte procédés om ijzer in staal om te zetten buiten Frankrijk?

Réaumur's verdienste kon niet eenvoudigweg een toepassen van theoretische principes op een praktisch probleem zijn, zoals Smith (p.360) stelt, want dan was het probleem zonder verder zakelijk onderzoek oplosbaar, namelijk door middel van een redenering gebaseerd op deze theoretische principes. De zuivere wetenschap komt hier dus na het technologisch-doelgericht onderzoek. De zuivere wetenschap is slechts een nakomende reflectie op de ervaringen die men in het praktijkgericht onderzoek gemaakt heeft.

Bernal zegt dat niemand voordeel uit Réaumur's werk haalde :

"Either the ironmasters could not read or they found Réaumur's recipes impracticable." (Bernal, 1969, p.596)

Cyril Stanley Smith vermeldt dat de metallurgie een van de meest vruchtbare perioden van de scheikunde deed ontstaan : o.a. Stahl's phlogistontheorie was grotendeels gebaseerd op de oxidatie van metalen en hun reductie, -fenomenen die door metallurgisten gedurende eeuwen gekend en kwantitatief gebruikt werden.

"The smelting of metals was the real school of chemistry. Extensive mining was bound to bring to light new ores and

even new metals like zinc, bismuth (golden metal), cobalt (from kobold, the mine elf), and Kupfernicker (false copper). The ways of separating and handling these had to be found by analogy and corrected by bitter experience; but in doing so a general theory of chemistry, involving oxidations and reductions, distillations and amalgations, began to take form, at first implicitly. Assaying, to find the yield of an ore in precious metal, is only smelting on a small but definite scale. It became the basis for chemical experiment and chemical analysis." (Bernal, 1969, p.398)

De scheikundige theorie droeg er ook toe bij om de praktisch-gekende metallurgische processen te verklaren; zo kon men dank zij de identificatie van het materieel element, carbon, de verschillen tussen gietijzer, smeedijzer en staal verklaren. (C.S.Smith, 1961, p.360-361). De zuivere wetenschap droeg dus niets bij tot het ontstaan van technische innovaties op metallurgisch vlak tot het begin van de achttiende eeuw. Ze verklaarde vanaf het begin van de achttiende eeuw enkel reeds bestaande metallurgische processen. Ervaringen opgedaan bij de metallurgische technieken lagen wel aan de grondslag van nieuwe wetenschappelijke theorieën.

x

2. Cartografie en landmeting :

Op het einde van de Middeleeuwen zou er enig contact zijn tussen wetenschap en techniek; dit zou kunnen liggen op het vlak van de cartografie en de landmeting. Charles Singer, Derek J. Price en E.G.R. Taylor vermelden wat de cartografie betreft :

"For the history of geographical maps it is unnecessary to follow the decline of the technique in the Middle Ages. Ptolemy's methods of projection were forgotten, and geographical mapping in the scientific sense ceased in the west until the recovery late in the fourteenth century of Ptolemy's Greek text with a representation of his maps." (Singer, Price & Taylor in Singer e.a., III, 1957, p.510)

Het geografische kaarttekenen in wetenschappelijke zin is het gebruiken van de projectiemethode, die oorspronkelijk geen uitvinding van Ptolemaeus maar van Eratosthenes zou zijn :

"Eratosthenes (c.275-c.194 B.C.), librarian of Alexandria, is, however, the real father of projective mapping, basing it on his own brilliant feat of measuring the globe (...). Eratosthenes sought to make geography a science". (Singer, Price & Taylor in Singer e.a., III, 1957, p.505).

Wat maakt kennis wetenschap? Blijkbaar het gebruik van wiskundige methoden. Hoe wiskundiger kennis is, hoe wetenschappelijker? Dan zou de wiskunde dé wetenschap bij uitstek zijn, -wetenschap zonder betekenis, zonder inhoud **erachter**, zonder verband met de werkelijkheid.

Projektiemethoden zijn technieken om kaarten te tekenen; door het gebruik ervan wordt dit kaarttekenen nog niet wetenschappelijk. Wiskunde mag dan nog noodzakelijk zijn om de wetenschappelijke methode toe te passen, dan wil dit niet zeggen dat de toepassing van wiskunde voldoende is om wetenschappelijk te zijn (tenzij wiskunde de enige wetenschap was). Of is wiskunde zelf een wetenschap, en het toepassen ervan dus het toepassen van een wetenschap? Bij een positief antwoord hierop zou er reeds wetenschap bestaan hebben zonder daarvoor de wetenschappelijke methode te moeten toepassen, nl. de wiskunde die noodzakelijk is voor de wetenschappelijke methode; en dan is ook het gebruik van de wetenschappelijke methode niet noodzakelijk om aan wetenschap te doen.

Is het axiomatisatiecriterium dat Van Melsen gebruikt om wiskunde een wetenschappelijk karakter te geven een zakelijk-juist criterium? Is alle wiskunde wetenschap?

De verschillende projektiemethoden voor de cartografie zijn producten van doelgericht uitvinden: ze worden speciaal ontworpen om zo juist mogelijk een kaart te tekenen. Ze liggen op hetzelfde niveau als de landmeettechnieken die door de Egyptenaren en de Grieken zijn ontworpen, nl. het direkt doelgericht ontwerpen. Het zijn technieken die ontworpen worden met een duidelijk praktisch doel voor ogen.

Wat de landmeting betreft vinden we in het 19 e hoofdstuk van Volume III van "A history of technology" voldoende aanwijzingen voor de mogelijke wetenschappelijkheid van de hier gebruikte technieken:

"During the Middle Ages surveyors continued to use only the most simple direct measurements, with line or rod or pacing for length, and with the groma, the plumb-line, and a primitive waterlevel for setting out right-angles and establishing verticals and horizontals. There are many medieval texts on surveying that describe indirect methods of measuring the height of a tower or an inaccessible wall by the theorem of similar triangles... But in

practice it is seldom necessary to make indirect measurements of heights of buildings. Moreover, such information would have been of little use to the gunner or architect devoid of mathematical skill." (Singer, Price & Taylor, in Singer e.a., III, 1957, p.513)

Betwijfelt men hier al de noodzakelijkheid van deze methode, om de hoogte van een toren te meten, in hoofdstuk 20 blijkt dat deze zogenaamde toepassing van een geometrisch theorema eerder theoretische demonstratiestof is :

"While it is not until the opening of the sixteenth century that any direct evidence of cartographical surveying or discussion of the appropriate instruments can be found, the general principles had long been familiar to the medieval scholar. A section on the measurement of heights, depths, and distances was a normal adjunct to a treatise on geometry, but its purpose was rather to illustrate the properties of triangles than to persuade readers to take up field-work." (Taylor in Singer e.a., III, 1957, p.537)

Als men de wiskunde als een zuivere wetenschap zou beschouwen -maar dan wel met eigen karakteristieken waardoor ze zich scherp onderscheidt van andere wetenschappen- dan zou men hier een voorbeeld kunnen zien van de toepassing van zuivere wetenschap : deze toepassing is wel erg uitzonderlijk, en wordt eerder als een theoretisch demonstratievoorbeeld gebruikt dan als een praktisch middel.

x

3. Navigatie :

Bernal duidt de navigatie aan als het enige gebied waar de nieuwe wetenschap onmiddellijk een groot succes boekte. De redactie van "A history of technology" meent dat de navigatietechnieken rechtstreeks gewijzigd werden door de toepassing van wetenschappelijke ideeën, maar dat ze wat betreft het rationaliseren en verbeteren van de methoden mislukten. Bernal stelt als de twee uitvindingen op navigatiegebied het kompas en het achterstevengoer :

"The two navigational invention, the compass and the sternpost rudder, were to have an effect at sea of importance comparable to that of the horse harness on land." (Bernal, 1969, p.319)

Bij ons onderzoek van de Middeleeuwen hebben we gezien dat Bernal zelf stelt dat het achterstevenroer niets te danken heeft aan de wetenschap, en dat het kompas geen wetenschappelijke ontdekking kan zijn, gezien het bestaan ervan voordat ergens enig wetenschappelijk onderzoek werd gedaan.

Singer, Price en Taylor stellen dat de Italiaanse zeeman de eerste technicus was die gebruik maakte van toegepaste meetkunde :

"The use of the scale-drawn chart and of the Rule and Tables of Marteloio, as the method was called, stamp the Italian seaman as the first technician to make use of applied geometry. The academic mathematician had, however, to adapt the Rules to the probable limitations of the user's aptitude and knowledge... A knowledge of multiplication and division was sufficient for the user of the tables,but it is difficult to judge what proportion of milots would have the necessary command of arithmetic. A diagram called 'The Circle and Square', that accompanies the memorandum but is not explained, suggests that a graphical method of solution was also current, for which a quite simple rule would be adequate." (Singer, Price & Taylor in Singer e. a., III, 1957, p.526-628)

Duidelijk blijkt ook hier dat het niet zo maar gaat om het toepassen van vooraf bestaande theoretische principes, maar dat bij het ontwerpen van de nieuwe techniek noodzakelijk speciale aandacht moet besteed worden aan de theoretische kant, gezien niet alleen de bekwaamheid van de gebruiker van de techniek, maar ook het gewenste zakelijke resultaat. Deze methode is duidelijk niet onmisbaar : er bestonden er andere, die technisch bruikbaar waren. Deze methode, die ontstaan is door doelgericht onderzoek, was dus niet noodzakelijk om bepaalde technische problemen op te lossen.

De rol die de astronomie voor de scheepvaart speelde, kan men ook niet als noodzakelijk zien, daar de astronomie enkel 's nachts van dienst kon zijn voor de scheepvaart en door haar rol kon overgenomen worden door betere scheepvaarttechnieken.

"Astronomical observations by scientists on shore, based on eclipses, on lunar distances, or on the appearance and disappearance of Jupiter's satellites, taken in combination with the improved time-keeping now possible at a stationary point of observation (...), led to a lengthening list of accurate longitudes and consequent improvement of maps and charts. At sea, however, on a travelling ship, no such accuracy was possible, while the determination of longitude even to a single degree does not provide safety." (Taylor, in Singer e.a., III, 1957, p.556-557)

"The scientific consequences of the development of the navigation were to be of critical importance. Open sea-navigation, even in the Mediterranean, required astronomic observations and charts, and gave a direct stimulus to the development of an astronomy capable of accurate predictions, of a new quantitative geography, and of instruments, suitable for use on shipboard. Ocean navigation further raised the urgent problem of finding the longitude, at which all the great astronomers of the seventeenth century were to try their hand. The need for compasses and other navigation instruments brought into being a new skilled industry, that of the card and dials makers, whose subsequent influence on science, particularly in setting higher and higher standards for accurate measurement, was enormous. Many scientists, including Newton himself, were instrument makers, and one instrument maker, Watt, was to have a revolutionary effect on industry and on science." (Bernal, 1969, p.320)

De opbloei van de navigatie ligt dus aan de grondslag van belangrijke wetenschappelijke vernieuwingen. Alhoewel de astronomische kennis niet zo goed bruikbaar was op zee, is onder impuls van de navigatie de astronomische wetenschap verder opgebouwd.

Uit technische noodzaak doet men hier dus aan doelgericht wetenschappelijk onderzoek. De resultaten hiervan zijn gezien de zware technische problemen niet goed praktisch bruikbaar : de rationalisering en de verbetering van de navigatietechnieken mislukten, beweert Singer en zijn mede-uitgevers.

x

4. Precisie-instrumenten :

"Thenceforward (vanaf de Griekse "ingenieur" Hero (1e E.v.Chr.)) the technological problems of instrument-making have been a determining factor in the progress of scientific research, each advance in instruments allowing the scientist to measure to a higher degree of accuracy, and each advance in science posing fresh problems for the ingenuity and precision of the instrument-maker." (Price in Singer e.a., III, p.641-642)

De technologische problemen van het instrumenten maken zouden dus vanaf Hero een determinerende factor zijn in de vooruitgang van wetenschappelijk onderzoek. Hoe ? Iedere vooruitgang bij de instrumenten laat de wetenschapsmens toe met een hogere graad van accuraatheid te meten, en elke vooruitgang in weten-

schappelijk gebied nieuwe eisen stelt aan de inventiviteit en precisie van de instrumentenmaker? Dan zou het de wetenschap zijn die een determinerende factor speelt in de vooruitgang van het instrumentenmaken, en niet omgekeerd, doordat de wetenschapsmens technologische problemen stelt aan de technicus. Hoe is de relatie tussen wetenschap en instrumentenmaken?

Vóór de wetenschappelijke revolutie was de verhouding als volgt :

"Medieval scientists had few instruments at their command. Some devices, like the balance, the furnace, drawing-compasses, and dividers were already ancient and could readily be obtained from craftsmen. Other instruments, such as astrolabes, sun-dials, astronomical observing-instruments, and calculators were more complex and depended on scholarly appreciation of a manuscript tradition. The scientist might be able to employ a carpenter or metal-worker to do the rough construction, but the detailed planning, the engraving, and the graduation he must needs do himself." (Price in Singer e.a., III, 1957, p. 620).

Buiten de reeds gekende instrumenten die men zo kon bekomen bij de vaklui, waren er andere instrumenten die zo gespecialiseerd waren dat de wetenschapsmens ze moest plannen (of ontwerpen) en wetenschappelijk bruikbaar maken door ze zelf af te werken,

Gedurende de wetenschappelijke revolutie treedt er een verandering op :

"It has been shown how the making of precision instruments was transformed during the scientific revolution by the making of new devices - some instruments merely employing new adaptations of old principles, better fitted for special practical uses, others embodying quite new scientific principles." (Price in Singer e.a., III, 1957, p. 639).

Buiten een aanpassing van de instrumenten die voortvloeit uit het doel dat men nastreeft, zouden er instrumenten zijn die gebaseerd zouden zijn op zo goed als nieuwe wetenschappelijke principes. Welke?

"The mariner's astrolabe can hardly be called an astrolabe at all; it consists only of the alidade and divided circle that compose the observing portion, the whole of the calculating apparatus being omitted. The instrument is made heavier than usual, and as much as possible of the inside of the outer limb is cut away, so that the

device may hang in a vertical plane and be little disturbed by wind... After 1600 its popularity declined, as better alternative instruments became available. " (Price in Singer e.a., III, 1957, p. 608).

Rekeninstrumenten werden ontworpen om het maken van berekeningen, gesteund op grove mathematische symbolen en aritmetische technieken, te vervangen. Een technisch hulpmiddel werd ingezet om dit te vergemakkelijken.

"The greatest effect of the scientific revolution was wrought by new inventions and discoveries that led to the manufacture of instruments radically different from any which had been made before. Conspicuous among these were the optical instruments - the telescope and microscope - but at the same time the evolution of new practitioners' instruments for surveying, navigation, and gunnery was proceeding rapidly, and the wider horizons of physical science led the instrument maker to produce, for example, thermometers, barometers and air-pumps, magnetic compasses and mounted lodestones, pantographs, and cases of draughtsman's instruments. (...) In this he was helped by the fact that other trades were already using such techniques and, from the middle of the seventeenth century onwards, instrument makers are closely allied with the London livery Companies of the Clock-makers (chartered in 1631) and the Spectaclemakers (1629), the manufacturers of common measuring-rules, cabinet makers and joiners, glass-blowers, and other craftsmen." (Price in Singer, e.a., III, 1957, p. 630).

Liggen er aan de telescoop en de microscoop nieuwe wetenschappelijke principes ten grondslag? Omtrent de oorsprong van de telescoop bestaat er enige twijfel :

"Usually, however, it has been thought that the first practical telescopes were the fortuitous observations by a Dutch spectacle-maker about 1608, who hit upon the combination of a convex objective with a concave eye-lens giving an erect image. Certainly at this time the Dutch first made such instruments, which attracted attention and were put to military uses. But according to a reliable record of 1634 Johannes Janssen or Jansen, the son of the fortunate spectacle-maker, declared that his father made the first telescope amongst us in 1604, after the model of an Italian one, on which was written anno 1590'. Thus the Dutch telescope appears after all to be derived from Italy, the main centre for glass-working and optical study. Moreover, this record gives further significance to the description by Giambattista della Porta of Naples (1536-1605), in the second edition of his *Magiae naturalis* (1589), of ways to improve vision at a distance, including the combination of a convex and concave lens. His account is deliberately obscure. What is puzzling is that Galileo (1564-1642) should have

known nothing of this, until he learned in 1609 of the Dutch 'invention'. Galileo was the effective inventor of both the telescope and the compound microscope." (R.J.Charleston & L.M.Angus - Butterworth in Singer e.a., III, 1957, p.231-232).

De telescoop kon niet aan hem worden als een wetenschappelijke uitvinding. Ze kan niet gebaseerd zijn op wetenschappelijke principes, want deze werden na 1609 slechts door Galileo bestudeerd : het postuleren van Galileo als de effectieve wetenschappelijke uitvinder van de telescoop is een verdraaiing van de historische werkelijkheid. Zelfs de microscoop heeft Galileo niet uitgevonden :

"Credit for the invention of the compound microscope has been variously assigned. della Porta again seems to have constructed a compound microscope, but the history of the instrument effectively begins with Galileo's use of what was actually Galileo's telescope with a very short working-distance to discern the organs of small creatures ." (R.J.Charleston & L.M.Angus-Butterworth in Singer e.a., III, 1957, p.232)

Wetenschappelijke principes liggen dus niet aan de grondslag van de uitvinding van de microscoop en de telescoop. Verbeteringen aan deze twee instrumenten waren van drieërlei aard : ten eerste, fouten in het vakmanschap : het glas was niet foutloos, het kon beter gevormd en gepolijst worden ; ten tweede was het inherent onmogelijk voor een sferische lens of spiegel om het licht in een brandpunt te concentreren, wat afwijkingen in de beeldvorming veroorzaakte ; ten derde had men af te rekenen met de chromatische afwijkingen van de lens. Het eerste probleem was slechts een probleem van vakmanschap. Het tweede probleem werd door Descartes onderzocht ; hij suggereerde echter praktisch onuitvoerbare oplossingen. Newton onderzocht ook dit probleem, maar kon het niet oplossen.

"In practice lenses had to be ground as portions of sphere. For telescopes, spherical aberration could be mitigated by making the focal-length of the objective very great in proportion to its diameter : 48 ft was not uncommon, and tubeless telescopes 200 ft long were tried. Microscopes were improved by using three-or four-lens systems, stopping down, and renouncing very high powers." (R.J.Charleston & L.M.Angus-Butterworth in Singer e.a., III, 1957, p.232-233)

Het probleem van de chromatische aberratie werd ook onderzocht door Newton, maar hij besloot dat deze afwijking niet verbeterbaar was.

"In fact, by combining convex and concave lenses of suitable refractive indices, a composite lens can be made which refract white light without widely dispersing it, and is therefor practically achromatic. This was first discovered empirically by Chester Moor Hall in 1733, and rediscovered by John Dollond in 1758, who put his success to commercial use. (Charleston & Angus-Butterworth in Singer e.a., III, 1957, p.233)

Na het menselijk oog bestudeerd te hebben kwam Moor Hall tot de overtuiging dat achromatische lenzen mogelijk waren. Is de studie van het menselijk oog de wetenschappelijke basis voor deze verbetering? Deze studie geeft hem de zekerheid dat achromatische lenzen mogelijk zijn. Hoe men ze moet maken, weet hij nog niet. Het onderzoek was niet bedoeld om de technische procedure te kennen, maar om door een aandachtig bekijken van het oog de principiële mogelijkheid van het maken van achromatische lenzen na te gaan. Het was ook niet bedoeld om een verklaring te vinden voor de optische fenomenen. Het was ook geen experimenteel onderzoek: het was enkel het nagaan hoe het komt dat de ooglenzen geen chromatische afwijkingen veroorzaken. Moor Hall gaat na hoe het is, om analoge lenzen te maken. Zijn onderzoek is empirisch onderzoek, dat met technische verbeteringen als uiteindelijk doel gedaan wordt. Het is gericht onderzoek. In 1729 vindt Moor Hall na verschillende experimenten twee soorten glas met voldoende verschillende dispersies. In 1733 werden aan aantal achromatische lenzen volgens zijn aanwijzingen gemaakt.

"The mathematical theory of the achromatic objective was apparently not worked out until later, being published by Samuel Klingenstierna (1689-1785) of Uppsala in 1760." (Angus & Butterworth in Singer e.a., IV, p.358)

Klingenstierna schreef ook aan Dollond dat Newton's visie op de refractie en de dispersie verkeerd konden zijn. Er waren ook technische problemen op het vlak van het instrument als objekt, bijvoorbeeld het mechanische ontwerp ervan. Deze werden opgelost door middel van doelgerichte experimenten, "trial and error".

Noch bij de uitvinding, noch bij de verbetering van de telescoop en de microscoop speelden wetenschappelijke principes een rol. Na de uitvinding en verbetering ervan werd erover wel theoretisch-wetenschappelijk gereflecteerd om hun werking te "verklaren". Bij het vervaardigen van de nieuwe instrumenten van de 'practitioners' (1) - instrumenten voor landmeting, voor navigatie; wapens (gunnery), barometers, thermometers en luchtpompen, magnetische kompassen, en (mounted) schietlodens, "portographs" en "cases of draughtman's instruments" - konden de instrumentenmakers wat de praktische kant ervan aangaat, steunen op de technische kennis en vaardigheden van reeds werkzame vaklui. De theoretische kant van deze instrumenten bestond uit elementaire mathematische principes :

"Technically, the early history of both instruments belongs to the craft of the glass-blower until late in the seventeenth century, when barometer- and thermometer-tubes were mounted with engraved scales, cursors, and other fittings, so becoming part of the commerce of the instrument-makers." (Price in Singer e.a., III, p.636)

Meetschalen en cursors geven aan deze instrumenten enkel een meer accuraat karakter : ze maken zo exactere vaststellingen mogelijk. Deze instrumenten, samen met de eenvoudige mathematische symboliek, maken de wetenschap, zoals ze geconcipieerd is door Galileï en Descartes, mogelijk.

"The history of the pneumatic pump is interesting, not only for the large part it played in science by drawing attention to the physical properties of 'airs', but

(1) "They were by no means scholars in the normal sense, but they had sufficient technical knowledge to use surveying-, gunnery-, and navigation-instruments, and in many cases they augmented their living by teaching the practice of instruments and the elementary mathematical principles on which it rested. The practitioners were the first fully conscious exponents and teachers of technical science; they did much to form the idea so often expressed in the scientific revolution, that science was not only an intellectual pursuit but a potential source of much practical good to the individual and the state" (Price in Singer e.a., III, 1957, p.622)

De vraag blijft of er geen wezenlijk onderscheid dient gemaakt te worden tussen de wetenschap als intellectuele onderneming en de wetenschap als een potentiële bron van praktisch voordeel.

82:

because it was the first large and complex machine to come into the laboratory...

The technical methods developed by such mechanics (ex. Francis Hauksbee) stand at the beginning of the direct line of evolution leading to the steam-engine and the internal combustion engine." (Price in Singer e.a., III, p.636-637)

Een technische innovatie richt ook hier de aandacht van de wetenschapsmensen op bepaalde fenomenen. Sommige ontworpen technische methoden blijken in een directe evolutielijn te liggen. Is de rol van de wetenschap enkel een soort "bovenstructuur"-reflexie op de technische "onderbouw" waar zich de motor voor de werkelijke technische geschiedenis bevindt ?

"Hopes of a solution of the problem of determining longitude at sea led to a demand for devices to measure more accurately the magnetic variation and dip, and early in the eighteenth century the general interest in magnetism led some instrument-makers to sell neatly mounted lodestones miniature compasses and magnets of all shapes and sizes designed for the pleasure and edification of the amateur." (Price in Singer e.a., III, 1957, p.637)

Technische problemen roepen dus doelgericht onderzoek op. Er vindt niet alleen een popularisering van de gespecialiseerde instrumenten plaats door de verkoop van schietloden, kompassen en magneten, maar ook een popularisering van de "wetenschap" door een demonstratie van deze instrumenten, en lezingen daarentrent, waarbij er weinig nadruk werd gelegd op de wiskunde en de wetenschappelijke theorie, maar het er eerder op aankwam sensationele proeven te demonstreren.

Een wetenschappelijk instrument blijkt een instrument te zijn dat ontworpen en gemaakt wordt om wetenschappelijk onderzoek mogelijk te maken. Het is geen instrument dat noodzakelijk steunt op wetenschappelijke principes. De wetenschapsmens maakt wel het ontwerp van het instrument, niet omdat hij bepaalde principes kent, maar omdat hij het doel kent waarvoor het middel moet dienen. De praktische uitvoering ervan gebeurt door vakmensen die bepaalde technieken kennen die gebaseerd zijn op praktische ervaring. Niets sluit uit dat de wetenschapsmens ook deze praktische technieken beheerst, maar de praktische uitvoering moet niet door de wetenschapsmens gedaan worden.

"It is true that, as Robert Boyle was fond of saying, scientists could learn from craftsmen, rather as Darwin was to learn from pigeon-fanciers. Experimental science had to master certain techniques : distillation, lens-grinding, glass-blowing, even turning and metal-working and the art of assay, though then as now the scientist often left this sort of thing to carefully supervised technicians. To that extent a minimum level of technological and engineering competence was necessary before serious experimental science could begin;..." (Hall, 1961, p.340)

De wetenschapsmens verzorgt, gezien hij het doel kent, ook de "theoretische" kant van zo'n instrumenten, zoals bijvoorbeeld de meetschalen. Dit werd later ook overgenomen door gespecialiseerde vaklui : de "practitioners", die soms de elementaire mathematische principes waarop deze instrumenten berusten onderwezen. Als men deze mathematica niet als wetenschap beschouwt, maar eerder als een techniek (cfr. reken-kunde, meet-kunde), dan blijkt het zo te zijn dat deze instrumenten bij hun uitvinding niet op wetenschappelijke principes steunen, maar dat, buiten degenen die doelbewust ontworpen zijn om in wetenschappelijk onderzoek te worden gebruikt, sommige steunen op ontdekkingen, die gemaakt werden door technici (bijvoorbeeld de telescoop en microscoop). De wetenschappelijke principes waren niet noodzakelijk om de uitvindingen te doen; het zijn nakomende reflecties om de waargenomen verschijnselen te verklaren. De verbeteringen aan deze instrumenten zijn ook resultaten van doelgerichte trial-and-error-experimenten, die niet geleid werden door wetenschappelijke principes.

Het zeevaardersastrolabium is een voorbeeld van een "wetenschappelijk" instrument dat aan de praktijk wordt aangepast; door middel van een citaat van Harvey Brooks heb ik aangetoond dat de wetenschappelijke doelstelling, - het verwerven van wetenschappelijke kennis - niet noodzakelijk is om dit instrument te ontwerpen (zie p.26)

Het is nu ook duidelijk dat het de wetenschapsmensen zijn die het doel stellen bij het maken van deze instrumenten, maar dat het lukken ervan afhangt van de technische realisatiemogelijkheid. De wetenschap zou geen noodzakelijke maar een voldoende doelloorzaak zijn voor het creëren van deze instrumenten; de technische reali-

seerbaarheid een noodzakelijke voorwaarde. De techniek is in die mate bepalend dat zonder haar het wetenschappelijk instrumentarium niet tot stand komt.

5. De pendulumklok
.....

"The association of the pendulum with time-keeping is linked primarily with the names of Galileo (1564-1642), and Huygens (1629-'95). It introduces a new era in horology.

Galileo is said to have conceived the new principles of isochronism in 1581 when watching the swinging of the lamps in the cathedral at Pisa. He timed their oscillation by his pulse, and then ascertained experimentally that the period of oscillation for any given length of pendulum was constant and independent of amplitude. This is approximately correct. He does not seem to have related this idea clearly to clock-work until about 1641. Being then blind, he gave instructions to his son, Vincenzo, for combining his pendulum and escapement in a clock (...). Vincenzo delayed its construction until 1649 and himself died before its completion. Meanwhile the isochronous pendulum maintained by hand had been used by astronomers.

Galileo's escapement was of the pin-wheel type, which did not come into extensive use until over a century later. ... The seafaring Dutch were deeply interested in determining longitude at sea and in this connexion Galileo had approached the States General suggesting the adoption of a pendulum with a recording-device (actually impracticable) for counting the oscillations. Huygens must have been aware of his suggestions but knew nothing of Galileo's escapement" (M. Allen Loyd in Singer, II, 1957, p. 662).

Het "escapement" is het mechanisme dat tot taak heeft de actie van de krachtbron regelmatig en periodiek te onderbreken, zodat de indicator in stappen vooruitgaat in plaats van continu. Er zijn verschillende soorten uitgevonden.

De ontdekking van het isochronisme van de pendulum door de zeventienjarige Galileï werd door hem als zevenenzeventigjarige in verband gebracht met de constructie van een klok. Was deze ontdekking wetenschappelijk? Bestaan er niet-wetenschappelijke ontdekkingen? Blijkbaar wel, men ontdekt bijvoorbeeld toevallig bij de afbraak van een huis een veel ouder fundament waarop het huis gebouwd was. Hoe verschilt deze ontdekking van de ontdekking van bijvoorbeeld de vier manen van Jupiter door Galileï - een ontdekking die als

wetenschappelijk doorgaat. Als we de verschillen tussen deze twee ontdekkingen nagaan, komen we misschien op de karakteristieken van een wetenschappelijke ontdekking. Een eerste verschil dat opvalt is dat het fundament door de mens ooit gemaakt is, en de manen van Jupiter niet. Zijn wetenschappelijke ontdekkingen ontdekkingen van 'natuurlijke' objecten, objecten die niet door de mens gemaakt zijn? Een voorheen door de mens nog niet bekend en door hem niet gemaakt object ontdekken, zou wetenschappelijk zijn. De ontdekking van de archeologisch belangrijke Aztekentempels zou dan echter niet wetenschappelijk zijn.

Het op-een-nieuwe-wijze zien is noodzakelijk voor ontdekken en uitvinden. Is een wetenschappelijke ontdekking -in tegenstelling met een niet-wetenschappelijke ontdekking en een uitvinding- gelijk aan het voor het eerst zien van het op voorhand door een mens nog niet gekende? Deze bepaling is ook onvoldoende : een nieuwe kijk op oude, reeds anders gekende zaken kan aan de grondslag liggen van een nieuwe wetenschappelijke theorie (cfr. Thomas Kuhn's paradigmabegrip). Een op een nieuwe wijze zien van oude reeds anders gekende zaken kan dus ook een wetenschappelijke ontdekking zijn. Het door de mens gemaakte -en dus ook de uitvinding- is in feite een praktische concretisatie van nieuwe opvattingwijzen van het in beginsel 'natuurlijke'. Het huis is een nieuwe opvatting van de grot, om het zo te zeggen. Het al of niet door de mens gemaakte is geen zakelijk criterium om wetenschappelijke van niet-wetenschappelijke ontdekkingen te onderscheiden.

Een tweede verschil dat opvalt is het verschil in de graad van toevalligheid tussen beide ontdekkingen. Het oude fundament is toevalliger ontdekt dan de vier manen van Jupiter : bij het afbreken van het huis had niemand de bedoeling het fundament bloot te leggen. Galileï daarentegen onderzocht het firmament. Hij had op voorhand natuurlijk niet de intentie de manen van Jupiter te ontdekken, maar enigszins vervulde hij meer de voorwaarden om een ontdekking te doen omdat hij het onderzocht. Het toeval is een voor elke mens onbekende noodzakelijke component van de ontdekking; de toevalligheidsgraad kan wel ver-

schillen tussen de ontdekkingen.

Réaumur's ontdekking, interpretatie van het technische procédé dat werklui gebruikten om ijzer harder en steviger te maken als het begin van de staalproductie, is bijvoorbeeld minder toevallig dan de ontdekking van de penicilline door Alexander Fleming. Réaumur had duidelijk op voorhand de intentie om het geheim van de staalproductie te ontwarren. Fleming daarentegen onderzocht aanverwante fenomenen, waarbij hij toevallig de penicilline ontdekte. Men kan al of niet op voorhand de intentie hebben iets nieuws te ontdekken. Het op voorhand hebben van een intentie is niet in tegenspraak met het toevallige van een ontdekking : zelfs als men op voorhand de intentie heeft om een bepaald fenomeen te willen verklaren, dan nog moet men het inzicht toevallig opdoen, de nieuwe kijk op de zaak verwerken. De 'toevallige' ontdekking van de structuur van de benzeenmolecule door Kekulé, zoals het beschreven is door Hempel (1970, p.33-34), is hiervan een voorbeeld (1)

 (1)Hempel (1970) vermeldt dat Kekulé zijn inzicht in de structuur van de benzeenmolecule verworven heeft door half-dromend voor een open haardvuur te zitten. Ook Holmyard (in Singer e.a., V, 1958, p.275) vermeldt deze versie. Bernal stelt merkwaardigerwijze dat hijdit inzicht verworven heeft op een Londense bus (Bernal, 1969, p.630). Ook Asimov vermeldt dit : "He had a feeling for building up atomic structures, perhaps because of his early architectural interests. In any case, one day in 1865 (according to his own version of the story), while in a semidoze on a bus, it seemed to him he saw atoms whirling in a dance. Suddenly the tail end of one chain attached itself to the head end and formed a spinning ring" (Asimov, 1964, p. 393). Fierz-David (1945, p. 235-241) geeft de juiste versie : de droom op de Londense omnibus leidde tot de opstelling van de structuurtheorie van chemische verbindingen. (De valentie van de atomen bepalen hun verbindingen). De versie van Asimov en Bernal is duidelijk niet in overeenstemming met de door Fierz-David geciteerde tekst van Kekulé. Kekulé's 'visioen' voor het haardvuur in Gent ligt aan de oorsprong van de structuurformule voor de benzeenmolecule. Hempel en Holmyard's versie is dus juist. In een Duitse cartoon uit die tijd wordt Kekulé's benzeenstructuur afgebeeld door zes apen die mekaar bij de achterpoten vasthouden, en zo een gesloten ring vormen. (afgebeeld in Singer e.a., V, 1958, p. 283). "James Kendall has pointed out, if the monkeys represent the carbon atoms, each should hold a banana in its free 'hand' to represent a hydrogen atom." (Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p. 275)

Is de intentie een noodzakelijke voorwaarde voor een ontdekking? In de voorgeschiedenis duidelijk niet: men had niet de bedoeling het oude fundament te ontdekken. Tijdens de ontdekking zelf? Wat is een bedoeling? Het is de door de handelende mens gestelde gerichtheid van een handeling op een bepaald doel, zodanig dat deze handeling door de handelende mens duidelijk in deze doelgerichtheid bewust gezien wordt, of gezien kan worden (bij onbewuste bedoelingen).

In de bedoeling wordt de handeling gezien als doelgericht door de handelende mens "beleefd": de handeling, als een gebeuren dat *de mens noodzakelijk* nodig heeft, is doelgericht (1). Bij een ontdekking wordt het objekt op een zodanige wijze door de ontdekker gezien dat het als iets nieuws verschijnt: het objekt is zelf dit nieuwe.

Wat de ontdekking en de handeling gemeen hebben is een interpretatie: door een interpretatie komt het nieuwe te voorschijn in de ontdekking, door een interpretatie komt het doel te voorschijn in de handeling. Het interpreteren is geen toevoeging aan een bepaald voorwerp: het is in en door de interpretatie dat het objekt als nieuw verschijnt, dat de bedoeling van de handeling verschijnt. De ontdekking is noodzakelijk intentioneel, in de zin dat de interpretatieve krachten van het menselijk bewustzijn ervoor noodzakelijk zijn. Men heeft dus ontdekkingen die niet alleen zakelijk-intentioneel zijn, maar ook extern-intentioneel: bijv. de ontdekkingen waarnaar men bewust zocht, zoals de ontdekking van de structuur van de benzeenmolekule door Kekulé en de ontdekking van het "staal"-procédé door Réaumur. Men zou deze als "gerichte" ontdekkingen kunnen beschouwen in tegenstelling met de meer toevallige ontdekkingen, waar niet een voorafgaandelijke bedoeling ten grondslag ligt. Deze "gerichte" ontdekkingen zijn onderverdeeld in mogelijks wetenschappelijke of niet-wetenschappelijke ontdekkingen, naargelang de voorafgaande bedoeling van de

(1) De machine heeft ook de mens nodig: ze is voor een bepaald doel geconstrueerd door de mens. Haar produktie hangt nog van de mens af, de mens beheerst haar nog; hij moet ze nog in gang zetten, al was het maar door op een knop te duwen: zonder de menselijke wil kan een machine niet produceren. Een automatische machine heeft ook nog steeds een impetus nodig.

ontdekker in spe. Kekulé's ontdekking is een zuiver-wetenschappelijke ontdekking. Réaumur's ontdekking is een technologische ontdekking. Bij de meer toevallige ontdekkingen kan men niet uitgaan van deze voorafgaande bedoeling : in de ontdekking zelf ligt enkel een intentie besloten. Wanneer is deze zakelijke intentie wetenschappelijk ? Kan deze zakelijke intentie wetenschappelijk zijn ? Het op-een-nieuwe-wijze zien - wat deze zakelijke intentie bij de ontdekking toch is - is geen privilege van de wetenschap. Het ligt vóór de wetenschap :

"Bij zijn pogingen een oplossing te vinden voor zijn probleem, kon de ~~wetenschapsman~~ zijn verbeelding de vrije teugel geven, en de gang van zijn creatieve gedachten kon zelfs door wetenschappelijk aanvechtbare ideeën worden beïnvloed. Zo werd Kepler bij zijn bestudering van de beweging der planeten geïnspireerd door zijn belangstelling voor een mystieke getallenleer en een verlangen te bewijzen dat de muziek der sferen bestond. Toch wordt de wetenschappelijke objectiviteit gewaarborgd door het principe dat hypothesen en theorieën in de wetenschap weliswaar vrij mogen worden uitgedacht en voorgesteld, maar dat ze alleen als onderdeel van de wetenschappelijke kennis kunnen worden aanvaard als ze een kritisch onderzoek doorstaan, waarbij het speciaal gaat om het controleren van geschikte testimplicaties door zorgvuldige waarneming en experiment." (Hempel, 1970, p.34)

De wetenschappelijkheid van de ontdekking ligt dus niet in de zakelijke intentie van de ontdekking, maar enkel in de externe interpretatie van de ontdekker in spe.(1) Een externe interpretatie die ofwel voorafgaand aanwezig was - een bedoeling om wetenschappelijke kennis te verwerven - ofwel daarna komt en deze ontdekking uitbouwt als een essentieel onderdeel van een wetenschappelijke theorie of hypothese. Kekulé's ontdekking van de structuur van de benzeenmolekule is een voorbeeld van een ontdekking die zowel voorafgaandelijk "gericht" was, als nakomend geïnterpreteerd wordt als een wetenschappelijke ontdekking.

De bedoeling van de ontdekker is niet voldoende om wetenschap-

(1) Rudolf Boehm (1973a) heeft in zijn "Methodenkritiek" een inductieproces beschreven waarbij men volgens hem geen beroep moet doen op "intuïtie", "creatief denkwerk"...: nl. een variatiemethode waarbij men de noodzakelijke mogelijkheidsvoorwaarden van een object bekamt. Bij deze methode heeft men - mijns inziens - ook nog de interpretatieve krachten van het menselijk bewustzijn nodig : men moet de te variëren eigenschappen "ontdekken".

"The great discoveries of mathematical physicists were not merely over the heads of practical engineers and craftsmen ; they were useless to them. Christian Huygens's theoretical enquiry into the isochronism of the pendulum had no effect at all on the actual improvement of clocks, although his mechanical concept (the regulation of a train of clockwork by a pendulum) was of the first importance and the starting-point for a succession of practical improvements by working clockmakers." (Hall, 1691, p.334)

Hall vermeldt nergens een mogelijk verband tussen Galilei's ontdekking en Huygens'onderzoek : het verband dat Loyd opgeeft langs de Nederlandse Staten-Generaal om, is twijfelachtig. Huygens'onderzoek is praktisch belangrijk geweest, omdat hij experimenteerde met de pendulum :

"Huygens at first believed that (theoretically correct) cycloidal motion was essential to give the pendulum time-keeping accuracy ;..." (Hall, 1961, p.340-341, fn.3)

x
x x

6. Industriële scheikunde :
.....

Tot in de 17e eeuw waren er twee met elkaar verband houdende "strekkingen" op scheikundig vlak, nl. (a) pogingen om oude technieken, waarvan men dacht dat ze in de klassieke tijden bestonden maar intussen verdwenen waren, te herontdekken, en (b) pogingen om nieuwe technieken te vinden en oude technieken te verbeteren.

De eerste "strekking" had voornamelijk twee methoden : enerzijds het onderzoek van oude manuscripten en anderzijds reizen doorheen Europa, voornamelijk Duitsland en Italië, om de technieken te registreren die men gebruikte. Gedurende deze reizen werden andere dan de in de manuscripten beschreven technieken ontdekt.

"The second movement - the attempt to introduce new arts and to improve old ones - followed logically enough from the first. In general, however, men of different talents were required, inventors rather than chroniclers, men of 'art' rather than men of 'science'. These terms were in common use and signified something close to practice and theory respectively. When a chemist produced a thing

"by art", it was the result of his skill in chemical processes. Art was therefore not applied science, but a combination of techniques together with the special knowledge of materials gained in handling them." (F.W.Gibbs in Singer e.a., III, 1957, p.677)

Francis Bacon, Robert Hooke, Robert Boyle en anderen verzamelden gegevens uit de praktijk om daarmee de scheikunde als een wetenschap op te bouwen, en trachten door experimenten de reeds gekende technieken te verbeteren en verloren gegane technieken te herontdekken.

"One very important result of the widespread study of many manufacturing processes by men of science was the growth of knowledge of ways of testing materials, and this had a considerable effect on the development of chemical analysis." (Gibbs in Singer e.a., III, 1957, p.682)

Deze testtechnieken kunnen niet wetenschappelijk zijn, want men verzamelt daarmee kennis over materialen om daarmee een scheikundige wetenschap op te bouwen. Het is technische kennis - het gebruik van bepaalde testmethoden - die wel ontstaan is door een ontdekking, die niet als wetenschappelijk kan doorgaan. De bedoeling is een methode te vinden om materialen te testen en te analyseren, en met de opgedane kennis te komen tot een verbetering van bestaande technieken. De bedoeling is dus technisch. Men kan de opgedane kennis wel wetenschappelijk noemen, maar dan is het duidelijk dat het hier gaat om technologische wetenschap ; namelijk wetenschap die bruikbaar wil zijn.

"H. de Blancourt admitted that in technological work most improvements resulted from chance observations by men seeking something they could not find. Such discoveries were made, we may say, by 'hazard of Art', for fruitful accidents are fruitful only because those to whom they happen have the knowledge or skill to profit from them. This newly non confidence, however, amounted to a belief that scientific principles could be applied to a great variety of problems, H. de Blancourt put it, for those who 'set themselves thoroughly to study the two principles of whatever they undertake, it is not difficult to retrieve lost Arts' " (Gibbs in Singer e.a., III, 1957, p.683)

Is er een verband tussen ontdekkingen, gebaseerd op toevallige observaties, die door mensen die de kennis en de vaardigheid bezitten, kunnen worden benut, en de nieuwe overtuiging dat wetenschappelijke principes gebruikt konden worden voor een

grote variëteit van problemen? Deze nieuwe overtuiging is ontstaan uit het succes van de ontdekkingen op praktisch vlak. Het logisch verband tussen beide is echter ver te zoeken: de inhoud van de ontdekkingen zijn toch niet noodzakelijk wetenschappelijke principes. Deze inperking van het begrip 'ontdekkingen' en terzelfdertijd overschatting van het begrip 'wetenschappelijke principes' lijken mij een symptoom te zijn van de "mysterieuze" stelling dat wetenschap en techniek hetzelfde zijn, - een stelling die in de eerste plaats niet lijkt gebaseerd te zijn op een tekort aan analytische grondigheid, maar eerder de analyse van de verhouding tussen beide fenomenen wenst te verhinderen. "Door de grondige studie van de ware principes van gelijk welke onderneming kan men gemakkelijk verloren technieken terugvinden." Wat is een grondige studie van de ware principes anders, dan een opzoeken van deze principes? Door het zoeken naar ware principes - en niet door de ware principes - kan men gemakkelijk de verloren technieken terugvinden: het is in het experimenteel, trial-and-error onderzoek dat de technieken worden herontdekt. De ware principes, in de zin van wetenschappelijke principes, liggen niet aan de grondslag van de herontdekte technieken; ze zijn enkel maar theoretische reflekties op deze technieken en hun opzoekingsproces. De oorspronkelijke en verloren gegane technieken zijn toch ook ontstaan zonder deze ware principes:

Henry M. Leicester's visie op de verhouding tussen scheikundige praktijk en theorie is een voorbeeld van een bewering die de waarheid versluiert:

"After the fourteenth century theory and practice in chemistry were never again separated in western Europe. There was a continuous development, in which physicians, apothecaries, and technologists shared, and nearly every great man in the history of chemical thought from the fifteenth to the seventeenth century was also noted for practical discovery." (Leicester, 1961, p.355)

Alhoewel elke zin in dit citaat waarheid bevat, is hij toch in zulke algemene termen gesteld dat de ware toedracht verdoezeld wordt. Het stellen van de nooit meer voorkomende ongescheidenheid betekent toch niet dat er wederzijdse afhankelijkheid was. Dat de scheikundige theorie in haar opbouw ook steunde op technici, kan enkel betekenen dat er noodzakelijke invloed van de techniek op

de wetenschap^{was} Dat de grootste chemici uit die tijd ook praktische ontdekkingen deden, bewijst toch niet dat er noodzakelijke invloed was van de wetenschap op de techniek : Leicester laat het vermoeden, maar bewijst het niet. Een wetenschapsmens kan toch technische innovaties maken zonder wetenschap erbij te betrekken.

"By 1730 the point had been reached where science, and particularly chemistry, could begin to give a lead in several manufactures. Before this time one may generalize by saying that trade practices were ahead of the science. Nevertheless, many were already looking to men of science to introduce novel methods and processes, and even the critics of science seem to have assumed that this should be so, though bemoaning the fact that results had not yet come up to expectations. Thus in 1724 Bernard Mandeville (? 1670 - 1733), referring to the 'perfections' that had been reached in several trades, claimed that 'the many improvements, that can be remembered to have been made in them have for the generality been owing to persons who either were brought up to, or had long practised and been conversant in those trades, and not to the great Proficients in Chymistry or other Parts of Philosophy, whom one would naturally expect those things from.' (in "The Fable of the Bees", p.152, London 1724)" (Gibbs in Singer e.a., III, 1957, p. 706).

In het citaat uit Mandeville blijkt niet dat wetenschapscritici van de wetenschap verwachtten dat ze nieuwe methoden en processen zouden introduceren, maar dat de verbeteringen, die in de technieken zijn opgetreden, in het algemeen voortkomen van mensen die in de praktijk zijn opgeleid of gedurende lange tijd de praktijk beoefenden, en niet afkomstig zijn van theoretici. Hoe de verhouding tussen de wetenschappelijke en industriële scheikunde na 1730 was, onderzoek ik in het volgende deel, dat handelt over de Industriële Revolutie.

- 7. Besluit : de wetenschappelijke revolutie en de technische innovaties gedurende de zestiende, zeventiende en begin achttiende eeuw.

De term 'wetenschappelijke revolutie' - die ik hier onkritisch van Singer en Bernal overneem - heeft betrekking op de grondlegging van de experimentele methode. Het is dus niet het begrip dat Thomas Kuhn gebruikt om niet-cumulatieve ontwikkelingsperioden aan te duiden, waarin een ouder paradigma geheel wordt vervangen door een nieuwer dat niet met het oude in overeenstemming kan gebracht worden. De vraag, in welke mate deze beide begrippen met elkaar in verbinding staan, moet ik hier onbeantwoord laten.

Etienne Vermeersch (1969) duidt in zijn artikel "Het ontstaan van de experimentele methode" aan dat Galileï niet een nieuwe wetenschappelijke methode gevonden heeft, maar slechts de werkwijze gebruikte die onder andere Archimedes tot de *statica* en de *optica* bracht. Deze Archimedische werkwijze is als volgt te karakteriseren : zodra een wiskundige over een mathematisch apparaat beschikt, gaat hij dit als vanzelf uitbreiden tot gebieden in de natuur waarvan hij de mathematische eigenschappen evident vindt. Deze werkwijze leidt rechtstreeks naar een volwaardig wetenschappelijk experiment omdat zij aan de empirie eisen stelt voor haar toepasbaarheid (zie appendix 1).

Waar komt het oorspronkelijk mathematisch apparaat vandaan? De vraag, die Edmund Husserl (1936) in de negende paragraaf en de derde bijlage van de "Krisis" stelt, naar de oorsprong van de geometrie, die Galileï traditioneel voorgegeven was, kan hier als exemplarisch aangezien worden. De aardmeetkunde ("Messkunst") was de wegbereidster voor de universele geometrie.

"Die Messkunst entdeckt praktisch die Möglichkeit, gewisse empirische Grundgestalten, an faktisch allgemein verfügbaren empirisch-starren Körpern konkret festgelegt, als Masse auszuwählen und mittels der zwischen ihnen und anderen Körper-Gestalten bestehenden (bzw. zu entdeckenden) Beziehungen diese anderen Gestalten intersubjektiv und praktisch eindeutig zu bestimmen - zuerst in engeren Sphären (z.B. in der Feldmesskunst), eben sodann für neue Gestaltssphären. So versteht sich, dass im Gefolge des wach gewordenen Strebens nach einer "philosophischen", einer das "wahre", das objektive Sein der Welt bestimmenden Erkenntnis, die empirische Messkunst und ihre empirisch-praktisch objektivierende Funktion, unter Umstellung des praktischen in ein rein theoretischen Interesse, idealisiert wurde und so in das rein geometrische Denkverfahren übergang." (Husserl, 1936, p. 25, mijn onderstreping).

Oorspronkelijk komt het mathematisch apparaat uit de praktijk : men ontdekt praktisch de mogelijkheid om te meten. In de technische praktijk ontstaat de meetkunde. Onder verandering van een praktische in een zuiver-theoretische belangstelling, wordt deze praktisch-empirische meetkunde geïdealiseerd en gaat ze in het zuiver-geometrisch denkproces over. Husserl duidt het oorspronkelijk ontstaan van de geometrie aan in de praktijk, maar hij stelt ook dat de geometrie middel voor de techniek is geworden :

"Hatte die empirische und sehr beschränkte Aufgabenstellung der technischen Praxis ursprünglich die der reinen Geometrie motiviert, so war ja nachher und längst schon auch um-

geheert die Geometrie, als "angewandte", zum Mittel für die Technik geworden, zu ihrer Leitung in der Konzeption und Durchführung der Aufgabe : eine Messungsmethodik für die objektive Gestaltbestimmung systematisch auszubilden, in ständiger Steigerung als 'Approximation' auf die geometrischen Ideale, die Limesgestalten hin" (Husserl, 1936, p.26)

Volgens Husserl is het de geometrie die leiding geeft aan de techniek in de opvatting en doorvoering van de opgave een meetmethodiek op te bouwen. Ik meen dat het de geometrie als voorwetenschappelijk verschijnsel is, dat dit mogelijk maakt ; zoals men bij de aardmeetkunde de geschikte meetmethodiek praktisch ontdekte, zo is het ook bijvoorbeeld bij de projectiemethodes in de cartografie of bij de meetschalen van de precisie-instrumenten gegaan.

In de praktijk moet men steeds nieuwe maatstaven kiezen bij het meten van nieuwe eigenschappen. Deze maatstaven zijn aangepast aan het te meten object : voor een zeer klein object neemt men geen grote maat, maar een kleine. Het is in de praktijk dat men geschikte maten kiest. De elementaire 'meetkunde' is een middel voor het technisch handelen, doordat ze op het praktisch vlak blijft. Door de verandering van een praktische in een zuiver-theoretische belangstelling, verliest men het doel uit het oog, dat essentieel is in de praktijk, doordat men de relativiteit van de subjectieve, doelgerichte opvattingen meent te overwinnen, en objectieve kennis meent te verwerven .

"For all its swift advance seventeenth century science still lacked the depths of precise, quantitative information that alone is useful to engineers. Its achievements were either conceptual or at sublime heights of mathematical theory. ... The great discoveries of mathematical physicists were not merely over the heads of practical engineers and craftsmen ; they were useless to them" (Hall, 1961, p.334).

De rol die het wiskundig denken bij de technische innovaties en het technisch handelen speelt, is slechts mogelijk doordat dit denken op het praktisch vlak blijft : bijvoorbeeld de meetschalen bij de precisie-instrumenten worden gemaakt en geijkt in functie van het gewenste doel.

"Certainly there is evidence that mathematics was more sought after as a practical tool in the early seventeenth century by artisans than it was an intellectual discipline in the universities" (Musson & Robinson, 1969, p.13).

Dit doel kan ook wetenschappelijke kennis zijn betreffende bepaalde eigenschappen van de materie ; dan geldt nog het doelgerichtheidsargument. Men tracht objectieve kennis te bereiken door te meten : het subjectieve waarnemen wordt vervangen door een meten met meetschalen, die gebaseerd zijn op intersubjectieve conventies. De subjectiviteit wordt hier wel verdrongen door het objectiviteitsdenken, tot een ander niveau, maar niet uitgeschakeld. Het objectieve denken tracht voor de praktijk zeker noodzakelijk interpretatieve krachten van het menselijk bewustzijn uit te schakelen. Daardoor wordt het onbruikbaar in de praktijk.

In de praktijk heeft men soms behoefte aan nieuwe kennis. Réaumur bijvoorbeeld wou weten hoe men staal maakte ; hij zocht daarvoor naar een procédé door middel van een technisch-doelgericht onderzoek waarin wetenschappelijke principes geen rol speelden. Het technisch-doelgericht onderzoek ligt vóór de wetenschap ; het steunt op ontdekkingen die op voorwetenschappelijk vlak liggen (bvb. het isochronisme van de pendulumklok, de telescoop, de microscoop). De wetenschap bouwt haar theorieën op niet alleen vanuit haar eigen zuiver wetenschappelijk onderzoek, maar ook vanuit de ervaringen die in de praktijk en het technisch-doelgericht onderzoek werden opgedaan (bvb. in de metallurgie en de scheikunde). Zelfs haar eigen onderzoek heeft als voorwaarde de techniek en de praktijkervaring nodig :

"Ook de natuurwetenschap zou nooit een begin hebben kunnen maken met systematisch experimenteel onderzoek als uit de gewone levenservaring en het technisch hanteren der dingen niet reeds vele regelmatigigheden bekend waren."
 (Van Walsen, 1960, p.50)

Wetenschap treedt als een voldoende - en niet als een noodzakelijke - doelloorzaak op bij het creëren van haar onderzoeksinstrumenten, die soms later wel met een eventuele aanpassing aan de praktijkvoorwaarden in de praktijk kunnen gebruikt worden (bvb. het zeevaarders-astrolabium). Deze onderzoeksinstrumenten hebben de techniek nodig om gecreëerd te worden.

De minieme rol die de wetenschap bij de technische innovaties - en dit enkel op het vlak van precisie-instrumenten - in de

97.
16^{de} - 17^{de} en begin 18^{de} eeuw speelde is zeker niet noodzakelijk.
De technische innovaties kwamen er door ontdekkingen die op
voorwetenschappelijk vlak liggen.

"As regards the technologies of basic production, the sympathetic interest of the scientist was simply that, and it is difficult to detect many significant improvements attributable to science. Perhaps this reflects the fact that these technologies had increased greatly in complexity, along paths strange to science. ... The technologies of basic production had already reached such a level in the seventeenth century as to be largely beyond the power of the still nascent sciences to improve them. In the eighteenth century physicists are more often found endeavoring to explain the workings of some existing machine than suggesting improvements in it." (Multhauf, 1959, p.42).

De ontdekkingen kunnen wel aanleiding geven tot het opbouwen van wetenschappelijke theorieën, die op hun beurt dan ook de technieken kunnen verklaren.

In de literatuur bestaat er een tegenstelling wat de geïnteresseerdheid van de 17^{de} eeuwse wetenschapsmensen in technische problemen betreft. Zo schrijft Milton Kerker :

"The seventeenth-century scientists were vitally interested in the practical utility of science and many of their problems were oriented towards subjects useful for technical development." (Kerker, 1961, p.384).

In scherpe tegenstelling daarmee stelt A. Rupert Hall :

"There is evidence that scientific propaganda in the seventeenth century stressed the potential benefits flowing to medicine and technology from scientific enquiry ; there is far bulkier evidence that in their work scientists investigated only the questions that took their fancy, from mathematical physics to the physiology of reproduction, in other words, science was apt to be concerned at any moment not with urgent problems of engineering and agriculture but with matters that scientists considered significant and interesting." (Hall, 1961, p.339)

Uit mijn onderzoek van de 17^{de} eeuw blijkt dat de 17^{de} eeuwse zuivere wetenschap zeker niet heeft bijgedragen tot het oplossen van technische problemen en het creëren van technische innovaties. Kerker's bewering kan enkel enige zin hebben indien wetenschap hier gelijk gesteld wordt met technologisch onderzoek, indien men wetenschap opvat als het streven naar bruikbare kennis, indien men dus de technologische wetenschapsvisie aanhangt. Dan kan men Réaumur's onderzoek naar het staalprocédé,

en Huygens' experimenteel onderzoek voor het opbouwen van een mechanisch uurwerk als voorbeelden van de technologische wetenschap zien. Technologische wetenschap is echter geen toegepaste wetenschap in de letterlijke betekenis van het woord : er wordt geen wetenschap toegepast, in de technologische wetenschap wordt er naar bruikbare kennis gezocht. Hall's wetenschapsbegrip is het zuivere wetenschapsideaal : de wetenschapsmensen trachten te weten om te weten, het is niet belangrijk of de kennis maatschappelijk of praktisch belangrijk is. Wetenschap als zodanig opgevat heeft in de 17^{de} eeuw zeker niet bijgedragen tot de techniek.

E. De Industriële Revolutie (einde 18^{de} - begin 19^{de} eeuw)

99.

"The Industrial Revolution itself did not, in its first stages, depend on any contribution from science ; its architects were artisan inventors whose success was made possible by exceptionally favourable economic circumstances. The central development of textiles did, in fact, occur without the application of any radical new scientific principles." (Bernal, 1969, p.525).

De industriële revolutie is dus - volgens Bernal - in haar beginperiode niet te danken of te wijten aan de wetenschap. (1) Later zou wetenschap wel noodzakelijk worden voor de industrie :

"Through power-engineering chemistry, and electricity, science was to be henceforth indispensable to industry." (Bernal, 1969, p.541).

Voor Singer en zijn mede-uitgevers had wetenschap slechts invloed in bepaalde takken van de techniek :

"The application of science to technology played an increasingly effective part. Science did not become a major force in industry as a whole until after our present period, although it had become significant even in the seventeenth century. ... While many branches of technology were virtually unaffected by the ferment of new scientific ideas, some were receptive of them. Thus the chemical industry (ch. 8), which was closely linked with textile manufacture, made increasing use of the new theoretical ideas of the age; the development of the steam engine (ch.6) owed much to Black's conception of the idea of latent heat ; and the making of optical glass for special purposes was rendered possible by researches such as those of Faraday at the Royal Institution. Again, the safety lamp, an invention of profound significance for the increasingly important coal-mining industry (ch.3), was the

(1) De katoen industrie, waarin zich de zogenaamde 'klassieke' industriële revolutie voltrok, werd volgens Bernal (1954) niet vernieuwd door het toepassen van een nieuw radicaal wetenschappelijk principe. E. Baines (1835) meent : "There is also an intimate connection between the arts and natural science. Mutually aiding each other, they go hand in hand in the course of improvement. The manufactory, the laboratory, and the study of the natural philosopher, are in close practical conjunction. Without the aid of science, the arts would be contemptible : without practical application, science would consist only of barren theories, which men would have no motive to pursue.

These remarks apply with peculiar force to the arts by which clothing is produced, and, above all, to the Cotton Manufacture of England, which is the very creature of mechanical invention and chemical discovery, and which has, in its turn, rendered the most important service to science, as well as increased the wealth and power of the country." (E. Baines, 1835, p.5). Baines geeft verder in zijn werk nauwelijks aan hoe wetenschap en techniek mekaar wederzijds beïnvloedden. Hier geeft hij wel aan dat dit zo is door de mechanische uitvindingen en chemische ontdekkingen. Is dit waar ?

100.

direct fruit of laboratory investigation, while instruments for navigation and map-making - important factors in the great expansion of shipping that was an essential concomitant of industrial development - were based upon new scientific discoveries as well as upon improved craftsmanship." (Singer e.a., IV, 1958, p. V - VI)

De zeventiende eeuw wordt aangeduid als een belangrijke periode waarin wetenschap reeds een belangrijke rol speelde in de industrie. Uit mijn onderzoek blijkt dit echter niet waar te zijn. Maar hoe zit het nu met de door Bernal en Singer en medewerkers aangeduide industrieën? Hoe speelde wetenschap een rol bij het ontstaan van de veiligheidslamp voor de mijnwerkers, bij de stoommachine, in de chemische industrie, bij het maken van optisch glas voor speciale doeleinden, bij de instrumenten voor navigatie en kaarttekenen? De electriciteitsindustrie zal ik in de volgende periode bespreken, gezien de onbelangrijkheid ervan tijdens de industriële revolutie :

"Electricity and magnetism, for instance, which were very popular subjects in contemporary lecture courses, played little or no part in the early Industrial Revolution." (Musson & Robinson, 1969, p. 84-85).

1. De veiligheidslamp

In de mijnontginning was er het probleem van de verlichting. Deze moest zodanig zijn dat het de mogelijk opgehoopte gassen niet deed ontploffen. Humphry Davy vond de veiligheidslamp uit; hij steunde daarbij zoals blijkt niet op voorafgaandelijk vaststaande wetenschappelijke principes. Hij deed wel aan technologisch-doelgericht onderzoek :

"After visiting several mines, and discussing the problem with people on the spot, he (Humphry Davy) had some specimens of the gas sent to him at the Royal Institution in London. By november in the same year he had discovered the conditions under which fire-damp explodes, its degree of inflammability, and its behaviour when mixed with certain quantities of air. He also studied the passage of flames through tubes of varying diameter, and observed that metal was more effective than glass in retarding it. He found wire gauze to be an effective barrier. On 9 November 1815 he published his results and showed three lamps incorporating his findings (...)." (J.A.S. Ritson in Singer e.a., IV, 1958, p.95).

Davy deed aan laboratoriumonderzoek; zijn doel was in de eerste plaats een middel te vinden om de mijnen zonder ontploffingsgevaar

te verlichten. Daarom onderzocht hij de voorwaarden waaronder de gassen ontploffen, en kwam daarbij tot vaststellingen, die wel kunnen gebruikt worden om een wetenschappelijke theorie en zodoende wetenschappelijke principes op te bouwen, maar zelf nog niet wetenschappelijke principes zijn. Deze vaststellingen, geconstateerd bij trial-and-error-experimenten hebben Davy in staat gesteld een geschikte mijverlichting te construeren.

"(Humphry Davy) is best known for the invention of the miner's safety lamp in 1815, a piece of direct industrial research which he undertook without fee. Though intended to prevent fire-damp explosions it was used effectively to work previously inaccessible gassy mines, so that output went up while the number of accidents remained the same." (Bernal, 1969, p.539).

Dikwijls wordt laboratoriumonderzoek met wetenschappelijk onderzoek gelijk gesteld. De gebruikte middelen bepalen toch niet of een onderzoek wetenschappelijk is of niet. Het is toch het doel dat men nastreeft dat bepaalt of men aan wetenschappelijk onderzoek doet : als men zuivere wetenschappelijke kennis wenst, handelt men zo dat men dit kan bereiken. Men varieert de omstandigheden waarin het onderzoeksobject zich bevindt, of men varieert het object. Als men als doel technologische kennis wenst, zoekt men naar middelen om een probleem(situatie) op te lossen. Men wenst geen wetenschappelijk geldige kennis, men wenst nuttige, bruikbare kennis. Men wenst niet de instemming van een wetenschappelijk forum, men wenst geen geldige theorie op te bouwen, men wenst de oplossing van een probleem. Voor deze probleemoplossing is soms laboratoriumonderzoek nodig. Dit onderzoek steunt niet op wetenschappelijke principes. Bestonden er geschikte wetenschappelijke principes, dan was het onderzoek niet noodzakelijk. Bij de oplossing van technische problemen kunnen voorafbestaande wetenschappelijke principes misschien behulpzaam zijn, maar ze zijn niet noodzakelijk daarvoor, omdat de onderliggende voorwetenschappelijke vaststellingen even goed kunnen gebruikt worden. (Tot hiertoe heb ik in mijn historisch onderzoek geen voorbeeld tegengekomen waarin wetenschappelijke principes hielpen bij het oplossen van technische problemen. Wanneer dit wel zo zou zijn, is het mijn taak aan te tonen dat dit enkel en alleen zo is, omdat het reflecties zijn op voorwetenschappelijke gegevens, en het juist deze gegevens zijn die voor de probleemoplossing noodzakelijk zijn.)

Over het feit of de wetenschap een (noodzakelijke) rol gespeeld heeft bij de uitvinding van de stoommachine zijn de meningen verdeeld. Zo is bijvoorbeeld volgens Peter Mathias (1972, p.72) de stoommachine de grootste gift van de wetenschap aan de industrie. Volgens C.A. Russell en D.C. Goodman (1972, p.1) daarentegen is het zo dat "most historians now agree that the intentions of the first steam-engines, including those of James Watt, was the result of expertise in mechanical crafts, not the results of applied scientific knowledge." Een onderzoek naar het ontstaan van de stoommachine kan aanduiden welke visie de juiste is en in het bijzonder of er, en zo ja welke, argumenten kunnen aangehaald worden om de wetenschappelijkheid van de stoommachine te bewijzen.

Het vroegst gekende mechanisme dat werkte door middel van de stoomkracht was de "sfeer van Aeolus" ontworpen door Hero in de eerste eeuw na Christus. Het kan beschouwd worden als een reactie-turbine.

"He is most famous for his inventions of a hollow sphere to which two bent tubes were attached. When water was boiled in the sphere, the steam escaped through the tubes and as a result of what we now call the law of action and reaction (not stated explicitly until Newton) the sphere whirled rapidly about. This was an early method of converting steam power to motion and it is often called a steam-engine."
(Asimov, 1964, p. 38).

Hero vond ook een machine uit waarin de expressieve kracht van de lucht, wanneer deze opgewarmd werd, gebruikt werd om water uit een tank naar omhoog te stuwen. Zijn uitvindingen werden gebruikt om deuren en standbeelden automatisch te bewegen, waarmee o.a. priesters goedgebouwde toeschouwers trachtten te imponeren, en in speelgoed voor kinderen.

Ook in de 16de en in het begin van de 17de eeuw waren er mechanismen die werkten door middel van stoom. Zo beschreef de Fransman Salomon de Caus een ornamentale fontein die werkte door middel van stoom.

"Giambattista della Porta (1606) was the first to demonstrate, on a laboratory scale, that steam could be used to move water, either by forcing it or by drawing it into

103.

a vacuum formed by condensing steam." (Milton Kerker, 1967, p. 332).

Het gebruik van stoom om beweging te veroorzaken bestond dus reeds voor de uitvinding van de eigenlijke stoommachine.

"An important step leading to the invention of the steam engine was the discovery of the pressure of the atmosphere... The discovery suggested the possibility of using atmospheric pressure to do work on a piston beneath which a vacuum could be created. It thus led to experimental work, in many countries, that culminated in the invention of the steam-engine." (H.W. Dickinson in Singer e.a., IV, 1958, p. 169-170).

De ontdekking werd gedaan door Torricelli, assistent van Galileï.

De ontdekking vloeide voort uit een praktisch probleem, nl. om water door middel van een zuigpomp een hoogte van 15m op te voeren, gesteld in 1641 aan Galileï door de ingenieurs van Cosmo de Medici II.

"The decisive discovery that brought it about, the actual production of the vacuum, was itself derived directly from practical hydraulics." (Bernal, 1969, p. 469).

Galileï slaagde er niet in het probleem op te lossen, maar na Galileï's dood ontdekte zijn leerling Torricelli de atmosferische druk en het vacuüm door in plaats van met water met kwik te experimenteren. Deze ontdekking was duidelijk niet noodzakelijk om een stoommachine te kunnen maken, daar Giambattista della Porta 35 jaar vroeger reeds experimenteel aantoonde dat stoom gebruikt kon worden om beweging te veroorzaken, dit zonder zich blijkbaar expliciet bewust te zijn van het verschijnsel van de atmosferische druk en het luchtledige.

"The problem (van de stoommachine) was how to combine two ideas, both old, in a practical engine : first to fill an empty space with water by suction (or vacuum), and then to expel the contents by pressure exerted by expanding air, steam or gas. De Caus (1576-1626), a designer of the garden waterworks so favoured in the sixteenth century, solved the problem practically even before the vacuum was realized.(...) Though scarcely practical, this contained the essential principle of a vacuum-engine, but until von Guericke's work its action could not be fully understood." (Bernal, 1969, p. 576-577).

Het probleem dat diende opgelost te worden was hoe het vacuüm te creëren en terug op te heffen. Otto von Guericke (1602-1686) paste de bestaande praktische kennis over de pompen toe om een pomp te maken die in plaats van water lucht optrok. Door middel van dit instrument kon hij spectaculaire demonstraties geven over de gevolgen van de atmosferische druk. Door zo'n luchtpomp kon men het noodzakelijke vacuüm creëren en opheffen wanneer men weer

Wou.

104.

"Von Guericke's pumps were much improved by Boyle, or more probably by Hooke, who was then in his pay... The use of the air-pump, particularly the effect involved in pumping, led Boyle to a study of the behaviour of air, both compressed and expanded. Thus he discovered the first scientific law outside that of simple mechanics, what he called the "Spring of Air", the law that we now know as Boyle's law : that the pressure multiplied by the volume of a certain amount of air is constant - or rather, as was found later, is directly proportional to the temperature." (Bernal, 1969, p. 470-471).

De ontdekking van een wetenschappelijke wet is hier duidelijk een reflectie op technische ervaringen en innovaties.

Christiaan Huygens (1629-1695) en voornamelijk zijn toenmalige assistent Denis Papin (1647 - ? 1712) probeerden de explosieve kracht van buskruit aan te wenden om een vacuüm te creëren en op te heffen en zodoende de zuiger te bewegen. Papin bouwde aan de hand van Huygens' gedachten en experimenten een buskruitmachine, die praktisch echter niet bruikbaar was - omdat de gaten niet bestand waren tegen de druk - maar die wel het principe demonstreerde.

Thomas Savery was de eerste die een stoommachine bouwde.

"The man who first succeeded in designing and financing a workable fire-driven pump was Captain Savery (1650-1715) of the Royal Engineers, who used two vessels alternately filled with steam to drive water out and then cooled to draw up more water, a method still in use in the "pulso-meter" pump." (Bernal, 1969, p. 577).

Stoom werd voor de eerste maal in een machine gebruikt om het vacuüm te creëren, en zo de druk te bekomen om afwisselend het water op te trekken en weg te duwen, op een manier zoals door della Porta gesuggereerd werd.

Leibniz bezocht in 1705 Engeland. Hij beschreef voor Papin de machine van Savery. Papin maakte in 1707 een gelijkaardige stoommachine. Savery's machine echter leed aan praktische onvolmaakt-heden, te wijten aan onvoldoende vakmanschap en ongeschikt materiaal.

"A more successful and practical engine was made in 1712 by the ironmonger Thomas Newcomen of Dartmouth, ... The fact that, as far as we know, Newcomen had no scientific training or connections is among the reasons that caused

Nos.

A.S. Meikleham (1) in 1824 to repudate the view that the steam-engine was "one of the noblest gifts of science to mankind." "There is no machine or mechanism", he asserted, "in which the little the theorists have done is more useless. It arose, was improved and perfected by working mechanics - and by them only." Those two extreme views as to the share of science in the origin of the steam-engine are not incompatible. It is doubtful whether the radical idea of vacuum pumping would ever had occurred to a scientist; on the other hand, no scientist either had or could commend the skill to solve the, no less essential, problems of making a working engine." (Bernal, 1969, p.579-580).

Het principe van het vacuumpompen blijkt wel eerst onbewust door een technicus 'toegepast' te zijn. De Caus bouwde in 1615 fonteynen die door stoom in werking werden gehouden zonder zich van het vacuüm bewust te zijn. Giambattista della Porta demonstreerhet principe experimenteel in 1606 voordat Torricelli het vacuüm ontdekte.

Dat Newcomen beïnvloed werd door Savery en Papin staat historisch niet vast. Volgens Milton Kerker (1961, p.383-384) is het mogelijk dat hij als ijzersmid meehielp bij het bouwen van een machine van Savery. Ook is het mogelijk dat Robert Hooke Newcomen op de hoogte hield van Papin's experimenten voor een stoommachine.

Dickinson deent dat Newcomen onafhankelijk van Papin werkte, en

"The statement by Marten Triervald, Swedish assistant of Newcomen, in 'Kort Beskrifning om Eld-och Luft-Machin', Stockholm 1734) that Newcomen had no knowledge of what Savery was doing is corroborated by another writer, Stephen Switzer, ... (in "An introduction to a General System of Hydraulicks. Philosophical and Practical., p.342, London, 1729) (Dickinson in Singer e.a., IV, 1958, p. 174).

Volgens A.R.Hall steunde Newcomens's machine niet op wetenschappelijke principes :

"No scientific revolution was needed to bring the steam-engine into existence. What Newcomen did could have been done by Hero of Alexandria seventeen hundred years before, who understood all the essential principles" (geciteerd door Mathias, 1972, p. 72).

De bewering, dat er geen wetenschappelijke principes aan Newcomens's machine ten grondslag liggen, wordt geaffirmeerd door Dickinson, die stelt dat Henry Berghton (1686-1754) de eerste was die Newcomen's machine wetenschappelijk bestudeerde.

(Dickinson in Singer e.a., IV, 1958, p. 176). Na Newcomen werden

er door praktijkmensen structurele en mechanische verbeteringen aan de stoommachine aangebracht. John Smeaton (1724-1792) bijvoorbeeld maakte verschillende praktische verbeteringen en deed de efficiëntie van de machine zo goed als verdubbelen.

John Anderson, die professor was in "Natural Philosophy" in Glasgow, liet de instrumentenmaker James Watt gedurende de sessie 1763-1764 een demonstratiemodel van de stoommachine van Thomas Newcomen herstellen. Watt vond dat het stoomverbruik van het model te groot was. Hij schreef dit toe aan verlies van hitte doorheen de cylinderwand. Hij maakte een ander model om dit warmteverlies tegen te gaan, maar nu met een houten cylinderwand. Door het experimenteren met dit model kwam hij tot het besluit dat de werkelijke oorzaak van het grote stoomverbruik het afkoe-len van de cylinder was door het water bij iedere stuwung. Hij kwam op het idee om een aparte condensor te gebruiken. In zijn eigen woorden :

"I perceived that, to make the best use of steam, it was necessary first that the cylinder should be maintained always as hot as the steam which entered it; and secondly that when the steam was condensed, the water of which it was composed, and the injection itself, should be cooled down to 100°, or lower where that was possible. The means of accomplishing these points did not immediately present themselves, but early in 1765 it occurred to me that, if a communication were opened between a cylinder containing steam and another vessel which was exhausted of air and other fluids, the steam, as an elastic fluid, would immediately rush into the empty vessel, and continue to do so until it had established an equilibrium; and if that vessel were kept very cool by an injection, or otherwise, more steam would continue to enter until the whole was condensed." (geciteerd door Dickinson in Singer e.a., IV, 1958, p. 182).

Om het vacuüm in het andere vat, de condensor, te behouden stelde Watt voor om, ofwel het af te tappen door middel van een verticale pijp, of beter door het gebruik van één of meerdere pompen. Hij bouwde een ruw model waarin hij een aparte condensor gebruikte, om de bruikbaarheid van zijn idee te testen.

Sommige auteurs zeggen dat Watt's stoommachine een wetenschappelijke uitvinding is omdat Watt zijn uitvinding te danken heeft aan Joseph Black's ontdekking van de latente warmte van stoom

1. R.S. Meikleham : "Descriptive History of the Steam Engine", London, 1824. Onder zijn pseudoniem Robert Stuart is er een Franse vertaling van dit werk verschenen.

107

(b. v. Singer e.a., IV, 1958, p. V en Ubbelohde in Singer e.a., IV, 1958, p. 673). Hijzelf ontkent dit echter ten stelligste :

"... though I have always felt and acknowledged my obligations to him for the information I had received from his conversation, and particularly for the knowledge of the doctrine of latent heat, I never did, nor could, consider my improvements as originating in those communications. But this theory, though useful in determining the quantity of injection necessary where the quantity of water evaporated by the boiler, and used by the cylinder, was known - did not lead to the improvements I afterwards made in the engine. These improvements proceeded upon the old-established fact, that steam was condensed by the contact of cold bodies and the later known one, that water boiled in vacuo at heats below 100°, and consequently that a vacuum could not be obtained unless the cylinder and its contents were cooled every shoke below that heat.

These, and the degree of knowledge I possessed of the elasticities of steam at various heats, were the principle things it was necessary for me to consider in contriving that new engine." (James Watt, brief aan Dr. Brewster, mei 1814, geciteerd door Kerker 1961, p. 385-386).

Watt nam in 1782 een patent op twee belangrijke verbeteringen. De eerste maakte de machine dubbelhandelend, en dus bruikbaar om een dubbele kracht van hetzelfde cylindervolume te benutten. De tweede verbetering gebruikte de stoom zo, dat ze slechts werd toegevoerd in de cylinder gedurende het eerste deel van elke beweging, waarna de stoom door zijn expansieve kracht de zuiger beweegt.

Watt's stoommachine was er één met weinig stoomdruk. Watt vreesde hoge druk omdat dit de machine zou doen uiteenspatten. Richard Trevithick (1771-1833) in Engeland en Oliver Evans (1755-1819) in de Verenigde Staten bouwden bijna gelijktijdig een hogere-druk-machine. Geirge Stephenson was door het werk van Trevithick geïnspireerd toen hij de eerste bruikbare stoomlocomotief bouwde. Veranderingen in Watt's stoommachine werden aangebracht en andere modellen werden ontworpen. Zo bouwde bijvoorbeeld William Freemontle de "grasshopper" in 1803. De zonder balk werkende "table engine" werd in 1807 gepatenteerd door Henry Faudslay.

"To summarize the state of steam-engine practice about 1830 it may be said that the standard prime mover for the larger mills and factories was the Watt jet-condensing beam-engine using steam at little more than atmospheric pressure. In smaller establishments, the "grasshopper" and the "table" engines were commonly employed. For pumping at mines

108.

and waterworks the high-pressure Cornish engine of Trevithick usually working at about 70 lb to the sq.in, had no rival. For marine work, propulsion was by peddles always driven by side-lever engines, jet-condensing and working at about 4 or 5 lb to the sq.in. Locomotive practice (...) was in its infancy." (Dickinson in Singer e.a., IV, 1958, p. 197).

De wetenschappelijkheid van de stoommachine wordt niet bewezen door te stellen dat de ontdekking van de atmosferische druk en/of Black's theorie van de latente warmte een (noodzakelijke) rol gespeeld hebben bij haar uitvinding. Giambattista della Porta toonde 35 jaar voor Torricelli de atmosferische druk ontdekte, experimenteel aan dat stoom gebruikt kon worden om beweging te veroorzaken. James Watt ontkent zelf ten stelligste dat hij zijn uitvinding te danken heeft aan Black's theorie van latente warmte.

Milton Kerker, die zelf Watt's ontkenning van Black's invloed op zijn uitvinding aanhaalde, meent toch nog dat "the steam engine is a product of the age of science and is derived from science." (Kerker, 1961, p. 387). Hij meent - tegen Usher's argument dat niet de omgeving maar enkel een empirische analyse van de gebeurtenissen zelf kan bepalen of iets wetenschappelijk is of niet - dat het juist wel de omgeving is die uitmaakt dat de stoommachine een product van de wetenschap is. Hij steunt hierbij op de volgende gegevens : Watt was een "mathematical instrument maker to the University of Glasgow", de stoommachine werd hem eerder als een laboratoriuminstrument dan als een machine door John Anderson geïntroduceerd; hij had als vrienden en raadgevers twee van de beste wetenschapsmensen van die tijd : Joseph Black en John Robison; hij was niet alleen opgeslorpt in een wetenschappelijke atmosfeer maar ook geïsoleerd van de praktische technologie; hij behield een wetenschappelijke interesse gedurende gans zijn leven. Kerker's argumenten bewijzen enkel dat James Watt wetenschappelijke interesse had en dat hij een precisieinstrumentenmaker was. Daaruit afleiden dat Watt's stoommachine een wetenschappelijke uitvinding was is een uiting van mysterieus denken : "ergens moet er wel noodzakelijke invloed geweest zijn, maar het is niet aan te duiden hoe of waar.". Men kan hoogstens stellen dat Watt aan experimenteel-technologisch onderzoek deed. Zijn eerste opzet was het model van Newcomen's stoommachine te herstellen. Hij brengt daaraan economisch-practische verbeteringen

aan en komt zo tot de uitvinding van zijn stoommachine. Dat Watt hierbij wetenschappelijke principes (her)ontdekt, maakt zijn uitvinding en zijn onderzoek nog niet zuiver-wetenschappelijk : hij wil praktische verbeteringen aan de stoommachine aanbrenge(n). (1) R.S. Meikleham, die in 1824 een "Descriptive History of the Steam Engine" publiceerde, schrijft in de Franse vertaling van zijn werk (uitgegeven onder de naam Robert Stuart) :

"Ce sont des ouvriers mécaniciens qui seuls ont inventé et perfectionné la machine à vapeur : Savery a commencé par être un ouvrier mineur; Newcomen était un serrurier, son associé Cawley un vitrier, don Ricardo Trevithick était un ouvrier mécanicien et Watt, l'illustre Watt lui-même, à l'époque où il entreprit et même long-temps après avoir achevé les grands perfectionnements qui ont rendu cette machine si utile, n'était qu'un faiseur d'instruments de physique." (Meikleham, 1824, p. 5).

De uitgever van de Franse editie schreef hierbij een voetnoot waarin hij trachtte de stelling van Meikleham te weerleggen. Hierin schrijft hij :

"Au surplus, la distinction faite par Stuart des praticiens et des théoriciens n'existe point lorsqu'il s'agit de recherches physiques, car la pratique est nécessaire pour trouver des données de la nature, et la théorie pour en déduire des conséquences. Tous les hommes de génie auxquels on doit des grands découvertes étaient à la fois praticiens et théoriciens : seulement praticiens, ils n'auraient rien vu au-delà de ce que l'expérience leur indiquait; et s'ils n'auraient pas consulté l'expérience, ils n'auraient créé que des systèmes."

Het is niet belangrijk of de mensen die de ontdekkingen gemaakt hebben terzelfdertijd praktijkmensen en theoretici waren. De vraag is welke rol hierbij de wetenschap speelde, of dit een noodzakelijke rol was, of de techniek noodzakelijk was voor de theorie en/of de theorie voor de techniek. Het antwoord blijkt te zijn : "car la pratique est nécessaire pour trouver les données de la nature et la théorie pour en déduire des conséquences". De praktijk

-
1. R.J. Forbes meent dat verschillende wetenschapstakken nieuwe kennis opleverden die bruikbaar was voor het bouwen van stoommachines (in Singer e.a., IV, 1958, p.163). Hij vermeldt welke, maar uit nader onderzoek blijkt dat de vermelde wetenschapsmensen ofwel te theoretisch waren om praktisch nuttig te zijn ofwel de theorieën praktisch onbruikbaar (zie Singer e.a., IV, 1958, p. 442-443; p. 445; p. 452-453; p. 477-480). Forbes stemt zelf in met de bewering van L.J. Henderson : "until 1850 the steam-engine did more for science than science did for the steam-engine" (in Singer e.a., IV, 1958, p. 165).

is dus noodzakelijk om gegevens van de natuur te bekomen. Was de theorie nodig om uit deze gegevens praktische gevolgen te trekken? Blijkbaar niet want de praktijk was nodig opdat de theoretici niet louter theoretische systemen zouden creëren. Het is dankzij de impliciete praktijkervaringen dat de theorie bruikbaar is. Maar anderzijds zou het zo zijn dat de theorie noodzakelijk was om "nieuwe zaken" te zien. De term "theorie" is hier een overschatting van de interpretatieve blik die noodzakelijk is bij ontdekkingen en uitvindingen. Is het daarbij niet zo dat de wetenschap juist het nieuwe tot het oude, reeds gekende, wil herleiden, en wanneer ze hierin herhaaldelijk niet slaagt, tot een crisissituatie komt (cfr. Thomas Kuhn)? Dat de interpretatieve blik een theoretische blik is, valt niet te ontkennen, maar een theoretische blik is niet steeds een (zuiver-)wetenschappelijke.

Russell en Goodman schrijven in de inleiding van hun anthologie van teksten in verband met wetenschap en techniek :

"Two extracts describe the first working steam-engine of Thomas Savery. No evidence exists to suggest its invention was due to the application of pure science. The extracts contain no scientific theories. The success of the engine seems to be due to mechanical skills - in other words an example of technology without science. The same appears to be true of the subsequent development of steam-engines by Thomas Newcomen and James Watt. (It was left to the later nineteenth-century science of thermodynamics to explain the operations of the engines.)" (Russell & Goodman, 1972, p. 3).

Na de uitvinding van de stoommachine wordt er - vooral door Sadi Carnot - een wetenschap, de thermodynamica, ontworpen die de operaties van de machine kan verklaren.

"The structure of Carnot's theory rested on the works of the hydraulic and steam power engineers which converged so significantly during the years 1790-1825, and is particular on the achievements of James Watt and the Cornish engineers." (Cardwell, 1972, p. 96).

3. De chemische industrie

Ook hier bestaan er tegengestelde beweringen wat betreft de verhouding tussen wetenschap en techniek. John Desmond Bernal stelt dat de techniek noodzakelijk de wetenschap voorafging.

"The rapid development of a widespread mining and chemical industry of a non-scientific and essentially technical character was a necessary precondition for the building up

of any effective chemical theory." (Bernal, 1969, p. 617-618).

C.A. Russell en D.C. Goodman beweren dat de scheikundige wetenschap misschien meer verbanden heeft met technologie, dan elke andere wetenschap :

"On the other hand, chemistry has perhaps more connections with technology than any other science. The analysis of the material world, the study of the transformation of substances, and the creation of new materials are all chemical problems with profound implications for engineering, agriculture and medicine." (Russell & Goodman, 1972, p. 3).

Holmyard besluit zijn bijdrage over de ontwikkelingen in de chemische theorie en praktijk gedurende de industriële revolutie met de volgende samenvatting over (het ontstaan van) de scheikundige wetenschap :

"What this brief sketch of chemical history during that period has attempted to show is that, while the industrial revolution was taking place, chemistry was itself undergoing a revolution of comparable magnitude. The whole outlook of the science was metamorphosed. At the beginning of the period alchemy still lingered, empirical methods held undisputed sway, and such chemical theory as existed was sterile, if not actually an obstacle to progress. Then a change began, at first slowly but later with gathering speed, and the foundations of the modern science were quickly laid one after another. The idea of chemical individuality led to improved methods of purification and analysis; the idea of the conservation of matter led to the establishment of quantitative chemistry; the work of the pneumatic chemists led to the discovery of the true composition of air and water and to a satisfactory theory of combustion; physical investigation of gases led to the enunciation of the atomic theory and chemical investigation to its acceptance; the atomic theory led to a better understanding of chemical reactions and to a convenient system of notation; and the discovery of the electric battery led first to wider qualitative discovery and subsequently to quantitative advances and to the development of fruitful chemical theory." (Holmyard in Singer e.a., IV; 1958, p. 228).

Gedurende de hier beschouwde honderd jaar - van 1750 tot 1850 - veranderde de scheikunde van alchemie tot wetenschap. Welke waren de grondslagen van de nieuwe wetenschap? Door een analyse van de aangegeven voorbeelden komt men tot een (gedeeltelijk?) beeld van de stappen die gezet worden om een wetenschappelijke theorie, en meer algemeen een vakgebied, op te bouwen :

- een idee leidde tot verbeterde technieken

(chemische individualiteit - verbeterde zuiverings- en analysemethoden)

- een idee leidde tot opstelling van theorie en zelfs tot opstelling van een onderdeel van het vakgebied
(behoud van materie - kwantitatieve scheikunde)
- onderzoekswerk leidde tot ontdekking
(pneumatische scheikunde - ware samenstelling van lucht en water)
- onderzoekswerk leidde tot opstelling van theorie
(pneumatische scheikunde - verbranding)
- onderzoekswerk leidde tot aanvaarding van theorie
(gassen - atoomtheorie)
- theorie leidde tot beter verstaan van fenomenen
(atoomtheorie - chemische reacties)
- theorie leidde tot geschikt notatiesysteem
(atoomtheorie)
- ontdekking leidde tot andere ontdekkingen
(electrische batterij)
- ontdekking leidde tot kwantitatieve vooruitgang
(idem)
- ontdekking leidde tot opbouw van vruchtbare theorie
(idem)

De term "leiden tot" die door Holmyard gebruikt wordt is betrekkelijk vaag. Hij drukt geen voldoende grond uit : er was blijkbaar meer nodig, waarvoor echter wel "datgene wat leidde tot" voldoende grond was. Drukt de term misschien een noodzakelijke voorwaarde uit? Blijkbaar ook niet, want als zonder A, B niet kan bestaan wil dat nog niet zeggen dat A leidde tot B. Als we de aangegeven verbanden met elkaar in relatie brengen, bekomen we volgende ketting, waarin niet alle componenten noodzakelijk zijn : idee - verbeterde technieken - onderzoekswerk - ontdekking - opstelling van theorie - onderzoekswerk - aanvaarding van theorie - een beter begrijpen van de fenomenen (en een geschikt notatiesysteem).

Volgens Bernal bestond scheikunde als praktische wetenschap reeds lang :

"In the practical sense the science of chemistry was as old as, or older than, any other science; but as already explained it was not, and could not become, a logical science until very late, since the science of earlier times lacked the essential prerequisites. It was necessary to wait for the accumulation of a far larger body of experience of the properties and transformations of a greater variety of substances than was available in ancient or Renaissance times.

The rapid development of a widespread mining and chemical industry of a non-scientific and essentially technical character was a necessary precondition for the building up of any effective chemical theory. But it also needed some comprehensive ideas which would meld together these diverse experiments and make out of them a coherent picture which could be grasped and used to lead to further discoveries." (Bernal, 1969, p. 217-218).

Bernal gebruikt hier, tegen zijn eigen verguizing van het zuiver wetenschapsideaal in - het "idealistische" volgens hem-, dus toch twee duidelijk van elkaar te onderscheiden wetenschapsidealen. Of men kan beweren dat er reeds een zeer oude praktische, scheikundige wetenschap bestaat, hangt natuurlijk af van hoe men wetenschap opvat. Men dient echter een zeer zwak wetenschapsbegrip te hanteren om in de oudheid en in de prehistorie reeds van wetenschap te spreken. Zijn de beschouwingen die aan het uitvinden van het wiel of het beheersen van het vuur ten grondslag liggen, reeds wetenschappelijk? Het is merkwaardig dat Bernal hier een praktische wetenschap tegenover een logische wetenschap stelt. Was de praktische wetenschap dan wel logisch? Enerzijds beweert hij dat de ervaringen opgedaan in de praktijk een noodzakelijke voorwaarde zijn voor een "logische" scheikunde, anderzijds lijkt de "logische" wetenschap te leiden tot verdere ontdekkingen. Is de logische wetenschap dan praktisch?

Om na te gaan hoe het verband van de theorie met de praktijk is, kan ik best eerst Holmyard verder citeren :

"From its very beginnings this spectacular growth reacted upon the chemical industry - even the mineral-water industry was initiated by Priestley - and little by little offered improvements upon old methods as well as suggesting entirely new ones. The conservatism of industrialists, still not unknown, was gradually broken down and more and more reliance was placed upon the knowledge that chemists provided. Many of the chemical manufacturers were themselves skilled in chemistry, and the ultimate importance of academic research to industry gained growing recognition. Conversely, the increased bulk and variation of industrial activity reacted upon the growth of pure chemistry by directing much (sic) researches into specific channels, but the vital point is that the success of the chemical industry and in the long run of industry as a whole was very largely the result of the basic advances in pure chemistry here outlined. The history of technology since 1750 cannot be properly understood unless this fact is kept in mind." (Holmyard in Singer e.a., IV, 1958, p. 228).

De zuivere scheikundige theorie bracht volgens Holmyard verbete-

ringen aan aan oude technieken en suggereerde volledig nieuwe methodes. Omgekeerd was het volgens hem ook zo dat de industrie de zuiver scheikundige onderzoeken in specifieke kanalen leidde. Anderzijds geeft Holmyard in het begin van zijn bijdrage een praktijkgericht onderzoek aan, dat duidelijk niet zuiver is :

"..., increased demands for such commodities as glass, soap, soda, dyes and textiles led to an intensive ad hoc experimentation as the result of which there were great improvements in the methods of manufacturing such fundamental substances as the mineral acids and the common alkalis." (Holmyard in Singer e.a., IV, 1958, p. 214).

Is er een onderscheid tussen beide praktijkgerichte onderzoekstypes? Kan er zuiver onderzoek bestaan, dat terzelfdertijd praktijkgericht kan zijn? Bracht de zuivere scheikundige theorie verbeteringen aan aan oude technieken en suggereerde ze volledig nieuwe methodes?

Volgens de opgestelde ketting komen de verbeterde technieken vóór de aanvaarde theorieën. Holmyard meent echter dat de metamorfose binnen de scheikunde van alchemie tot wetenschap tot gevolg had dat de empirische technieken, gevonden door ad hoc experimenten, geleidelijk aan vervangen werden door technieken die gesteund waren op de scheikundige wetenschappelijke theorieën. Zonder deze verandering zou er volgens hem zeker geen verbazingwekkende opbloei van de chemische industrie in de 19de eeuw geweest zijn. (Holmyard in Singer e.a., IV, 1958, p. 214).

Een onderzoek van de technieken die gebruikt werden in de scheikundige industrie, naar hun ontstaans- en verbeteringsvoorwaarden, zal uitmaken of de zuiver-wetenschappelijke theorieën hierin een rol speelden. Ondanks de veelvuldige industrieën waarin de scheikundige technieken een rol speelden, is het toch zo dat :

"Fortunately, however, this complexity can be reduced, because, while differing in detail, the number of fundamentally different techniques used, is not great. These include (a) furnace techniques, whereby the astonishing transformations of the metallurgical, glass and pottery industries are brought about, (b) purification by crystallization, as in the production of salt and sugar, (c) distillation and, as a later development, (d) the handling of gases. These processes enabled industrial chemists to progress towards the more sophisticated procedures of the twentieth century." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 230).

De smeltoventechnieken zijn ontstaan in de praktijk. Ze waren reeds gekend door de technici van de oudheid en in China in de eerste eeuw voor Christus. Inzichten opgedaan tijdens het praktisch handelen, helpen subtielere technieken tot stand komen :

"Furnace techniques go farther back than written records, and on them are centred the first observations that led to a body of chemical knowledge (...) : classical examples are the transformation of green malachite into red metallic copper, the firing of grey clay to give a red earthenware body, and so on. The ancients knew of six solid metals, but metallurgy was not the only furnace technique that industry of the industrial revolution inherited. The manufacture of glass and pottery (though for centuries neither product was widely used except among the upper classes) was established from China to the Baltic, and even at an early date some examples imply a high degree of technical competence. In making these product craftsmen cannot have failed to observe the profound changes taking place as their raw materials were transformed in the furnace, and they must have had the knowledge to search for, and to select, the proper materials - plant-ashes to supply alkali, sand to supply silica and clays with the proper rheological properties.

In addition to the above (which by their use of fire undoubtedly have a dramatic quality), over many generations a body of knowledge comprising more subtle techniques was accumulated." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 270).

De zuiveringstechniek door middel van kristallisatie, zoals gebruikt bij het fabriceren van suiker en zout, is een zeer oude techniek. Het ontstaan ervan valt zo goed als samen met het ontstaan van de chemische technieken. Reeds de Egyptenaren gebruikten deze techniek. (Zie R.J. Forbes in Singer e.a., III, 1957, p. 6-7).

De distillatietechniek is ook een techniek die ontstaan is in de praktijk "There was some empirical but no scientific development of distillation and distilling-apparatus" (R.J. Forbes in Singer e.a., III, 1957, p. 11). "... though the beginnings of alchemy and the key chemical process of distillation may date back to Alexandrian times" (Bernal, 1969, p. 222).

Ubbelohde noemt de gasindustrie één van de nieuwe technologieën die voortvloeide uit een fundamentele vooruitgang van de wetenschap (in Singer e.a., IV, 1958, p. 678). De ontdekking van gas werd gedaan door de Vlaming Jan Baptista Van Helmont (1577-1644) : hij was de eerste die in deze vormen van materie een nieuwe ver-

zameling zag; hij vond de naam gas uit (van het Griekse chaos). John Clayton (1657-1725) gaf ongeveer in 1684 de eerste gedetailleerde beschrijving van de productie van gas uit steenkool :

"I (...) got some coal which I distilled in a Retort in an open Fire. At first there came over only Phlegm, afterwards a black Oil, and then likewise a Spirit arose, which I could noways condense, but it forced my Lute, or broke my Glasses. Once, when it had forced the Lute... I observed that the spirit which issued out caught Fire at the Flame of the Candle, and continued burning with Violence as it issued out, in a Stream, which I blew out, and lighted again, alternately, for several times. I then had a Mind to try if I could save any of this Spirit, in order to which I took a turbinated Receiver, and putting a Candle to the Pipe of the Receiver whilst the spirit arose, I observed that it catched Flame and continued burning at the end of the Pipe, though you could not discern what fed the Flame : I then blew it out and lighted it again several times; after which I fixed a Bladder, squeezed and void of Air, to the Pipe of the Receiver. The Oil and Phlegm descended into the Receiver, but the Spirit, still ascending, blew up the Bladder." (geciteerd door A. Elton in Singer e.a., IV, 1958, p. 259).

Hier blijkt dat het procédé het gevolg is van trial-and-error-experimenten. Clayton koert toevalsmatig op het productieproces van gas uit steenkool. Hij deed aan laboratoriumonderzoek, met het doel wetenschappelijke kennis over steenkool te verwerven : door toeval doet hij bepaalde observaties, nl. de "Spirit" schiet in brand. Het is dus niet vaststaande wetenschappelijke kennis die hier leidt tot een technische innovatie. Ook is de innovatie niet het gevolg van technologisch-gericht laboratoriumonderzoek. Ze is ontstaan uit toevalsmatige ontdekkingen binnen een wetenschappelijk laboratoriumonderzoek. Door te experimenteren met deze ontdekking krijgt hij het gas onder controle en heeft hij een procédé om gas uit steenkool te distilleren. Men leerde gas gebruiken voor verlichting en verwarming door ermee te experimenteren, door apparaten te ontwerpen en te maken om de gewenste doeleinden mogelijk te maken. De door de Clows aangeduide technieken, die ten grondslag liggen aan de verschillende industrieën, werden niet door middel van de wetenschap tot ontstaan gebracht of verbeterd. Er zouden echter drie industrieën zijn die bij hun ontstaan of verandering wel steunen op wetenschappelijke principes, nl. de alkali-industrie, de textielindustrie en de mineraalwaterindustrie.

"The foundation and rise of the alkali industry represent the transition from an industry based on accumulated craft knowledge to one based on applied chemical knowledge. Although often represented as if the change happened more or less overnight, this is very far from true, and the significant events that took place in the third decade of the nineteenth century have antecedents going back for half a century at least. Moreover, while the principle product of the new industry was alkali, at the same time it yielded by-products which were absorbed by the bleaching industry and in turn revolutionized it. The new bleaching-agents also had a notable effect on the production of paper from rags. Indeed, Justus von Liebig (1803-1874) described the synthesis of soda as 'the foundation of all our improvements in the domestic arts'." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 237).

Men probeerde alkali - wat oorspronkelijk de naam was van zowel soda als potas (de oorspronkelijke naam voor kaliumcarbonaat) - synthetisch te maken, omdat de voorraden ervan die in zeewier en barrilla aanwezig waren onvoldoende waren en het in verschillende industrietakken, zoals de glas-, bleek- en zeepindustrie, gebruikt werd.

Het succesrijke procédé, dat tot voor een eeuw de kern uitmaakte van de ganse zware scheikundige industrie, werd in 1787 door de Fransman Nicholas Leblanc (1742-1806) ontdekt. Dit procédé was niet uniek en kwam ook niet plots uit de lucht gevallen.

"The discovery of chemical methods of producing soda from common salt, was a basic prerequisite of the expansion of the chemical industry in the nineteenth century, but just as the steam revolution of that century had been preceded by a hundred years or more of constant experiment both in the laboratory and in industry, so the chemical revolution also had its long antecedents." (Musson & Robinson, 1969, p. 352).

Joseph Black, samen met James Watt en John Roebuck probeerden tussen 1766 en 1770 alkali te maken. Black's rol in deze onderneming was deze van de laboratoriumscheikundige, Watt's die van industriële scheikundige en zakenman Roebuck's die van de ondernemer en de investeerder. James Keir werd in 1770 in deze groep opgenomen; eerst had hij afzonderlijke experimenten ondernomen om alkali synthetisch te maken. In de zeventiger jaren doet Keir verder alleen experimenten, die hij vooral aan Watt rapporteert.

"Watt and Black's method proved a failure, but it should be remembered that Keir, by a different process from that of

Leblanc, made a considerable fortune." (Musson & Robinson, 1969, p. 369).

Keir's methode is beschreven door Amelia Moillet in "Sketch of the life of James Keir, Esq, F.R.S." (1868) :

"The method of extraction proceeded on a discovery of Mr. Keir's, contradicting a point, in the doctrine of elective affinities held by chemists of the day. Their (Keir and Black's) experiments seemed to show a stronger affinity of sulphuric acid for either of the two fixed alkalis than for lime. Mr. Keir found that - by presenting the salts in an exceedingly weak solution, and by calling in the aid of a chemical agent (for which he always professed the highest respect, and the functions of which in natural operations, were, he thought, greatly underrated) Time the rule of election was reversed. By passing the weak solution slowly through a thick body of lime, the sulphates were decomposed; the sulphuric and uniting with the lime, and leaving the alkalis disengaged. The liberated alkali had then only to be brought into a concentrated form for sale." (geciteerd door Musson & Robinson, 1969, p. 366).

Uit dit citaat blijkt dat Keir's procédé gebaseerd was op een ontdekking, die een toenmalig aanvaarde wetenschappelijke theorie tegensprak. Vaststaande wetenschappelijke principes liggen hier dus ook niet ten grondslag.

De ontstaansgeschiedenis van Leblanc's succesrijke procédé heb ik niet kunnen nagaan. A. & N.L. Clow geven enkel het procédé in scheikundige termen weer. Het mengen van zout en zwavelzuur leverde sodiumsulfaat en waterchlorzuur gas op. Het sodiumsulfaat werd "roasted" met een mengeling van kool en "limestone". Dit leverde de zogenaamde "black ash" op, wat voornamelijk bestond uit soda en calciumsulphide. Uit de "black ash" werd de soda gedistilleerd door uitloging met water, met een restproduct van alkali of "galligu".

Bij Leblanc zelf heb ik niet kunnen nagaan of dit procédé op wetenschappelijke principes steunt bij haar ontstaan. Wat ik echter wel kan zeggen is, dat het procédé het resultaat is van een doelgericht onderzoek, gezien de behoefte die er aan alkali bestond. Ook blijkt uit het werk van C.T. Kingzett over "The history, products and processes of the alkali trade" dat er voor 1877 geen wetenschappelijke methode voor alkaliproductie bestond :

"While, therefore, the work will stand alone as the only one of its kind, it is hoped that it will serve as a basis for further thought and research by chemists who, as a body, may be safely said to be acquainted with those chemical

proceeds which form the foundation stones of the alkali trade and if, in assisting to destroy and overthrow the use of imperfect empiric, or "rule of thumb" methods often largely employed in alkali works, it indicates a more scientific method, it will accomplish some good." (geciteerd in Russell & Goodman, 1972, p. 200).

James Muspratt bouwde in 1823 als eerste een manufactuur in Engeland, meer bepaald in Liverpool, waar soda volgens het Leblanc-procédé werd gemaakt. J.C. Gamble werd zijn medewerker in 1828, het jaar waarin ze ook juridische moeilijkheden kregen wegens de enorme milieuvervuiling die ze veroorzaakten.

Door de mechanische machines, aangedreven door Watt's stoommachine, en door de gasverlichting, waardoor men 24 uur per dag kon produceren, werd de textielproductie aanzienlijk opgedreven. De eindbehandeling van de textielwaren - het bleken, het kleuren en het bedrukken van de geweven stoffen - remde echter de productie van afgewerkte waren erg af. Thomas Bell introduceerde volgens de Clows in 1785 het cylinderdrukken. Dit is juist als ze bedoelen het drukken met geëngraveerde koperen cylinders. Volgens Musson en Robinson zou dit reeds twee jaar eerder zijn, namelijk in 1783. Bell patenteert dit in 1783 en vermoedelijk een verbeteringdaarop in 1785. In 1770 echter :

"a new process was discovered of printing cotton goods and linen cloths. It was done by means of engraved wooden rollers which were coated with dyes and so printed the cloth. This was the invention of Charles Taylor and Thomas Walker of Manchester, who secured a fourteen years' patent for it from the Government." (Musson & Robinson, 1969, p. 345, fn. 1).

Taylor verbeterde ook Bell's drukprocédé met koperen cylinders. Wat het bleken betreft :

"Originally a domestic craft, much was done to organize it into an industry before chemical knowledge had any marked influence on the processes carried out." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 246).

Twee veranderingen werden doorgevoerd : Francis Home suggereerde, na experimenten te hebben uitgevoerd, het traditionele bleekmiddel zuur of botermelk te vervangen door een waterachtige oplossing van zwavelzuur. Dit nam echter nog te veel tijd in beslag.

"In 1774 chlorine was discovered by the Swedish chemist, C.W. Scheele (1742-1786) and in 1785 the French chemist, C.L. Berthollet (1748-1822) discovered that it was a powerful bleaching agent." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 247).

of Scheele chloor ontdekt heeft is oetwifelbaar :

"In the case of chlorine, Scheele prepared it in the 1770s but did not recognize it as an element. He thought it an oxygen-containing compound. It was Davy (...) over thirty years later, who recognized the elementary nature of chlorine and he is the one usually given credit for it." (Asimov, 1964, p. 195).

"Scheele and other phlogistonians regarded this substance as "dephlogisticated marine acid" i.e. marine acid deprived by the manganese of its phlogiston, which, they thought, was recovered from coloured materials in the bleaching process. The anti-phlogistonians on the other hand, including Berthollet, termed the new bleaching agent "acrated" or "oxygenated" muriatic acid (or "oxymuriatic acid") i.e. muriatic acid enriched from the manganese with "vital air" or "oxygen", which, they considered, was released during the bleaching process, to combine with colouring matters, thus decolorizing them. This latter theory was approaching near to the truth, for the bleaching action of chlorine is due to its being a powerful oxidizing agent." (Musson & Robinson, 1969, p. 254).

Musson en Robinson menen echter dat het feit dat een accurate, theoretische verklaring slechts na het uitvinden van het bleekproces op basis van chloor kwam, geen reden is voor de onwetenschappelijkheid van de nieuwe bleekmethodes :

"The fact that many years elapsed before the formulation of a really accurate theoretical explanation of this process does not mean that the researches of chemists such as Scheele and Berthollet, and the new bleaching methods based upon them, were "unscientific". These men were among the most outstanding natural philosophers or scientists of the day, and, as we shall see, their methods were applied in industry by men who were generally well versed in theoretical and practical chemistry. Undoubtedly experiment played a tremendously important part, but it was not blind empiricism : practice and theory progressed together, stimulating each other." (Musson & Robinson, 1969, p. 254-255).

Scheele en Berthollet mochten in hun tijd nog wetenschapsmensen van een hoogstaand gehalte zijn, het feit dat hun theoretische verklaring van het proces niet accuraat is, bewijst dat een ander weten aan het proces ten grondslag ligt, een "practisch" weten dat zij in een model trachtten te vatten dat echter niet zo adequaat lijkt te zijn. Het bewijst ook dat het theoretisch systeem dat op de praktijk en haar impliciet weten gebouwd is, voor de praktijk niet noodzakelijk is, omdat het er niet toe doet of het nu een model van een phlogistontheorie-aanhanger is of niet, of een ander wetenschappelijk model die de fenomenen "verklaart". Ook het feit dat hun methodes in de industrie werden toegepast door

121

mensen die erg ervaren waren in de theoretische en praktische scheikunde, is geen doorslaggevend argument voor de wetenschappelijkheid van deze proeven. Musson en Robinson stellen namelijk zelf :

"At the same time, however, our researches have revealed how the practical experience of industrial chemists and bleachers had to be allied with the theoretical knowledge and experimental skills of scientists before the new "chymical" method could be successfully developed on a large commercial scale... The new method of bleaching obviously did not spring from Berthollet's head fully developed and ready for industrial application. Like most important industrial inventions, it required years of patient trial and error before it could be developed from laboratory experiment to large-scale industrial plant." (Musson & Robinson, 1969, p. 255).

Ze stellen hier dus zelf dat de praktische, voorwetenschappelijke kennis noodzakelijk is om de wetenschap te kunnen toepassen. Dat de wetenschap echter niet noodzakelijk was voor dit procédé - en de voorwetenschappelijke kennis dus wel - blijkt uit een brief, gedateerd van 14 september 1790, die de "bleker" Thomas Cooper aan James Watt schreef :

"He regretted, however, that owing to pressure of business, his time for reading and experiment was greatly reduced, and admitted that he really knew far less about dephlogisticated marine acid than anyone would reasonably expect from the constant use I am obliged to make of it. The truth is, that having settled early in the progress of our concern the mode of preparing it in a gross way for use upon a large scale, the constant increase of our business (which being practical Novices we had to learn in detail) has hitherto afforded me no time or opportunity for any material Variation, or any speculative Experiment upon the Subject' ". (Musson & Robinson, 1969, p. 305).

De theoretische zijde van het feit dat "practice and theory progressed together, stimulating each other" in het bleekproces kon enkel neerkomen op inzichten en vermoedens, die men al of niet toevalsmatig in de praktijk of het experimenteel laboratorium verworft, en die in trial-and-error-experimenten hun praktische bruikbaarheid dienen te bevestigen. Revelerend hierbij is dat Berthollet zelf in zijn "Mémoire au Bureau du Commerce", 2 februari 1790, het over een "ervaring" heeft :

"c'est peut-être la première fois qu'une expérience a pu, dans quatre ans, produire de grandes manufactures en activité" (geciteerd door Musson & Robinson, 1969, p. 337).

Deze inzichten kunnen *uitgebouwd* worden tot een theorie. Het is

dus niet de theorie zelf, maar de geïmpliceerde inzichten en de experimenteel-bevestigde vermoedens, die in de praktijk dienstbaar kunnen zijn.

"Although in the period under discussion no revolution comparable with that in bleaching affected the art of dyeing, contemporary scientists did help to change dyeing from a craft into an industry." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 248).

Musson en Robinson stellen ook het niet-revolutionaire karakter van de veranderingen in de kleurtechnieken :

"It is true that in dyeing, as distinct from bleaching, there were no really revolutionary developments during these years, while traditional skills and materials remained important." (Musson & Robinson, 1969, p. 349).

Zo beweert Charles Taylor in 1784 :

"As the practice of Dyeing in its present state is not regulated by any scientific rules, it is seldom improved by the introduction of new processes : and the methods of varying the uses of the materials, which are already known, are rarely ascertained without repeated trials. All the operations of the art, excepting only a few which have arisen from accidental discoveries, owe their origin to remote ages." (geciteerd in Musson & Robinson, 1969, p. 338).

Musson en Robinson vermelden ook dat de kleuringsprocédés vakgeheimen waren van de werklui, die minachtend op de chemische theorie neerkeken. Toch treedt er een attitudeverandering op van de meer belangrijke kleurings- en katoendrukbedrijven ten opzichte van de toegepaste scheikunde. Een zeer belangrijke en exemplarische figuur hier is John Wilson, een bleker, kleurder en katoendrukker uit Manchester.

"Not being 'brought up to the business', he had to acquire 'a Knowledge in Chymistry, Optics, and other Branches of Philosophy, so much as necessary for my purpose' and, at the same time, go to 'great pains, in trying experiments on such colouring Matters as were likely to answer'." (gedeeltelijk geciteerd uit John Wilson, "An Essay on Light and Colours and what Colouring Matters are that dye Cotton and Linen" (1786) door Musson & Robinson, 1969, p. 340-341).

Wetenschap is dus niet noodzakelijk om het kleuringsproces te beheersen : een opleiding in het vak volstaat. De wetenschappelijke theorieën lijken echter niet voldoende te zijn voor het beheersen van de kleuringsprocédés, want Wilson had daarbij nog experimenten te maken om het procédé onder de knie te krijgen. Wilson bestudeerde hiervoor de geschriften van Franse scheikundigen, zoals dat van d'Apligny, waarvan een andere kleurder Taylor volgens een

brief van James Watt junior en zijn vader, zegt dat het vol met fouten staat (Zie Musson & Robinson, 1969, p. 346).

John Wilson probeerde ook de bestaande kleuringsprocessen te verstaan en te verbeteren, zoals blijkt uit volgend citaat uit zijn bovenvermeld boek (p. 6) waarmee hij Delaval's kritiek op het ontbreken van toegepaste wetenschap in de textielindustrie tracht te weerleggen :

"These Observations would have been very proper forty Years since, when the dyeing of cotton was not so well understood as it is now. And they may still be proper to some Persons who are ignorant...

But I can assure Mr. Delaval, that the Art of dyeing Cotton has for some years past, fallen into such Hands here, as have spared no Pains to bring it to great Perfection. The Persons I mean are well versed in Natural and Experimental Philosophy, in Chymistry and Optics, so far as relates to their own Business: And Dyeing is now as well understood by those Persons, as it is in any Part of Europe." (geciteerd in Musson & Robinson, 1969, p. 340).

Wilson onderzoekt de verschillende gekende kleuringsprocessen om verbeteringen aan te brengen. Zodoende kreeg hij blijkbaar andere dan de traditioneel-gekende methodes, daar hij zelf zijn werklui moest opleiden en degenen die de oude methodes bleven aanhangen, niet kon gebruiken. Toch kon hij deze oude methodes niet missen : hij zond bijvoorbeeld in 1753 een jonge man speciaal naar Turkije om daar te leren hoe men "Turkey-red" kleurt.

A. & N.L. Clow vermelden als de voornaamste innovaties gedurende deze periode :

"(a) the perfection of dye cudbear, discovered by Dr. Cuthbert Gordon and developed by George Macintosh (1739-1807) and (b) the solution, also by Macintosh, of the problem, which faced all the western nations in the eighteenth century, of producing a fast red cotton colour equal to the 'Turkey-red' produced from madder (*Rubia tinctorum*) in the orient. At the Dalgarnock dye works, Macintosh produced the best Turkey-red on a vast scale; 5.000 looms were employed in 1796 in the neighbourhood of Glasgow making pullicates for the Turkey-red dyers." (A. & N.L. Clow in Singer e.a., IV, 1958, p. 249 .

In 1785 startte Macintosh reeds zijn bedrijf om "Turkey-red" na te maken (Zie Musson & Robinson, 1969, p. 294).

"No doubt these processes were mainly empirical, but manufacturers such as Wilson and Taylor were also bringing improvements by means of applied chemistry." (Musson & Robinson, 1969, p. 344)

Dit blijkt te meer zo daar Charles Taylor, waar James Watt Junior

124.

bij werke, trachtte de kleurings- en katoendrukprocessen vanuit een scheikundige theorie te verklaren, en dit te publiceren in James Keir's "Dictionary of Chemistry" (Dit gebeurde echter niet omdat Keir dit project na het eerste deel van het eerste volume opgaf). James Watt Junior schrijft hierover op 11 juli 1790 aan zijn vader :

"For this some time back, Mr. Taylor and myself have been consulting and extracting from different authors on the art of dying, in order if possible to arrive at some plausible Theory of it, for the article which he is writing for Mr. Keir's Chemical Dictionary; but I am afraid we shall not make much of the theoretical, whatever we may do of the practical part, as it appears to me that we neither of us have a sufficient knowledge of modern chemistry for the purpose." (geciteerd door Musson & Robinson, 1969, p. 346).

Mensen die zelf met het kleuringsprocédé bezig zijn, en in feite niet zo maar de eerste de beste zijn, kunnen er dus blijkbaar geen theorie over opstellen. Blijkbaar bestond er ook geen theorie - hij zou dienen "gedistilleerd" te worden uit bestaande scheikundige geschriften - en is het dus sterk betwifelbaar dat het verstaan van het kleuringsproces door Jhon Wilson op wetenschappelijk vlak was. Een wetenschappelijk verstaan blijkt hier ook niet noodzakelijk te zijn : Taylor en James Watt Junior zitten in de praktijk zonder over een wetenschappelijk plausibele theorie erover te beschikken. Musson en Robinson menen dat ze in hun opzet niet konden slagen, gezien de dubieuze natuur van de toen bestaande scheikundige theorie. De experimenten die door John Wilson en Charles Taylor werden uitgevoerd, waren dus rechtstreeks gericht op het verbeteren van gekende operaties en het vinden van nieuwe methodes, en niet op het wetenschappelijk verstaan ervan. Uit deze experimenten kan men dan ook gemakkelijk en klaarblijkelijk overgaan tot de praktijk, zoals Edward Delaval vindt :

"the transition from physical experiments, to practical operations of dying, is easy and obvious. For the experiments which I have made... have guided me to the discovery of several bright and permanent dyes, in the execution of which I have principally used cheap and common ingredients, that have not before been applied to such purposes." (geciteerd door Musson & Robinson, 1969, p. 348-349).

Men bestudeert experimenteel vanuit een praktisch-economisch standpunt de traditioneel-gekende kleuringsprocessen. Daardoor kan men verbeteringen aan de gekende procédés aanbrengen.

"As Dr. Abraham Rees observed: 'Though we have to record no brilliant discoveries or improvements in the practice of dyeing, within these few years, yet the art has continued progressively to improve, the different processes have been simplified and amended; and what some years ago was considered a matter of chance and uncertainty, is now reduced to fixed principles.'" (Musson & Robinson, 1969, p. 350).

Deze vaststaande principes liggen - zoals blijkt uit de poging van Charles Taylor en James Watt Junior om een wetenschappelijke theorie van de kleuringsprocessen op te stellen - niet op het vlak van de wetenschap. In plaats van een wetenschappelijk verstaan heeft men door middel van de uitgevoerde experimenten een praktisch verstaan van deze procédés verworven.

De mineraalwaterindustrie is volgens Holmyard (in Singer e.a. IV, 1958, p. 228) geïnitieerd door Joseph Priestley en zou een resultaat zijn van de reactie van de spectaculaire groei van de scheikundig-wetenschappelijke theorie op de chemische industrie.

"Even the most purely philosophical investigations sometimes had very practical connections and consequences. Priestley, for example, says that he began his researches into 'airs' or gases as a result of living in Leeds next to a brewery, where he noticed that 'fixed air' (carbon dioxide) was evolved in the fermentation vats; his investigation led immediately to the manufacture of artificial mineral waters, while their long-term consequences were of far wider importance." (Musson & Robinson, 1969, p. 85).

De aanzet tot Priestley's onderzoek van gassen, gepubliceerd in 1772 en in 1775, was dus de ontdekking, de vaststelling dat koolstofdioxide ("fixed air") ontstaat in gistingsvaten, wat een gegeven uit de praktijk is (1). De doelstelling van zijn onderzoek was niet zuiver theoretisch: het was een onderzoek naar een middel om voedingswaren en water van bederf te vrijwaren, een probleem dat zich voornamelijk stelde bij de zeevaart. Met zijn

1. Joseph Priestley zou, volgens J.R. Partington in zijn "A history of chemistry", in zijn uitvinding van artificiële minerale waters voorafgegaan zijn door William Brownrigg van Whitehaven, de Fransman Gabriel Venel en de Zweed, Torbern Bergman. "Priestley, however, appears to have been the first to publicize an apparatus for producing such waters" (Musson & Robinson, p. 244, fn. 4) Volgens Musson en Robinson (p. 41, fn. 2) zou Brownrigg "industrial-chemical investigations" in mineraalwaters hebben uitgevoerd. Priestley werd door Bryan Higgins, wiens lezingen hij in 1775 volgde, beschuldigd van enkele van zijn ontdekkingen gestolen te hebben. Priestley ontkende dit ten stelligste.

onderzoek trachtte hij ook te voorzien in een bijkomend middel om scheurbuik te voorkomen door aan het water "the peculiar Spirit and Virtues of Pyrmont Water, and other Mineral Waters" te geven. Priestley had niet de bedoeling zijn bevindingen commercieel uit te buiten. Zijn uitvindingen en de daaruit voortvloeiende voorstellen van de admiraliteit blijken praktisch niet succesrijk te zijn geweest. Op theoretisch vlak bleek Joseph Priestley niet zo'n hoogvlieger te (willen) zijn. Bij een experiment waarbij hij de zonnestralen concentreerde op "calx of mercury" (kwikoxide) kreeg hij het resultaat dat kwik werd gevormd en een gas ontstond. Deze waarneming was tegen de phlogistontheorie in, die stelt dat bij de verbranding van een brandbaar voorwerp phlogiston verloren ging en as overbleef. De as van een metaal werd metaalkalk ("calx") genoemd.

"Never a very clear or logical thinker - 'il se servit de ses mains, plus que de son cerveau' - Priestley was unable to explain the reaction, but his discovery provided the missing clue to a problem that had been engaging the attention of the French chemist A.L. Lavoisier (1743-1794)." (Holmyard in Singer e.a., IV, 1958, p. 218).

Terzelfdertijd en onafhankelijk van hem deed Thomas Henry onderzoek met dezelfde doelstellingen. Henry zag commerciële mogelijkheden in zijn scheikundige onderzoeken. Evenals Priestley ontdekte hij ook dat er meer "fixed air" aan water kon toegevoegd worden door een compressor te gebruiken. Henry refereerde in zijn voorstellen aan de admiraliteit naar Priestley's praktische voorstellen en zei dat deze aanmerkelijk konden verbeterd worden door Dr. Nooth's glasmachine met de verbeteringen daaraan van Mr. Parker en Mr. Magellan. Dit waren praktische toestellen om kleine hoeveelheden artificieel mineraal water voor privé-gebruik te produceren. Henry suggereerde in 1781 een methode om dit op grote schaal te doen. Thomas Henry deed nog andere praktische voorstellen waarbij "fixed air" kon gebruikt worden, namelijk op het gebied van wijn-gisting, brouwen en het gebruik van artificieële gist. Hij probeerde hierover zelfs een theorie op te bouwen maar

"Henry's theorizing, as his son William later pointed out, was not particularly valuable and was soon superseded, but his experiments led him to produce some important practical information." (Musson & Robinson, 1969, p. 240).

De mineraalwaterindustrie is een gevolg van onderzoek dat plaats

vond om voedingswaren en water van verderf te vrijwaren. Het is een commercialisering van ontdekkingen die in dit onderzoek werden gedaan. Een zuiver-wetenschappelijke grondslag had deze industrie bij haar ontstaan zeker niet.

E.J. Holmyard beweerde dat tijdens de industriële revolutie de scheikundige theorie verbeteringen aan oude methodes mogelijk maakte en nieuwe methodes suggereerde. Volgens hem zou enerzijds de zuivere wetenschap door de industrie in bepaalde richtingen worden gestuurd, maar zou er anderzijds ook een praktijkgericht niet zuiver-wetenschappelijk onderzoek, gebaseerd op ad hoc-experimenten plaats hebben gevonden. J.D. Bernal meende dat de "logische" wetenschap tot praktische gevolgen zou kunnen leiden.

Uit mijn onderzoek van de technieken die in de verschillende industrieën een rol spelen en van de drie aangeduide industrieën die wel zouden steunen op wetenschappelijke principes, blijkt dat - buiten de traditioneel overgeleverde technieken - de theoretische zijde die nodig zou zijn om een technische innovatie mogelijk te maken, enkel maar kan neerkomen op inzichten en vermoedens, die men al of niet toevalsmatig in de praktijk of het experimenteel-laboratorium verwerft, en die in trial-and-error-experimenten op hun praktische bruikbaarheid worden getest.

De traditioneel overgeleverde technieken zijn de smeltoventech-nieken, het distilleren, het zuiveren door middel van kristalli-satie en het kleuren. De kleuringstechnieken zijn ook in de prak-tijk ontstaan, maar werden door middel van doelgerichte experi-menten verbeterd. Hierbij verwierf men niet een zuiver-weten-schappelijk, maar een praktisch verstaan van deze technieken. Het katoendrukken is een zuiver praktische uitvinding. Priestley's ontdekking van "fixed air" (koolstofdioxide) in gistingsvaten is een voorbeeld van een toevalsmatige ontdekking in de praktijk. Het ontdekken van de distillatie van gas uit steenkool door John Clayton is een voorbeeld van een toevalsmatige ontdekking in een experimenteel laboratorium.

Uit het bleekprocédé op basis van chloor, ontdekt door Berthollet, blijkt dat een praktisch weten eraan ten grondslag ligt, waarop een min of meer accuraat theoretisch model kan gebouwd worden.

James Keir's procédé om alkali te produceren was gebaseerd op een ontdekking die een bestaande wetenschappelijke theorie tegensprak. De zuiver-wetenschappelijke theorieën zijn hier dus gebouwd op ervaringen die uit de praktijk komen. J.D. Bernal heeft dus gelijk wanneer hij beweert dat techniek noodzakelijk was om wetenschap - in de zin van zuivere wetenschap - op te bouwen. Practisch hebben deze theorieën geen invloed. De industrie bepaalt dus niet de richting van het zuiver-wetenschappelijk onderzoek om zo aan bruikbare gegevens te komen; deze gegevens komen soms wel uit laboratoriumonderzoek maar dan technologisch-doelgericht. De industrie bepaalt wel soms het zuiver onderzoek, in die zin dat sommige zuivere theorieën gebouwd zijn op ervaringen uit de technische praktijk of uit het technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek.

4. Het maken van optisch glas

De Zwitser Pierre Louis Guinand (1748-1824) deed een ontdekking gebaseerd op een analogieredenering, waardoor verschillende problemen bij het maken van optisch glas, dat een hogere graad van homogeniteit dan andere glassoorten vereist, uit de weg werden geruimd. Guinand was eerst maker van klokkasten.

"From this he returned to the then very profitable work of casting bells for clocks. The metal used in beel-founding was stirred during the operation to make it homogeneous, and Guinand had the brilliant idea that in the same way the homogeneity of glass might be improved by stirring it in the crucible while still in the molten state, and that in this way better glass for making lenses might be obtained." (Angus-Butterworth, in Singer e.a., IV, 1958, p. 350).

Deze technische innovatie werd duidelijk gemaakt, zonder enig wetenschappelijk onderzoek, naar analogie van een andere techniek die ook niet op wetenschappelijke principes is gebaseerd.

In 1824 richtte de Royal Society een comité op met als praktisch doel de verbetering van optisch glas, en speciaal dat voor telescoopobjectieven. Michael Faraday (1791-1867) wou dit onderzoeken, maar dit was zonder praktisch succes :

"..., in 1827, a small furnace was built at the Institution, and during the following two years Faraday devoted much of his time to the work. He left careful records of the research, which was discontinued in 1830 when supplies of optical glass began to be more freely available from other

Sources." (Angus-Butterworth, in Singer e.a., IV, 1958, p. 361).
Beweren dat het maken van optisch glas voor speciale doeleinden mogelijk werd gemaakt door onderzoeken zoals deze van Faraday in het Royal Institution, is een overschatten van Faraday's verdiensten op dit gebied, en een miskennen van de werkelijke grondslagen van de ontdekkingen en uitvindingen die het maken van geschikt optisch glas en het construeren van optische instrumenten mogelijk maakten. Het optisch vlak werd verbeterd door experimenten, waarbij men in de praktijk verworven inzichten en vermoedens uittestte.

5. Instrumenten voor navigatie en plantekenen

Bij het scheepsbouwen kon de wetenschap en de wiskunde geen hulp bieden :

"On the whole, however, the scientific reasoning of the mathematicians seems to have resulted in theories that did not work out in practice... Ship-builders ignored the theories and strove in the light of experience to find successful designs that represented a compromise between the opposing factors."(George Naish in Singer e.a., IV, 1958, p. 577).

Ook bij de verbeteringen van de ontwerpen voor schepen kon de wetenschap geen rol spelen :

"But, as has been shown by the modern use of testing-tanks, it is difficult to apply theory to ship-design, and the improvements come generally from cautious trial and error." (Naish in Singer e.a., IV, 1958, p. 579).

Bij de reeds gekende navigatie-instrumenten werden na 1700 John Hadley's kwadrant en octant gevoegd. De octant omvat een sector van 45 graden. Een beweegbaar vizierliniaal draagt een kleine spiegel die in het midden van het instrument is gesitueerd. Op een arm is een kleine, vaststaande telescoop en op een andere arm een vaststaande spiegel bevestigd. De hoogte van een ster wordt gemeten door de positie van de vizierliniaal vast te stellen wanneer het beeld van de ster, gereflecteerd door de beweegbare spiegel in de vaste spiegel en vandaar in de telescoop, samenvalt met de horizon die gezien wordt door een niet-verzilverd gedeelte van de vaste spiegel. De kwadrant en de sextant zijn varianten van dit instrument. Voor deze navigatie-instrumenten die in principe niet moeilijker waren dan de reeds

gehende, waren er constructieoefelijkheden. De ingewikkelste waren die op optisch vlak; voornamelijk het maken van geschikte spiegels bleef een probleem tot het einde van de achttiende eeuw. Men maakte instrumenten volledig uit hetzelfde materiaal omdat er door warmte verschillen in uitzetting waren, wanneer men verschillende materialen gebruikte.

De kwadrant bleef het favoriete instrument voor landmeters tot 1780; de zeevaarders gebruikten dit instrument zo goed als niet.

"In 1752 the German astronomical geometer J.T. Mayer (1723-1762) thought of using a small circle and repeating the measurement of the same angle several times without reverting to zero between each measurement. The error due to the defects of the instrument was thus divided by the number of observations. About 1772 the navigator and astronomer J.C. de Borda (1733-99) took up Mayer's principle, which had remained unused, and slightly modified the apparatus of the German astronomer. He invented the instrument known as the Borda circle. This instrument was made by the French engineer Lenoir. About ten years later the same engineer thought out the dual-telescope repeating circle for terrestrial observations." (Maurice Daumas in Singer e.a., IV, 1958, p.401)

Deze instrumenten zijn met een duidelijk praktisch doel voor ogen gebouwd, namelijk het bepalen van de plaats op aarde. Geen wetenschappelijke theorieën liggen eraan ten grondslag. Enkele eenvoudige wiskundige principes worden ook hier, zoals bij de precisie-instrumenten, gebruikt.

In het begin van zijn bijdrage tot "A history of technology" gaat Maurice Daumas de voorwaarden na, waarzonder "precision mechanics" niet kon ontstaan :

"There has always been a relationship between the needs and wishes of technical achievement. This relationship has itself been influenced by a number of factors, ranging from the general level of transformation techniques to the political situations within various states. ... Progress required the work of skilled craftsmen, the use of materials of the best quality, and costly instruments and machinery; in other words, it required considerable human and monetary capital. ... On the other hand, the activities of the users stimulated invention by bringing new problems to the attention of those putting inventions to practical use. It was only by assessing the limits of the earlier products of the precision engineers that the user could ask them continually to exceed this limit." (M. Daumas in Singer e.a., IV, 1958, p.379-380).

Volgens Daumas heeft er steeds een verband bestaan tussen de noden en wensen van de gebruiker van een techniek en de beperkingen van de technische verworvenheden. Wat op het eerste zicht in deze

relatie opvalt is dat het gaat over de noden en de wensen van de gebruiker - die bij precisie-instrumenten een wetenschappelijk onderzoeker kan zijn -, en niet over de theoretische verworvenheden van deze gebruiker. Het verband zelf is beïnvloed door een aantal factoren, waaronder het algemeen niveau van de transformatietechnieken. (Zijn dit de technieken die gebruikt worden om een instrument dat in het ene vakgebied wordt gebruikt, over te hevelen naar een ander vakgebied? Of zijn het juist die technieken die zowel in het ene als in het andere vakgebied worden gebruikt? Daumas gebruikt deze term zo maar zonder verdere uitleg.) De activiteiten van de gebruiker kunnen de limieten van de technische verworvenheden helpen verleggen door nieuwe problemen aan de precisietechnici voor te leggen. Voor deze "vooruitgang" zijn onder andere bekwaame vaklui noodzakelijk.

Het is, zoals ik vroeger reeds bij de precisie-instrumenten opmerkte, enkel de doelstelling die van de wetenschapsmensen kan komen. Zij geven hun verlangens en noden, hun nieuwe problemen aan de technici, die deze maar moeten zien op te lossen. De rol die de wetenschapsmensen bij het creëren van nieuwe instrumenten spelen is geen noodzakelijke rol, maar wel een stimulerende rol : zij zetten de doelstelling voorop, en ontwerpen daarom soms ook de instrumenten. De navigatie-instrumenten zijn precisie-instrumenten die eerst voor astronomische doeleinden ontworpen zijn. Het zijn dus instrumenten die eerst voor wetenschappelijke doeleinden ontworpen zijn, maar daarna in de praktijk, al of niet met wijzigingen, toegepast worden.

"The construction of the framework of an accurate world map, depending on determinations of the shape and the size of the Earth and the accurate fixing of the latitude and longitude of a sufficient number of points on its surface, was the work of geodesists and cartographers of the late seventeenth century and the eighteenth century, initiated by the Académie des Sciences of Paris." (R.A.Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.596)

Een eerste poging om de omtrek van de aarde te meten werd door Erastosthenes (230 voor Christus) ondernomen. Zijn berekening kwam uit op ongeveer 40 000 km. Zijn principe is als volgt : door de afstand tussen twee plaatsen A en B te meten in graden (x) en in een bepaalde lengte-eenheid (y), kon men de omtrek

der aarde bepalen. De afstand in graden is te meten door de stand van de zon : als de zon in het zenith boven punt A staat, kon men op hetzelfde moment het aantal graden (x) berekenen dat de zon van het toppunt boven B verwijderd is. Als we y - de afstand in lengte-eenheid - ook kennen, kunnen we de omtrek van de aarde berekenen met volgende eenvoudige regel van 3 : 360 maal y/x.

De aardomtrek werd steeds nauwkeuriger gemeten wanneer men y en x nauwkeuriger kon meten. ~~Wat nogal wat technische-moeilijkheden inhield.~~

In de 17^e eeuw was er een contraverse over de vorm van de aarde. Uit grondmetingen van Jean Picard in 1670 en Jean Dominique Cassini en zijn zoon Jacques in 1700 en 1718 bleek dat de polaire diameter van de aarde groter was dan de equatoriale. Behalve door graadmetingen kon de juiste gedaante van de aarde ook bepaald worden door middel van een slinger. Richer constateerde in 1672 dat de slingering aan de evenaar langzamer verloopt dan aan de polen. De zwaartekracht aan de evenaar moet dus kleiner zijn dan aan de polen. De aarde moet dus aan de polen zijn afgeplat. Latere onderzoekingen hebben Richer gelijk gegeven : de aarde is een ellipsoïde, waarvan de polaire diameter de kleinste is.

"From the second half of the eighteenth century cartographers were supplied with an ever increasing volume of reliable information on positions, topography, and coastal outlines. This was due not only to activity in exploration but to refinements in the technique of exploratory survey and to the organization of systematic topographical surveys in European, and a few extra-European Countries."
(R.A.Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.597-598)

De basistechniek voor landmeting was de triangulatietechniek van de Leuvense professor in mathematica Gemma Frisius (1508-1555), die elke afstandmeting behalve die van de basislijn A-B uitsloot. Aan elk uiteinde van de basislijn A-B worden de hoeken gemeten die gemaakt worden door deze basislijn en de 2 lijnen die gaan vanuit elk uiteinde tot een derde punt C. Door tekening op schaalgrootte kon men dan de afstand meten tussen A en B.

"The techniques of land-survey in the eighteenth century did not differ in principle from those already known, but

important modifications in the standard instruments, introduced by English and French craftsmen, enabled surveys to be conducted with greater precision and speed." (Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.600)

De reeds gekende instrumenten waren het polimetrum, de voorloper van de theodoliet, en de meettafel. De theodoliet is een instrument om hoeken te meten. Het instrument bestaat uit een kijker, die draaibaar is, rond een horizontale en een vertikale as. Bij draaiing rond de vertikale as beweegt een wijzer, die bevestigd is op een horizontale cirkelrand voorzien van graadverdeling, mee. Door de kijker vanuit A eerst op punt B en daarna op C te richten, kan men het aantal graden van de hoek in A gevormd door AB en AC op de cirkelrand afmeten. Sommige theodolieten zijn ook voorzien van een vertikale cirkelrand waardoor men het niveauverschil tussen 2 punten kan opmeten. Het voornaamste kenmerk van de meettafel is dat de positielijnen onmiddellijk op een stuk papier worden getekend. Bij herhaaldelijk uitvoeren van deze operatie bekomt men zonder trigoniometrie de drie hoekpunten van de vooraf afgebakende driehoek. Voornamelijk Franse en Engelse vaklui brachten verbeteringen aan aan de theodoliet. Enkele elementaire rekenkundige en meetkundige principes samen met speciaal daarvoor ontworpen instrumenten, maken het dus mogelijk om de afstand tussen 2 punten te bepalen; en zodoende ook een tamelijk accurate kaart te tekenen. De ontworpen instrumenten maken het mogelijk de theoretische principes toe te passen.

Naast de lengte en de breedte trachtte men ook de derde dimensie, de hoogte, op kaart weer te geven. Speciale instrumenten werden ontworpen, of reeds gekende instrumenten aangepast, of op een andere dan de reeds gebruikelijke manier aangewend om de hoogte te meten :

"As the eighteenth-century surveyor learnt to use field-instruments for observing altitude - the surveying level, barometer, altazimuth theodolite, and tacheometer - the cartographer was supplied with determinations of height which had to be recorded on his map, though it is true that these were not yet numerous." (Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.622)

Om de horizontaaliteit te verhaïgen gebruikten de Romeinen ^{134.}
reeds een soort waterpas ("waterlevel") of "chorobates".

Om het niveau te bepalen werd in de 16e eeuw de volgende methode gebruikt :

"The method employed was to sight horizontally forwards and backwards, either with a water-level or with a theodolite, on to graduated staffs held by assistants."
(Taylor in Singer e.a., III, 1957, p.543)

De mogelijkheid van het meten van de hoogte door middel van de buis van Torricelli of een kwikbarometer werd door Pascal in 1648 gedemonstreerd. Toch was het zo, dat :

"Early barometric determinations of height, uncorrected for air-temperature and depending on no agreed correlation of pressure and altitude, gave widely divergent results. After 1772, when J.A. Deluc (1727-1817) published rules for the construction and use of the mercury barometer and his formula for relating pressure with altitude, the barometer enabled surveyors to obtain heights more rapidly and simply than by trigonometrical methods..."
... Deluc's comparative study of the fall in the boiling-point of water with diminishing atmospheric pressure and increasing height provided the theoretical basis for the hypsometer, developed in the early nineteenth century as the characteristic altitude instrument of exploratory survey." (Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.605)

De barometer is een instrument dat uitgevonden werd door Torricelli toen hij proefnemingen ondernam om een technisch probleem, dat aan zijn toen reeds overleden leermeester Galilei was voorgelegd, op te lossen. De mathematische verhoudingen, die door Pascal en exacter door Deluc werden vastgesteld door middel van dit instrument, konden daarna nog worden gebruikt bij technisch-aanverwante problemen.

De hypsometer is een instrument dat gevuld is met water, waarmee het mogelijk is de hoogte te meten door de temperatuur vast te stellen waarop het water begint te koken. Deluc's onderzoek dat de theoretische grondslag hiervoor legde is natuurkundig onderzoek, dat zijn eigen weg is gegaan, maar zijn oorspronkelijke aanzet kreeg in het technisch probleemonderzoek van Torricelli. Bij de barometer en de hypsometer worden natuurkundig-mathematische verhoudingen tussen fenomenen aangewend. Deze vaststellingen zijn echter reflecties op technische probleemstellingen - reflecties waarop, zoals bij de hypsometer, theoretisch werd verder gebouwd.

De altazimut-theodoliet is een theodoliet, voorzien van een vertikale cirkelband met nauwkeurige graadverdeling, zo dat men de hoogte van een gegeven punt ten opzichte van een ander punt of niveau waarop men zich bevindt, kan meten.

De tacheometer die door William Green in 1778 beschreven werd, meet in het optisch centrum van het instrument de hoek onder-
spannen door de stralen vanuit 2 punten op een afstand van
elkaar. Dit instrument maakt het daarbij mogelijk de afstand
op een aparte meetlat, tussen deze twee punten en de verschil-
lende punten in hetzelfde verticale vlak te meten.

Om de hoogte aan te duiden op een kaart heeft men verschillende
methoden ontworpen. Het arceringssysteem van J.G. Lehmann
(1765-1811) wordt wetenschappelijk genoemd :

"In the scientific system of hachuring introduced by
Lehmann the gradient was accurately represented by equidis-
tant parallel lines, the thickness of which was made
proportionate to the angle of slope." (Skelton in Singer
e.a., III, 1958, p.612)

Waarom dit systeem wetenschappelijk is en de andere systemen
waarbij men symbolen of hoogtelijnen gebruikte niet, is
moeilijk te begrijpen. Is dit de redenering : "Dit systeem is
het meest gebruikte, dus wetenschappelijk" of "Dit systeem is
het modernste, dus wetenschappelijk" ?

Het landmeten en de cartografie gaf op het einde van de
18^{de} en het begin van de 19^{de} eeuw een nieuwe impuls tot de
mathematische studie van projecten.

"In the late eighteenth and early nineteenth centuries,
the initiation of accurate geodetic and topographical
surveys and the extension of the applications of cartogra-
phy gave a new impulse to the mathematical study of
projections." (Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.624)

J.H. Lambert legde de grondslagen voor de studie in het in 1772
gepubliceerde essay "Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung
der Land- und Himmelskarten."

"Here he analysed the properties of the two principal
methods of projection : the conformal (or orthomorphic),
in which angles and the true shape of any small area are
preserved on the map, and the equivalent (or equal-area),
in which the area of any tract on the map is equal to that
of the same tract on a globe to the same scale. Lambert's
work marked 'the beginning of a new epoch in the science

136.

of map projection', not only by its enunciation of basic principles but by forms of projections that he devised." (Skelton in Singer e.a., IV, 1958, p.624)

De equivalente projectie wordt ook vlakgetrouw genoemd, de conforme hoekgetrouw. Het uiteenzetten van de basisprincipes van de reeds voor Lambert gekende projecties is slechts een reflectie op de reeds bestaande technieken. De nieuwe projectievormen die Lambert nu voorstelt zijn de equivalente azimutale projectie, - waarbij op een vlak i.p.v. op een kegel of cylinder wordt geprojecteerd en de vlakken getrouw worden weergegeven, doordat de punten van de bol op het projectievlak door omcirkeling vanuit het raakpunt van vlak en bol, worden geprojecteerd - en de conforme kegelprojectie, -waarbij de meridianen op de kaart de snijlijnen van de meridiaanvlakken met de kegelmantel zijn. Ook introduceerde hij de vlakgetrouwe kegelprojectie, maar deze werd in 1805 door H.E. Albers gewijzigd.

Waarom spreekt Skelton over de wetenschap van de kaartprojectie? De projectiemethodes zijn toch technieken die ontworpen worden om aan bepaalde doeleinden te voldoen. Waarom zouden Lambert's projectietechnieken wetenschappelijk zijn, als de andere het niet zijn?

In de cartografie en de navigatie tijdens de periode 1750-1850 is het zo dat naast technieken die enkel steunen op praktische ervaring, zoals bijvoorbeeld de scheepsbouw, er technieken zijn waarin de wiskunde en de wetenschap wel een rol spelen. De rol die de wiskunde speelt blijft beperkt tot elementair rekenen meetwerk. Meestal streefde men er dan nog naar instrumenten te ontwerpen om deze wiskundige bewerkingen uit te schakelen. Ook de mathematische verhoudingen, die men in de natuurkundige beschouwingen naar aanleiding - al of niet onmiddellijk - van technische problemen heeft vastgesteld, en waarop men bij bepaalde technische instrumenten voor de interpretatie van hun gegevens dient te steunen, zijn niet noodzakelijk voor het bereiken van de gewenste doelen. Andere middelen zijn voor handen.

Enkel de wetenschap die mathematische verhoudingen tussen eigenschappen van fenomenen heeft geconstateerd, kon bij

het technisch handelen gebruikt worden. Waar vroeger bij de toepassing van elementaire reken- en meetkunde een bepaalde maat en maatschaal werd overeengekomen, is het nu zo dat een natuurkundige vaststelling, een formule, de onderlinge maatverhoudingen regelt.

6. Besluit

Is de industriële revolutie een gevolg van de wetenschappelijke revolutie ?

A.E.Musson en Eric Robinson schrijven in het voorwoord van hun boek "Science and Technology in the Industrial Revolution" :

"What were the connections between the Scientific and the Industrial Revolutions ? ... Our findings necessitate, in our opinion, considerable modification of the traditional view of the Industrial Revolution as being almost entirely a product of uneducated empiricism, and expand the suggestion thrown out twenty years ago by Professor Ashton that developments in science and in technology during the eighteenth century were not unrelated and that the Industrial Revolution was also an intellectual movement. At the same time, we have also found plentiful evidence of the continued importance of practical craftsmanship, so that we certainly would not wish to present the Industrial Revolution as simply as a product of the Scientific Revolution." (Musson & Robinson, 1969, p.V ii)

Deze visie is gedeeltelijk juist maar vaag.

De ontstaansgronden van de voor de industriële revolutie door Singer en Bernal als wetenschappelijk aangeduide technieken - de technieken van de elektrische industrie uitgezonderd - liggen niet in de zuivere wetenschap. Sommige waren traditionele technieken, die vroeger ontstaan zijn in de praktijk : de smeltoven-, zuivering-door-kristallisatie-, distillatie- en scheepsbouwtechnieken. Sommige traditionele technieken werden verbeterd door technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek : het textielkleuren. Sommige nieuwe technieken, die tijdens de industriële revolutie ontstonden, waren uitvindingen in de praktijk zonder labora-

ratoriumonderzoek : het katoendrukken, de stoommachines van Savery en Newcomen. Andere technische innovaties waren het resultaat van technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek (gas uit steenkool, textielbleken, alkali- en mineraalwater-industrie, veiligheidslamp, Watt's stoommachine), al of niet geïnitieerd door toevalsontdekkingen die al of niet binnen het laboratorium plaatsvonden : Priestley's ontdekking van koolstofdioxide is een voorbeeld van een toevalsontdekking buiten het laboratorium ; Clayton's ontdekking van het distillatie-procédé van gas uit steenkool en Torricelli's ontdekking van de barometer, voorbeelden van toevallige ontdekkingen binnen het laboratorium. Hetdoor Guinand gebruikte **productieprocédé om optisch glas te maken**, is een voorbeeld van een technische innovatie naar analogie van een techniek die ook op niet-wetenschappelijke gronden is ontstaan.

De theoretische zijde van deze technische innovaties zijn inzichten en vermoedens die men al of niet toevallig in de praktijk of het experimentenlaboratorium verwerft, en die in trial-and-error-experimenten hun praktische bruikbaarheid dienen te bevestigen.

Uit mijn onderzoek blijkt ook dat de zuivere wetenschappen ontstaan zijn ofwel uit reflecties op technische ervaringen uit de praktijk en/of het technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek, ofwel uit eigen zuiver onderzoek. In het eerste geval bouwen de wetenschapsmensen modellen op **uit het** bij de innovatie gebruikte praktisch weten, waarin dit weten zodanig gemoduleerd wordt, dat de modellen zelfs niet voldoende zijn om voor de praktijk noodzakelijke kennis opnieuw op te leveren. Er is bij de zogenaamde toepassing van de theoretische kennis steeds extra experimenteel onderzoek nodig waarin de praktische ervaring, waaruit de modellen **gedistilleerd zijn**, herwonnen moet worden. Het tweede geval, waarin de zuivere wetenschappelijke modellen ontstaan uit zuiver laboratoriumonderzoek, heeft in de industriële revolutie en daarvoor, niet tot technische innovatie geleid. Toch denk ik - gezien de modellen die ontstaan zijn uit de praktijkervaringen - dat deze modellen tot technische innovaties zouden kunnen leiden,

enkel en alleen maar omdat ze voorwetenschappelijke gegevens systematiseren, dat het aan de voorwetenschappelijke gegevens te danken zou zijn dat deze modellen technische innovaties tot gevolg kunnen hebben.

Musson en Robinson beweerden dat de industriële revolutie niet het produkt is van ongeschoold empiricisme. Ze beweren ook dat de somtijds gestelde tegenstelling tussen wetenschap en empiricisme niet gefundeerd is :

"Science and empiricism are often regarded as opposites, but what foundation is there for this view? Modern science is a combination of theory and experiment : it has been developed, not in ivory towers, but in laboratories. ... If by empiricism we mean procedure by trial and error, then the progress of science has been empirical..." (Musson & Robinson, 1969, p.3)

Zuivere wetenschap steunt op ervaringen ; het technologische laboratoriumonderzoek steunt ook op ervaringen. Dat aan beiden dezelfde ervaringen kunnen ten grondslag liggen, blijkt uit het feit dat sommige zuivere theoretische modellen gebouwd zijn op ervaringen binnen het technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek.

De tegenstelling van wetenschap en empiricisme moet opgevat worden als de tegenstelling van wetenschap, waarin empirische gegevens verwerkt zijn, en empirische gegevens, die niet in een wetenschappelijke theorie verwerkt zijn. Het is deze laatste tegenstelling die beslissend is voor de noodzakelijkheid van zuivere wetenschap voor technische innovaties : is de zuiver-wetenschappelijke theorievorming noodzakelijk voor technische innovaties ? Maakt de zuivere wetenschap bepaalde ervaringen mogelijk, die zouden kunnen gebruikt worden bij technische innovaties ? Voor de zuivere wetenschap zelf zijn ervaringen noodzakelijk, en niet voldoende, daar er nog aan theorievorming moet worden gedaan. De zuivere wetenschap kan dus niet noodzakelijk zijn voor bepaalde ervaringen. De zuivere wetenschap kan wel voldoende zijn voor bepaalde ervaringen, maar deze zijn op voorhand vóór de opbouw van de theorieën reeds aanwezig.

Zowel het zuiver-wetenschappelijk als het technologisch

"But many , especially philosophers of science and technology, argue that, though the experimental methods of science and technology may be similar, their aims or purposes are different : that science is concerned with 'knowing', with the search for truth or understanding, without regard to practical applications, whereas technology is concerned with 'doing', with utilitarian objects. Undoubtedly there is such a distinction, but it should not be pressed too far. Many scientists and technologists have been interested in both knowing and doing : scientific knowledge has improved technology, while technological researches have led to advances in science." (Musson & Robinson, 1969, p.5)

Dat er mensen (geweest) zijn die zowel geïnteresseerd waren in kennen als in handelen, is geen argument voor de stelling dat zuiver wetenschappelijk onderzoek noodzakelijk (was) is voor technische innovaties. Heeft wetenschappelijke kennis technologie verbeterd ? Uit mijn historisch onderzoek (tot en met de industriële revolutie) blijkt dat technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek technieken verbeterd heeft, niet zuiver-wetenschappelijke kennis. Dat technologische onderzoekingen tot "vooruitgangen" in de wetenschap geleid hebben, is in mijn onderzoek waar gebleken.

Wat bedoelen Musson en Robinson met "ongeschoold empiricisme" ? Bedoelen ze daarmee dat louter ervaringen niet voldoende waren om tot sommige technische innovaties in de industriële revolutie te komen ? Dan hebben ze gelijk wanneer ze bedoelen dat er ook nog in sommige gevallen technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek aan te pas is gekomen. Het is echter niet zo dat zuiver wetenschappelijke theorieën eraan te pas zijn gekomen. Zelfs beweren ze ook dat in sommige technieken "rule-of-thumb"-procedures bleven bestaan ; ze beweren zelfs meer :

"At the same time, however, we do not wish to exaggerate the extent to which natural philosophy contributed to 'arts and manufacturers' in the Industrial Revolution. This period was, of course, a transitional one, and traditional handicrafts, with their rule-of-thumb procedures, proved remarkably long-lasting in many industries, while even in these industries which were being most rapidly 'revolutionized' it is clear that practical empiricism was largely responsible for technical advance. Several of our studies, in engineering and dyeing, for example, will demonstrate its continued importance." (Musson & Robinson, 1969, p.7-8)

Musson en Robinson gaan akkoord met Ashton wanneer deze beweert dat ontwikkelingen in wetenschap en in de technologie gedurende de 18^{de} eeuw niet onafhankelijk van elkaar waren en dat de industriële revolutie ook een intellectuele beweging was.

Gedeeltelijk is dit zo : sommige zuiver-wetenschappelijke modellen zijn gebouwd op technische ervaringen binnen of buiten het technologisch-doelgericht experimenteel laboratorium. De zuivere wetenschap ~~is~~ anderzijds - zoals Van Melsen het uitdrukt - haar eigen weg gegaan, onafhankelijk van maatschappelijke behoeften en technische vernieuwingen.

Dat de industriële revolutie ook een intellectuele beweging was moet vermoedelijk zo worden opgevat, dat er onderzoeksattitudes aanwezig waren, dat men niet zo maar alles slikte, dat men de traditie - ook op technisch vlak - kritisch wou onderzoeken, dat men de fenomenen - ook de technische procedures - wou verstaan. Men probeerde theorieën erover op te stellen.

Concluderend :

De industriële revolutie is geen gevolg of produkt van de wetenschappelijke revolutie.

x

x x

F. 1850-1900 :

In het voorwoord op het vijfde en laatste volume van "A history of technology" schrijft de redaktie :

The importance of applied science is the outstanding theme of this volume, for few branches of manufacture or production were left unchanged by the fruits of scientific discovery. These are most evident in the newer industries, as in chemical manufacture (chs 11 and 14) or electrical engineering (chs 9 and 10), and in the new manifestations of old industries, as in the novel processes evolved for the extractions of metals, whose applications were becoming increasingly important. Nevertheless, the dependence of industry on science was still somewhat fortuitous. In some fundamental manufactures, such as the steel-industry (ch 3) and shipbuilding (ch 16), vast improvements, economy in labour, increase of scale, and so on took place, and the product was rendered far more suitable for its purpose than formerly. Yet the empirical element remained large, and progress was achieved rather through the accumulated experience of craftsmen, the enterprise of management, and the skill of individual designers, than through scientific insight. Few scientists were employed in connexion with such manufactures, and in investigating the design of product and plant they were rarely consulted. ... Even where a scientific discovery was consciously exploited for industrial purposes, as with synthetic dye manufacture, accident could still play a very large part. In the history of telegraphy scientific analysis of problems and methods of solving them were from the first essential, but other new developments like those of the internal combustion engine (ch 8) and of the aeroplane (ch 17) owed more to creative empiricism and to persistent trial-and-error than to the availability of scientific theory. Theory might still follow, rather than precede, a major technological accomplishment." (Singer e.a., V, 1958, p.VI)

Voor 1850 was het steeds zo dat de theorie, die nauw verband hield met bepaalde technische innovaties, de technische verworvenheden volgde, niet voorafging.

Wetenschap zou ook op het gebied van de gezondheidszorg een rol spelen :

"The dangers and inconveniences of life in the greatly enlarged towns were mitigated by the application of science to problems of water-supply and sanitation (ch 23), of furnishing adequate stocks of food (chs 1 and 2), and of transport. Science both revealed perils and abuses in manufacturing processes and designed ways of avoiding their occurrence. Had space permitted, we should have devoted more attention to the interrelationship between medicine and scientific technology in an industrialized

443.

society, but it has been possible to refer only briefly to some outstanding examples of this, and to offer some early instances of the debt of medicine to the new chemical industry." (Singer e.a., V, 1958, p.VII)

Als ik mijn onderzoek naar de verhouding tussen wetenschap en techniek volledig wil verderzetten, dan dien ik de chemische nijverheid, de elektrische nijverheid, de winningsprocessen voor metaal, de staalindustrie, het scheepsbouwen, de synthetische kleurstofnijverheid, de telegraaf, de technieken om te voorzien in water en om sanitatieproblemen op te lossen, de technieken om voedselvoorraad adequaat te behouden, het transport en de geneeskunde te onderzoeken.

Maar Singer, Holmyard, Hall en Williams schrijven zelf :

"..., modern physics began about 1900 with all its immense implications for technology and for the relation of science to industry. Now for the first time abstract scientific thought, carried on without concern for its practical consequences in the life of man, was to offer as an incidental reward a mastery of natural resources totally different in kind and scale from anything contemplated in the older technology grown from remote empirical roots." (Singer e.a., V, 1958, p.V)

Rond 1900 zou het dus voor de eerste keer zijn dat zuiver wetenschappelijk onderzoek, dat dus uitgevoerd wordt zonder praktische doeleinden voor ogen, technische gevolgen zou hebben. Een onderzoek van de bovenvermelde gebieden in de periode van 1850 tot 1900 zou in die mate overbodig zijn dat hieruit toch niet zal blijken dat zuivere wetenschap noodzakelijk is voor technische innovatie. Daar echter Thomas Kuhn, Robert Multhauf en vermoedelijk ook Harvey Brooks (zie p.48) stellen dat men in de synthetische kleurstofindustrie uit deze periode een eerste voorbeeld kan vinden van een technologie die grotendeels steunde op de wetenschap, lijkt het mij belangrijk deze industrie te onderzoeken. Hiermee wordt ook de bewering van Singer en zijn medewerkers gecontroleerd. Tijdens de industriële revolutie werd door Bernal de elektrische industrie aangeduid als een nijverheid waarvoor wetenschap onmisbaar was. Ik heb toen het onderzoek van deze industrie naar een latere periode verschoven.

Daar Thomas Kuhn (1971, p.284) ook deze industrie aanduidt als

een industrie waarin wetenschap zich als een "prime mover in socio-economic development" manifesteert, dient in deze industrie ook nog kritisch de verhouding tussen wetenschap en techniek onderzocht te worden.

1. Synthetische kleurstofindustrie

Gedurende eeuwen gebruikte men reeds natuurlijke kleurstoffen, waaronder scharlakenrood en indigo.

"Chemistry had not sufficiently advanced before about 1850, to unravel the usually complicated structures of colouring-matters, and there was therefore no obvious road along which chemists might advance towards the productions of new ones. When for the first time a useful synthetic dyestuff was discovered it was the accidental result of an unsuccessful attempt to synthesize a natural febrifuge." (Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p.268)

William Perkin studeerde scheikunde bij de Duitser August Wilhelm Hofmann in het Royal College of Chemistry in London. In een rapport van dit instituut, dat in 1849 gepubliceerd werd, suggereerde Hofmann dat het zeker wenselijk was kinine artificiëel te bereiden en dat misschien mogelijk was uit één van de substraten van koolteer. Perkin, die thuis een eigen laboratorium had, probeerde dit in het Paasverlof van 1856 :

"As a young chemist I was ambitious enough to wish to work on this subject of the artificial formation of natural organic compounds. Probably from reading the above remarks on the importance of forming quinine, I began to think how it might be accomplished, and was led by the then popular additive and subtractive method to the idea that it might be formed from toluidine by first adding to its composition C_3H_4 by substituting allyl for hydrogen, thus forming allyltoluidine, and then removing two hydrogen atoms and adding 2 atoms of oxygen, thus

$$2 (C_{10}H_{13}N) + 3 O = C_{20}H_{24}N_2O_2 + H_2O$$

Allyltoluidine Quinine

The allyltoluidine having been prepared by the action of allyl iodine on toluidine, was converted into a salt and treated with potassium dichromate ; no quinine was formed, but only a dirty-reddish-brown precipitate." (W.H.Perkin, 'The Origin of the Coal-tar Colour Industry, and the Contributions of Hofmann and his Pupils', in Journal of the Chemical Society, 1896, 69, 596 geciteerd in Russell & Goodman, 1972, p.65-66)

Asimov geeft als redenen voor deze mislukking op :

145.

"The structure of quinine was not known at the time, and even if it had been it would have been far too complex to produce by means of the few synthetic methods then known. It was nearly a century later when Woodward and a collaborator turned the trick." (Asimov, 1964, p.421)

Daar Perkin duidelijk een formule geeft voor kinine, bedoelt Asimov vermoedelijk dat men de structuurformule met de benzeenringen nog niet kende.

Na deze mislukking probeerde Perkin dezelfde methode maar nu met een ander koolstofderivaat : aniline, Hofmann's "first love".

"Unpromising though this result was, I was interested in the action, and thought it desirable to treat a more simple base in the same manner. Aniline was selected, and its sulphate was treated with potassium dichromate ; in this instance a black precipitate was obtained, and, on examination, this precipitate was found to contain the colouring matter since so well known as aniline purple or mauve, and by a number of other names. All these experiments were made during the Easter vacation of 1856 in my rough laboratory at home. Very soon after the discovery of the colouring matter, I found that it had the properties of a dye, and that it resisted the action of light remarkably well." (W.H.Perkin, o.c., geciteerd in Russell & Goodman, 1972, p.66)

De ontdekking van het aniline-purper is een toevalsontdekking : Perkin had op voorhand niet de bedoeling om deze synthetische kleurstof te maken. Was Perkin's oorspronkelijke bedoeling zuiver wetenschappelijk ? Hij had eerst een technologische bedoeling, namelijk kinine te synthetiseren uit een koolstof-derivaat. Was dit nog zijn bedoeling bij het experimenteren met aniline ? Vermoedelijk wel want Hofmann had gesuggereerd dat men uit goedkope koolstofchemicaliën, - en niet speciaal allyl-toluïdine - misschien kinine kon maken. Het lijkt geen experiment te zijn waarbij men door het (willekeurig) toepassen van een methode zuivere kennis wenst te verwerven.

De toevalsontdekking bestaat erin dat de oorspronkelijke technologische doelstelling en interpretatiekader, namelijk het synthetiseren van kinine, vervangen wordt door een ander interpretatiekader, namelijk het synthetiseren van een kleurstof.

Inhoudelijk - niet wat betreft de uiteindelijke doelstelling -

blijkt dit onderzoek wel te steunen op een hypothese, namelijk de hoger geformuleerde reactie. Deze hypothese is wel nog niet aanvaard ; ze moet zich juist experimenteel bevestigen : het experiment wordt echter gemaakt met een technologisch doel voor ogen ! Is deze hypothese inhoudelijk zuiver wetenschappelijk ? Alhoewel ze zelf nog niet geldig is, is het toch zo dat wetenschappelijke gegevens eraan ten grondslag liggen - bijvoorbeeld de kinineformule. Hier blijkt echter dat de wetenschappelijke gegevens later niet meer **wetenschappelijk** aanvaard hoeven te zijn .

Op zuiver wetenschappelijk vlak betekent het resultaat van het experiment dat niet alleen de formule voor de synthese van kinine zowel op basis van allyltoluïdine als van aniline niet opgaat, maar ook dat de interpretatie van de reactie, die juist in deze formule wordt uitgedrukt, niet geldig is. De zuiver wetenschappelijke hypothetische formule moet gewijzigd worden om de synthese van een kleurstof te kunnen voorstellen. De noodzakelijkheid van wetenschappelijke kennis kan dus in twijfel getrokken worden : blijkbaar is er een 'praktisch weten', - dat wel op verschillende manieren wetenschappelijk in een model kan gevat worden -, dat een noodzakelijke rol in het experiment speelt. Is dit 'praktisch weten' bewust aanwezig in het experiment, of is de wetenschap - ook al kan ze na een bepaalde periode haar interpretatie ervan wijzigen - juist noodzakelijk om aan dit 'praktisch weten' een bewuste verschijningsvorm te geven ? Is de wetenschap de enig mogelijke uitingsvorm van dit weten ? Neen, het is slechts een modelvoorstelling van de reactie, die niet alleen kan vervangen worden door een andere modelvoorstelling, maar ook door een descriptie van het hoe en **het waarom** van de handelingen : een soort recept met doelstellingen. Het verschil tussen het 'praktisch weten' en de wetenschappelijk-symbolische formulering ervoor komt tot uiting in het feit dat er naast deze formulering ook nog dikwijls een meer gedetailleerde bereidingswijze voor de gewenste samenstelling wordt aangegeven. In welke mate is de wetenschap inhoudelijk noodzakelijk voor dit 'praktisch weten' ? Vroeger was het zo dat het 'praktisch weten' gemodelleerd werd tot wetenschappelijke kennis : in het begin van de

18^{de} eeuw steunt Réaumur's ontcijfering van het staalproductie-procédé op een vaststelling in de praktijk, die hij later in een wetenschappelijke theorie inbouwt. Ligt nu het model aan het 'praktisch weten' noodzakelijk ten grondslag? Hoe? Men handelt op een bepaalde wijze omdat men meent dat men zodoende het gewenste doel zal bereiken. Perkin voegt de ene chemische stof bij de andere, omdat hij volgens zijn hypothetische formule meent dat dit kinine zal opleveren. Het verloop van de verschillende aparte handelingen wordt ook - maar in mindere mate - intern bepaald: men weet (of vermoedt) dat men eerst zo moet handelen, omdat men anders dat (vermoedelijk) niet kan doen. Soms kan er een discrepantie optreden tussen het gewenste doel en de interne handelswijze: men wenst dat bepaald doel te bereiken, maar men weet niet goed hoe, of men weet wel hoe maar ofwel wordt het verhinderd door iets ofwel is het intern-zakelijk niet mogelijk. Het uiteindelijk doel - de synthese van kinine - is in de wetenschappelijke formule aanwezig maar niet expliciet gesteld. De interne handelswijze is in die mate in de formule gesteld dat erin (een deel van) de gebruikte chemische stoffen in formulevorm weergegeven worden alsook welke stoffen met elkaar verbonden of van elkaar gescheiden moeten worden. De specifieke synthese- en analysemethoden worden in de formule niet vermeld. De formule is slechts een wetenschappelijke uitdrukking van een voorafgaand denken.

De expliciete doelstelling als handeling ligt op buiten-wetenschappelijk vlak d.w.z. ze wordt door een mens gesteld - en niet noodzakelijk een wetenschapsmens - en ze vloeit niet uit de wetenschap zelf voort. De wetenschap kan wel iets zeggen over de mogelijke realiseerbaarheid van bepaalde doelstellingen: gezien dit en dat, is dat doel al of niet mogelijk. (Of de wetenschap absoluut over de mogelijke realiseerbaarheid van bepaalde doelstellingen kan beslissen, kan betwijfeld worden: het is toch goed mogelijk dat juist uit het bereiken van een bepaalde doelstelling blijkt dat die wetenschappelijke theorie niet (helemaal) opgaat.) De doelstelling kan wel op zuiver wetenschappelijk vlak van belang

zijn. Buiten het zuiver wetenschappelijk doel, namelijk het verwerven van zuivere kennis, kan het ook zo zijn dat een technisch doel - bijvoorbeeld de synthese van kinine - gevolgen kan hebben op zuiver wetenschappelijk vlak : gaat de gestelde hypothese op ? De akt van het doelstellen kan gebeuren door een wetenschapsmens, die door wetenschappelijke hypothesen of theorieën beïnvloed is, en één of andere hypothese wenst op haar geldigheid na te gaan. Het is de mens, die wel zuiver wetenschappelijke doelen voor ogen heeft, en niet de wetenschap die hier expliciet de doelen stelt. Dat de expliciete doelstelling op buitenwetenschappelijk vlak ligt, blijkt uit de ontdekking van de kleurstofsynthese : op wetenschappelijk vlak was het experiment verkeerd gelopen, de hypothetische formule gefalsifiëerd, en het onderzoek dus afgelopen.

Thomas Kuhn schrijft over de verhouding tussen paradigma - wat een zo goed als identieke term is voor model - en de laboratoriumwerkzaamheden :

"De handelingen en metingen die door een wetenschapper in het laboratorium worden verricht zijn niet het in de ervaring 'gegevene' - maar eerder 'dat wat met moeite verzameld is'. Ze zijn niet wat de wetenschapper ziet - in ieder geval niet voordat zijn onderzoek behoorlijk gevorderd is en zijn aandacht zich heeft toegespitst. Het zijn eerder concrete tekens voor de inhouden van meer elementaire waarnemingen en ze worden als zodanig geselecteerd om nauwkeurig door het normale onderzoek uitgeplozen te worden en dat alleen maar omdat ze goede perspectieven lijken te bieden op de vruchtbare uitwerking van een aanvaard paradigma. Veel duidelijker dan de directe ervaringen waaruit ze gedeeltelijk zijn afgeleid worden de handelingen en metingen door een paradigma bepaald. Niet alle mogelijke laboratoriumwerkzaamheden zijn wetenschappelijk. In plaats daarvan zijn alleen die werkzaamheden relevant die een verband kunnen leggen tussen een paradigma en de directe ervaring die gedeeltelijk door dat paradigma bepaald is. Als gevolg daarvan verrichten wetenschappers met verschillende paradigma's verschillende concrete laboratoriumwerkzaamheden. De metingen die aan een slinger verricht worden zijn niet relevant bij een geval van beperkte val. Noch zijn de operaties die zinvol zijn bij het aan het licht brengen van de eigenschappen van zuurstof precies dezelfde als die welke vereist zijn bij het onderzoek van de eigenschappen van gedephlogisticeerde lucht." (Kuhn, 1970, Ned. p.147-148, Eng. p.126)

Wetenschap is niet noodzakelijk voor alle laboratoriumwerkzaamheden. Door het model (paradigma) kiest men bepaalde laboratoriumwerkzaamheden, omdat van hen verwacht wordt, dat ze het mogelijk zullen maken om het paradigma verder uit te werken. Het paradigma kiest die werkzaamheden, die een verband kunnen leggen tussen het model en de voor haar relevante werkelijkheid. Het doel bepaalt dus de middelen die men zal gebruiken. Merkwaardig is hier dat Kuhn de wetenschappelijkheid van een techniek laat afhangen van de mogelijke bruikbaarheid van een reeds vooraf bestaande techniek binnen het wetenschappelijk onderzoek. Een techniek is dus wetenschappelijk, volgens Thomas Kuhn, wanneer het in een wetenschappelijk onderzoek wordt gebruikt. Betekent dit dat Thomas Kuhn (onbewust) erkent dat wetenschap niet noodzakelijk voor technische innovaties is ?

De specifieke methoden, die de interne handelwijze van het experiment uitmaken, worden door de uiteindelijke doelstelling en de daartoe leidende subdoelen bepaald. De uiteindelijke doelstelling is niet noodzakelijk zuiver wetenschappelijk : ze kan ook technologisch zijn. Harvey Brooks (1968, p.305) stelde dat het principiëel mogelijk is de subtechnieken van de wetenschappelijke methode op te bouwen zonder daarvoor aan zuivere wetenschap te moeten doen. (zie p.26) Wetenschap is dus niet noodzakelijk voor deze specifieke technieken. Perkin ontdekt tijdens experimenten, die analoog zijn aan de voorgaande, dat niet alleen aniline, maar ook toluïdine, xylidine en cumidine een purperen kleurstof opleveren wanneer ze geoxideerd worden.

Na gesprekken en experimenten met katoenkleurders patenteert Perkin zijn ontdekking en begint met enkele familieleden een fabriek in 1857 te Greenford Green om synthetische kleurstoffen te maken :

"At this time, neither I nor my friends had seen the inside of a chemical works, and whatever knowledge I had was obtained from books. This, however, was not so serious a drawback as at first it might appear to be, as the kind of apparatus required and the character of the operations to be performed were so entirely different from any in use that there was but little to copy from." (Perkin, o.c., geciteerd in Russell & Goodman, 1972, p.68)

Hier blijkt dat Perkin ook een onderscheid maakt tussen boekenwijsheid en praktische kennis, die samengaat met het bouwen van apparatuur en machines om een fabriek in te richten.

"The theoretical problems presented by mauve, no less than its commercial success, quickly attracted other workers to the investigation of aniline and its congeners, and several more dyestuffs were soon forthcoming."
(Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p. 272)

De verschillende kleurstoffen die nog gevonden werden waren het resultaat van technologisch-doelgericht onderzoek; daar de structuur van de benzeenmolecule nog niet gekend was, steunde het maken van deze eerste synthetische kleurstoffen niet op zuiver-wetenschappelijke kennis (- had men reeds een model van de synthese van anilinepurper?).

"Though benzene was the parent substance of the earliest artificial dyes, the structure of its molecule was still uncertain at the time of their discovery. It was known that the molecule consisted of six carbon atoms and six hydrogen atoms, but the way in which these atoms were arranged remained a mystery. This lack of information was not at first a serious hindrance, but as the investigation not only of dyes but of other benzene derivatives became increasingly important and systematic, the need for an elucidation of the structure became correspondingly urgent! Without it, chemists could certainly advance, but the advance was largely à tâtons!"
(Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p.274-275)

De zuiver-theoretische kennis is dus niet noodzakelijk voor het synthetiseren van kunstmatige kleurstoffen. Ze lijkt echter wel voldoende om aan de technologisch-gerichte scheikundige het zoeken, het tasten naar nieuwe produkten grotendeels te besparen.

Friedrich August Kekulé von Stradonitz concipieerde in 1865 een model voor de benzeenmolecule. (Over de ontstaansgeschiedenis hiervan, zie de verwijzingen in voetnoot 1 pag. 86)

"These fundamental facts paved the way to the succesful accomplishment of two feats that only a few years earlier would have seemed impossible, namely the synthesis of alizarin and, more difficult still, that of indigotin."
(Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p. 276)

Alizarien is de kleuringssubstantie van het organisch plantenprodukt van meekrap, dat al eeuwen gebruikt werd om te kleuren. In 1869 trachtten Graebe en Liebermann alizarien artificieel te produceren. Ze kwamen door experimenteel onderzoek aan de

weet dat alizarien onmiddellijk afstamde van antrachinon waarin 2 hydrogeenatomen vervangen waren door 2 hydroxyl-groepen. Alizerien langs antrachinon om is een derivaat van antraceen; wat de voordien geldende bewering dat alizarien een derivaat was van naftaleen tegensprak. Men kon dus van antrachinon starten om alizarien te synthetiseren. Hiervoor had men een methode nodig die door Hofmann en zijn medewerker Charles Mansfield in 1845 op punt gesteld werd tijdens zuiver-wetenschappelijk onderzoek naar de moleculaire constitutie van vluchtige organische basen :

"The method used in these researches, of substituting hydrogen in amines by means of the ionides and bromides of the alcohol radicles, and also the substituted anilines which were obtained, although not connected with the foundation of the coal-tar colour industry, have been of great value in its afterdevelopment. These few references to observations on the early work carried on at the Royal College of Chemistry, for the sake of science only, show, in fact, what valuable material was produced for the coming new industry; indeed, without the research of Mansfield, it could never have become an industry..."

(W. H. Perkin, O. C., geciteerd in Russell & Goodman, 1972, p. 64)

De synthetiseringsmethode van Graebe en Liebermann was als volgt:

" By acting upon anthraquinone with bromine they were able to replace two hydrogen atoms by bromine atoms, and by fusing the product with alkali the two bromine atoms were replaced by hydroxyl groups."

(Holmyard, in Singer e.a., V, 1958, p. 276)

De bromeringsmethode die voorheen in zuiver-wetenschappelijk onderzoek werd gebruikt, wordt hier nu voor een technologische doelstelling gebruikt.

Thomas Kuhn heeft erop gewezen dat men in het onderzoek bepaalde bestaande technieken verder uitbouwt en/of gebruikt, omdat men verwacht dat ze goede perspectieven bieden om het model (het paradigma) uit te bouwen. Het feit dat een bepaalde techniek tijdens en voor zuiver wetenschappelijk onderzoek wordt opgebouwd wil dus nog niet zeggen dat de zuivere wetenschap ervoor noodzakelijk is. Thomas Kuhn noemt als andere bepalende term voor de concrete laboratoriumwerkzaamheden de directe ervaringen waaruit de technieken gedeeltelijk zijn afgeleid. Dit zijn ervaringen waarvoor men geen wetenschappelijk paradigma nodig heeft om ze waar te nemen. Uit deze ervaringen worden de technie-

ken wat de interne handelwijze betreft gedeeltelijk afgeleid. De zuivere wetenschap geeft een verklaring voor de chemische reactie die door de methode wordt veroorzaakt, maar ze is niet noodzakelijk voor de methode. Ze leidt hier zeker niet het onderzoek : men werkt vanuit een technische doelstelling. Een vroeger geldende wetenschappelijke verklaring wordt in dit onderzoek tegengesproken.

Daar broom echter zeer duur was, was deze synthetiseringsmethode voor alizarien economisch niet bruikbaar. Graebe en Liebermann trachtten daarom in plaats van het antrachinon te bromeren het te sulfoneren. Deze methode, waarbij één of meer SO_3H -groepen in het molecuule worden bijgevoegd, werd door Nicholson in 1859 ontdekt bij het technologisch zoeken om rosaniline-blauw oplosbaar te maken in water. Graebe en Liebermann probeerden dit procédé omdat ze wisten dat de SO_3H -groep vervangen kon worden door een hydroxyl-groep wanneer ze vermengd werd met alkali. Dit procédé echter was technisch zo goed als niet uitvoerbaar daar antrachinon zeer moeilijk te sulfoneren was. Een oplossing voor dit probleem werd door Heinrich Caro per toeval ontdekt :

"The German dyestuffs firm for which Caro now worked, the Badische Anilin-und-Soda Fabrik, had accumulated a quantity of anthraquinone for which no use could be found, and Caro speculated as to whether he could make a dye from it by heating it with oxalic acid and sulphuric acid. Mixing the three substances in a porcelain basin, he set a flame underneath, but the only apparent result was that the oxalic acid decomposed and vanished. At that moment Caro was sent for, and went away without turning out the flame. When he returned, he found that the residue had partly charred, but that there was a pink crust which he recognized to be alizarin. The secret of the sulphonation of alizarin obviously lay in using very concentrated sulphuric acid at a high temperature, and this deduction was confirmed by subsequent experiments."
(Holmyard in Singer e.a., V, 1958, p.276-277).

Een wetenschappelijke theorie was dus niet voldoende om dit technisch procédé op punt te stellen. Was ze daarvoor noodzakelijk? De technische procedures, die geïnspireerd werden door methodes en vaststellingen uit de zuiver-wetenschappelijke theorie, zijn in de praktijk niet bruikbaar of uitvoerbaar. Door een toevalsontdekking komt men op een praktisch-bruikbaar procédé. Deze toevalsontdekking gebeurt in een trial-and-error experiment om een kleurstof te maken.

Perkin ontdekte daarna een andere methode om alizarien te synthetiseren, die ook gemakkelijk op industrieel vlak uitvoerbaar was. In dit nieuwe proces vertrok men van antraceen zelf, dat door middel van chloor omgezet werd in dichloor-antraceen : twee hydrogenatomen werden in het antraceen vervangen door chlooratomen. De dichloorsamenstelling werd dan gesulfoneerd en het resultaat hiervan geoxideerd tot gesulfoneerd antrachinon. Daarna werd het Graebe-Liebermann-Caro-procédé toegepast.

Door het praktisch succes om alizarien te synthetiseren probeerde men ook indigotine, dat ook gebruikt wordt om voedingswaren te kleuren, artificieel te produceren. Adolf von Baeyer slaagde in dit technologisch onderzoek, maar zijn methode was te gecompliceerd en te duur om commercieel te worden toegepast. K. Heumann werkte een commercieel beter bruikbaar procédé uit, waarbij men vertrok van ftaalzuuranhydride, dat zelf dient gesynthetiseerd te worden uit naftaleen door middel van heet geconcentreerd zwavelzuur. Deze procedure verloopt echter zeer traag, waardoor het produkt zeer duur werd. Door toeval echter vond men hier ook een snellere procedure : bij het opwarmen van het materiaal breekt de kwikthermometer, die erin geplaatst was. De reactie verloopt veel sneller daar het kwiksulfaat dat gevormd wordt door de kwik en het zwavelzuur als katalysator werkt.

De methodes die gebruikt worden om synthetische kleurstoffen te maken - wat een technologisch doel is - komen zowel uit voorafgaand zuiver wetenschappelijk als technologisch onderzoek. Zuiver wetenschappelijke kennis is echter niet noodzakelijk voor de opbouw van deze methoden. Dat de specifieke methodes om dit doel te verwezenlijken toevalsmatig praktisch verbeterd worden, bevestigt het feit dat er een kloof kan bestaan tussen zuiver wetenschappelijk en technologisch onderzoek - een kloof die soms wel overbrugd wordt door de transfer van één of andere specifieke methode.

De interpretatie die Harvey Brooks, Robert Multhauf en Thomas Kuhn (zie p. 48) geven aan het ontstaan van deze technische innovatie en de rol die wetenschap daarin speelt, lijkt me

"overbelicht". Het is niet zo dat wetenschap een noodzakelijke rol speelde bij het ontstaan van deze synthetiseringsmethodes. Men gebruikte wel methodes die tijdens zuiver-wetenschappelijk onderzoek ontworpen zijn, maar de wetenschap speelde hierin slechts een doelstellende rol. Wanneer deze methodes op technologisch vlak worden gebruikt, moeten ze gezien de andere, economische en praktische criteria ook gewijzigd worden. Men steunde hier niet - zoals Harvey Brooks meent - op de wetenschap, in de zin dat zonder de wetenschap dit niet kon ontstaan : de experimenteermethodes die men gebruikte in technologisch onderzoek blijken toevallig een synthetische kleurstof op te leveren. Dit is ook geen produktietechnologie die steeds meer en standvastig afhankelijk is van de wetenschapsmens - zoals Robert Multhauf stelt - : de mens als beoefenaar van zuivere wetenschap verklaart enkel bepaalde processen en fenomenen. Thomas Kuhn heeft ook geen gelijk wanneer hij stelt dat wetenschap hier als "prime mover" optreedt : het is de economische belangrijkheid van deze produkten die het technologisch onderzoek stimuleert en in beweging houdt.

x

x x

2. Electriciteitsindustrie

.....

"The story of electricity and magnetism provides the first example in history of the transformation of a purely scientific body of experiments and theories in a large-scale industry. The electrical industry is necessarily scientific through and through. Nevertheless, we find here the most irrefutable example of how at one remove scientific research can turn into engineering practice." (Bernal, 1969, p. 616)

"Electricity was indeed the first science to create an industry of its own without any dependence on tradition." (Bernal, 1969, p. 612)

Was de electriciteitsleer vrij van enige afhankelijkheid van de traditie?

"Electricity had had a long and legendary past. From the earliest times we know of, men had treasured amber and probably noticed its power, when rubbed, of attracting small bodies. It was natural to make the analogy between this and the much stronger power of attraction of the

magnet; natural, so, to assimilate both of them into the general magical thinking of ancient times....The science of magnetism, however, only began when this virtue could be used to good purpose, as in the mariner's compass."

(Bernal, 1969, p. 599)

Alleen wanneer er een technische toepassing kon zijn, werd volgens Bernal het magnetisme wetenschappelijk bestudeerd. Bernal probeert wetenschap voor te stellen als noodzakelijk voor techniek. Toch is het zo, dat - cfr. p. 63 - het kompas bestond voordat er een wetenschappelijke studie over het magnetisme gemaakt werd. Wetenschap was hier ook geen noodzakelijke voorwaarde voor techniek. Electriciteit - barnsteen, amber in het Grieks is "èlektron" - was reeds bekend voordat erover een wetenschappelijke theorie bestond.

Vóór 1800 was er reeds wetenschappelijk onderzoek in electrochemie en electrostatica gedaan. Zo onderzocht Joseph Priestley systematisch de scheikundige gevolgen van elektrische stroom en Stephen Gray onderzocht de elektrische eigenschappen van verschillende materialen. De technische apparaten die gebruikt werden om electriciteit op te wekken waren wrijvingsmachines waarin glazen cylinders of platen werden gebruikt.

"Von Guericke, the inventor of the vacuum pump, in about 1665, developed the rotating globe or sphere from which, by friction, he drew sparks. This was to be the type of the electrical machines of the next hundred years; but for him it was a model to illustrate his cosmological theories."

(Bernal, 1969, p. 599-600)

Hauksbee ont-dekte in feite de elektrisering door wrijving. Deze machines werden gemaakt door de instrumentenmakers. Het was echter geen precisie-instrument en hier geldt ook dat de wetenschapsmensen enkel als doelstellers optreden.

Men trachtte ook de elektrische stroom op te slaan :

"A fairly obvious idea was that of trying to store the electric fluid in bottles. In 1745 von Kleist (d. 1748), a Pomeranian clergyman, attempted to pass electricity into a bottle through a nail.... Some months later and apparently independently, Musschenbroek (1692-1761) reported a similar experiment from Holland. As he was a scientific apparatus maker, with numerous connections in the learned world, his name is usually associated with what is still called the Leyden jar."

(Bernal, 1969, p. 601-602)

De ontdekking van de "Leidse fles" als "eerste condensator" is toevallig gebeurd :

"LEYDEN JAR. The name given to the earliest form of condenser, a device for storing electric charge. This property of storage of charge was discovered accidentally in 1746 both by the cathedral dean Ewald Georg von Kleist at Cammin in Pomerania and by Cunaeus at Leyden in Holland. The lectures of Nollet (1700-70) established the name 'Leyden jar' and caused most later writers to attribute the discovery solely to Cunaeus. The discovery at Leyden occurred while Musschenbroek and his pupil Cunaeus were attempting to conduct electricity, then regarded as an 'electric fluid', from an electrical machine into a jarful of water. The connection to the jar was made by a nail dipped into the water. Cunaeus held the jar in his hand during the experiment and afterwards, still holding the jar, touched the nail, and was surprised to feel a strong electric shock. The jar was obviously able to store electric charge."
(Chamber's encyclopaedia, new edition, London, 1961, vol. VIII, p. 500)

De Leidse fles is een voorbeeld van een ontdekking die met een verkeerde theoretische vooropstelling werd gemaakt :

"De electriciens die dachten dat electriciteit een vloeistof was en daarom bijzondere aandacht schonken aan geleiding zijn een uitstekend voorbeeld. Geleid door dit geloof dat nauwelijks opgewassen was tegen de bekende verscheidenheid van aantrekkings- en afstotingseffecten kwam een aantal van hen op het idee om de elektrische vloeistof te bottelen. Het directe product van hun inspanningen was de Leidse fles, een uitvinding die nooit gedaan zou kunnen worden door een man die de natuur terloops of op goed geluk onderzoekt maar die in feite onafhankelijk werd gemaakt door tenminste twee onderzoekers in de eerste van de veertiger jaren van de achttiende eeuw. Bijna vanaf het begin van zijn elektrische onderzoekingen was Franklin er bijzonder op gebrand dat vreemde en als gebeuren bijzonder onthullende stuk te verklaren." (T. Kuhn, 1970, Ned. p.32, Eng. p. 17).

De Leidse fles berustte dus wel op vermoedens, hypotheses, - Kuhn zegt preparadigmatische theorieën - maar niet op een wetenschappelijk aanvaarde (paradigmatische) theorie; het is Franklin die de werking ervan verklaard en daarbij de niet-noodzakelijkheid van de flesvorm en van het glas vaststelde. Kuhn stelt zelfs dat Franklin de Leidse fles voor het eerst als een condensator opvatte (Ned. p.139, Eng.p.118), maar in welke mate is dit niet gezien door de ogen van een moderne wetenschapper? Binnen het wetenschappelijk laboratorium worden er ontdekkingen gedaan met de hulp van deze twee technische instrumenten :

"With the aid of large frictional machines and Leyden jars metal wires had been fused and the thermal effect of the electric current thus discovered. The discharge from such machines was difficult to control, and although they remained until the end of the eighteenth century the only source of electric energy available to man and were extensively used in laboratories, no commercial application could be found for them." (Mackechnie Jarvis in Singer e.a. V, 1958, p.177).

Deze elektrische machines werden niet commercieel-industrieel aangewend, maar wel als showmateriaal gebruikt om zo aan de financiële middelen te komen om het onderzoek verder te zetten :

"Both academic scientists and independent inventors were in constant straits to finance these developments. The only way it could be done was to produce anything to sell quickly, and to finance each new development from the profits of the last." (Bernal, 1969, p.612-613).

Zo werden verschillende Leidse flessen als demonstratiemateriaal gebruikt :

"Electricity became the high fashion in courts. The king of France organized the electrification of his whole brigade of guards, who were made to jump in unison by shocks from batteries of Leyden jars." (Bernal, 1969, p.602)

Het construeren van een technisch, financieel-rendabele machine was dus vereist om het wetenschappelijk onderzoek aan de gang te kunnen houden

"But the growth of electricity throughout that period had another and practical side that interacted continuously with the advance of the theory." (Bernal, 1969, p.612).

De technische innovaties zijn niet alleen noodzakelijk om het onderzoek financieel mogelijk te maken, maar ze zijn tevens zakelijk noodzakelijk : men heeft instrumenten nodig om de electriciteit te kunnen beheersen en onderzoeken. De experimenten, die aan het construeren van zulke instrumenten ten grondslag liggen zijn trial-and-error-experimenten, die terzelfdertijd kunnen dienen om wetenschappelijke ervaring op te doen. Deze experimenten waren gebaseerd op vermoedens, die zich experimenteel nog dienden te bevestigen.

"In the process of converting the discoveries of the laboratory into the products of a profitable industry, four main stages can be discerned, each concerned with a different practical utilization of the new electric principles. They were the telegraph, electroplating, arc lighting, and finally the filament lamp." (Bernal, 1969, p.613).

"Of these, the first as it demanded little current, led mainly to the improvement of batteries and receiving instruments, and thus largely to the development of electrical theory." (Bernal, 1969, p. 613).

"It is convenient to classify the various forms of electric telegraph proposed between 1750 and 1850 under three headings, according to the basis of their operation :

- (a) Telegraphs employing static electricity
- (b) Electrochemical telegraphs
- (c) Electromagnetic telegraphs

This classification serves to indicate how the development of the telegraph was influenced and stimulated by the discoveries of Galvani, Volta, Ampère, and others in the basic science of electricity." (G.R.M. Garratt in Singer e.a., IV, 1958, p. 649)

Er waren vele voorstellen om telegrafen, gebaseerd op statische electriciteit te gebruiken. Ze werden echter nooit op grote schaal in de praktijk omgezet. De voorgestelde telegrafen, die soms experimenteel beproefd werden, gebruikten naast de reeds vermelde elektrische apparatuur - de wrijvingsmachines en de Leidse fles - apparatuur die Stephen Gray ontwierp :

"Among Gray's many experiments were a number carried out in the summer of 1729, in which he showed that electric charges could be transmitted along such materials as moistened pack-thread and brass wire but not along silk threads, glass rods, or sticks of resin. In the course of his experiments, he succeeded in transmitting electric charges to a distance of nearly 300 yds., and it is of interest to note that, in so doing, he had in fact set up all the essential elements of an electric telegraph : a source of electricity at the sending-end, an insulated line, some form of indicator at the receiving-end (Gray used a down feather), and an earth-return circuit, although the function of this last was not suspected at the time." (Garratt in Singer e.a., IV, 1958, p. 648-649)

Stephen Gray's experimenten worden wel geleid door vermoedens, maar deze zijn geen zuiver-wetenschappelijke. De wetenschappelijke electriciteitstheorie werd slechts later door Franklin opgesteld. Gray's experimenten behoren tot "preparadigmatische" onderzoekingen ; zijn doel is ook technologisch, namelijk het beheersen van elektrische stroom.

"In the closing years of the eighteenth century, the work of Galvani and Volta was responsible not only for introducing a completely new era in the field of electric telegraphy but for laying the essential foundations upon which the practical application of electricity was to be built." (Garratt in Singer e.a., IV, 1958, p. 652).

De Italiaan Galvani, die professor in anatomie was te Bologna, ontdekte in 1791 wat hij "dierlijke electriciteit" noemde, namelijk de spieren van dieren trekken samen wanneer ze in contact worden gebracht met een electrisch apparaat. In 1795 toonde Volta experimenteel aan hoe hij electriciteit kon produceren, zonder dierlijke weefsels, door eenvoudig twee stukken metaal samen te brengen met vloeistof of met een vochtige doek ertussen. Hij maakte zo de eerste electrische batterij, die door William Cruikshank op punt werd gesteld. Door het laboratoriumwerk van Galvani en Volta werd electriciteit onder lage spanning beschikbaar, en dit bevorderde het ontstaan van nieuwe communicatiemiddelen. De verschillende voorstellen die gedaan werden om electrochemische telegraphen te maken waren echter van geen praktisch nut.

Aan de derde soort telegraphen, de electromagnetische, lag een observatie ten gronde, gedaan door Hans Christian Oersted in de winter van 1819-1820. Hij observeerde dat een magnetische naald afweek wanneer erboven een electrische stroom door een draad vloeide. Enkele maanden later maakte J.S. Schweigger melding van de ontdekking van de galvanometer, die zeer belangrijk was voor de telegrafie. Hij nam waar dat een magnetische naald in een richting uitweek wanneer een electrische stroom erboven vloeide, en in een andere richting wanneer de stroom eronder vloeide. Hij vond ook dat hij een bijna tweemaal zo grote afwijking bekwaam wanneer hij terzelfdertijd stroom boven en onder de magnetische naald liet vloeien. De afwijking verdubbelde weer wanneer men de draad eens extra rond de naald draaide, en werd zesmaal de originele afwijking bij een derde omwikkeling van de naald.

Baron Schilling, die ook reeds voorstellen voor een electrochemische telegraaf had geformuleerd, experimenteerde voor het eerst rond 1822 met deze galvanometerafwijkingen als letterindicator voor de telegraaf. Hij deed echter tot 1836 geen serieuze poging om deze electromagnetische telegraaf praktisch te gebruiken. Zijn instrument werd via het exemplaar van Moncke, professor in Heidelberg, gezien door William Fothergill Cooke. Na april 1836 wijdde Cooke zijn ganse leven

aan het opbouwen, zowel technisch als industrieel, van een degelijk telegraafstelsel. Wanneer hij moeilijkheden had met de werking van de electromagneten riep hij de hulp in van Charles Wheatstone, professor in "natural philosophy" aan het King's College te Londen. Samen bouwden ze verschillende indicatorsystemen op. Door middel van 5 naalden kon men door hun afwijking de verschillende letters van het alfabet aanduiden. Ook één naald kon gebruikt worden, maar daarbij moest men met een code werken. Cooke en Wheatstone stichtten samen de Electric Telegraph Company.

"With the founding of the Electric Telegraph Company, Cooke continued to be fully employed with the commercial development and its ever-extending lines, and he was far too busy to undertake any major technical developments. Wheatstone, however, with his academic background, had opportunities for making technical progress, and for many years he continued to devise new and improved forms of telegraphic apparatus." (Garratt in Singer e.a., IV, 1958, p. 659)

De vraag naar de noodzakelijkheid van "wetenschap" voor het ontstaan van de telegraaf wordt door Garratt niet beantwoord; hij stelt wel het volgende:

"The Cooke and Wheatstone telegraph is an example of an invention that evolved more or less logically from previous discoveries and inventions. It was consequently founded upon well tried and established principles, and its success was substantially due to these circumstances. By contrast, the telegraph invented by Samuel Morse about 1835 was original, but as he was technically inexperienced his instrument was crude and unpractical." (Garratt in Singer e.a., IV; 1958, p. 659-660)

Blijkbaar is het min-of-meer-logisch-gevolg-zijn uit voorafgaande ontdekkingen en uitvindingen voldoende voor een uitvinding om gebaseerd te zijn op goed geprobeerde en gestaafde principes. Is dit omdat de voorafgaande ontdekkingen en uitvindingen zelf gebaseerd zijn op vastgestelde principes? Dit is niet zo! Daar electriciteit reeds lang als eigenschap van materie bekend was, maar men ze nog niet kon beheersen, theoretisch en praktisch begrijpen, is het niet verwonderlijk dat de gemaakte ontdekkingen een grote toevalligheidsgraad bezitten. Electriciteit werd zowel vanuit technologisch als zuiver-wetenschappelijk standpunt bestudeerd. Men maakte hiervoor hypothesen die zich in experimen-

teel onderzoek dienden te verifiëren. Voor dit experimenteel onderzoek had men technische apparatuur nodig. Deze apparatuur werd ontworpen naar bepaalde vermoedens die men had over de kenmerken van electriciteit. De Leidse fles bijvoorbeeld is ontstaan uit de vooropstelling dat electriciteit een vloeistof is .. In het zoeken naar de kenmerken en de beheersing van electriciteit maakt men toevallige ontdekkingen. De ontdekkingen en uitvindingen die de Cooke-en-Wheatstone-telegraaf voorafgaan zijn dus zelf niet gebaseerd op vastgestelde principes. De vermoedens, die eraan ten grondslag liggen, worden slechts principieel doordat ze "gefilterd" worden, opgebouwd worden uit reeds vooraf bestaande technieken. Het is door het slagen van technische vernieuwingen dat bepaalde vaststellingen een principieel karakter krijgen. Principes worden niet toegepast; ze worden uit slagende technieken opgebouwd. De telegraaf is een produkt van technologisch laboratoriumonderzoek : men zoekt doelbewust naar dit communicatiesysteem. In dit onderzoek en het voorafgaande onderzoek worden principes, of beter regelmatigigheden, verbanden tussen fenomenen waargenomen.

Na 1850 werd de telegraaf op grote schaal praktisch toegepast. Een probleem dat erbij optrad, namelijk de isolatie van de draden, werd experimenteel opgelost. De automatische telegraaf werd uitgevonden; hierbij gebruikte men een systeem met geperforeerd papier. Ook legde men telegraaflijnen onder zee.

De eerste praktische elektrische telefoon werd gemaakt door J. Philipp Reis in 1861, maar "this does not appear to have been more than a scientific toy" (C. Mackechnie Jarvis in Singer e.a., V, 1958, p. 226). Het was technisch speelgoed voor wetenschapsmensen. Het werk van Alexander Graham Bell wordt over het algemeen beschouwd als gebaseerd op de onderzoekingen van de Duitse fysicus en fysioloog, Hermann Helmholtz, die gedurende vele jaren de reproductie van geluid bestudeerde en een apparaat uitvond om de klinkergeluiden van het menselijk strottehoofd kunstmatig voort te brengen. In 1876 ontwierp en patenteerde Bell zijn uitvinding. Bells uitvinding ligt blijkbaar op het werkterrein van de

bionica :

"Het werkkerrein van de bionica is het bestuderen en realiseren van kunstmatige systemen, in het bijzonder van machines, gecopieerd naar levende voorbeelden of erop geïnspireerd : dat is de definitie, hiervoor van de bionica gegeven." (Gérardin, 1968, p.41).

De copiëring van levende systemen blijkt echter zo goed als niet voor te komen :

"De biologische systemen, zelfs de eenvoudigste, zijn zeer complex, eindeloos complex kan men wel zeggen en bovendien verlopen ze niet altijd in een rechte lijn. Vaak zijn er veel reactiekringen, hiërarchisch geordend, zich veelal zo gedragend dat ze zich aanpassen aan en rekening houden met opgedane ervaringen. ... En toch is de eerste voorwaarde, wil men machines maken op de natuurlijke systemen geïnspireerd, dat natuurlijke systeem tot in alle onderdelen te bestuderen en er de transfer van te bepalen, immers alleen maar die transfer maakt het mogelijk te voorzien, wat het gedrag van het systeem zal zijn tegenover nieuwe invoeren, nieuwe prikkels. Het is dus niet altijd mogelijk, de methode van het ontbinden van een complex systeem in eenvoudige elementen in de praktijk toe te passen, noch daaraan toe te voegen een reconstructie van het complexe gedrag, uitgaande van de elementaire gedragingen. Maar men mag een probleem niet opgeven omdat het moeilijk is. We beschikken daartoe over een machtig instrument, namelijk het gebruik van modellen, en ook over een doeltreffende werkmethode : de nabootsing, het simuleren van het gedrag van een werkelijk systeem door een model." (Gérardin, 1968, p.52).

Men maakt vereenvoudigingen van de complexe werkelijkheid; men maakt modellen. Men doet dit met een bepaalde doelstelling voor ogen. Men construeert in een model hoe iets zou kunnen verlopen en gaat van dit model de reacties na. Wanneer deze gelijk zijn aan de reacties van het gemodelleerde, dan kan A als model van B gelden onder die bepaalde omstandigheden. Bij verschil in reacties op dezelfde impulsen dient het model aangepast te worden.

Gérardin stelt hier een identiteitsrelatie :

"De theorie van de modellen gaat ervan uit dat twee organisaties (het theoretische systeem en het model) gelijk zijn als ze na gelijke impulsen gelijk reageren." (Gérardin, 1968, p. 54).

Dit is niet alleen een conventie, maar men herleidt hierbij de identiteitsrelatie tot het gelijk stellen van voldoende gronden voor eenzelfde fenomeen. Er is een verschil bijvoorbeeld in het wassen van een auto door middel van emmers water of door middel van een waterslang. Men laat zowel water in de emmers als in de waterslang lopen; men brengt beide in de nabijheid van de auto:

de impulsen zijn dus gelijk. Ook de reactie is gelijk : de auto is nat. A is identiek aan B wanneer ze dezelfde voldoende gronden, maar ook dezelfde noodzakelijke voorwaarden hebben.

Helmholtz maakte een model van het menselijk strottehoofd met als doelstelling een klankreproducerend instrument te maken. Helmholtz en Bell hebben niet de mens bestudeerd om te weten hoe hij nu juist is, hoe het gehoor en het spreken van de mens verloopt. Ze hebben een model ervan gemaakt. Het wetenschappelijk onderzoek dat gedaan is behoort tot de modelwetenschap. Het is duidelijk gedaan met een technologisch doel voor ogen.

Aan de draadloze telegraaf liggen de ontdekkingen van Heinrich Hertz in 1888 ten gronde :

"The Berlin Academy of Science was offering a prize for certain work in the field of electromagnetics and Helmholtz suggested his young protégé that he take a stab at it. Hertz, who by then had a professorial position at a school in Karlsruhe, got to work without too much enthusiasm, but in the course of that work he succeeded, in 1888, in finding something that went far beyond anything for which he had been searching. He had set up an electrical circuit that oscillated, surging into first one, then another, of two metal balls separated by an air gap. Each time the potential reached a peak in one direction or the other, it sent a spark across the gap.(...) With such an oscillating spark, Maxwell's equations predicted, electromagnetic radiation should be generated." (Asimov, 1964, p. 495).

Maxwell stelde zijn vergelijkingen op aan de hand van de toen gekende elektrische fenomenen en de daarin opgemerkte verbanden. Hertz heeft bepaalde apparatuur opgesteld zonder zich bewust te zijn daarmee de theoretische vaststellingen van Maxwell te kunnen verifiëren. Hertz deed aan theoretisch onderzoek op het gebied van electromagnetica. Zijn ontdekkingen zijn echter toevallig. Hij onderzocht ook het onbekende. Dit onderzoek kon evengoed - gezien de toevalligheid van zijn ontdekking - vanuit een technologisch standpunt ondernomen zijn. Het zuiver theoretisch standpunt is dus niet noodzakelijk voor Hertz' ontdekkingen.

"Electroplating, on the other hand, called for heavy currents and put a premium on the use of some forms of mechanically generated electricity. This led to the first applications of Faraday's principle, but one which employed only permanent magnets (Pixii's machine) and was thus weak and inefficient. Further, the demand of the electroplating could never be very extensive." (Bernal, 1969, p.613).

Volgens Asimov (1964) was het Johann Wilhelm Ritter, die de methode voor het galvanisch verzilveren (electroplating) in 1800 ontdekte :

"He also announced that if a current was passed through a solution of copper sulphate, metallic copper could be made to plate out. This was the beginning of electroplating." (Asimov, 1964, p.248).

Daar Faraday in 1800 negen jaar was, is het onmogelijk dat deze methode een toepassing van Faraday's principe was. Het kan ervoor wel een voorbeeld avant la lettre zijn. Pixii's machine was de eerste praktische toepassing van Faraday's waarnemingen, namelijk dat magnetisme omzetbaar was in elektriciteit. Het omgekeerde was reeds door Oersted experimenteel aangetoond. Deze waarnemingen van Faraday gebeurden bij experimenten, die opgezet waren om bepaalde vermoedens die hij had na te gaan :

"Michael Faraday (1791-1867), working in the laboratory of the Royal Institution, not only confirmed Oersted's experiments but reasoned that, if a pivoted magnetic needle tended to move in the presence of a 'live' conductor, it ought to be possible to observe similar motion in such a conductor, freely mounted, when brought into the field of a fixed magnet. To this end, towards the close of 1821, he devised apparatus with which he was able to demonstrate both forms of movement." (Mackechnie Jarvis in Singer e.a., V, 1958, p. 178).

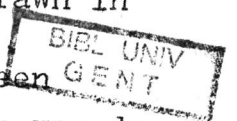
Faraday maakte zijn experimenten na een hypothetische redenering, waarbij hij rekening hield met resultaten uit waarnemingen van Oersted. Hij ontwierp daarvoor speciale apparatuur. Zijn doelstelling is zuiver wetenschappelijk : hij wenst kennis op te doen over het verband tussen electriciteit en magnetisme. Zijn redeneringen zijn gebaseerd op een denken in modellen :

"Because Faraday was uneducated, he was completely innocent of mathematics (perhaps the greatest scientist in history of whom this was true). He made up for this through his intuitive ability to pictorialize, an ability perhaps unequalled in scientific history." (Asimov, 1964, p.282).

Faraday's experimenten en beschouwingen daarover werden eerst door de wetenschappelijke wereld argwanend benaderd; ze werden door Maxwell in een mathematische vorm weergegeven :

"His theory of the lines of force (which he published in 1844) was not taken too seriously at first. However, when Maxwell came to tackle the matter of electromagnetism with precise mathematical tools, he was to end with the same picture, mathematically phrased, that Faraday had drawn in simple words." (Asimov, 1964, p.283).

Faraday's bedoeling was blijkbaar niet het opstellen van een wetenschappelijke theorie, maar het experimenteel aantonen van de



mogelijkheid om magnetisme in electriciteit om te zetten. Hij maakte daarbij gebruik van voorafgaande experimenten van Arago. De ontdekkingen en de bevestigingen van vermoedens die gemaakt worden liggen op het vlak van experimenteel onderzoek. Faraday's probleemstelling was technisch-praktisch van aard : namelijk het experimenteel omzetten van magnetisme in electriciteit. Zijn beschouwingen liggen eerder op voorwetenschappelijk, technisch-experimenteel vlak in plaats van op wetenschappelijk-mathematisch vlak. Faraday was een laboratoriumwerker, die weinig belang stelde in het mogelijk industrieel-commercieel toepassen van zijn onderzoeksresultaten. Zijn onderzoekingen passen zich in in een laboratorium-, experimenteel-praktische traditie, waarop achternakomend wetenschappelijke theorieën worden opgebouwd. In het experiment worden bepaalde vermoedens bevestigd. Deze bevestigde vermoedens kunnen gebruikt worden om theorieën op te bouwen.

De boog- en de gloeilamp zijn produkten van technologisch laboratoriumonderzoek waarbij men probeerde methodes te vinden om beter een vacuüm te creëren, geschikte metaallegeringen voor de draden samen te stellen, en goede ontstekingen te vinden.

"The role of electricity in power distribution for transport, machine driving, heat, and light, as well as its use in the telegraph and telephone, all depended on an elaboration of the original electromagnetic experiments of Oersted and Faraday, reduced to a mathematical form by a generation of theoretical physicists, culminating in Maxwell. No radically new physical idea had, in fact, been added since 1831."
 (Bernal, 1969, p.616).

Oersted ontdekte toevallig dat electriciteit magnetische eigenschappen heeft; Faraday's experimenteel onderzoek was een technisch-praktische aangelegenheid die wetenschappelijke resultaten opleverde, die echter niet zomaar aanvaard werden.

De electriciteitsindustrie in deze periode is gebaseerd op experimenteel laboratoriumonderzoek, waarin men ofwel bepaalde zaken experimenteel-praktisch wil aantonen, ofwel toevalsontdekkingen doet. De zuiver wetenschappelijke theorie, die slechts in de kiem bestond, speelde hierin enkel de rol van opwekker van vermoedens - zelf is ze gebaseerd op experimenteel bevestigde

vermoedens. Aan de zuiver wetenschappelijke theorie ligt er een denken ten grondslag, waarop de laboratoriumonderzoeker bouwt, waarop hij verder denkt, waarop hij zijn experimenten opbouwt. Faraday is hiervoor een geschikt voorbeeld. De zuiver wetenschappelijke doelstelling - het verwerven van wetenschappelijke kennis, los van elke praktische doelstelling - lijkt hier een bijkomende, maar niet noodzakelijke rol te spelen. De wetenschappelijke theorie is een "filtrering" van een praktisch denken : uit dit denken worden de praktische doelstellingen geëlimineerd, en soms andere verbanden beklemtoond. Wetenschap is echter ook nog zijn eigen gang gegaan.

x

x x

3. Besluit 1850 - 1900

In deze periode - waarin ik slechts twee, maar toch relevante industrieën heb onderzocht - blijkt het laboratorium het werkterrein bij uitstek te zijn voor de innovator van wetenschappelijk-belangrijke technieken. In het laboratorium worden experimenten gemaakt, waarvan de uiteindelijke doelstelling ligt op technologisch - het verkrijgen van bruikbare kennis of technieken - of zuiver wetenschappelijk vlak - het verkrijgen van zuivere, doel-vrije kennis. Aan deze experimenten, laboratoriumwerkzaamheden, liggen zowel een praktisch weten, dat de interne handelwijze begeleidt, als theoretische vermoedens ten grondslag. Van dit praktisch weten is men zich niet steeds bewust. De concrete handelingen "zijn niet wat de wetenschapper ziet - in ieder geval niet voordat zijn onderzoek behoorlijk gevorderd is en zijn aandacht zich heeft toegespitst." (Kuhn, 1970, Ned. p. 147, Eng. p. 126). De theoretische vermoedens betreffen de praktische succesvolheid van de handelingen, de bereikbaarheid van het gestelde doel langs de uitgestippelde weg. Men heeft hier duidelijk een hypothetisch denken. De aard van de gemaakte hypothesen hangt af van het uiteindelijke doel, van de uiteindelijke kennis, die men wenst. De aard van de laboratoriumwerkzaamheden, van de gekozen technieken wordt

grotendeels bepaald door deze theoretische hypothesen. Het uiteindelijke, technologische of zuiver wetenschappelijke, doel bepaalt dus in grote mate de technieken, de concrete handelingen van de laboratoriumonderzoeker.

De hypothesen kunnen in een model vervat zitten. Modellen hebben noodzakelijk een hypothetisch karakter. Ze blijven dit gedeeltelijk behouden ook na experimentele bevestiging van hun inherente stellingen. Modellen zijn echter niet noodzakelijk voor het praktisch-technisch experimenteel weten. Dit laatste blijkt onder andere uit Perkins' ontdekking van de synthese van anilinepurper. Een bepaald model kan niet enkel vervangen worden door andere modellen, maar ook door een (fenomenologisch) nauwgezette zakelijke beschrijving van de handelingen, waarbij men de redenen en doelstellingen aangeeft. Hypothesen moeten ook niet in modellen vervat zitten om praktisch bruikbaar te zijn. Modellen hebben een voorwaardelijk karakter : ze worden opgebouwd met een bepaald doel voor ogen. De modellen, die het experimenteel onderzoek beïnvloeden, bepalen de daarin gebruikte technieken.

Het slagen van de experimenten geeft aan de daarin geïncorporeerde vermoedens een principieel karakter. Na het slagen van bepaalde experimenten worden de daarin aangewende methodes en "principiële vermoedens" bij aanverwante onderzoeksobjecten gebruikt. Het zoeken van Graebe en Liebermann om alizarinen te synthetiseren was geïnspireerd door de gelukte synthese van anilinepurper door William Perkin. Volta's experimenten houden verband met Galvani's vaststellingen van "dierlijke electriciteit". Kuhn zou de succesrijke methode paradigmatisch noemen. Uit deze vaststellingen, die principieel geworden vermoedens zijn, filtreert de wetenschapsmens zuiver-wetenschappelijke modellen. Hij legt daarbij andere globale verbanden tussen de verschillende vaststellingen. Hij elimineert daarbij de praktische doelstellingen, die bij het oorspronkelijke vaststellen aanwezig waren. Modelwetenschap is dus "uitdrukking" van een voorafgaand denken.

Kunnen vermoedens uit een voorafgaand zuiver-wetenschappelijk model een rol spelen bij technische innovaties? In deze theorie zijn ook vermoedens geïncorporeerd die zich experimenteel bevestigd hebben. Deze vermoedens werden dus reeds in een experimenteel onderzoek aangewend voordat ze een theoretisch statuut kregen. De zuiver-wetenschappelijke theorie is niet noodzakelijk voor de technische innovaties. Als de theorie aanleiding geeft tot andere vermoedens dan degene waaruit ze zelf voortkomt, dan is dit enkel het gevolg van een intuïtief-creatief maar toch op de zaken betrokken denken.

Modelwetenschap is toepasbaar omdat in haar een voorwetenschappelijk, praktisch denken geïncorporeerd is. Dit blijkt ook zo uit het feit dat zowel in technologisch als zuiver-wetenschappelijk laboratoriumonderzoek het dikwijls toevallig is dat men ontdekkingen doet of verbeteringen aanbrengt aan bestaande technische processen. Het niet in de theorie voorziene is het niet uit de praktijk "gefiltreerde" daar het nog niet in de praktijk aanwezig was. J.D. Bernal, die nu juist wel de noodzakelijkheid van wetenschap voor techniek meent te kunnen stellen, heeft dan ook moeilijkheden met de toevalsontdekkingen - ook al duidt hij een oplossing aan voor moeilijkheden op een ander gebied :

"It is interesting to reflect on the sequence of apparently accidental discoveries that led to this stage of knowledge. At first sight it seems to reinforce the idea that science is entirely unpredictable and depends entirely on purely chance discoveries. Actually, now that we know the character of some of the relations between different aspects of Nature, we can see that it must have been extremely difficult in the long run not to have hit upon them in one way, if not in another. ... The difficulty in science is often not so much how to make the discovery but to know that one has made it. In all experiments there are a number of effects, produced by all kinds of extraneous causes, which are not in the least significant, and it requires a certain degree of intelligence or intuition to see which of them really mean anything. This is particularly so when there is nothing in existing theory to make one expect such events to happen, and even more so when, as is often the case, there appear to be perfectly good reasons for not expecting them." (Bernal, 1969, p.607-608)

Bernal's argument dat men hoe dan ook op de ontdekkingen moest stuiten die men toevallig maakt, is geen argument tegen het toevalligheidskarakter van deze ontdekkingen. Hij bevestigt

zelf het niet-in-de-theorie voorziene van deze ontdekkingen. Ze moesten dus steeds zonder de theorie gemaakt worden. De toevalligheidsgraad van deze ontdekkingen kan wel erg klein zijn : men onderzocht aanverwante fenomenen. Toevalsontdekkingen bieden geen argument voor het afschrijven van geplande wetenschap.

x

x x

G. De Twintigste Eeuw

De twintigste eeuw heb ik niet gedetailleerd onderzocht. De basiswerken van Bernal (1969) en Singer e.a. (1954-1958), die ik voor mijn historisch onderzoek heb gebruikt, laten me hier in de steek. Singer en zijn medewerkers behandelen deze periode niet. Hun reden daarvoor is dat dit erg veel werk zou opleveren. Bernal besteedt wel uitgebreid aandacht aan de twintigste eeuw, maar stelt :

"Modern industry is permeated by science, and in certain lines, such as electricity and chemistry, it is largely a scientific creation. It is therefore no longer relevant, as it was in earlier times, to describe the specific characters of industry and to follow with their influence on scientific thought. The degree of inter-penetration is already too great."
(Bernal, 1969, p. 711-712)

Hij tracht in plaats daarvan het algemene karakter van de "technologie" weer te geven, en besteedt de rest van zijn aandacht aan het opmaken van de status-quo van de verschillende wetenschappen, die hij soms illustreert met technische uitvindingen die ermee in verband staan. Mijn behandeling van de twintigste eeuw beperkt zich tot het nazien van de algemene kenmerken die worden aangeduid.

De uitgevers van "A history of technology" schrijven in hun woord vooraf van het vijfde volume, dat het voor het eerst vanaf 1900 is dat abstract wetenschappelijk denken, dat uitgevoerd is zonder zich voor haar praktische gevolgen te bekommeren, een beheersing van de natuurlijke middelen als een bijkomstige beloning opleverde. Eerst na 1900 zou zuivere wetenschap technologische gevolgen hebben. Dit betekent niet alleen dat voor 1900 dit niet zo was, maar ook dat er hier historisch een omchakeling van de verhouding tussen zuivere wetenschap en techniek zou plaats gevonden hebben. Singer en zijn medewerkers, die de twintigste eeuw niet hebben onderzocht en er slechts een losse gedachte aan besteden, worden echter tegengesproken door Bernal en James Kip Finch die hun stellingen daaromtrent met argumenten gedeeltelijk staven.

J. D. Bernal stelt wel dat de industrie nu doordrongen is van wetenschap maar dit blijkt niet de zuivere wetenschap te zijn :

"The multifarious productions of science among which we live more and more of our lives depend largely on the use of two very general and extremely important new technological principles. The first is the availability of power in adequate quantities just where it is needed, whether in beating an egg in the kitchen, turning a twenty-ton casting in a factory, or cutting down a tree in the distant forests. This service which electric grids and the ubiquitous petrol engine provide between them is one reason for the more than five-fold increase in productivity per man hour that has been achieved in the last fifty years in the United States. The second principle, likely to be even more important in the future, is that of increase and increasingly automatic control of all industrial operations, whether mechanical or chemical."
(Bernal, 1969, p. 713)

De zogenaamde wetenschappelijke produkten hangen dus af van twee zeer algemene technologische principes. Het is duidelijk dat Bernal hier - en gezien zijn geponeerde maar soms niet volgehouden afkeer tegen het "idealistische", zuiver wetenschapsideaal - onder wetenschap technologische wetenschap verstaat. Bernal beweert dus het tegengestelde van wat Singer en zijn medewerkers beweren.

Bernal stelt dat de elektrische en chemische industrie grotendeels een wetenschappelijke creatie is. Als hij daarmee bedoelt dat de innovaties die in deze industrieën gebeurden, plaatsvonden in een laboratorium waar men een technologische doelstelling voor ogen had, waar men aan "technologise wetenschap deed", dan heeft hij gelijk. Het gebruik van de onbepaalde term "wetenschap" geeft aanleiding tot misvattingen.

"The earlier features of twentieth-century industry were more in the line of expanding and extending into new fields the devices of the nineteenth century."
(Bernal, 1969, p. 712)

"Perhaps the best example of the fact that advances in pure science alone do not insure continued industrial and economic progress and higher standards of living is reflected in the British experience of the Victorian and pre-World War II period.... While America was moving ahead through industrial "know-how" and a wider sharing of increased productivity, there was little modernization of

British industry and living standards remained largely static.... To a major degree, British scientists also retarded technological progress by what can only be characterized as a "high hat" attitude - the notion that industrial and economic applications can be left to technicians and other "navvy" (i.e. 'laborers') occupations. (James Kip Finch, 1961, p. 327-328)

Het zou volgens Finch dus zo zijn dat wetenschap niet voldoende is voor voortdurende industriële en economische vooruitgang en een hogere levensstandaard. Ook een bepaalde wetenschap - namelijk de zuivere die niets met de praktijk te maken wil hebben - is niet noodzakelijk voor technische innovaties. Finch beweert ook dat er een verandering heeft plaatsgevonden in de verhouding tussen wetenschap en techniek, een verandering die echter niet dezelfde is die Singer en zijn mede-uitgevers kortweg aanduiden :

"World War I however, had resulted in a remarkable change in the relationship of science to engineering and industry in the United States...While invention had long been regarded as the key to material progress, about this time scientific research began to be thought of as the key of invention. Two developments furthered this identification, namely, the rise of organized, industrial-scientific research in the chemical and electrical industries, and the need for more extensive and exact design procedures in the older branches of engineering. Earlier inventions had come about, it has been said, through the marriage of an inventive idea with the means for its realization ; the idea came first, a search for means followed." (Finch, 1961, p. 328)

De verandering die Finch aanduidt is het beginnen aanzien van wetenschappelijk onderzoek als de sleutel voor de uitvinding. Maar dit wetenschappelijk onderzoek is technologisch-industrieel laboratoriumonderzoek, niet zuiver-wetenschappelijk onderzoek. Ook ontwerpt men exacte en kwantitatieve technieken en ontwerpprocedures. De mathematica, die hier speciaal voor deze doeleinden wordt ontworpen, neemt een zeer eigen positie in ten opzichte van de andere wetenschappen.

De stelling die zich in het historisch onderzoek van voorafgaande perioden aftekent, namelijk dat een zuivere wetenschappelijke theorie niet noodzakelijk is voor techniek, en dat ze temporeel na technische innovaties wordt aangeduid,

krijgt bij de uitvinding van de nucleaire bom nog eens een bevestiging :

"Consider for example the matter of nuclear technology. It could hardly be claimed that this has developed without roots in contemporary science. And yet there is no theory of the atomic nucleus. The empirical facts themselves, as unravelled in the laboratories, forced the concept of fission upon the scientific consciousness, and the bomb and reactors were built without a theoretical understanding of the fission process."

(Milton Kerker, 1961, p. 389)

Hier blijkt duidelijk dat het een voorwetenschappelijk praktisch weten is, en niet de zuiver-wetenschappelijke theorie, dat ten grondslag ligt aan technische innovaties.

x

x x

H. Besluit historisch onderzoek

Het historisch onderzoek bevestigt mijn theoretische uiteenzetting over de verhouding tussen objectieve wetenschap en technische innovatie : objectieve wetenschap speelt geen rol bij het ontstaan van technische innovaties. Dit blijkt ook waar te zijn geweest in de geschiedenis.

De voorstellingen van de auteurs wat de periode(s) betreft waarin wetenschap een (noodzakelijke) rol begint te spelen bij het ontstaan van nieuwe technieken (zie p. 47-49), zijn dan ook verkeerd wanneer ze onder wetenschap objectieve wetenschap verstaan.

Feibleman, (1961, p. 313) die het einde van de 18de eeuw aanduidde als het tijdstip waarop wetenschap een rol ging spelen bij technische innovaties, verstaat hieronder duidelijk het toepassen van zuivere wetenschap. De ontstaansgronden van de technische innovaties tijdens en voor de industriële revolutie liggen niet in de zuivere wetenschap.

Peter Mathias (1972, p. 78) stelde dat het voornamelijk na 1850 was dat voor het grootste deel "formal applied science" aanleiding gaf tot technische innovaties. Als hij onder "toegepaste wetenschap" het toepassen van zuivere wetenschap verstaat, is hij verkeerd, wanneer hij daarmee bedoelt dat het de zuiver-wetenschappelijke theorie is, - en niet het in haar geïmpliceerd praktisch weten -, die toegepast wordt. Wanneer hij echter onder "toegepaste wetenschap" een technologisch doelgerichte wetenschap verstaat, waarin laboratoriumonderzoek met technologische doelstellingen wordt uitgevoerd, dan heeft hij gedeeltelijk gelijk. Voor 1850, namelijk in het begin van de 18de eeuw deed Réaumur reeds zo'n onderzoek. Zijn inzichten verwierf hij echter wel in de praktijk. Tijdens de industriële revolutie zijn reeds verschillende technische innovaties het resultaat van technologisch laboratoriumonderzoek, innovaties die geïnitieerd werden door toevalsontdekkingen die binnen het laboratorium plaatsvonden. Als Mathias bedoelt dat na 1850 de technische innovaties bijna uitsluitend

in laboratoria ontstaan, dan kan hij gelijk hebben. (Hierover kan ik niet oordelen, gezien mijn gedeeltelijk onderzoek van de periode na 1850).

In de synthetische kleurstofindustrie, die door Kuhn en vermoedelijk ook door Multhauf en Brooks wordt aangeduid als de eerste industrie waarin wetenschap een rol speelde, blijkt dat de zuivere wetenschap geen noodzakelijke rol speelde bij het ontdekken van nieuwe synthesesmethodes. Wetenschappelijke modellen spelen hierin wel een rol, maar dit enkel omdat ze een (niet-noodzakelijke) weergave van praktisch-experimentele kennis zijn. Ook in de electriciteitsindustrie is dit zo. De rol die deze modellen spelen is daarbij nog zeer *miniem*, en zeker niet voldoende : de praktisch-buikbare kennis moet weer verworven en "handelbaar" gemaakt worden.

Finch verstaat onder wetenschappelijk onderzoek industrieel-experimenteel onderzoek. Hij duidt de eerste wereldoorlog aan als de periode waarin men begon te beseffen dat industrieel-wetenschappelijk onderzoek de sleutel was voor het uitvinden. Het is sterk betwifelbaar of dit toen maar was; voordien deed men reeds bewust aan technologisch laboratoriumonderzoek : Réaumur bijv oorbeeld zocht reeds in het begin van de 18de eeuw bewust in zijn laboratorium naar een staalproductieprocédé . . . Dat men tijdens de eerste wereldoorlog pas maatschappelijk de waarde van zulk onderzoek beseftte is ook betwifelbaar.

Ook al zou Daniel Alpert onder wetenschap technologisch laboratoriumonderzoek verstaan, dan nog zou zijn uitspraak, dat het slechts na de tweede wereldoorlog is dat men op grote schaal en weloverwogen wetenschap toepaste op technologie, verkeerd zijn. Reeds in de periode 1850-1900 blijkt men dit grotendeels te doen.

Gaat het hier over een plotselinge doorbraak van de wetenschap waarna ze een definitieve rol ging spelen bij technische innovaties, zoals Thomas Kuhn expliciet stelt, of heeft Bernal gelijk ? Bernal beweerde dat er in de geschie-

denis vijf periodes waren, waarin de scheiding tussen theorie en praktijk werd opgeheven, en dat zodoende de stimulatie van wetenschap op techniek en omgekeerd mogelijk werd. Vooraleer hierop te antwoorden moet men weten wat beiden onder wetenschap verstaan. Thomas Kuhn is duidelijk een verdediger van het zuiver wetenschapsideaal. Hij stelt in zijn boek "The structure of scientific revolutions" normale wetenschap voor als het oplossen van puzzels. Daarbij beweert hij :

"Het is geen criterium voor de kwaliteit van een puzzel dat de uitkomst ervan op zichzelf interessant of belangrijk is. Integendeel, de werkelijk urgente problemen, bv. een geneesmiddel voor kanker of het creëren van een duurzame vrede, zijn vaak helemaal geen puzzels, voornamelijk omdat er best eens helemaal geen oplossing voor kan bestaan."
(T. Kuhn, 1970, Ned. p. 53-54, Eng. p. 36-37)

Bernal daarentegen stelt zich expliciet voorstander van het technocratisch wetenschapsideaal, maar blijkt zijn verguizing van het zuiver wetenschapsideaal niet steeds consequent vol te houden. Bernals wetenschapsbegrip is te vaag. Hij weigert blijkbaar te definiëren omdat hij anders in moeilijkheden komt. Aan de prehistorische technieken ligt er kennis ten grondslag, die niet wetenschappelijk is, zelfs niet in de technocratische betekenis van het woord wetenschap. Bij de Grieken is het zo dat techniek ten grondslag ligt aan het ontstaan van wetenschap, en niet omgekeerd. Tijdens de wetenschappelijke revolutie is het ook zo dat technische innovaties er komen door ontdekkingen die op voorwetenschappelijk vlak liggen. Wel doet men hier reeds aan technologisch laboratoriumonderzoek. Bernal zou deze periode kunnen aanduiden als één waarin de technocratische wetenschap invloed heeft op de techniek. Ook hierna - tijdens de industriële revolutie en de twintigste eeuw - werd er aan technologisch laboratoriumonderzoek gedaan. Bernal heeft dus gedeeltelijk gelijk als men wetenschap in technocratische zin opvat.

Thomas Kuhn heeft ook gedeeltelijk gelijk als men onder wetenschap de zuivere modelwetenschap verstaat. Deze wetenschap speelt hier echter geen noodzakelijke rol en treedt zeker niet op als "prime mover".

Singer en zijn medewerkers, die de invloed van wetenschap op techniek als een gradueel in de geschiedenis groeiend verschijnsel aanduiden, hebben gelijk wanneer ze de technocratische wetenschapsvisie aanhangen. Na 1900 is het echter niet zo dat de objectieve wetenschap een rol gaat spelen bij technische innovaties.

x

x x

§ 8. Modelwetenschap en technische innovatie; een eerste benadering (1)

De objectieve wetenschap streeft weten omwille van het weten alleen na, zonder andere doeleinden. Streeft modelwetenschap weten na met het oog op een bepaald buitenwetenschappelijk doel? Als dit zo zou zijn, dan volgt hieruit dat objectieve wetenschap zich scherp onderscheidt van modelwetenschap. Maar wat dan met de zogenaamde zuivere modellen? Heeft Marcuse gelijk wanneer hij stelt:

"Ik ben van mening dat de algemene richting waarin de wetenschap ten slotte toegepast werd, inherent was aan de zuivere wetenschap zelfs toen men zich geen praktische doeleinden voor ogen stelde, en dat het punt waarop de theoretische Rede sociale praxis wordt, aangewezen kan worden." (Marcuse, 1964, Ned. p. 165, Eng. p. 120-121).

Is de moderne, zuivere wetenschap in wezen technologisch, op bepaalde praktische doeleinden gericht? In appendix 1, die handelt over de experimentele methode en de leefwereld, heb ik aangeduid dat men de werkelijkheid in een model moet "vervormen" om de experimentele methode en de mathematika te kunnen toepassen. Men moet de werkelijkheid een "Ideenkleid" aanpassen. Doet men op zodanige wijze aan moderne wetenschap dat men de werkelijkheid in een technologisch bruikbaar model "giet"? Dan zou de moderne wetenschap niet objectief zijn! Dit blijven (voorlopig) open vragen. (2) Deze zijn een bijkomende reden waarom deze paragraaf

(1) De oorspronkelijke bedoeling was in deze paragraaf, buiten een meer uitgebreide behandeling van deze verhouding, ook de verschillende voorstellingen en argumenten ervoor vanuit de resultaten van het historisch onderzoek te bekritisieren. Wegens tijdsgebrek - de thesiskwaal - heb ik dit niet volledig kunnen doen. Enkel Zvorikines krasse voorstelling heb ik onderzocht.

(2) Een vraag die hierbij ook door onderzoek zou moeten nagegaan worden, is wie gelijk heeft: Vermeersch of Bertels en Nauta? Volgens Vermeersch (1969) is de experimentele methode gelijk aan de Archimedische methode, namelijk zodra een wiskundige over een mathematisch apparaat beschikt, gaat hij dit als vanzelf uitbreiden tot gebieden in de natuur waarvan hij de mathematische eigenschappen evident vindt. Bertels en Nauta stellen: "Het ene genre natuurprocessen vereist een ander wiskundig taalgebruik dan andere. Er bestaat een wiskunde gedomineerd door de euclidische meetkunde, en zij overheerst tot 1609. Er bestaat een wiskunde die zich in dienst stelt van de fysica, vanaf Galileï. Van toen af aan zouden grote veranderingen in de natuurwetenschappen steeds samengaan met een positieverandering der wiskunde en omgekeerd." (Bertels & Nauta, 1969, p. 17) Volgens Bertels en Nauta zou het dus zo zijn, dat men ook speciale wiskundes ontwerpt om bepaalde natuurprocessen mathematisch te kunnen beschrijven. Voor Vermeersch zou het bijna zo zijn dat de werkelijkheid "mathematisch geschapen" is. (cfr. Einstein).

Uit het historisch onderzoek blijkt dat de modelwetenschap ontstaat ofwel uit reflekties op technische ervaringen uit de praktijk en/of het technologisch doelgericht laboratoriumonderzoek, ofwel uit eigen onderzoek. In het eerste geval bouwen de wetenschapsmensen modellen op uit het bij de innovatie gebruikte praktische weten. Dit weten wordt zodanig gemoduleerd dat de modellen zelfs niet voldoende zijn om voor de praktijk noodzakelijke kennis opnieuw op te leveren. Uit het praktisch weten wordt namelijk het doelverband geëlimineerd, en de verworven ervaringen in andere verbanden gesteld. Er is bij de toepassing van deze gemodelleerde kennis dan ook extra experimenteel of praktisch onderzoek nodig waarin de praktische ervaring dient herwonnen te worden.

In het tweede geval ontstaan de zuivere modellen uit zuiver laboratoriumonderzoek. Hier is het zo dat deze modellen ook geen noodzakelijke rol spelen bij technische innovaties. Ze zetten voorwetenschappelijke ervaringen om in modellen. Vermoedens, die praktisch bruikbaar zijn, liggen reeds op voorwetenschappelijk vlak. De modelvoorstelling ervan is niet noodzakelijk voor technische vernieuwingen en bevordert ze ook niet.

De Russische "wetenschapswetenschapper" A. Zvorikine stelt de relatie tussen wetenschap en "technologie" als volgt voor :

"The possibilities of technology depend upon the level of man's knowledge of the laws of nature.... The third feature of technology is that its development is immediately connected with the laws of natural science, whereas economic phenomena are connected with the laws of natural science through technology. Technology actually develops only to the degree to which it conforms with these laws, irrespective of whether they are used in technology unconsciously, as in its first stages of its development, or consciously, as is the case today." (Zvorikine, 1962, p. 444-446)

Niet alleen blijkt uit het historisch onderzoek dat de natuurwetenschappelijke wetten niet worden toegepast bij techniek, maar blijkt het ook zo te zijn dat deze wetten na of afzonderlijk van de technische innovaties worden opgesteld. Bewust worden ze hedentendage niet toegepast :

"Ook als zuiver theoreticus kan men de technicus niet opvatten : technische kennis bestaat er niet in, zich het bereiken van een doel a voor te stellen dan in de verzameling der natuurwetten op te sporen wat de wetten van a zijn (om daaruit af te leiden welke mogelijke oorzaken a kunnen voortbrengen). Het gestelde doel is gewoonlijk een functie. Door een eerste scheppende akt moeten voorwerpen worden uitgedacht die nergens in de natuur aanwezig zijn, maar die deze functie kunnen uitvoeren. En eens dit gebeurd is, kunnen we niet eenvoudig de reeks der natuurwetten doorlopen om noodzakelijke en voldoende voorwaarden voor deze voorwerpen neer te schrijven; natuurwetten hebben betrekking op veel algemenere en geïsoleerde eigenschappen dan degene die onze voorwerpen kenmerken. Het zal door een tweede scheppingsakt moeten gebeuren, dat de technicus enerzijds de relevante natuurwetten kiest, en anderzijds ze zo met elkaar verbindt dat ze hem kunnen inlichten over de oorzaken van zijn konkrete produktie-doelen."
(Apostel, 1958, p. 11)

Wanneer Zvorikine en ook Bernal stellen dat men onbewust de natuurwetten toepast, blijkt de natuurwetenschap, die een gedeelte van deze wetten bewust maakt, niet noodzakelijk te zijn. Natuurwetenschap blijkt - bij Apostel - enkel een verduidelijkende rol te spelen wat de oorzaken van de konkrete produktie-doelen betreft. De wetenschap blijkt echter, juist door haar esoterische taal en formules en door haar afzien van verklaringen in functie van doeleinden, het menselijk handelen niet te verduidelijken.

x

x x

BESLUIT

§ 9. Kan wetenschap zich in haar technische toepasbaarheid verantwoorden ?

Vooraleer deze vraag te beantwoorden, moet men weten wat men onder wetenschap verstaat. In het bijzonder dient men aan te duiden of men wetenschap opvat in technocratische of in zuivere zin. Op p. 16 heb ik een aantal vragen gesteld betreffende de verhouding tussen deze twee wetenschapsidealen. Het theoretisch en historisch onderzoek suggereert hierop volgende (voorlopige) antwoorden.

De vraag of de wezenlijke kern van alle wetenschap de wetenschappelijke methode is, die echter soms met een theoretisch en soms met een praktisch gezichtspunt wordt toegepast, dient negatief beantwoord te worden. De wetenschappelijke methode is een abstracte term voor zowel concrete handelingen als gedachtenexperimenten die worden uitgevoerd met als doel het verwerven van zuivere kennis. Het experimenteel onderzoek, de concrete laboratoriumhandelingen zelf - en niet de wetenschappelijke methode - liggen aan de basis van de zogenaamde wetenschappelijke technieken. Men past in de praktijk niet de resultaten toe van de wetenschappelijke methode, namelijk de wetten, hypotheses, theorieën en principes van de zuivere wetenschap. De term "wetenschappelijke technieken" is dan ook misleidend. De praktijk en de technische innovaties liggen soms aan de basis van nieuwe zuivere wetenschappelijke bevindingen, zeker niet omgekeerd.

Er bestaat een wezenlijk verschil tussen de technocratische en de zuivere wetenschapsopvatting. Van deze laatste maakt de wetenschappelijke methode - het variëren van de bestudeerde objecten - de wezenlijke kern uit. De doelstelling van de zuivere wetenschapsopvatting - namelijk het verwerven van zuivere kennis - is een noodzakelijke voorwaarde om over de wetenschappelijke methode te kunnen spreken. De concrete laboratoriumhandelingen, die deel kunnen maar niet dienen uit te maken van de wetenschappelijke methode, zijn noch noodzakelijk

noch voldoende voor de doelstelling van de technicus. Ze zijn wel noodzakelijk voor het verwerven van bruikbare kennis voor bepaalde technieken. De technocratische wetenschap is de bedrijvigheid die een mens in een laboratorium uitvoert met de technologische doelstelling voor ogen. De doelstelling, namelijk het verwerven van bruikbare kennis, is noodzakelijk om over technocratische wetenschap te kunnen spreken.

De concrete laboratoriummethodes zijn zowel subtechnieken van de wetenschappelijke methode, die als doel heeft het verwerven van zuivere kennis, als handelingen met als doel het verwerven van bruikbare kennis. Aan de hand van Marx en Heidegger heb ik aangeduid (zie p. 43) dat de doelloorzaak bepalend is voor alle andere oorzaken, dus ook voor de middelen die men gebruikt. Thomas Kuhn bevestigt dit (zie p. 148); hij stelt daarbij dat er een groot verschil kan optreden tussen de handelingen die men doet bij het verwerven van kennis over eenzelfde object naargelang de doelstelling (in zijn geval naargelang het paradigma dat men meent te bevestigen). De concrete laboratoriumhandelingen met eenzelfde object zouden dus ook (kunnen) verschillen naargelang ze uitgevoerd worden met het oog op een technologisch of zuiver-wetenschappelijk doel. Harvey Brooks stelt (zie p. 25-26) dat de zuiver-wetenschappelijke doelstelling principieel niet noodzakelijk is voor het opbouwen van de concrete subtechnieken, maar dat ze wel de geschiktste motivatie ervoor is. Ik heb toen al getracht dit laatste argument te ontkennen. Hier blijkt nu dat deze doelstelling het ontstaan van praktisch-bruikbare technieken verhindert, daar de doelstelling zodanig de concrete handelingen bepaalt, dat ze bij verschillende doelstellingen met hetzelfde materieel object (dat ook ideëel kan zijn) erg (kunnen) verschillen.

Het verschil tussen beide wetenschapsidealen drukt zich niet institutioneel uit. Aan de universiteit wordt zowel aan technologisch onderzoek gedaan, als in de industriële laboratoria aan zuiver onderzoek. Het verschil tussen beide activiteiten ligt duidelijk op het vlak van de doelstelling en de daaruit voortvloeiende gevolgen voor het concrete handelen.

De vraag of we te doen hebben met twee cumulatieve kennis-tradities, die mekaar enkel occasioneel beïnvloeden, of met slechts één cumulatieve traditie, hangt nauw samen met de vraag naar de verhouding tussen wetenschap en techniek. Vooraleer echter deze verhouding weer te geven, moet ik me afvragen of ik over "cumulatieve traditie" kan spreken. Thomas Kuhn ont-kent het cumulatieve karakter van de wetenschap. Maar in welke mate is zijn wetenschappelijke beschrijving van de wetenschap-pelijke geschiedenis zelf onderhevig aan een paradigma? De vraag naar een of meerdere cumulatieve tradities kan ik (voor-lopig nog) niet beantwoorden.

x

x x

Wetenschap is niet noodzakelijk voor het technisch han-delen in de zin van het aanwenden van een bestaand middel om een doel te bereiken. Objectieve wetenschap kan gezien haar doelvrij en doelloos weten geen invloed hebben op technische innovaties, die juist wel noodzakelijk bepaald worden door een doelstelling en doelgerichtheid. Modelwetenschap speelt geen noodzakelijke rol bij technische vernieuwingen. Modellen zijn vervormende in-corporaties van voorwetenschappelijke, al of niet praktisch bruikbare vermoedens. De praktisch bruikbare vermoedens liggen ten grondslag aan het uitvinden en ontdekken van nieuwe technie-ken. Zuivere modelwetenschap die opgebouwd is uit vaststellin-gen bij technische innovaties, speelt ook geen voldoende rol bij het creëren van nieuwe technieken : men moet o.a. de praktijk-verbanden herwinnen. De zuiver wetenschappelijke modellen wor-den geconstrueerd ofwel vanuit reflecties op het praktisch han-delen en technisch vernieuwen, ofwel vanuit eigen laboratorium-onderzoek dat uitgevoerd wordt zonder praktische doelstellingen.

x

x. x.

Zuivere wetenschap is geen noodzakelijke voorwaarde en ook geen voldoende grond voor techniek. De technisch noodzakelijke kennis ligt op voorwetenschappelijk of is verwerfbaar in

technologisch-doelgericht laboratoriumonderzoek. De vermoedens die noodzakelijk aan de technische innovaties ten grondslag liggen dienen niet, en zelfs best niet, in zuivere modellen weergegeven te worden om technisch bruikbaar te zijn. Wetenschap, opgevat als het streven naar bruikbare kennis en ook als dusdanig uitgevoerd, kan zich in de techniek verantwoorden, wanneer de doeleinden van de techniek verantwoord zijn. Wetenschap, opgevat als het zoeken naar zuivere kennis en ook als dusdanig uitgevoerd, kan zich niet verantwoorden in haar technische toepasbaarheid.

x
x x x
x x x x x
x x x x x x x

Appendix I : Experimentele methode en leefwereld§1. Het stellen van de problematiek : vertrekkend uit Paul Hazard's werk

"Puisque la matière n'était pas autre chose que l'étendue, la physique n'était pas autre chose que la mathématique. On était reconnaissant aux géomètres d'avoir donné prise sur la matière, d'avoir substitué au verbalisme - l'opium fait dormir parce qu'il a des vertus dormitives - la sécurité des calculs. Grâce à eux, on tenait la clef de tous les phénomènes de l'univers. / ... / Les mathématiques étaient une forme du savoir : en étaient-elles vraiment une forme unique ? Tout abstraire, était-ce tout connaître ? / ... / L'observations, l'expérience : voilà ce que conseillait la philosophie nouvelle ; fallait-il que la science les dédaignât ? On entendait la voix de Galilée ; et davantage encore, celle de Bacon, qui jamais ne fut oublié. / ... / Les géomètres, en partant de leur définition de la matière, avaient assuré que le vide n'existait pas ; là-dessus d'autres savants, par leurs expériences, avaient démontré que le vide existait à n'en pas douter ; et ces derniers ; pour s'être appliqués à étudier le réel, avaient trouvé la vérité vraie. Le fait. Se soumettre au fait. Tel était le devoir. / ... / Certes, disent-ils, le type idéal de la connaissance est la géométrie ; mais celle-ci nous abandonne pour se élancer dans les espaces infinis : alors nous nous tournons vers l'expérimentation, qui a force de preuves et contre-preuves, nous amène à la vérité." (Hazard, 1961, p.288-289)

"Reste que les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle font des mathématiques non pas toute la physique, comme l'avait soulu Descartes, mais l'instrument dont la physique se sert pour ses découvertes et pour ses vérifications. / ... / Accepter le concret ; l'interpréter par la raison ; vérifier par le concret cette interprétation même : c'est la loi, clairement formulée, de la science que ces équipes (de chercheurs) cherchaient obscurément à construire." (Hazard, 1961, p.293)

Hazard stelt hier een tegenstelling tussen de mathematische kennis (de geometrie) en de experimentele fysische kennis, o.a. over het al of niet bestaan van het ledige.

De geometrie vertrekt van de definitie dat de materie niets anders is dan het uitgestrekte. Tegenover deze abstracte kennis komen de aanhangers van de experimentele kennis te staan, die meer aandacht eisen voor het concrete, "de feiten".

Het merkwaardige - en voor ons problematische - hierbij is dat het kennisideaal de geometrie blijft en deze abstracte geometrie het instrument blijft waarvan de experimentele fysica zich bedient voor haar ontdekkingen en verificaties. Om het concrete te kennen zou men dus abstracte middelen moeten gebruiken of het concrete is alleen

App. I/2

baar kenbaar door middel van het abstracte. Blijft hierbij de definitie van de geometrie gelden dat de materie niets anders is dan het uitgestrekte? Of, wenst men de zekerheid van de geometrie te bereiken en beperkt men daarom juist de werkelijkheid alleen tot het uitgestrekte? Om dit te onderzoeken kunnen we best het ontstaan van de experimentele methode nagaan - de traditie waarop ze verder bouwt, het nieuwe dat ze brengt kunnen ons inzicht geven waarom men best zo wetenschappelijk handelt.

§2. Etienne Vermeersch'artikel over het ontstaan van de experimentele methode

Vermeersch stelt (p.19) dat Galileï de grondlegger is van de moderne mechanica en daardoor eveneens van de experimentele methode. Galileï heeft echter niet een nieuwe wetenschappelijke methode gevonden en deze daarna op de fysica toegepast; hij volgt slechts de werkwijze die Archimedes en anderen tot de statica en de optica hebben gebracht. Deze Archimedische werkwijze is als volgt te karakteriseren: zodra een wiskundige over een mathematisch apparaat beschikt, gaat hij als vanzelf uitbreiden tot gebieden in de natuur waarvan hij de mathematische eigenschappen evident vindt. (1)

Galileï stelt zelf herhaaldelijk dat hij een wiskundige demonstratie brengt van een reeks feiten betreffende de bewegingen van de lichamen; hij wijst erop dat dit precies hetzelfde is als wat Archimedes voor de statica gedaan heeft.

"(2°) Verder distancieert hij zich uitdrukkelijk van al degenen die hetzij op zuivere empirische wijze, hetzij volgens de methode van Aristoteles de problemen van val en worp hebben behandeld (2). Hij vindt dat hij een nieuwe wetenschap maakt omdat hij als eerste dank zij de wiskunde de problemen op redelijke wijze oplost.

(3°) Door het verloop van de betogen in de Discorsi" kan men opmaken dat hij steeds wil aantonen dat de experimenten weliswaar een belangrijke rol spelen, maar dat dit hoofdzakelijk een dienende en heuristische rol is: telkens hij een experimenteel gegeven bekomen heeft, is hij er op uit om aan te tonen dat men dit ook op basis van redenering alleen had kunnen uitmaken / ... /; deze redenering is er echter steeds een van mathematische aard en heeft alleen betrekking op de onderlinge relaties tussen de gedefinieerde concepten." (3)

(Vermeersch, 1969, p.19-20)

Volgende bemerkingen en vragen rijzen hier op :

- (1) Zijn er in deze gebieden van de natuur nog andere eigenschappen dan de mathematische ? Zo ja, waarom zijn de mathematische eigenschappen hier dan belangrijker dan de niet-mathematische ?
- (2) Waarom is in de wetenschappen die de realiteit onderzoeken de Archimedische methode (-voor Galileï-) beter dan de zuiver empirische methode ? Waarom wenst men een wiskundige theorie over delen van de werkelijkheid ?
- (3) Het experiment, het onderzoek van het concrete, is dus geen noodzakelijke voorwaarde, maar wel een voldoende grond voor het bekomen van een theoretisch gegeven.

"We hebben hoger reeds gesuggereerd dat in de elementaire statica, hydrostatica en optica het aantal empirische (of experimentele) gegevens waarop de theorie moet steunen om de relatie met de werkelijkheid te bewaren, betrekkelijk gering is. Deze gegevens krijgen daardoor het karakter van een alledaagse intuïtieve kennis ; ze worden geformuleerd in axioma's die de indruk van "vanzelfsprekendheid" geven." (Vermeersch, 1969, p.20)

De experimentele gegevens zijn dus wel een noodzakelijke voorwaarde om de relatie tussen de theorie en de werkelijkheid te bewaren, maar niet om tot een theoretisch gegeven te komen. Galileï stelde dat de mathematische redenering geen experimentele gegevens nodig heeft. Ze kan tot het zelfde resultaat komen als het experimentele onderzoek dat gebruik maakt van empirische gegevens. Is het dan zo dat, waar dit onderzoek slechts het niveau van alledaagse intuïtieve kennis kan bereiken, de mathematische redenering op hetzelfde gebied dit zelfde niveau slechts kan bereiken ? Indien niet, wat is het dan wat de mathematische redenering meer kan opleveren dan alledaagse intuïtieve kennis ?

Vermeersch geeft hierop een antwoord voor wat het gebied van de mechanica betreft :

"Bij de toepassing van de wiskundige methode op de mechanica wordt nu iets decisief nieuws gebracht : de intuïtieve ervaringskennis schiet op dit terrein in hoge mate tekort om het contact met de werkelijkheid te bewaren ; het opzettelijk beroep op de empirische gegevens via het experiment dringt zich als onmisbare noodzaak op." (Vermeersch, 1969, p.20-21)

Het nieuwe wat de toepassing van de wiskundige methode brengt is dus dat het een onmisbare noodzaak wordt om opzettelijk beroep te doen op de empirische gegevens via het experiment, en dit dan om het contact van de theorie met de werkelijkheid te garanderen.

App. I/4

Het nieuwe wat de wiskundige methode, de mathematische redenering, die geen experimentele gegevens nodig heeft, brengt, is dus dat men empirische, experimentele gegevens nodig heeft om het contact van de theorie met de werkelijkheid te garanderen.

Kan dit "de vondst" zijn van de wiskundige methode ?

Galileï stelt dat het experimentele onderzoek, dat gebruik maakt van empirische gegevens, geen noodzakelijke voorwaarde is voor het bekomen van een theoretisch gegeven. De wiskundige methode stelt dat de experimentele gegevens wel een noodzakelijke voorwaarde zijn om het contact van de theorie met de werkelijkheid te bewaren.

Hieruit zou men kunnen concluderen dat het theoretisch gegeven, door de mathematische redenering bekomen, geen contact met de werkelijkheid heeft ; maar hierbij stelt zich het probleem dat dit resultaat hetzelfde is dan dat van het experimenteel onderzoek. Dus het experimenteel onderzoek zou dan toch geen contact met de werkelijkheid geven ! Ofwel is Galileï's redenering betreffende het feit dat een mathematische redenering, die gebruik maakt van gedefinieerde concepten, tot hetzelfde resultaat kan komen als het experimentele onderzoek verkeerd. Dit laatste zou dan betekenen dat de Archimedische methode niet a priori toepasbaar is op de natuur.

Hoe uit deze problematische situatie te geraken ?

Schept de Archimedische methode misschien speciale "werkelijkheid" waarop ze toepasbaar is ? Zo ja, welke is de relatie van deze speciale "werkelijkheid" (model) tot de werkelijkheid ?

De Archimedische methode schijnt zichzelf een speciale "werkelijkheid" te creëren.:

"/... alleen de wiskundige (Archimedische) methode blijkt hier rechtstreeks naar het volwaardig wetenschappelijk experiment te leiden omdat zij automatisch enkele eisen stelt die de onderzoeker bijna noodgedwongen in de goede richting duwen : (1°) de getallen en andere wiskundige noties waarmee men werkt verliezen alle betekenis wanneer ze niet teruggaan tot preciese metingen op de gegeven objecten ; men is dus verplicht een experimentele situatie te creëren die deze metingen mogelijk maakt. Dit laatste heeft voor gevolg (2°) dat men er zich vlug van bewust wordt dat bepaalde grootheden niet kunnen gemeten worden voor men een meettechniek heeft ontwikkeld, en dat de te meten variabele hetzij moeilijk direct bereikbaar is, hetzij door andere invloeden wordt gestoord. Zo komt men er toe kunstmatige situaties in het leven te roepen die een betere kans bieden om het wiskundig model te toetsen. Het feit tenslotte (3°) dat wiskundige modellen algemene wetten formuleren die met precisie voorspelling

en interpolatie toelaten, brengt de onderzoeker spontaan tot het controle-experiment en de variatie. Dit alles kan misschien abstract en aprioristisch lijken, maar het werk zelf van Galilei illustreert deze stappen op markante wijze ; men hoeft slechts na te gaan hoe hij ertoe komt een methode uit te denken om het tijdsverloop te meten, en hoe hij via het hellend vlak tot een kunstmatige situatie komt die storingen uitschakelt en variatie toelaat. Het is bovendien van decisieve betekenis (4°) voor de ontwikkeling van het cumulatieve experiment dat zowel onverwachte (negatieve) als verwachte uitslagen nauwkeurig kunnen geformuleerd worden en op hun belang getoetst, zodat ze kunnen bijdragen tot de verbetering van het theoretisch model." (Vermeersch, 1969, p.21)

De Archimedische methode is dus toepasbaar omdat ze een speciale "werkelijkheid" creëert waarop ze toepasbaar is. Onderzoekt men dan nog de werkelijkheid ?

§3. Edmund Husserl : Galilei's mathematisering van de natuur
(§ 9 uit de "Krisis")

Iemand die op de voorafgaande vragen een antwoord geeft, is Edmund Husserl in zijn werk "Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie".

Husserl wenst in de negende paragraaf van dit werk alle 'vanzelfsprekendheden', vooroordelen van Galilei, die de idee van een mathematische natuurkennis motiveren, aan het licht brengen.

Eerst gaat hij ophelderen wat in Galilei's beeld van de mathematika impliciet besloten was. De geometrische figuren zijn limietfiguren - dus in de reële praktijk onbereikbaar - van een praktisch-technisch vervolmakingsproces van concrete zaken. In de mathematische, ideële praxis bereiken wij wat ons in de empirische praxis ontbreekt, nl. exactheid. Door middel van enkele elementaire figuren en operaties kan men alle überhaupt uitdenkbare ideële figuren **konstrueren**. Dit wijst terug op de methodiek van de praktische meetkunde :

"Die Messkunst entdeckt praktisch die Möglichkeit, gewisse empirische Grundgestalten, an faktisch allgemein verfügbare empirisch - starren Körpern konkret **festgelegt, als Masse auszuwählen** und mittels der zwischen ihnen und anderen Körper - Gestalten bestehenden (bzw. zu entdeckenden) Beziehungen diese anderen Gestalten intersubjektiv und praktisch eindeutig zu bestimmen - zuerst in engeren Sphären (z.B. in der Feldmesskunst), eben sodann für neue Gestaltsphären." (Husserl, 1936, p.25)

Waar zulk een methodiek uitgebouwd wordt, hebben we dan ook de relativiteit van de subjectieve opvattingen overwonnen, die nu een-

maal wezenlijk is aan de empirisch-aanschouwelijke wereld. De moeilijkheid om tot zulk een methodiek voor een concrete natuurkennis te komen ligt hierin : de specifieke zintuiglijke kwaliteiten (Sinnesqualitäten) zijn niet direct zo te behandelen als de figuren zelf. Er is hier geen exacte meting, geen vermeerdering in exaktheid en in meetmethoden mogelijk.

Hoe kon Galileï op de gedachte komen dat alles wat zich in de specifieke zintuiglijke kwaliteiten als reëel toont zijn mathematische index zou moeten hebben in verbondenheid met de vanzelfsprekend reeds geïdealiseerde gestaltsfeer ? Zo zou dan ook een indirecte mathematisering mogelijk zijn : alle voorvallen aan de kant van de zintuiglijke kwaliteiten, van de inhouden zouden ex datis te konstrueren en daardoor objektief te bepalen zijn. Er moeten meetmethoden zijn voor alles, wat de geometrie, de gestaltenmathematika in hun aprioriteit en idealiteit omvat. De ganse, concrete wereld moet zich als mathematiseerbaar-objektief aantonen, wanneer we enkele eenvoudige ervaringen nagaan en de passende meetmethoden creëren. Dit is de Galileïsche 'vanzelfsprekendheid' van een universele aanwendbaarheid van de zuivere mathematika. Hierbij dient men te letten op het feit dat in elke aanwending op de aanschouwelijk gegeven natuur, de zuivere wiskunde haar abstractie van de aanschouwelijke inhouden moet laten vallen, terwijl zij het geïdealiseerde van de figuren onberoerd laat. Dus heerst er een universele inductiviteit in de aanschouwelijke wereld. Deze volstrekt niet-vanzelfsprekende hypothese ten opzichte van de ontoegankelijke **faktische** structuur van de concrete wereld werd door Galileï niet als zodanig verstaan : een fysika was voor hem weldra zo zeker als de tot dus verre zuivere en aangewende mathematica. Deze natuurwetenschappelijk-fundamentele hypothese, alhoewel ze proefondervindelijk goed blijkt, blijft hypothese ; het enige bewijs, dat geschikt is voor haar, is een oneindige reeks van bewijzen.

Door het opstellen van formules overstijgt de natuurvorser de relativiteit van de subjektieve aanschouwingen en mogelijke ervaringskennis van de voorwetenschappelijke leefwereld. Vat men in deze formules het ware "Sein der Natur" ?

Eerst betekende het denken door middel van formules een ongehoorde uitbreiding der mogelijkheden van het aritmetische denken; daarna werd het een vrije, systematische, van alle aanschouwelijke werkelijkheid volledig losgemaakte a-prioristisch denken over getallen en getalsverhoudingen. Dit werd ook in de geometrie toegepast; een aritmetisering van de geometrie vond plaats: de geometrische figuren werden idealiter exact als meetbaar gedacht. Zo wordt de geometrie -zoals de rekenkunde- een kunst: door middel van een rekentechniek kan men resultaten bekomen, wiens werkelijke waarheidszin slechts in een aan de thema's zelf en werkelijk geoefend zakelijk denken te bekomen is. Dit zakelijk denken wordt door het technisch denken buiten werking gesteld.

Galileï stelt de mathematisch gefundeerde wereld van de idealiteiten in de plaats van de enig werkelijke, de werkelijk waarneembaar gegeven wereld - onze alledaagse leefwereld. De geometrie schijnt in een eigen onmiddellijk evident apriorisch "Anschauen" en denken, dat van dit "Anschauen" gebruik maakt, een op zichzelf staande absolute waarheid te scheppen, die daardoor - vanzelfsprekend - zonder meer aanwendbaar zou zijn. De in de wereld levende mensen, waaronder ook de natuurkundigen, kunnen echter al hun praktische en theoretische vragen slechts aan de 'Lebenswelt' stellen, maar vinden er niets van geometrische idealiteiten, niet de geometrische ruimte, niet de mathematische tijd met al haar figuren.

"In der geometrischen und naturwissenschaftlichen Mathematisierung messen wir so der Lebenswelt - der in unserem konkreten Weltleben uns ständig als wirklich gegebenen Welt - in der offenen Unendlichkeit möglicher Erfahrungen ein wohlpassendes Ideenkleid an, das der sogenannten objektivwissenschaftlichen Wahrheiten, d.i. wir konstruieren in einer (wie wir hoffen) wirklich und bis ins Einzelne durchzuführenden und sich ständig bewährenden Methode zunächst bestimmte Zahlen - Induzierungen für die wirklichen und möglichen sinnlichen Füllen der konkret - anschaulichen Gestalten der Lebenswelt, und eben damit gewinnen wir Möglichkeiten einer Voraussicht der konkreten, noch nicht oder nicht mehr als wirklich gegebenen, und zwar der lebensweltlich-anschaulichen Weltgeschehnisse; einer Voraussicht, welche die Leistungen der alltäglichen Voraussicht unendlich übersteigt. Das Ideenkleid "Mathematik und mathematischen Naturwissenschaft", oder dafür das Kleid der Symbole, der symbolisch-mathematischen Theorien, befasst alles, was wie den Wissenschaftlern so den Gebiedeten als die "objektiv wirklichen und wahre" Natur die Lebenswelt vertritt, sie verkleidet. Das Ideenkleid macht es, dass wir für wahres Sein nehmen, was eine Methode ist - dazu da, um die innerhalb des lebensweltlich wirklich Erfahrenen und Erfahrbaren ursprünglich allein möglichen rohen Voraussichten

durch "wissenschaftliche" im Progressus in infinitum zu verbessern : die Ideenverkleidung macht es, dass der eigentliche Sinn der Methode, der Formeln, der "Theorien" unverständlich blieb und bei der naiven Entstehung der Methode niemals verstanden wurde." (Husserl, 1936, p.51-52)

Galileï is dus tegelijk ontdekker en "verdekker", verberger. Uit Galileï's mathematisering van de natuur volgen verkeerde consequenties, die in de verdere ontwikkeling van de wereldbeschouwing bleven bestaan, o.a. de leer van de zuivere subjektiviteit van de specifieke 'secundaire' kwaliteiten. (John Locke)

BIBLIOGRAFIE

- Paul Hazard : La crise de la conscience européenne 1680-1715
librairie Arthème Fayard, Paris, 1961.
- Edmund Husserl : Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie. Eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie. Herausgegeben von Walter Biemel. Martinus Nijhoff, Den Haag, 2. Auflage 1969.
- Etienne Vermeersch : 'Het ontstaan van de experimentele methode' in Studia Philosophica Gandensia, 7 ; p.7-38.
Edited by the Department of Philosophy in Ghent State University, Gent, 1969.

Appendix II : Marxisme en de twee wetenschapsidealen

Onder sommige marxistische theoretici heerst er een tegenstelling rond de vraag of wetenschap nu tot de bovenbouw of de onderbouw behoort. Er zijn twee soorten wetenschapsidealen : de technokratische wetenschap en de zuivere wetenschap. De technokratische wetenschap zou dus de wetenschap zijn die tot de onderbouw behoort, -de wetenschap als een produktiekracht ; de zuivere wetenschap zou de wetenschap zijn die tot de bovenbouw behoort - de wetenschap als een cultureel fenomeen, als een vorm van sociaal bewustzijn.

Wat Marx zelf onder wetenschap verstond, is enigszins wel duidelijk maar leidt tot moeilijkheden: enerzijds blijkt hij onder wetenschap de zuivere wetenschap te verstaan - het is zijn bedoeling de materiële onderbouw op een natuurwetenschappelijk trouwe wijze te bestuderen (1) - anderzijds blijkt hij de wetenschap als een bepalende faktor voor de produktiviteit van de arbeid te zien. Hij heeft het hier echter wel over de technologische aanwendbaarheid van de wetenschap (2).

Behoort voor Marx de (zuivere) wetenschap tot de bovenbouw ?

"Die Produktionsweise des materiellen Lebens bedingt den sozialen, politischen und geistigen Lebensprozess überhaupt." (MEW 13, p.8-9)

Wetenschap behoort tot het "geestelijk levensproces", en daardoor dus tot de bovenbouw, te meer daar Marx zelf nog schrijft : "Es bedarf vollständig entwickelter Warenproduktion, bevor aus der Erfahrung selbst die wissenschaftliche Einsicht herauswächst,..." (MEW 23, p.89)(3)

Enerzijds zou de wetenschap als een bovenbouwfenomeen bepaald worden door de produktiewijze van het materiële leven, anderzijds treedt de wetenschap zelf op als een bepalende faktor voor de produktiekracht. Tegen de bekende marxistische stelling in dat de onderbouw de bovenbouw bepaalt, zou er dus tussen onderbouw en bovenbouw wederzijdse beïnvloeding plaatsvinden. Tenzij men met twee essentieel-gescheiden soorten wetenschap te doen heeft : dan zou de technokratische wetenschap - die behoort tot de onderbouw - bepalend zijn voor de

(1) MEW 23, p.12 § MEW 13, p.9.

(2) MEW 23, p.54, p.407, p.485, p.631-632, p.790.

(3) De vraag naar het verband en/of verschil tussen wetenschap en ideologie binnen de bovenbouw laten we hier buiten beschouwing.

zuivere wetenschap - die behoort tot de bovenbouw.

("Es ist nicht des Bewusstsein der Menschen, das ihr Sein, sondern umgekehrt ihr gesellschaftliches Sein, das ihr Bewusstsein bestimmt."
(MEW 13, p.9)

Veranderingen, vernieuwingen die in de technokratische wetenschap plaatsgrijpen, zouden dan ook **veranderingen** in de zuivere wetenschap veroorzaken.

("Mit der Veränderung der ökonomischen Grundlage wälzt sich der ganze ungeheure Ueberbau langsamer oder rascher um." ibidem.)

Dat er invloed geweest is vanuit de kennis die in het praktisch handelen noodzakelijk is - wat echter niet noodzakelijk gelijk is aan technokratische wetenschap - op de zuivere wetenschap, is niet ontkenbaar :

"If the rise of the idea of an ordered universe and the application of mathematics to the description of nature may be cited as preconditions of Alexandrian science, the recovery of ancient science and the application to science of techniques derived from the arts and crafts may be cited as those of modern science." (Multhauf, 1959, p.41, mijn onderstreping)

"The engineer's development of testing techniques, machines and instruments of measurement, was thus essential to the rise of a practical structural mechanics, but it also undoubtedly had some influence on the increasing resort to instrumentation and actual measurement which characterized scientific progress in the eighteenth century." (Finch, 1961, p.324)

"Ook de natuurwetenschap zou nooit een begin hebben kunnen maken met systematisch experimenteel onderzoek als uit de gewone levenservaring en het technisch hanteren der dingen niet reeds vele regelmatigigheden bekend waren." (Van Nelsen, 1960, p.50)

Maar zoals Van Nelsen (1960, p.171) stelt, is de zuivere wetenschap te zeer haar eigen wegen gegaan, die niet bepaald werden door maatschappelijke behoeften om in zulk een eenvoudig determinatieproces te kunnen geloven.

Anderzijds stelt Marx meestal dat de zuivere wetenschap op technologisch vlak wordt toegepast. De marxist A. Zvorikine meent echter één plaats te kennen waar Marx wel zou spreken over een technologische wetenschap - dit gebruikt hij dan als argument tegen degenen die beweren dat wetenschap niet tot de produktiekrachten kan **behoren** :

"Marx pointed out in his time that the productive force of labor was determined by numerous circumstances, including "the state of science and the degree of its practical application." The development of basic capital was an indication of "how much social knowledge generally - science - has turned into a

direct productive force." (From an unpublished manuscript, Bolshevik, nrs 11-12, 1939, p.63) " (Zvorikine, 1962,p.452, mijn onderstreping)

(Zuivere) wetenschap zou dus in een direkte produktiekracht kunnen omgezet worden. Marx spreekt hier dus niet over een autonome, technokratische wetenschap. Zvorikine heeft echter wel gelijk wanneer hij stelt "...,apart from their material content, production and the productive forces also include a spiritual potency, of which Karl Marx spoke." (p.452)

Zoals Luc Vanneste (1976, p.6 fn3) opmerkt, lijkt Marx de mogelijkheid van een wisselwerking tussen onderbouw en bovenbouw overwogen te hebben (Das Kapital, I, MEW 23, p.15), maar spreekt hij zich anderzijds in hetzelfde werk uit voor een volledige determinering (MEW, 23,p.393)

Ofwel ontkent Marx zijn eigen onderbouw-bovenbouw-determinatiestelling ofwel is zijn voorstelling van de technologische aanwending van zuivere wetenschap verkeerd.

BIBLIOGRAFIE

- ALPERT (Daniel) (1969 a) : "Applied science and engineering in the university" in COMPTON (W.Dale) (ed.) (1969) p. 79 - 94.
- ALPERT (Daniel) (1969 b) (chairman) : "The impact of science and technology on regional economic development" National Academy of sciences, publication 1731 Washington D.C. 1969.
- ANDRADE E SILVA (J.) & LOCHAK (G.) (1969) : "Quanta. De quantumtheorie en de moderne fysica." (Nederlandse vertaling van "Les Quanta, les Grains et les Champs") 1969; Wereldakademie W. De Haan, J.M. Meulenhoff.
- APOSTEL (Leo) (1958) : "Kultuur en techniek" De Vlaamse Gids, Brussel, 1958.
- ASHBY (Eric) (1958) : "Technology and the academics. An essay on Universities and the Scientific Revolution." London, Macmillan & Co. Ltd. , 1958
- ASIMOV (Isaac) (1964) : "Asimov's biographical encyclopaedia of science and technology." London and Sydney, Pan Books Ltd. , 1975
- BAINES (Edward) (1835) : "History of the cotton manufacture in Great Britain" London, H. Fischer, R. Fischer and P. Jackson, 1835
- BARNES (Barry) (ed.) (1972) : "Sociology of science" (Selected Readings) Harmondsworth, Penguin Books Ltd., 1972.
- BEERLING (R.F.) (1973) : "Sociologie en wetenschaps crisis. Van oratie (1959) tot peroratie (1973)" Meppel, Boom, 1973.
- BEN - DAVID (Joseph) (1968) : "Scientific entrepreneurship and the utilization of research" in BARNES (ed.) (1972) p. 181 - 187.
- BERNAL (J.D.) (1939) : "The social function of science" London, George Routledge & Sons, Ltd. , 1944
- BERNAL (J.D.) (1956) : "Science and human welfare" in "Science and society", vol. XX, n° 2, p. 97 - 110. New - York, 1956.
- BERNAL (J.D.) (1964) : "After twenty-five years" in GOLDSMITH & MACKEY, (eds.) (1964) p. 285 - 309.
- BERNAL (J.D.) (1969) : "Science in history" (illustrated edition) (in 1954 voor het eerst in 1 volume uitgegeven)
 vol. 1 : 'The emergence of science' , p. 1 - 364
 vol. 2 : 'The scientific and industrial revolutions' p. 365 - 694
 vol. 3 : 'The natural sciences in our time' p. 695 - 1008
 vol. 4 : 'The social sciences ; Conclusion' p. 1009 - 1330
 Harmondsworth, Penguin Books Ltd., 1969

- BERTELS (Kees) & NAUTA (Doede) (1969) : "Inleiding tot het modelbegrip"
Amsterdam, Wetenschappelijke Uitgeverij B.V.,
tweede druk, 1974
- BOEHM (Rudolf) (1966) : "Vorrede des Uebersetzers" in Maurice Merleau - Ponty : "Phänomenologie der Wahrnehmung"
Berlin, Walter De Gruyter & Co, 1966
- BOEHM (Rudolf) (1973. a) : "Methodenkritiek" Syllabus academiejaar 1972 - 1973 ; samenstelling : B. Angelet (mimeo).
- BOEHM (Rudolf) (1973 b) : "Die Weltprobleme und die Frage der Verantwortlichkeit der Wissenschaft für die politische Oekonomie" in Philosophica Gandensia, 11, p. 30 - 43
Meppel, Boom, 1973
- BOEHM (Rudolf) (1973 c) : "De sociale functie van de wijsbegeerte : kritisch onderzoek naar alternatieven" in Philosophica Gandensia, 11, p. 73 - 76,
Meppel, Boom, 1973
- BOEHM (Rudolf) (1975) : "Kritik der Grundlagen des Zeitalters"
Den Haag, Martinus Nijhoff, 1975
(Nederlandse vertaling door Willy Coolsaet,
Baarn, Het Wereldvenster, 1977)
- BOEKER (Egbert) (1975) : "Natuurwetenschap en techniek, een weg naar Utopia ?"
Assen, Amsterdam, Van Gorcum, 1975
- BOYKO (Hugo) (ed.) (1961) : "Science and the future of mankind"
World Academy of Art and Science, 1
Den Haag, Uitgeverij Dr. W. Junk, 1961.
- BRIGHT (James R.) (1964) : "Research, development and technological innovation, an introduction."
Homewood, Illinois, Richard D. Irwin, Inc., 1964
- BROOKS (Harvey) (1965) : "The interaction of science and technology : another view" in : WARNER, MORSE & EICHNER (1965), p. 37 - 62
- BROOKS (Harvey) (1968) : "The Government of Science"
London, M.I.T. Press, 1968
- CARDWELL (D.S.L.) (1972) : "Science and the steam engine, 1790 - 1825" in MATHIAS (ed.) (1972), p. 81 - 96.
- COMPTON (W. Dale) (ed.) (1969) : "The interaction of science and technology " (A symposium held at the University of Illinois, Urbana, October 17 & 18, 1967)
Urbana, Chicago, London, University of Illinois Press, 1969.
- DE SOLLA PRICE (Derek J.) (1965) : "Is technology historically independent of science ? A study in statistical historiography" in 'Technology and Culture 6, n° 4, p. 553 - 568. Detroit - Michigan, 1965

- DE SOLLA PRICE (Derek J.) (1969) : "Science and technology. Distinctions and interrelationships" in BARNES (ed.) (1972), p. 166 - 180.
- DINGLE (H.) (1949) : "Science and Professor Bernal" in "Science Progress", n° 146, p. 232 - 243.
London, 1949
- DRUCKER (Peter F.) (1961) : "The technological revolution : Notes on the relationship of technology, science and culture." in 'Technology and Culture', vol. II, n° 4 - fall 1961, p. 342 - 351.
Detroit - Michigan.
- EASLEA (Brian) (1973) : "Liberation and the aims of science. An essay on obstacles to the building of a beautiful world."
Sussex University Press, London, 1973.
- ELLIS (N.D.) (1969) : "The occupation of science" in BARNES (ed.) (1972), p. 188 - 205
- FEIBLEMAN (James K.) (1961) : "Pure science, applied science, technology, engineering : an attempt at definitions" in 'Technology and Culture', vol. II, n° 4, p. 305 - 317.
Detroit - Michigan, fall, 1961.
- FIERZ - DAVID (H.E.) (1945) : "Die Entwicklungsgeschichte der Chemie. Eine Studie."
Basel, Verlag Birkhäuser, 1945.
- FINCH (James Kip) (1961) : "Engineering and science : a historical review and appraisal" in 'Technology and Culture', Vol. II, n° 4, p. 318 - 332.
Detroit - Michigan, fall 1961.
- GÉRARDIN (I) (1968) : "Bionica. Schakel tussen bioloog en ingenieur."
Wereldakademie. W. De Haan/ J.M. Meulenhoff, 1968.
- GOLDMAN (J.E.) (1967) : "The role of science in innovation" in 'Proceedings of a conference on technology transfer and innovation' (held on May 15 - 17, 1966), p. 92 - 97
Washington, 1967.
- GOLDMAN (J.E.) (1969) : "Science for economic growth and social change" in COMPTON (W. Dale) (ed.) (1969)
p. 9 - 20
- GOLDSMITH (Maurice) & MACKAY (Alan) (eds.) (1964) : "The science of science"
Harmondsworth, Penguin Books Ltd., revised 1966.
- HALL (A. Rupert) (1961) : "Engineering and the scientific revolution" in 'Technology and Culture', vol. II, n° 4, p. 333 - 341
Detroit - Michigan, fall 1961
- HALL (A. Rupert) (1972) : "Science, technology and Utopia in the seventeenth century" in MATHIAS (ed.) (1972)
p. 33 - 53.

HEIDEGGER (Martin) (1962) : "Die Technik und die Kehre"
Pfullingen, Günther Neske, 1962.

HEMPEL (Carl G.) (1970) : "Filosofie van de natuurwetenschappen"
(Nederlandse vertaling van "Philosophy of natural
science", 1966)
Utrecht / Antwerpen, 1970.

HOLLOMON (J. Herbert) (1965) : "science and the civilian technolo-
gy" in WARNER, MORSE & EICHNER (eds.) (1965)
p. 118 - 142

HOFFMANN (Frederic de) (1965) : "Advanced technology and American
business : friends or foes ?" in WARNER, MORSE &
EICHNER (eds.) (1965) p. 84 - 117.

HUSSERL (Edmund) (1911) : "Philosophie als strenge Wissenschaft"
Erste deutsche Buchausgabe. Herausgegeben von Wil-
helm Szilasi.
Frankfurt am Main, Vittorio Klostermann, zweite
Auflage, 1971.

HUSSERL (Edmund) (1936) : "Die Krisis der europäischen Wissenschaf-
ten und die transzendente Phänomenologie. Eine
Einleitung in die phänomenologische Philosophie."
Herausgegeben von Walter Biemel.
Den Haag, Martinus Nijhoff, 1969.

KERKER (Milton) (1961) : "Science and the steam engine" in 'Tech-
nology and Culture', vol. II n° 4, p. 381 - 390,
Detroit - Michigan, fall 1961.

KOHLMEYER (Fred W.) and HERUM (Floyd L.) (1961) : "Science and
engineering in agriculture : a historical perspec-
tive" in 'Technology and Culture', vol. II n° 4,
p. 368 - 380.
Detroit - Michigan, fall 1961

KORACH (Maurice) (1964) : "The science of industry" in GOLDSMITH
& MACKAY (eds.) (1964), p. 226 - 243.

KUHN (Thomas S.) (1970) : "The structure of scientific revolutions"
Chicago, The university of Chicago Press,
Enlarged edition, 1970.
(Nederlandse vertaling bij Boom, Meppel)

KUHN (Thomas S.) (1971) : "The relations between history and histo-
ry of science" in Daedulus nr 100, p. 271 - 304,
1971

LEICESTER (Henry M.) (1961) : "Chemistry, chemical technology and
scientific progress" in 'Technology and Culture',
vol. II, n° 4, p. 352 - 356.
Detroit - Michigan, fall 1961

MARCUSE (Herbert) (1964) : "One dimensional man"
London, Abacus edition, Sphere books Ltd., reprint-
ed, 1974
(Nederlandse vertaling, Uitgeverij Paul Brand,
Bussum, 1971)

- MARX (Karl) (1859) : "Zur Kritik der politischen Oekonomie"
in Marx - Engels Werke, 13, p. 7 - 160,
Berlin, Dietz Verlag, 1974
- MARX (Karl) (1867) : "Das Kapital. Kritik der politischen Oeko-
nomie, I" Marx - Engels - Werke, 23,
Berlin, Dietz Verlag, 1974
- MATHIAS (Peter) (ed.) (1972) : "Science and society 1600 - 1900"
Cambridge University Press, 1972
- MATHIAS (Peter) (1972) : "Who unbound Prometheus ? Science and
technical change, 1600 - 1800" in MATHIAS (ed.)
(1972) p. 54 - 80
- MEIKLEHAM (Robert Stuart) (1824) : "Histoire descriptive de la
machine à vapeur, précédée d'une introduction ex-
posant la théorie des vapeurs suivie de la descrip-
tion des perfectionnements faits en France, et des
considérations générales sur l'emploi de ces ma-
chines." (Uit het Engels vertaald door "Robert
Stuart")
Paris, Malher et compagnie, 1827.
- MERLEAU - PONTY (Maurice) (1945) : "Phénoménologie de la percep-
tion" (Avant-Propos)
Paris, Editions Gallimard, 1945
- MERLEAU - PONTY (Maurice) (1960) : "Le philosophe et son ombre"
in "Eloge de la philosophie et autres essais"
Paris, Gallimard, 1960.
- MONOD (Jacques) (1970) : "Le hasard et la nécessité. Essai sur
la philosophie naturelle de la biologie moderne."
Paris, Edition du Seuil, 1970.
- MORTON (J.A.) (1967) : "A model of the innovative process (as
viewed from a science-based integrated industry)"
in Proceedings of a conference on technology trans-
fer and innovation (held on May 15 - 17, 1966),
p. 21 - 31.
Washington, 1967.
- MULTHAUF (Robert P.) (1959) : "The scientist and the "improver"
of technology" in 'Technology and Culture', vol.
I - n° 1, p. 38 - 47.
Detroit - Michigan, winter 1959
- MUSSON (A.E.) & ROBINSON (Eric) (1969) : "Science and technology
in the industrial revolution"
Manchester, Manchester University Press, 1969
- NELSON (R.) (1959) : "The simple economics of basic scientific
research" in ROSENBERG (ed.) (1971) p. 148 - 163)
- PIORE (Emanuel R.) (1969) : "Science and technology in industry"
in COMPTON (ed.) (1969) p. 1 - 8.

- PRICE (William J.) (1967) : "Concerning the interaction between science and technology" in 'Cryogenic technology' deel 3, n° 4, 1967, p. 141 - 143.
- PRICE (William J.) (1969) : "The key role of a mission-oriented agency's scientific research activities" in COMPTON (ed.) (1969), p. 32 - 67
- RABI (I.I.) (1965) : "The interaction of science and technology" in WARNER, MORSE & EICHNER (1965), p. 9 - 36.
- RAE (John B.) (1961) : "Science and engineering in the history of aviation" in 'Technology and Culture', vol. II - n° 4, p. 391 - 399.
Detroit - Michigan, fall 1961
- RAVETZ (Jerome R.) (1971) : "Scientific knowledge and its social problems"
Harmondsworth, Penguin Books Ltd., 1973
- RÉAUMUR (R.A.F. de) (1722) : "L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé."
- ROSENBERG (Nathan)(ed.) (1971) : "The economics of technological change"
Harmondsworth, Penguin Books Ltd., 1971.
- RUSSELL (Bertrand) (1952) : "The impact of science on society"
London, Unwin Books, 1972.
- RUSSELL (C.A.) & GOODMAN (D.C.) (ed.) (1972) : "Science and the rise of technology since 1800" Open University Set Book.
John Wright and Sons Limited, 1972.
- SCHMOOKLER (Jacob) (1966) : "Invention and economic growth"
Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1966.
- SHERWIN (Chalmers W.) (1969) : "The coupling of the scientific and engineering communities to public goals."
in COMPTON (ed.) (1969), p. 21 - 31.
- SINGER (Charles), HOLMYARD (E.J.), HALL (A.R.) and WILLIAMS (Trevor I.) (eds.) (1954 - 1958) : "A history of technology",
Oxford, At the Clarendon Press,
(1954) : vol. I : From earlier times to the fall of ancient empires.
(1956) : vol. II : The Mediterranean civilizations and the Middle Ages. (c.700 B.C. to c. A.D. 1500).
(1957) : vol. III : From the Renaissance to the Industrial Revolution (c.1500 - c.1750)
(1958) : vol. IV : The Industrial Revolution (c.1750 - 1850)
(1958) : vol. V : The late nineteenth century (c. 1850 - c. 1900)

- SMITH (Cyril Stanley) (1961) : "The interaction of science and practice in the history of metallurgy" in 'Technology and Culture', vol. II - n°4, p. 357 - 367.
Detroit - Michigan, fall 1961.
- TANENBAUM (Morris) (1969): "Relevance and responsibility" in COMPTON (ed.) (1969), p. 68 - 78.
- THACKRAY (Arnold) (1970) : "Science and technology in the industrial revolution" in 'History of science' vol. 9
Cambridge, W. Heffer & Sons, Ltd., 1970
- VAN MELSEN (Andreas G.M.) (1960) : "Natuurwetenschap en techniek; Een wijsgerige bezinning."
Utrecht - Antwerpen, Het Spectrum, 1960.
- VANNESTE (Luc) (1976) : "Problemen in verband met een aanvulling van Marx' ideologiebegrip, langs Freuds visie op godsdienst en moraal" (ongepubliceerde licentiaatsverhandeling wijsbegeerte) Rijksuniversiteit Gent, 1976.
- VERMEERSCH (Etienne) (1967) : "Epistemologische inleiding tot een wetenschap van een mens."
Werken uitgegevan door de faculteit van de Letteren en Wijsbegeerte, R.U.G., 144° aflevering,
Brugge, De "Tempel", 1967
- VERMEERSCH (Etienne) (1969) : "Het ontstaan van de experimentele methode" in Studia Philosophica Gandensia, 7
p. 7 - 38,
Gent, 1969
- VERMEERSCH (Etienne) (1973) : "Wissenschaft, Technik und Gesellschaftskritik. Ein neopositivistischer Beitrag" in Philosophica Gandensia 12, p. 155 - 166
Boom, Meppel, 1973.
- VERRAES (Walter) (1973) : "Welke is de problematiek der sociale functie der natuurwetenschappen ?" in Philosophica Gandensia, 11, p. 22 - 29
Boom, Meppel, 1973
- WARNER (Aaron W.), MORSE (Dean), & EICHNER (Alfred S.) (eds) (1965): "The impact of science on technology" (Edited for the Columbia University Seminar on Technology and Social Change)
New York and London, Columbia University Press, 1965.
- WARNER (Aaron W.) (1965) : "Summation" in WARNER, MORSE & EICHNER (eds) (1965), p. 197 - 218.
- WEINBERG (Alvin M.) (1965 a) : "Government, education, and civilian technology" in WARNER, MORSE & EICHNER (eds.) (1965), p. 63 - 83)
- WEINBERG (Alvin M.) (1965 b) : "But is the teacher also a citizen?" in 'Science', vol. 149, n° 3684, p. 601 - 606.
Washington D.C., 1965 (August 6).

ZVORIKINE (A) (1962) : "Technology and the laws of its development" in 'Technology and Culture'; vol. III - n° 4, p. 443 - 458.
Detroit - Michigan, fall 1962.