

# Cultuur en techniek. Over de recente geschiedschrijving van een relatie

Karel Davids

Hoe werd 'mechanisering' van idee tot realiteit? Aartsvaders van de techniekgeschiedenis als Lewis Mumford en Siegfried Giedion hebben er op gewezen dat aan de Industriële Revolutie een zeer lange periode van culturele voorbereiding voorafging. 'Men had become mechanical before they perfected complicated machines to express their new bent and interest', schreef Mumford in 1934 in *Technics and civilization*. 'Behind all the great material inventions of the last century and a half was not merely a long internal development of technics: there was also a change of mind. Before the new industrial processes could take hold on a great scale, a reorientation of wishes, habits, ideas, goals was necessary'.<sup>1</sup> De propaedeuse duurde eeuwen. De beslissende fase brak volgens hem aan in de vroeg-moderne tijd. Toen het middeleeuwse wereldbeeld in stukken viel en de transcendente religie aan levenskracht verloor, aldus Mumford, kwam de cultus van de machine daarvoor in de plaats. 'Mechanics became the new religion, and it gave to the world a new Messiah: the machine'.<sup>2</sup>

Voor Giedion was 'mechanisering' in de kern: 'dissecting work into its component operations'. Eerst werd menselijk handelen in zijn samenstellende delen ontleed; vervolgens werd ieder onderdeel door een werktuig overgenomen. Mechanisering was een uitloeijsel van de rationalistische kijk op de wereld die in Europa vanaf de Renaissance langzaam aan terrein had gewonnen. Het principe van 'division and re-assembly', dat in de negentiende en twintigste eeuw steeds meer sectoren van het produktiesysteem ging beheersen, werd in feite al veel eerder gepropageerd. Het toppunt van mechanisering, aldus schreef Giedion in 1948 in zijn *Mechanization takes command*, was bereikt in de Verenigde Staten. Daar waren de nieuwe produktiemethoden voor het eerst toegepast en daar was mechanisering ook volkomen geïntegreerd in het cultuurpatroon. Amerika was het enige land waar 'full mechanization' was gerealiseerd.<sup>3</sup> Maar het Amerikaanse systeem was volgens Giedion in wezen een extreme uitdrukking van een ideaal dat op zich ook in andere samenlevingen in het Westen werd gekoesterd.

Mumford en Giedion worden tegenwoordig, met Abbott Payton Usher, als de wegbereiders van een nieuwe benadering in de techniekgeschiedenis gezien: de 'contextuele'.<sup>4</sup> In deze benaderingswijze gaat het niet meer alleen erom vast te stellen hoe dingen precies werken of worden gefabriceerd (zoals de 'internalisten' willen), maar ook om te onderzoeken hoe technische ontwikkeling beïnvloed wordt door politieke, economische of culturele factoren en omgekeerd, hoe de

evolutie van de techniek weer doorwerkt in de samenleving. De contextuele aanpak, die aan het eind van de jaren vijftig nog altijd vrij uitzonderlijk was, is de laatste twintig, dertig jaar onder techniekhistorici steeds meer ingeburgerd geraakt. Het meeste onderzoek dat nu in deze trant wordt verricht, heeft betrekking op de negentiende en twintigste eeuw.<sup>5</sup> Toch is het lange termijn perspectief dat de stamvaders toepasten niet helemaal verdwenen. Het probleem dat zij aan de orde stelden, is voor de samenleving van heden minstens even relevant als die van een halve eeuw geleden. En het kan nu eenmaal niet worden opgelost door uitsluitend de geschiedenis van de laatste honderd of tweehonderd jaar te bestuderen.

In deze bijdrage wordt een beknopte evaluatie gegeven van historische studies over de culturele achtergrond van mechanisering in de Late Middeleeuwen en de vroeg-moderne tijd die in de afgelopen drie decennia zijn verschenen. Ik zal mij hier dus niet bezighouden met alle mogelijke verklaringsfactoren voor dit fenomeen die in de geschiedschrijving naar voren zijn gekomen. Kapitalisme, staatsvorming et cetera worden even tussen haakjes gezet. Het gaat mij alleen erom de mogelijkheden en de grenzen van een culturele interpretatie te bekijken. De vraag is: wat levert cultuurhistorisch onderzoek aan inzicht op over het ontstaan van 'mechanisering'? Achtereenvolgens worden vier variabelen besproken, die in de discussie tot nu toe een hoofdrol spelen: religie, wetenschap, communicatiemiddelen en ideologie. Aan het eind zal ik in het kort aangeven in welke richting het onderzoek het beste verder zou kunnen gaan.

## Religie en techniek

'Mechanisering' in de eenvoudige betekenis van aanwending van mechanische werktuigen, begon natuurlijk niet pas in Europa tijdens de Middeleeuwen. De derde grondlegger van de moderne techniekgeschiedenis, Abbott Payson Usher, wijdde nota bene een flink deel van zijn studie uit 1929 over de geschiedenis van mechanische uitvindingen aan de beschrijving van allerlei soorten gereedschappen en toestellen (zoals watermolens, kranen of oorlogstuig) die al in de Oudheid in het Middellandse Zeegebied en het Nabije Oosten werden gebruikt.<sup>6</sup> En de kennis op dat terrein is sindsdien alweer enorm toegenomen.<sup>7</sup>

De meeste techniekhistorici zijn het er echter over eens dat zich juist in West-Europa in de dertiende, veertiende en vijftiende eeuw een duidelijke versnelling heeft voorgedaan in het toepassen van, en het denken over mechanische hulpmiddelen. Werktuigen die in de Oudheid al bekend waren geweest, werden vanaf deze tijd (*pace* H.W.Plekhet) op veel grotere schaal gebruikt dan vroeger. Het aantal watermolens, bijvoorbeeld, nam sterk toe. Ze werden ook voor veel meer industriële doeleinden aangewend dan in de laat-Romeinse tijd. De ene na de andere tak

van nijverheid schakelde over op waterkracht.<sup>8</sup> Intussen gingen scholastici zich intensief bezighouden met het verschijnsel dat volgens Giedion de basis vormt van alle mechanisering: beweging. In de veertiende eeuw was de studie al zo ver gevorderd dat het fenomeen voor het eerst grafisch werd voorgesteld.<sup>9</sup>

Waarom vond die versnelling nu uitgerekend in het middeleeuwse West-Europa plaats? Het kortste antwoord ligt besloten in de titel van een bundel van Lynn White: 'Machina ex deo'. De voornaamste verklaring zou volgens White - in navolging van Ernst Benz - in de sfeer van de religie moeten worden gezocht. De middeleeuwse christelijke theologie zou een bij uitstek gunstig cultureel klimaat voor technische vernieuwing hebben gecreeërd. De specifieke conceptie van God en de bestemming van de mens die in het Latijnse Christendom tot ontwikkeling kwam, aldus White en Benz, leidde tot een relatief hoge waardering van arbeid en verleende a priori een morele rechtvaardiging van de exploitatie der natuur ten voordele van de mens. God werd namelijk voorgesteld als een handwerksman, die aan de natuur 'werkte'. De mens, die naar Gods beeld was geschapen, zou helpen de wil van God te vervullen als hij de natuur ten eigen bate beheerste en gebruikte. Handarbeid en het aanwenden van mechanische hulpmiddelen om de produktiviteit van arbeid te verhogen zouden in wezen als een vorm van eredienst voor God moeten worden beschouwd.<sup>10</sup> Mechanisering werd zo bij voorbaat van religieuze goedkeuring voorzien.

Het is een elegante these die en passant op romantische wijze de opvatting van Mumford over de relatie tussen godsdienst en techniek bevestigt. De machine was niet zomaar een familielid van de religie - nee, zij was zelfs haar bloedeigen kind.

Romantiek, helaas, rijmt niet per se met de realiteit. De stelling is van twee kanten gekritiseerd. De vraag is opgeworpen of het Latijnse Christendom zich in zijn houding tegenover de natuur echt wel zo sterk onderscheidde van andere godsdiensten als White en Benz aannemen.<sup>11</sup> Wordt impliciet niet een te idealistisch beeld van andere religies gehanteerd? Hadden Hindoes, Boeddhisten of Moslims er moreel werkelijk zoveel meer problemen mee om de natuur aan zich te onderwerpen dan een christen in Europa? Schuilt hier niet weer het oude vertrouwde cliché-beeld achter van het harmonieuze, diepzinnige Oosten versus het verknijpte, oppervlakkige Westen? Een systematische vergelijking van de manier waarop mensen in verschillende delen van de wereld (ten tijde van de Europese Middeleeuwen) in theorie en praktijk met de natuur omgingen heeft echter nog niet plaatsgevonden. Een overtuigend antwoord op de gestelde vraag valt vooralsnog dus niet te geven.

Aan de andere kant is ook de interpretatie van de theologische ontwikkeling in het Westen zelf onder vuur komen te liggen. George Ovitt heeft betoogd dat de houding van de Kerk tegenover arbeid en natuur helemaal niet zo ondubbelzinnig

was als wel is aangenomen.<sup>12</sup> In laat-Romeinse en middeleeuwse commentaren op de eerste hoofdstukken van het scheppingsverhaal werd eerder de nadruk gelegd op de plicht van de mens met de natuur samen te werken dan op zijn recht haar te overheersen; mensen werden meer aangemaand tot deemoedigheid dan tot krachtsvertoon. En uit *close reading* van kloosterregels en commentaren daarop leidt Ovitt af dat arbeid weliswaar lang een voorname plaats innam in het monnikenleven, maar toch altijd als ondergeschikt werd gezien aan een hoger doel. Ploegen, zagen en timmeren was niet zo belangrijk als spiritueel groeien en eer betuigen aan God. Werken aan de wereld was minder waardevol dan werken aan de eigen ziel en loven van de Schepper. Arbeid kon pas in status gaan stijgen, aldus Ovitt, nadat deze automatische verbinding met de geestelijke sfeer was verbroken. Arbeid moest 'seculariseren' voor hij kon 'promoveren'. De secularisatie kwam vanaf de twaalfde eeuw op gang. Dat dit proces plaatsvond, was eerder een gevolg dan een oorzaak van de technische ontwikkeling in West-Europa. De techniek was in feite allang aan het veranderen. Ovitt onderschrijft op dit punt een alternatieve interpretatie van Jacques Le Goff: de theologie paste zich op den duur aan bij de gewijzigde omstandigheden.<sup>13</sup>

Hoewel Ovitts betoog ondertussen op verschillende onderdelen is gekritiseerd (ook in dit tijdschrift<sup>14</sup>), is zijn revisie van de interpretatie van White en Benz vooralsnog onweersproken gebleven. Dat houdt in feite in dat de religieuze verklaring voor de 'spurt' in mechanisering in West-Europa vanaf de Middeleeuwen op zich onvoldoende is. Als de houding van de Kerk tegenover arbeid en natuur inderdaad zo ambivalent was, moeten er immers andere factoren zijn geweest die tot selectie in een bepaalde richting leidden.

Nu zou het kunnen zijn (als we even afscheid nemen van Mumford) dat de rol van de religie in de evolutie der techniek gedurende de vroeg-moderne tijd groter is geweest dan daarvoor. Tijdens de Reformatie en de Contra-Reformatie ging het kerkelijk leven in sommige opzichten de samenleving immers meer beheersen dan vroeger het geval was. Kan deze ontwikkeling ook niet haar sporen hebben nagelaten in de wereld van de techniek?

Een hypothese in die zin is naar voren gebracht door André Guillerme in zijn boek over de ontwikkeling van hydraulische systemen in en rond de steden in Bassin Parisien vanaf de Oudheid tot het begin van de negentiende eeuw. Aan het slot van zijn studie komt hij tot de stelling dat 'l'innovation technologique ou scientifique relève d'abord des bouleversements dans les structures mentales (...). Entre plusieurs solutions technologiques une époque et une région saisissent celle qui se rapproche le plus possible des structures mentales, de l'imaginaire collectif de sa population'.<sup>15</sup> Die 'structures mentales' kunnen volgens hem zeker ook een religieuze lading hebben.

Guillermé geeft als voorbeeld de selectie van technieken in de papiernijverheid. In Frankrijk was het tot de negentiende eeuw gebruikelijk de lompen die als grondstof voor het papier dienden eerst langdurig te laten verrotten alvorens ze in een hamerbak te brengen om ze tot pulp te laten stampen. In Holland zou dit procédé vanaf het eind van de zeventiende eeuw overbodig zijn gemaakt door een nieuwe techniek waarbij de lompen, na zorgvuldig gesorteerd te zijn, in een maalbak werden gestopt om door een rol voorzien van een batterij messen (de 'hollander') fijngemalen te worden. Het Franse procédé sloot volgens Guillermé precies aan bij de mentale structuur die tussen ruwweg 1400 en 1800 in de steden van het Bassin Parisien domineerde - een structuur gekenmerkt door een fixatie op alles wat te maken had met stilstand, broeiing, dood, ontbinding en verrotting. Het Hollandse paste eerder in een mentaliteit die bovenal waarde hechtte aan reinheid, zuiverheid, beweging en stroming. Het verschil correspondeerde volgens de auteur met de scheiding tussen katholiek en protestant. 'Tout laisse (...) supposer que dans les pays protestants l'attitude devant la décomposition, la mort, était quelque peu différente'.<sup>16</sup>

Een fascinerende gedachte, die jammer genoeg geen stand lijkt te houden in de 'verrotte' werkelijkheid. Afgezien van het feit dat de beschrijving van de techniek in de Hollandse papiernijverheid in feite alleen van toepassing is op de Zaanstreek en niet op het andere concentratiegebied van de Nederlandse papierindustrie, de Veluwe (waar vóór 1800 praktisch geen 'hollanders' werden gebruikt), en zelfs voor de Zaanstreek niet helemaal klopt (het verrottingsprocédé werd niet volledig verlaten),<sup>17</sup> is er nog een, meer fundamentele, reden om de juistheid van deze religieuze interpretatie in twijfel te trekken. Als de religieuze mentaliteit werkelijk zo beslissend was, dan zou het effect evenzeer in de selectie van technieken in andere takken van nijverheid zichtbaar moeten zijn geweest. Maar in de loodwitindustrie bijvoorbeeld, die vanaf omstreeks 1600 in en rond verschillende Hollandse steden tot ontwikkeling kwam, was daar absoluut niets van te merken. Ook in deze tak van nijverheid gaf Nederland tot het eind van de achttiende eeuw de toon aan. Een kenmerk van de loodwitfabricage was dat op grote schaal gebruik werd gemaakt van het principe van broeiing en verrotting. De aardewerken potten met azijn waarin zich de rollen lood bevonden, werden namelijk in een broeihok vol paardemest geplaatst; na verloop van vier à zes weken was het meeste lood in loodwit veranderd.<sup>18</sup> Rond menige Hollandse stad moet dus permanent de geur van grote hopen broeiende paardemest hebben gehangen. Toch gaf de stank de calvinistische Hollanders geen aanleiding dan maar op een andere techniek over te gaan.

Naast deze verstrekkende thesen die religie een fundamentele rol toekennen in de evolutie der techniek op langere termijn, zijn over het verband tussen beide

grootheden ook veronderstellingen geopperd met een minder wijd bereik. Godsdienst zou wel degelijk invloed hebben uitgeoefend op de technische ontwikkeling doordat religieuze motieven het denken en handelen van specifieke sociale groepen of personen bepaalden die op hun beurt een wezenlijke bijdrage aan de evolutie van de techniek leverden.

Mumford merkte op dat de *key-machine* van het industriële tijdperk niet de stoommachine is, maar de klok. Geen machine heeft zoveel effecten gehad voor het functioneren van het productiesysteem als het uurwerk. Geen mechanisme heeft door de eeuwen heen zozeer als model van perfectie gediend. Geen apparaat is zo alomtegenwoordig geworden. En de oorsprong van die ontwikkeling, zo meende hij, is daar te vinden waar hij volgens de overlevering altijd al werd gelokaliseerd: in het middeleeuwse kloosterleven. Dat was immers de omgeving bij uitstek die het ontstaan van zo'n machine mogelijk maakte, omdat 'the habit of order and the earnest regulation of time-sequences' er 'almost second nature' was geworden.<sup>19</sup> Later onderzoek heeft die vermeende connectie tussen monniken en mechanische klokken bevestigd. Het raderuurwerk is waarschijnlijk inderdaad vóór de vroege veertiende eeuw binnen kloostermuren ontwikkeld.<sup>20</sup>

Dit verband tussen religieuze inspiratie en technische ambitie of prestatie is ook voor andere tijden en plaatsen verondersteld. Er is bijvoorbeeld gewezen op de rol die monniken in de Middeleeuwen bij de verspreiding van watermolens hebben gespeeld, of op de zeer geprononceerde ideeën over het belang van technische vernieuwing voor de maatschappelijke ontwikkeling die puriteinen in Engeland in het midden van de zeventiende eeuw er op na hielden.<sup>21</sup> Ansgar Stöcklein vestigde de aandacht op de frequentie van bijbelse motieven in zogenaamde 'machineboeken', verzamelwerken over technische uitvindingen die in groten getale tussen omstreeks 1550 en 1750 verschenen.<sup>22</sup> Het werk van technici werd destijds vaak gerechtvaardigd met een beroep op de Heilige Schrift. Religieuze drijfveren waren volgens Svante Lindqvist ook een factor van belang bij het streven van Mårten Triewald in de jaren dertig van de achttiende eeuw de stoommachine van Newcomen in Zweden in te voeren.<sup>23</sup> Judith McGaw heeft betoogd dat de snelle mechanisering in de papierindustrie in Berkshire County, Massachusetts, vanaf omstreeks 1830 mede mogelijk werd gemaakt door de voorafgaande religieuze *revival*, die zowel ondernemers als arbeiders geestelijk klaarstoomde voor de komst van de nieuwe machines door ze een verhoogde waardering voor orde en discipline bij te brengen.<sup>24</sup>

Maar een zo geformuleerde verklaring heeft ook haar grenzen. Religieus geïnspireerde idealen werden lang niet altijd gerealiseerd. Van het mooie streven van de puriteinen op het gebied van technische innovatie bijvoorbeeld, kwam in de praktijk weinig terecht. Voor de feitelijke technische ontwikkeling kan de rol van

de godsdienst dus minder belangrijk zijn geweest dan uit de hooggestemde frasen valt af te leiden. Stöcklein liet zien dat de betekenis van Bijbelse motieven in de machineboeken in werkelijkheid geleidelijk werd aangepast bij de evolutie der techniek.<sup>25</sup> De religieuze taal registreerde en legitimeerde dus een verschuiving die door niet-religieuze impulsen op gang was gebracht. Bekend is trouwens dat de technische ontwikkeling ook door allerlei groepen is gedragen die niet aantoonbaar door religieuze drijfveren werden gemotiveerd. Lynn White vroeg aandacht voor de bijdrage van medici-astrologen in de Late Middeleeuwen.<sup>26</sup> Anderen hebben gewezen op de cruciale rol van ingenieurs, kunstenaars, molenmakers of 'mathematical practitioners'.<sup>27</sup> Hoe men het ook wendt of keert, het belang van de religie als verklarende factor voor mechanisering is uiteindelijk dus toch maar vrij beperkt.

### Wetenschap en techniek

Is de betekenis van de godsdienst waarschijnlijk overschat, de rol van de wetenschap lijkt eerder aan een opwaardering toe. Volgens de orthodoxe opvatting, die vooral is uitgedragen door A. Rupert Hall, zou wetenschap vóór de negentiende eeuw praktisch geen invloed hebben uitoefend op de technische ontwikkeling. De technische vernieuwingen die in die tijd plaatsvonden, hadden vrijwel niets te danken aan ontwikkelingen in de wetenschap.<sup>28</sup>

Maar deze traditionele visie is intussen van verschillende kanten gekritiseerd. De critici ontkennen niet dat de verwevenheid van wetenschap en techniek vanaf de negentiende eeuw veel nauwer werd dan daarvoor (hoewel tegenwoordig ook bijna niemand meer zal beweren, zoals omstreeks 1960 nog vaak gebeurde, dat techniek sedertdien eigenlijk weinig anders is dan 'applied science'<sup>29</sup>). Zij betwisten evenmin dat hooggestemde verwachtingen die vanaf de zeventiende eeuw in sommige kringen werden gekoesterd ten aanzien van de bijdrage van de wetenschap aan de 'vooruitgang' van de techniek, vóór de negentiende eeuw nauwelijks werden waargemaakt.<sup>30</sup>

De invloed van de wetenschap op de technische ontwikkeling in de vroegmoderne tijd werkte volgens hen langs een andere weg. 'He was guided (...) by common sense and feel; but it should not be thought that Harrison was ignorant of what we would call scientific principles. Someone, presumably a visiting minister, lent him a copy of Nicholas Saunderson's lectures on natural philosophy at Cambridge University, and Harrison found these so valuable that he copied text and diagrams *in extenso* for his own use. He had, then, some general knowledge of mechanics; also some mathematical skills'. Aldus schetste David Landes de achtergrond van de Engelse timmerman en klokkenmaker John Harrison, die er

tegen 1770 in slaagde een chronometer te maken die als een volkomen betrouwbaar hulpmiddel voor de lengtebepaling op zee kon worden gebruikt.<sup>31</sup> Het citaat kan model staan voor de nieuwe opvatting over de relatie tussen wetenschap en techniek. Al namen technici dan meestal niet snel en volledig over wat de wetenschap allemaal aan nieuws te bieden had, ze konden aan de beschikbare voorraad wetenschappelijke kennis die in de loop der tijd was opgebouwd vaak toch wel allerlei gegevens, begrippen, principes of denkwijzen ontleenen die toch op de een of andere manier in hun eigen werkkring bruikbaar waren. Dat valt op twee manieren te bewijzen: ten eerste, door te onderzoeken waar de kennis die technici in de praktijk toepasten feitelijk vandaan kwam, en ten tweede, door na te gaan hoe de mensen die een bepaalde techniek gebruikten (of lieten gebruiken) aan de nodige kennis waren gekomen.

Voor sommige terreinen van techniek, zoals dat van de zeevaartkunde, is aldus aangetoond dat de wetenschap reeds vanaf de zestiende eeuw een toenemende invloed op de technische praktijk begon uit te oefenen.<sup>32</sup> Voor andere takken van bedrijvigheid, zoals de aardewerkfabricage, de blekerij, de ververij of de chemische nijverheid, is het bestaan van zo'n connectie ook al aannemelijk gemaakt, maar dan eerst vanaf de achttiende eeuw. Ondernemers en technische deskundigen die een hoofdrol speelden in het beginstadium van de Industriële Revolutie in Engeland, zoals James Watt, Matthew Boulton of Josiah Wedgwood, maar ook een groot aantal mindere goden, blijken op velerlei manieren contact te hebben gehad met de wetenschappelijke wereld.<sup>33</sup>

Door deze alternatieve benaderingswijze komt de relatie tussen wetenschap en techniek in de versnellingsfase van mechanisering die 'Industriële Revolutie' (met hoofdletters) wordt genoemd, in een ander licht te staan. A.E. Musson en Eric Robinson hebben twintig jaar geleden op basis van uitvoerig empirisch onderzoek over de verbindingen tussen industrie en wetenschap in Engeland in de achttiende eeuw al eens een indrukwekkend pleidooi gehouden voor een revisie van het oude vertrouwde beeld. Margaret Jacob heeft de uitdaging onlangs met kracht herhaald. Anders dan Musson en Robinson hanteerde ze een uitgesproken comparatief perspectief, en benadrukte ze in het bijzonder het verband tussen de revolutie in de industrie en de voorafgaande omwenteling in de wetenschap. 'In order to mechanize', zo poneerde Jacob net als Lewis Mumford, 'people had to be able to think mechanically' - en dat vermogen was volgens haar onder Engelse ondernemers omstreeks het midden van de achttiende eeuw veel hoger ontwikkeld dan elders dankzij het feit dat voorstanders van de 'Newtoniaanse' opvatting van wetenschap via een flexibel lezingencircuit, een netwerk aan genootschappen en een stroom van populariserende publikaties er reeds vóór die tijd in geslaagd waren in brede kring belangstelling, en zelfs enthousiasme, voor natuurwetenschap te



wekken. Engelse industriëlen kregen op die manier zeker decennia voorsprong op hun collega's op het Continent. 'By the 1790s the linkage between scientific knowledge and industrial application had become commonplace [in England]. Indeed by that time the scientific knowledge of applied mechanics may have proved determining when decisions involving new machinery, at considerable capital risk, had to be taken promptly and confidently'.<sup>34</sup> Het was dus toch geen toeval dat het land van Newton tevens de bakermat werd van de Industriële Revolutie.

## Communicatiemiddelen en ideologie

Deze nieuwe visie op de invloed vanuit de wetenschap kan tot op zekere hoogte ondersteund worden door recente inzichten over de rol van communicatiemiddelen in de techniek gedurende de Late Middeleeuwen en de vroeg-moderne tijd. Overdracht van kennis in de technische wereld gebeurde van oudsher vooral via aanschouwelijk onderricht en mondelinge toelichting, en voor een deel is dat nog steeds zo. Maar vanaf de Late Middeleeuwen werd het hoe langer hoe meer gebruikelijk om technische informatie ook langs andere kanalen door te geven.

Deze verandering voltrok zich in twee fasen, zoals Bert Hall heeft laten zien. Eerst verschenen steeds meer technische handleidingen op schrift, daarna kwam er een groeiende hoeveelheid literatuur over techniek in druk beschikbaar. De eerste fase begon omstreeks 1400, de tweede rondom 1470. Vooral vanaf de jaren dertig van de zestiende eeuw was er een gestage expansie in de productie van gedrukte technische literatuur. Italië, Centraal-Europa en Frankrijk liepen in deze ontwikkeling voorop. Een deel van die publicaties bestond uit heruitgaven van werken uit de Oudheid (zoals de boeken van Vitruvius), of commentaren daarop. Maar de meeste waren nieuw en verschenen ook voornamelijk in de volkstaal. Aan het eind van de zestiende eeuw, aldus Hall, was de opmars van het gedrukte woord al zo ver gevorderd, dat 'print had become a suitable medium both for descriptive works and for presentation of technical innovations, as well as discussions of the significance of technology in general'.<sup>35</sup>

De betekenis van deze overgang van *script to print*, die Mumford en Giedion praktisch geheel ontging en Usher ternauwernood opviel, lag in hoofdzaak op drie terreinen, zo blijkt uit het onderzoek van de laatste jaren. Allereerst maakte het gebruik van de drukpers de overdracht van kennis onder technici zelf in verschillende opzichten gemakkelijker. Informatie in druk kan doorgaans sneller, op grotere schaal en in meer gestandaardiseerde vorm worden verspreid dan op schrift of mondeling; een belangrijk verschil met overdracht op schrift is in het bijzonder dat afbeeldingen accurater gereproduceerd kunnen worden.<sup>36</sup>

Een volgende implicatie was dat informatie over techniek gemakkelijker buiten de oorspronkelijke kring van ingewijden kon doordringen. Wanneer kennis eenmaal in druk was vastgelegd, werd ze immers meteen toegankelijk voor buitenstaanders. Het geheim van de smid kon niet langer geheim blijven. Technische literatuur werd een belangrijk middel voor de overdracht van kennis van de ene plaats naar de andere. Het was bijvoorbeeld niet het minst dankzij de prachtige 'molenboeken' (het Nederlandse equivalent van de 'machineboeken') dat buitenlanders in de achttiende eeuw goed op de hoogte raakten van de stand van de Nederlandse techniek in al die bedrijfstakken waarin van windkracht gebruik werd gemaakt.<sup>37</sup> De opmars van de gedrukte literatuur doorbrak niet alleen geografische, maar ook sociale barrières. Informatie kon zo sneller tussen verschillende groepen worden verspreid. Via de drukpers konden de prestaties van technici immers ook ter kennis komen van allerlei ontwikkelde leken, inbegrepen ondernemers, politieke machthebbers en wetenschapsbeoefenaars - dat was trouwens één van de voornaamste redenen waarom de meeste 'machineboeken' werden gepubliceerd.<sup>38</sup> Omgekeerd kon hetzelfde kanaal worden gebruikt om aanvankelijk esoterische kennis vanuit de wetenschap naar de technici door te sluisen - dat was precies wat er bijvoorbeeld al vanaf de zestiende eeuw op het gebied van de zeevaartkunde plaatsvond en naderhand eveneens op vele andere terreinen van techniek gebeurde.<sup>39</sup> Harrison las Saunderson en kopieerde de tekst en de diagrammen.

De opkomst van de gedrukte technische literatuur had, ten derde, ook ideologische consequenties. De verspreiding van kennis over innovaties via 'machineboeken' en andere publikaties versterkte bij geletterde elites namelijk het ontluikend besef van technische vooruitgang. Een blik in de literatuur bevestigde dat de 'Modernen' per saldo toch meer gepresteerd hadden dan de 'Ouden'.<sup>40</sup> Bovendien heeft de verschijning van publikaties over allerlei procédés en werktuigen, waar voorheen slechts een kleine groep van op de hoogte was, mede bijgedragen aan de verspreiding van het ideaal van de openbaarheid van kennis, aldus Pamela Long en William Eamon. Het waren bij uitstek zestiende-eeuwse auteurs van technische handboeken als Vannoccio Biringuccio en Georgius Agricola, die scherpe kritiek leverden op alle vormen van geheimhouding en een welsprekend pleidooi voerden voor openheid van informatie.<sup>41</sup> Die propaganda van technische auteurs op haar beurt zou weer van invloed zijn geweest op de groei van het ideaal van openbare kennis onder Engelse wetenschapsbeoefenaars in de loop van de zeventiende eeuw.<sup>42</sup>

### **Ideologie en het 'American system of manufacturing'**

Als Engelse ondernemers aan het einde van de achttiende eeuw, mede dankzij deze

revolutie in communicatie, al veel meer in staat waren 'mechanisch' te denken dan hun collega's in andere landen, waarom associeerde Giedion in 1948 'full mechanization' dan uitgerekend toch met de Verenigde Staten? Waarom lag het einde van de geschiedenis niet in Manchester? Het symptoom van complete mechanisering was voor Giedion de lopende band-productie, 'wherein the entire factory is consolidated into a synchronous organism'. In de lopende band-fabricage was namelijk een combinatie gerealiseerd van systematisch gebruik van machines en absolute 'interchangeability', dat is: volkomen onderlinge inwisselbaarheid van onderdelen. 'Division and re-assembly' hadden hun hoogste graad van verfijning bereikt: machines waren perfect op elkaar afgestemd, alle deeltjes pasten precies in elkaar. Elk nieuw produkt op de band kon exact gelijk aan het vorige worden gemaakt. Deze wijze van produceren, aldus Giedion, was een door en door Amerikaans verschijnsel. Oliver Evans zat er rond 1800 al over na te denken; Henry Ford wist de techniek tegen 1920 in zijn autofabrieken te vervolmaken. Tijdens het Interbellum drong ze ook door tot andere sectoren van het Amerikaanse produktiesysteem.<sup>43</sup> Engeland was nooit zo ver gekomen.

Hoe kon die ultieme fase van mechanisering worden bereikt? Over de oorsprong en invoering van dit produktiesysteem, dat het 'American system of manufacturing' is gedoopt, is intussen veel meer bekend dan in de tijd van Giedion. Thomas Hughes noemde in een overzichtsartikel uit 1979 onderzoek over het onderwerp nog een veelbelovend topic in de techniekgeschiedenis. In 1990 meende de schrijver van een ander overzichtsartikel al dat het thema een 'overworked status' had bereikt.<sup>44</sup> Voor zo ver het om de culturele achtergrond gaat, geldt dit overigens zeker niet, zoals we straks zullen zien.

De bakermat van het systeem, zo staat nu wel vast, lag niet in het bedrijfsleven maar in de overheidssector, en meer in het bijzonder in het militaire apparaat. Het was namelijk in het arsenaal van het Amerikaanse leger in Springfield, Massachusetts, dat tussen circa 1815 en 1850 - in nauwe samenwerking met de particuliere onderneming van John Hall te Harpers Ferry, Virginia - het ideaal werd gerealiseerd om met behulp van een hele serie nieuw ontwikkelde machines de fabricage van onderdelen van een zeker produkt (musketten in dit geval) zodanig te standaardiseren dat ze volkomen onderling inwisselbaar werden. Britse waarnemers begonnen reeds in de jaren vijftig in dit verband te spreken van het 'American system', het 'American plan' of het 'American principle'.<sup>45</sup>

Even onbetwistbaar is het, dat het systeem van origine helemaal niet zo Amerikaans was als vroeger wel werd aangenomen. De Amerikaanse militairen die het nieuwe fabricagesysteem in Springfield wisten door te voeren, hadden hun ideaal van onderlinge inwisselbaarheid van onderdelen zelf namelijk weer ontleend aan een Franse collega, generaal Jean-Baptiste de Gribeauval. Gribeauval

had dit al sedert 1765 gepropageerd. De Franse invloed op het denken in het Amerikaanse leger was in de eerste decennia van de Republiek vrij sterk.<sup>46</sup> Precedenten voor het nieuwe systeem waren ook te vinden in ideeën van de Zweed Christopher Polhem uit het begin van de achttiende eeuw, en in het stelsel dat sedert 1805 in het arsenaal van de Britse marine te Portsmouth werd gehanteerd om *en masse* katrollen voor oorlogsschepen te produceren.<sup>47</sup> Wat het ontwerp en gebruik van machines betreft, konden Amerikanen trouwens tot het tweede kwart van de negentiende eeuw over het geheel genomen nog meer van de Engelsen leren dan omgekeerd. Ook later in de negentiende en vroege twintigste eeuw werd nog belangrijke technische kennis aan Europa ontleend.<sup>48</sup> David Hounshell bracht daarom onlangs nadrukkelijk naar voren dat het voor een goed begrip van de geschiedenis van het productiesysteem in de Verenigde Staten noodzakelijk is een internationaal vergelijkend perspectief te hanteren.<sup>49</sup>

Het bijzondere van Amerika lag hierin, dat het nieuwe systeem, toen het eenmaal binnen het militaire apparaat tot een hoge graad van perfectie was gebracht, spoedig als model voor verschillende sectoren van het bedrijfsleven ging fungeren. Het bleef niet praktisch binnen de muren van één etablissement opgesloten, zoals in Engeland. In veel gevallen waren het oud-employés van het arsenaal zelf die de principes naar andere productiecentra overbrachten. Die gang van zaken werd op haar beurt mogelijk gemaakt door de omstandigheid dat in Amerika al lang voor het midden van de negentiende eeuw de drang tot mechanisering buitengewoon sterk ontwikkeld was. Amerikanen waren bereid, als het kon, alles met machines te fabriceren.<sup>50</sup> En op den duur werd het model van de wapenfabricage inderdaad in allerlei andere takken van nijverheid overgenomen en verder ontwikkeld.

De verklaring voor deze typische ontwikkeling in de V.S. wordt door onderzoekers zeker niet uitsluitend in economische factoren gezocht. Arbeidskosten lagen in Amerika in de regel wel hoger dan elders, maar aan dat gegeven valt op zich nog geen zinnige conclusie te verbinden. Als men aanneemt dat die omstandigheid een zekere tendens naar mechanisering in de hand heeft gewerkt, dan is daarmee nog niet meteen verklaard waardoor het ideaal van volkomen mechanisering tot realiteit kon worden gemaakt. In de praktijk bleek dat veel moeilijker te zijn dan oorspronkelijk werd gedacht. De bijzondere graad van perfectie die bij het productiesysteem in het arsenaal van Springfield werd bereikt, zo toonde Robert Gordon aan, was vooral toe te schrijven aan het hoge niveau van geschooldheid en geoefendheid dat individuele werknemers in de loop der jaren wisten te verwerven.<sup>51</sup> Het ging dus in wezen om een leerproces. Het model van het militaire complex was in feite ook helemaal niet gemakkelijk naar andere sectoren van bedrijvigheid over te planten. Er moest nog veel technisch vernuft en organisato-

rische creativiteit worden ontplooid voordat het systeem uiteindelijk, in een gewijzigde vorm, vlak vóór de Eerste Wereldoorlog door Henry Ford met succes in zijn autofabriek kon worden toegepast. En zelfs dát succes was maar tijdelijk.<sup>52</sup>

Een verband tussen schaarste aan arbeid en een 'labor-saving bias' in technische ontwikkeling is bovendien theoretisch allerminst evident. Uit historische case-studies blijkt dat relatief hoge arbeidskosten in werkelijkheid ook lang niet volledig het tempo of de richting van technische vernieuwing kunnen verklaren.<sup>53</sup> Er moeten dus nog andere krachten hebben gewerkt.

Kunnen dat misschien de zachte krachten van de cultuur zijn geweest? Volgens sommige techniekhistorici moet daar zeker rekening mee worden gehouden. John Kasson heeft verband gelegd tussen de toenemende waardering voor technische innovaties in de industriële productie, die tegen het eind van de achttiende eeuw in Amerika aan de dag trad, en de ideologische en politieke omwenteling die zich tezelfder tijd voltrok. Mechanisering ging beschouwd worden als symbool en instrument van de Amerikaanse onafhankelijkheid. Technische vooruitgang raakte innig geassocieerd met liefde voor het vrije vaderland. 'Republikein' werd synoniem met machine-freak.<sup>54</sup> Ook Eugene Ferguson heeft de ideologische bezieling achter de bijzondere drang tot mechanisering in Amerika beklemtoond. Het democratisch ideaal dat de maatschappij beheerste, zou vanaf de dagen van Oliver Evans technici geïnspireerd hebben "to go for the numbers", that is, to strive always for more things for more people'. En: 'To go for the numbers in America, processes were mechanized, and when processes were mechanized, the ideal of efficiency demanded that machines be run continuously'.<sup>55</sup>

De eeuwige vraag bij zulke ideologische verklaringen is natuurlijk - aangenomen dat de vermeende inspiratie inderdaad werkzaam was - waarom de betrokkenen dan kennelijk zo sterk in dat bepaalde ideaal geloofden. Analyse van een ideologie vereist op haar beurt een analyse van de samenleving die deze cultiveert.

Judith McGaw heeft de veronderstelling geopperd dat 'the wholesale commitment of nineteenth-century Americans to achieving [a higher standard of living] (...) through changes in their manufacturing arrangements' wel eens mede verklaard zou kunnen worden door de omstandigheid dat Amerikanen reeds in de koloniale tijd voor een levensstijl (en de bijbehorende rolverdeling tussen mannen en vrouwen) hadden gekozen die zo'n 'commitment' aan die vorm van productie haast vanzelfsprekend maakte.<sup>56</sup> Carolyn Cooper heeft de kwestie van de Britse kant benaderd. Het feit dat de principes van het 'Amerikaanse' systeem, die in Portsmouth sinds 1805 in de kern aanwezig waren, gedurende de eerste helft van de negentiende eeuw nauwelijks in andere sectoren van de Britse economie werden geaccepteerd, hangt volgens haar waarschijnlijk samen met kenmerken van de heersende klassestructuur en het effect daarvan op de consumptieve vraag. Britse

arbeiders stonden, anders dan hun Amerikaanse collega's, eerder argwanend dan enthousiast tegenover de invoering van nieuwe machines omdat ze bang waren (gezien de ongelijkheid van kansen in hun samenleving) uiteindelijk zelf het gelag te moeten betalen. De koopkracht was bovendien veel meer dan in Amerika geconcentreerd bij een kleine elite. Daardoor zou er niet voldoende vraag naar goedkope, gestandaardiseerde producten zijn geweest om de toepassing van een 'Amerikaans' systeem duurzaam rendabel te maken.<sup>57</sup> Beide hypothesen brengen de techniekhistoricus via de ideologie terug bij de geschiedenis van de maatschappij. Inclusief de geschiedenis van alles wat aan het begin van dit artikel buiten haakjes werd gezet.

## Besluit

In welke richting zou het onderzoek over de relatie tussen cultuur en techniek in de Late Middeleeuwen en de vroeg-moderne tijd het beste verder kunnen gaan? Vergelijking lijkt een eerste vereiste. Techniekhistorici zijn vaak toch nog steeds gefixeerd op een bepaalde periode, een bepaald land of een bepaalde cultuur. Uit het voorafgaande overzicht van de recente geschiedschrijving blijkt echter hoezeer de discussie over de verhouding tussen cultuur en techniek op allerlei punten verder kan worden gebracht door een vergelijkend perspectief te kiezen. Of het nu om de rol van de religie gaat, de invloed van de wetenschap of het verband tussen ideologie en het 'American system of manufacturing' - een comparatieve benadering blijkt telkens weer een effectief middel om het inzicht te verscherpen. Dankzij deze benadering zijn intussen al de nodige aanzetten tot nieuw onderzoek gegeven. Het spreekt vanzelf dat bij dit onderzoek niet het land zal mogen ontbreken dat vooral in de vroeg-moderne tijd zo'n vooraanstaande rol in de technische ontwikkeling heeft gespeeld: Nederland.<sup>58</sup>

## Noten

1. Lewis Mumford, *Technics and civilization* (Londen 1957, eerste druk 1934) 3.
2. Mumford, *Technics*, 45.
3. Siegfried Giedion, *Mechanization takes command. A contribution to anonymous history* (New York 1948) v, 4-11, 31-32 en 41-44.
4. Arthur P. Molella, 'The first generation: Usher, Mumford, and Giedion' in: Stephen H. Cutcliffe en Robert C. Post (ed.), *In context. History and the history of technology. Essays in honor of Melvin Kranzberg* (Bethlehem 1989) 88-105.
5. John M. Staudenmaier, *Technology's storytellers. Reweaving the human fabric* (Cambridge, Mass. 1985) hoofdstuk 1.
6. Abbott Payson Usher, *A history of mechanical inventions* (Londen 1954) 6, 7, 8 en 11.

7. Zie voor China met name het verzamelwerk: Joseph Needham e.a., *Science and civilisation in China* (Cambridge 1954 -).
8. Bertrand Gille, *Histoire des techniques* (Parijs 1978); J. Gimpel, *The medieval machine. The industrial revolution of the Middle Ages* (New York 1976); A. Pacey, *The maze of ingenuity. Ideas and idealism in the development of technology* (Cambridge, Mass. 19762) hoofdstuk 1 en 2; W. von Stromer, 'Eine "Industrielle Revolution" des Spätmittelalters?' in: U. Troitzsch en G. Wohlauf (ed.), *Technik-Geschichte. Historische Beiträge und neuere Ansätze* (Frankfurt am Main 1980) 105-138; Terry S. Reynolds, *Stronger than a hundred men. A history of the vertical water wheel* (Baltimore 1983) hoofdstuk 1 en 2; vergelijk H.W. Pleket, 'Over de oorsprong van het kapitalisme', *NRC Handelsblad*, Zaterdag Bijvoegsel, 15 februari 1992, 4.
9. Giedion, *Mechanization*, 15-17; vergelijk E.J. Dijksterhuis, *De mechanisering van het wereldbeeld* (Amsterdam 19773) 212-220.
10. Lynn White jr., *Medieval religion and technology. Collected essays* (Berkeley, Los Angeles 1978) 77-83, 217-254; vergelijk Ernst Benz, 'The Christian expectation of the end of time and the idea of technical progress' in: *Evolution and Christian hope: Man's concept of the future from the early Fathers to Teilhard de Chardin* (Garden City, New York 1966), 121-142 en idem, 'I fondamenti cristiani della technica occidentale' in: E. Castelli (ed.), *Tecnica e casistica* (Rome 1964) 241-263.
11. Vergelijk bijvoorbeeld Shigeru Nakayama, 'Man and the natural world: cosmological traditions in Asia and Europe', paper voor de First Conference on the Transfer of Science between Asia and Europe (Amsterdam, juni 1991).
12. George Ovitt, *The restoration of perfection. Labor and technology in medieval culture* (New Brunswick 1987) 12-18, hoofdstuk 2, 3, 4 en 5.
13. Ovitt, *Restoration*, 15-16; Jacques Le Goff, 'Labor, techniques and craftsmen in the value systems of the early Middle Ages (fifth to the tenth centuries)' in: *Time, work and culture in the Middle Ages* (Chicago 1980) 71-86.
14. Birgit van den Hoven, 'Arbeid en technologie in de Middeleeuwen. Waardering of onderwaardering?', *Leidschrift* 6 (1990) 101-117, zie ook de recensie door B.E. Daley in *Technology and Culture* 29 (1988) 913-915.
15. André Guillerme, *Les temps de l' eau - La cité, l' eau et les techniques. Nord de la France fin IIIe - début XIXe siècle* (Seysssel 1983) 236.
16. Guillerme, *Les temps de l' eau*, 235, hoofdstuk 6 en 7.
17. R. Hardonk, *Koornmullenaers, pampiermaeckers en coperslaghers. Korte historie der waterradmolens van Apeldoorn, Beekbergen en Loenen* (Apeldoorn 1968), 62; H. Voorn, *De geschiedenis van de Nederlandse papierindustrie*, deel I, *De papiermolens in de provincie Noord-Holland* (Wormerveer 1960) 41-42.
18. J.H. de Vlieger en E. Homburg, 'De evolutie van een trafiek. Technische vernieuwing en de Nederlandse loodwitindustrie, c. 1600-1870', *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek* 9 (1992) (te verschijnen).
19. Mumford, *Technics*, 12-18. Vergelijk over de betekenis van het uurwerk als metafoor: Otto Mayr, *Authority, liberty and automatic machinery in early modern Europe* (Baltimore en Londen 1986) hoofdstuk 2.

20. L. Okken, 'Die technische Umwelt der frühen Räderuhr', *Tractrix. Yearbook for the history of science, medicine, technology and mathematics* 1 (1989) 85-115; David S. Landes, *Revolution in time. Clocks and the making of the modern world* (Harvard 1983) hoofdstuk 3.
21. Arnold Pacey, *The maze of ingenuity. Ideas and idealism in the development of technology* (Cambridge, Mass. 19762) 32-33, hoofdstuk 5; Charles Webster, *The great instauration. Science, medicine and reform 1626-1660* (Londen 1975) hoofdstuk 5, met name 369-384.
22. Ansgar Stöcklein, *Leitbilder der Technik. Biblische Tradition und technischer Fortschritt* (München 1969) met name 31 en 133.
23. Svante Lindqvist, *Technology on trial. The introduction of steam power technology into Sweden, 1715-1736* (Uppsala 1984) hoofdstuk 10, 300 en verder.
24. Judith McGaw, *Most wonderful machine. Mechanization and social change in Berkshire paper-making, 1801-1885* (Princeton 1987) 81-88; vergelijk ook idem, 'No passive victims, no separate spheres: A feminist perspective on technology's history' in: Cutcliffe en Post, *In context*, 188.
25. Stöcklein, *Leitbilder*, 111-112.
26. Lynn White jr., 'Medical astrologers and late medieval technology', *Viator* 6 (1975) 295-319.
27. Zie onder andere B. Gille, *Les ingenieurs de la Renaissance* (Parijs 1964), W.B. Parsons, *Engineers and engineering in the Renaissance* (Baltimore 1939); A.E. Musson en Eric Robinson, *Science and technology in the Industrial Revolution* (Manchester 1969) hoofdstuk 2 en 11; Silvio A. Bedini, *Thinkers and tinkers. Early American men of science* (Ann Arbor 1975).
28. A. Rupert Hall, 'Engineering and the Industrial Revolution', *Technology and Culture* 2 (1961) 333-341; idem, *Ballistics in the seventeenth century* (Cambridge 1952); vergelijk ook Peter Mathias, 'Who unbound Prometheus? Science and technical change, 1600-1800', in: Peter Mathias (ed.), *Science and society 1600-1800* (Cambridge 1972) 54-80; Terry S. Reynolds, 'Scientific influences on technology: The case of the overshot waterwheel', *Technology and Culture* 20 (1979) 270-295; G.N. Tunzelmann, 'Technical progress during the industrial revolution', in: R. Floud en D. MacCloskey (ed.), *The economic history of Britain since 1700 vol.1 1700-1860* (Cambridge 1981) 148-151.
29. Zie: Staudenmaier, *Technology's storytellers*, hoofdstuk 3, Edwin T. Layton, 'Mirror-image twins. The communities of science and technology in 19th-century America', *Technology and Culture* 12 (1971) 562-580.
30. Vergelijk hierover Robin Briggs, 'The Académie Royale des Sciences and the pursuit of utility', *Past and Present* 131 (1991) 31-88; Kathleen H. Ochs, 'The Royal Society of London's History of Trades programme: An early episode in applied science', *Notes and records of the Royal Society of London* 39 (1984/85) 129-158.
31. Landes, *Revolution in time*, 147.
32. C.A. Davids, *Zeewezen en wetenschap. De wetenschap en de ontwikkeling van de navigatietechniek in Nederland tussen 1585 en 1815* (Amsterdam en Dieren 1986).
33. A.E. Musson en Eric Robinson, *Science and technology in the Industrial Revolution*



- (Manchester 1969); Neil MacKendrick, 'The role of science in the Industrial Revolution: A study of Josiah Wedgwood as a scientist and industrial chemist' in: M. Teich en R. Young (ed.), *Changing perspectives in the history of science* (Londen 1973) 274-319.
34. Margaret C. Jacob, *The cultural meaning of the Scientific Revolution* (New York 1988) hoofdstuk 5, 6, 7, in het bijzonder pagina 141, 179-182.
  35. Bert S. Hall, 'Der Meister sol auch kennen schreiben und lesen: Writings about technology ca.1400-ca.1600 A.D. and their cultural implications' in: D. Schmandt-Besserat (ed.), *Early technologies* (z.p. 1979) 47-49; vergelijk ook Pamela O. Long, 'The contribution of architectural writers to a scientific outlook in the fifteenth and sixteenth centuries', *Journal of Medieval and Renaissance Studies* 15 (1985) 165-298.
  36. Zie over deze effecten: Elisabeth L. Eisenstein, *The printing press as an agent of change. Communications and cultural transformations in early-modern Europe* (Cambridge 1979) hoofdstuk 2 en 6; Hall, 'Der Meister', 53-54.
  37. C.A. Davids, 'The transfer of windmill technology from the Netherlands to north-eastern Europe from the 16th to the early 19th century' in: J.Ph. Lemmink en J.S.A.M. van Koningsbrugge (ed.), *Baltic affairs. Relations between the Netherlands and north-eastern Europe 1500-1800* (Nijmegen 1990) 43-44; idem, 'The transfer of technology between Britain and the Netherlands 1700-1850', in: J.R. Bruijn en W.F.J. Mörzer Bruyns (ed.), *Anglo-Dutch maritime relations 1700-1850. Ten papers* (Amsterdam en Leiden 1991) 10.
  38. A. Keller (ed.), *A theatre of machines* (Londen 1964) 2-10; Hall, 'Der Meister', 50-52, 54-56; Pamela O. Long, 'The openness of knowledge: An ideal and its context in 16th-century writings on mining and metallurgy', *Technology and culture* 32 (1991) 325.
  39. Davids, *Zeewezen*, 317-320, 417; idem, 'Universiteiten, illustre scholen en de verspreiding van technische kennis in Nederland, eind 16e - begin 19e eeuw', *Batavia Academica. Bulletin van de Nederlandse werkgroep universiteitsgeschiedenis* 8 (1990) 6-7, 18-20; Jacob, *Cultural meaning*, 144.
  40. A. Keller, 'Mathematical technologies and the growth of the idea of technical progress in the sixteenth century' in: A.G. Debus (ed.), *Science, medicine and society in the Renaissance. Essays to honor Walter Pagel*, vol. 1 (Londen 1972) 11-27.
  41. Long, 'Openness', passim; William Eamon, 'From the secrets of nature to public knowledge' in: Robert S. Westman en David C. Lindberg (ed.), *Reappraisals of the Scientific Revolution* (Cambridge 1990) 347-348.
  42. Long, 'Openness', 354-355.
  43. Giedion, *Mechanization*, 5, 77-129.
  44. Thomas P. Hughes, 'Emerging themes in the history of technology', *Technology and Culture* 32 (1979) 707; John M. Staudenmaier, 'Recent trends in the history of technology', *American Historical Review* 95 (1990) 719; het systeem wordt ook wel aangeduid als 'the American system of manufacture' of 'manufactures'.
  45. David A. Hounshell, *From the American system to mass production 1800-1932. The development of manufacturing technology in the United States* (Baltimore en Londen 1984) 4, 16, 25-46; Merritt Roe Smith, *Harpers Ferry armory and the new technology* (Ithaca 1977).

46. Hounshell, *American system*, 25-28.
47. David A. Hounshell, 'Rethinking the history of "American technology"' in: Cutcliffe en Post, *In context*, 220; Carolyn C. Copper, 'The Portsmouth system of manufacture', *Technology and culture* 25 (1984) 182-223.
48. Hounshell, 'Rethinking', 221-224; David J. Jeremy, *Transatlantic Industrial Revolution: The diffusion of textile technologies between Britain and America, 1790-1830s* (Cambridge, Mass. 1981); Darwin H. Stapleton, *The transfer of early industrial technologies to America* (Philadelphia 1987) part I.
49. Hounshell, 'Rethinking', 216-225.
50. Eugene S. Ferguson, 'The American-ness of American technology', *Technology and Culture* 20 (1979) 7-9; Hounshell, *American system*, 5-12, 51-61.
51. Robert B. Gordon, 'Who turned the mechanical ideal into mechanical reality?', *Technology and Culture* 29 (1988) 745-778.
52. Hounshell, *American system*, 5-13, hoofdstuk 2-7.
53. Jon Elster, *Explaining technical change. A case study in the philosophy of science* (Cambridge 1983) 100-105; Paul Uselding, 'Studies in technology in economic history' in: Robert E. Gallman (ed.), *Recent developments in the study of economic and business history: Essays in memory of Herman E. Krooss* (Greenwich, Conn. 1977) 160-178; Gordon, 'Mechanical idea', 776.
54. John F. Kasson, *Civilizing the machine. Technology and Republican values in America, 1776-1900* (Harmondsworth 1976) hoofdstuk 1.
55. Ferguson, 'American-ness', 21.
56. McGaw, 'No passive victims', 184-185.
57. Cooper, 'Portsmouth system', 220-224.
58. C.A. Davids, 'De technische ontwikkeling van Nederland in de vroeg-moderne tijd. Literatuur, problemen en hypothesen', *Jaarboek voor de geschiedenis van bedrijf en techniek* 8 (1991) 9-37.