



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Hoe schrijven we de geschiedenis van de middeleeuwse techniek?

Wegener Sleswyk, André

Citation

Wegener Sleswyk, A. (1992). Hoe schrijven we de geschiedenis van de middeleeuwse techniek? *Leidschrift : Techniek*, 8(Juni), 23-41. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/73376>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/73376>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Hoe schrijven we de geschiedenis van de middeleeuwse techniek?

André Wegener Sleeswyk

Techniekgeschiedenis van de Middeleeuwen wordt al sinds ongeveer het midden van de negentiende eeuw geschreven, toen over dit onderwerp enkele encyclopedische werken van de hand van de architect Viollet-le-Duc verschenen.¹ Deze zijn echter nooit een integraal onderdeel gaan uitmaken van de mediaevistiek, ze waren vermoedelijk daarvoor al te zeer zuiver technisch van aard. De vrijwel exclusieve aandacht voor de zuiver technische ontwikkeling is overigens een kenmerk van de oudere stijl in techniek-historische studiën in het algemeen, dus niet speciaal die van de Middeleeuwen. Het bekende veeldelige werk onder redactie van Singer en anderen, *History of technology*,² dat in 1954 begon te verschijnen, is een goed voorbeeld van deze oudere stijl, in wezen een voortzetting van de benadering van Viollet-le-Duc. Experts op allerlei deelgebieden van de techniek beschreven in deze delen de ontwikkeling van zo'n deelgebied, maar de samenhang ontbrak, en erger, de plaatsing van deze fragmenten in het kader van de politieke, sociale en economische geschiedenis was aan deze experts overgelaten. Pas sinds ongeveer 1960 is de geschiedschrijving van de techniek zich bijna overal in snel tempo aan het emanciperen, hoewel een aanzet daartoe al in 1935 gegeven was, toen de *Annales* een geheel nummer wijdden aan de geschiedenis van de techniek.

Een voorbeeld van de moderne aanpak is te vinden in Bertrand Gille's *Histoire des techniques* dat in 1978 verscheen en waarin het sociaal-economische aspect uitvoerig aan bod komt.³ Gille introduceert in zijn werk ook een zinvolle beschouwingswijze waarbij complementaire elementaire technische handelingen samen een 'techniek' vormen. Als voorbeeld geeft hij dat zagen, hakken, vijlen en boren samen de techniek van het klompen maken geven. Een 'technologisch systeem' ontstaat als een groot aantal onderling afhankelijke technieken een samenhangend groter geheel vormen dat van maatschappelijke betekenis is. Gille beschouwt het agrarische systeem, dat ca. 8000 - 5000 v. Chr. de 'neolithische revolutie' veroorzaakte, als het eerste technologische systeem.

Schrijvend in 1968, merkte hij op dat de technieken uit de Middeleeuwen nog maar weinig waren bestudeerd; eigenlijk is dit nog steeds waar. Wel is het enigszins zonderling dat Gille de Middeleeuwen halverwege de twaalfde eeuw laat beginnen, en ze laat eindigen in het begin van de veertiende. Het is waar dat we over de ontwikkeling van de techniek uit de periode daarvóór weinig weten, maar de keuze

van deze periodisering bevat het gevaar dat de aansluiting met de periodes ervoor en erna wordt gemist.

Ook de bundels opstellen die Lynn White Jr. in 1962 en in 1974 publiceerde onder de titels *Medieval technology and social change* en *Medieval religion and technology* gaven een behandeling van technisch-historische thema's vanuit de gezichtspunten van de sociale geschiedenis en de ideeëngeschiedenis.⁴ Deze werken waren aantrekkelijk geschreven, en ze wekten in brede kring belangstelling voor de geschiedenis van de techniek. Een bezwaar dat men tegen deze opstellen zou kunnen inbrengen, ondanks de bewondering die de eruditie van de schrijver oproept, is dat de behandeling soms wat monocausaal is; te veel gevolgen, zo lijkt het, worden aan sommige innovaties alleen toegeschreven.

Het is overigens geheel begrijpelijk dat men eerst de zuiver technische ontwikkeling trachtte vast te stellen, alvorens deze in te weven in het meer omvattend stramien van de algemene geschiedenis. Bijna elke stap in een technische ontwikkeling is op te vatten als een antwoord niet alleen op vragen of eisen die worden gesteld door degenen die gebruik willen gaan maken van de techniek, maar ook als een antwoord op technische problemen die zich manifesteerden bij eerdere toepassing. Het laatste is wat men vroeger een 'internalistische' beschrijving van de ontwikkeling van de techniek noemde, het eerste een 'externalistische'. De twee categorieën kunnen niet scherp worden onderscheiden, want de toekomstige gebruiker zal graag zien dat technische problemen die naar voren kwamen, worden opgelost, en technische problemen zijn vaak alleen problemen omdat ze door de gebruiker als zodanig worden ervaren. Omdat de twee begrippen echter slechts een gedeeltelijk overlappende betekenis hebben, zijn ze toch bruikbaar, zij het in beperkte mate.

Belangrijk is ook dat technische ontwikkelingen gezien worden als deelproces van maatschappelijke ontwikkelingen. Men hoeft geen marxist te zijn, of in het marxistische 'vijf perioden schema' te geloven,⁵ om in te zien dat het voor technische ontwikkelingen belangrijk is wie over de produktiemiddelen beschikt, en welke de arbeidsverhoudingen zijn in de maatschappij, bijvoorbeeld of er slavernij bestaat. De Westeuropese middeleeuwse maatschappij is wel gekarakteriseerd als vroeg-kapitalistisch, en zou daarom meer op vernieuwing zijn gericht dan de Romeinse slavenhoudersmaatschappij, waar elke arbeidsbesparende vernieuwing overbodig zou zijn geweest. Het heeft er echter alle schijn van dat dit laatste op een misverstand berust.⁶ We zullen daar in het volgende nog op terugkomen.

Voor technische ontwikkeling (uitvinding of overname van een vroegere vinding of een die elders is gedaan), gevolgd door innovatie (een maatschappelijk significante toepassing) zijn in feite slechts enkele aspecten van de maatschappij-

vorm van doorslaggevende betekenis. Het aspect van de maatschappijvorm dat van het grootste belang lijkt voor technische ontwikkeling, is wie of welke groep beslist over het ter beschikking stellen van middelen om een vinding of een innovatie te bekostigen. Het ter beschikking stellen van ontwikkelingskapitaal is bijna altijd riskant. De centrale vraag is dan welk politiek of financieel risico eraan verbonden is. Is dat risico groot, dan werkt dat meestal remmend op technische ontwikkelingen. Zo zal technische innovatie in een bureaucratisch gestructureerde maatschappij, waar dergelijke besluiten genomen moeten worden door ambtenaren die verantwoordelijk gehouden kunnen worden als de beslissing verkeerd uitpakt, niet een opvallend kenmerk zijn, om het mild uit te drukken. Vermoedelijk is het Chinese keizerrijk van de Ming (1386 - 1644) en de Qing (1644 - 1911) hier een goed voorbeeld van.

In een maatschappij waar degenen die ontwikkelingskapitaal ter beschikking stelt alleen aan zichzelf verantwoording schuldig is, ligt dit natuurlijk veel gemakkelijker. Het grote bezwaar is dan dat het maatschappelijk belang van zo'n beslissing gering kan zijn, dat het bijvoorbeeld gaat om de ontwikkeling van intrigerend speelgoed, of luxegoederen, of - misschien minder marginaal - van belegeringswerktuigen. We kunnen daarbij denken aan het wapenarsenaal dat Dionysius van Syracuse liet ontwikkelen, en aan de Alexandrijnse automaten uit het Hellenistische tijdperk, of de waterklokken die voor de Chinese keizers werden vervaardigd.

Niet alleen is in het recente onderzoek de maatschappelijke context van technische innovaties benadrukt, maar ook zijn de technische aspecten op een meer wetenschappelijk verantwoorde wijze benaderd. Het 'internalistisch' onderzoek heeft zich geëmancipeerd van wilde gissingen omtrent de vermoede werking van apparaten tot nauwgezet theoretisch en experimenteel onderzoek, in de trant van de experimentele archeologie. Dergelijk onderzoek laat niet zelden zien dat technische ontwikkelingen anders verliepen dan men vroeger dacht, en vooral ook dat vooropgezette denkbeelden omtrent het technisch kunnen in het verleden belet hebben dat men significante technische aspecten kon waarnemen. Dit alles is uiterst leerzaam, met name ook omdat we er niet van uit mogen gaan dat ons dat niet zou zijn overkomen. We zullen in het volgende zo'n geval bespreken.

Een probleem dat specifiek is voor de geschiedschrijving van de middeleeuwse techniek, is in hoeverre de ontwikkeling van deze techniek de invloed onderging van de Chinese en de Arabische beschavingen, ofwel het probleem van overdracht. Er is dus, als we ons afvragen hoe de geschiedenis van de middeleeuwse techniek geschreven moet worden, een aantal problemen te onderkennen. Moeten we de technische ontwikkeling beschrijven als een maatschappelijk verschijnsel, in sociologische of antropologische termen, of als een zuiver technische aangelegen-

heid met een interne logica (het standpunt van de ingenieur) en moeten we de impulsen die het Westen in die periode uit het Oosten ontving als de onmisbare gist in ons baksel beschrijven of niet? Kortom, welke specialismen, welke standpunten en welke aspecten zijn essentieel?

Wie moet de geschiedenis van de techniek schrijven?

Uit het voorgaande blijkt dat de oriëntatie en de kennis van degenen die de geschiedenis van de techniek schrijft van niet te onderschatten belang zijn. Deze worden uit de aard der zaak sterk beïnvloed door de opleiding. Dit roept de vraag op of deze geschiedenis moet worden geschreven door historici of door ingenieurs. Bij beide mogelijkheden moet men verwachten dat er een tekort bestaat aan specialistische kennis. Dit laat zich - vereenvoudigend - als volgt formuleren: kan een ingenieur een techniekgeschiedenis schrijven die historisch acceptabel is, en kan een historicus zo'n geschiedenis schrijven die technisch acceptabel is?

Het volgende probeert een antwoord op deze vragen te geven. We gaan uit van de boze en bittere bespreking die de oud-historicus M.I. Finley in 1959 wijdde aan het tweede deel van het al eerder genoemde werk van Singer en zijn mederedacteuren, *History of technology*.⁷ De felheid waarmee Finley zijn bezwaren formuleerde tegen dit boek en zijn uitgebreide demonstratie van de blunders die door een aantal auteurs was begaan en van het veel te lakse beleid van de redacteuren, hadden als onmiddellijk effect dat in de tweede druk van Singers verzamelwerk - die al een jaar na de eerste verscheen - een groot aantal correcties werd opgenomen.

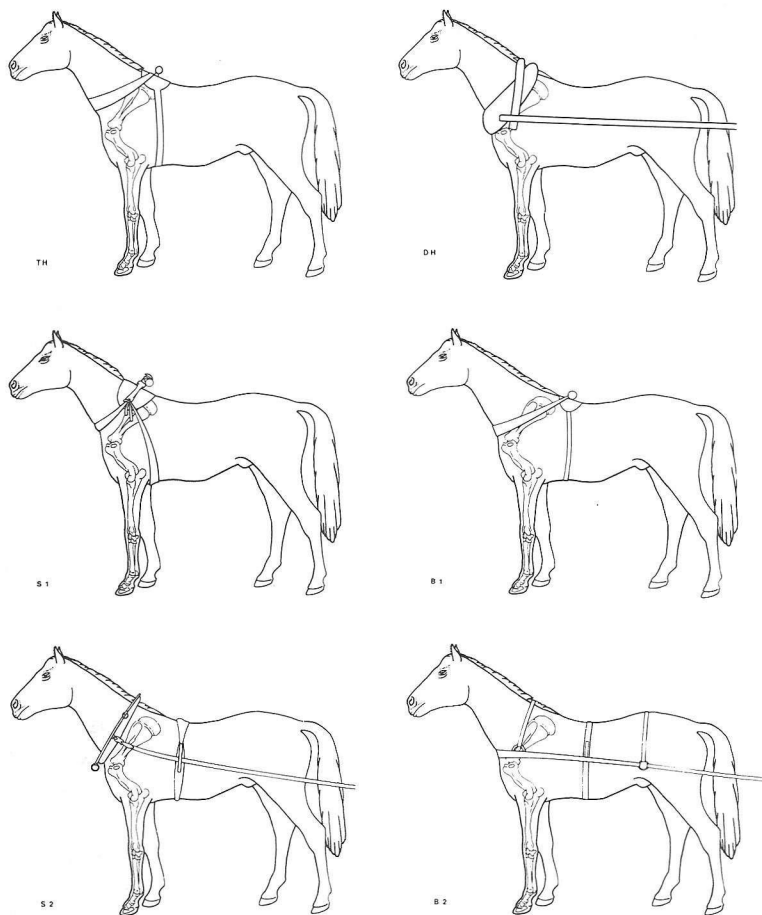
Op langere termijn was het effect dat het ook niet-historici duidelijk werd dat een verzameling opstellen van technische experts, die Finley denigrerend 'museum-keepers and technicians' noemde, niet een geschiedschrijving is, of kan zijn. Dat dit ook het voornaamste bezwaar van Finley was bleek uit zijn latere reactie: 'I wrote a harsh review of vol. 2 [van Singers boek] ... and I have no reason to retreat in any way. Indeed, my objections are strengthened by the pernicious influence this work continues to exercise; the more recent [1970] *Technology in the Ancient World*, a popular introduction by an acknowledged expert, H. Hodges,⁸ for which the 'two main sources' are the Singer volume and the late R.J. Forbes' multi-volume *Studies in Ancient technology*,⁹ reveals little interest in non-archaeological evidence, and, it appears from the text, little acquaintance. Forbes, I hasten to add, did not belong to this school of thought'.¹⁰

Nu kan hier tegen in gebracht worden dat ook 'museum-keepers and technicians' Hodges allerminst unaniem als een 'acknowledged expert' beschouwden: daarvoor bevat zijn boekje te veel missers op puur technisch gebied. Hem als zodanig

naar voren schuiven - op wiens gezag? - getuigt van onkunde, van boosaardigheid, of van beide. De stelling van Finley was dat het niet nodig is voor techniek-geschiedenis een plaats in te ruimen als afzonderlijke discipline: 'The framework is already there, in economic history, and a historian would have no difficulty in fitting the development of technology into it'. Dit zou de nauwe band tussen economie en techniek recht doen, en het zou Finley het contact met technische experts - waar hij blijkbaar nogal allergisch op reageerde - hebben bespaard. Toch zijn er bedenkingen: is het beeld van de geschiedschrijving dat Finley hier impliciet oproept, namelijk dat van een niet-samenhangend mozaïek waar gemakkelijk een steentje tussen gepast kan worden, wel adequaat, én is het wel waar dat een historicus dat in dit geval zonder moeite zou kunnen? De overschatting van Hodges als technisch expert doet op zijn minst twijfel ontstaan of Finley het zelf had gekund, maar er zijn meer en belangrijker redenen om hier aan te twijfelen.

Bijvoorbeeld Finleys oordeel over de waarde van het onderzoek van Lefebvre des Noëttes naar de geschiedenis van de aanspanning van trekdieren,¹¹ dat door hem zeer werd geprezen, maar dat helaas blijkt te berusten, zoals we zullen zien, op onzorgvuldige proefneming en op een verkeerde interpretatie van afbeeldingen. Daarmee vervalt echter een belangrijke middeleeuwse uitvinding die Des Noëttes had gepostuleerd, namelijk die van de efficiënte aanspanning. Deze hypothetische vinding speelde een belangrijke rol in Des Noëttes' theorie van de causale relatie tussen energietekort en slavernij in de Oudheid. De aanwezigheid van een ruim aanbod van slaven zou de ontwikkeling van arbeidsbesparende machines in de Oudheid sterk hebben afgeremd. De moderne onderzoeken naar de geschiedenis van het waterwiel - een belangrijke bron van energie - laten echter zien dat in de Late Keizertijd het waterwiel niet alleen al goed bekend was - Vitruvius had het tenslotte al beschreven -, maar dat ook de algemene toepassing al uit die tijd stamt en niet uit de Middeleeuwen. Daarmee vervalt een basisgegeven voor de zo plausibel klinkende historische theorie over het afremmend effect van slavernij op de ontwikkeling van arbeidsbesparende hulpmiddelen.

Laat ons kort ingaan op deze twee gevallen: de antieke aanspanning van het paard en het gebruik van het waterwiel in het Romeinse Keizerrijk en in de Middeleeuwen. In het werk van Lefebvre des Noëttes werd aangenomen dat in de Oudheid een systeem van aanspanning van *equidae* (paardachtigen) bestond dat hier schematisch in fig. 1 wordt getoond. Op de schoft ligt een jukbalk, één band loopt van dat punt naar de hals van het dier, een tweede gaat onder de borst langs. Des Noëttes had in 1910 in samenwerking met de Parijse 'Compagnie des petites voitures' deze aanspanning beproefd, en het bleek dat de paarden dreigden te stikken zodra ze hard begonnen te trekken, want dan kneep de keelband de luchtpijp van de dieren dicht. Een span paarden kon op deze wijze een belast voertuig met een gewicht van niet meer dan ongeveer 500 kilo voorttrekken.



Figuur 1. Aanspanningen van het paard. TH: hypothetisch, met juk op de schoft, volgens Lefebvre des Noëtes. DH: afgebeeld in fresco's van ca. 850 AD in de grotten van Dun Huang. S1: schoudertractie met jukvork, en juk voor de schoft, zoals in de Oudheid gebruikt. B1: borstractie uit de Oudheid, met juk achter de schoft. S2: moderne schoudertractie met gareel, in ieder geval bekend sinds de tiende eeuw. B2: moderne borstractie, ouderdom onbekend.

Het is jammer - ook uit methodologisch oogpunt - dat Des Noëttes in het geheel niet aangaf hoe hij precies tot deze speciale interpretatie kwam, hoe lang de proefnemingen duurden en welke varianten op de aanspanning werden beproefd. Deze vragen vormden de aanleiding tot het herhalen van zijn proeven. Dit gebeurde in de jaren zeventig door Spruytte, houder van een rijsschool in de Provence, en bekwaam experimenteel archeoloog.¹² Hij was zo verstandig hierbij een expert op het gebied van de geschiedenis van aanspanningen, M.A. Littauer, te consulteren. Deze proeven bevestigden slechts voor een deel de conclusies van Des Noëttes: de keel van het paard kan inderdaad worden dichtgeknepen. Anderzijds bleek ook dat na verloop van tijd het op de schoft rustend juk zo pijnlijk werd voor de dieren dat de proeven niet langer konden worden voortgezet. Kennelijk was Des Noëttes nooit zo ver gegaan, want hij vermeldt deze waarneming met geen woord. Toch is deze van groot belang, omdat, ook als er geen zware last werd getrokken, dit tuig na korte tijd onbruikbaar bleek. Het is, met andere woorden, uitgesloten dat dit tractiesysteem werkelijk werd toegepast.

Spruytte kwam al snel tot de conclusie dat het juk of vóór, of áchter de schoft op de rug van het dier gerust moet hebben. Rust het juk áchter de schoft op de paarderug, dan kan de band naar de keel wat lager worden gevoerd, en deze komt dan net onder de keel om de borst. Dit systeem bleek in de praktijk geen moeilijkheden op te leveren; het knijpt de luchtpijp niet dicht. Het wordt in fig. 1 geïllustreerd onder de aanduiding 'B1'. Het is een systeem van borstractie dat geheel analoog is aan het moderne systeem met de naar achter gevoerde borstband. Rustte het juk vóór de schoft op het dier, dan werd het, zoals uit een nauwgezette iconografische studie blijkt, gecombineerd met een jukvork, waar verscheidene exemplaren van zijn teruggevonden, bijvoorbeeld in het graf van Tut'ankhamon (14de eeuw v. Chr.), in Skythische kurgans uit de 4de - 5de eeuw en in graven van de Han-dynastie (206 v. Chr. - 220 AD).¹³ Onder het juk werd een dek gelegd om de paardehuid te beschermen, maar ook dit systeem (S1) - schoudertractie, zoals bij een modern gareel - voldeed goed. Het moderne gareel werd vermoedelijk in de Vroege Middeleeuwen ontwikkeld. Het bestaat uit een raamwerk van hout of metaal dat een geheel vormt met een met stro gevuld leren kussen dat op de schouders van het paard rust. Het is waarschijnlijk een verdere ontwikkeling van de jukvork die via een beschermend dek op het paard rustte, maar misschien ook van het juk met schouderkussen dat is afgebeeld in fresco's van ca. 850 AD in de grotten van Dunhuang in de Chinese provincie Gansu.

De conclusie van dit alles moet zijn dat Des Noëttes zijn experimenten uiterst vluchtig heeft uitgevoerd, en dat hij de twee tractiesystemen die in de Oudheid werkelijk werden gebruikt, met elkaar verward heeft, en als een enkel, geheel onbruikbaar systeem van antieke aanspanning beschouwde. Er is geen aanwijzing

dat het gareel dat in afbeeldingen uit de tiende eeuw AD opduikt een veel efficiënter tractiesysteem was dan dat met de jukvork, of dat dit het eerste efficiënte tractiesysteem was, zoals Des Noëttes meende.

Ook wat betreft de ontwikkeling van het waterwiel blijkt dat in de Oudheid van dit arbeidsbesparende hulpmiddel veel meer gebruik werd gemaakt dan men tot voor kort aannam, en dat ook hier het verschil met de middeleeuwse ontwikkeling slechts gradueel is. Vooral de studie van de Zweedse historicus Wikander over het gebruik van watermolens in de Oudheid (in dit geval de periode van de eerste eeuw v. Chr. - zevende eeuw AD) is hier van belang.¹⁴ Wikander laat zien dat meer dan vijftig watermolens voor het malen van graan hetzij specifiek in de literatuur worden vermeld, hetzij bekend zijn door opgravingen. De watermolen moet - zoals hij opmerkt - een veel gebruikt hulpmiddel zijn geweest, dat zeker niet pas in de Middeleeuwen werd herontdekt. Men kan hoogstens zeggen dat er in de Middeleeuwen relatief meer gebruik van werd gemaakt. Het 'Domesday Book' dat Willem de Veroveraar in 1086 liet samenstellen gaf een totaal van 5624 watermolens voor geheel Engeland. Het is echter zeer de vraag of we dit mogen vergelijken met de gegevens die Wikander voor de Oudheid verzamelde, en die waarschijnlijk slechts het topje van de ijsberg laten zien.

In ieder geval ligt de conclusie voor de hand: uit niets blijkt dat er in de Middeleeuwen een andere instelling bestond ten opzichte van het gebruik van mechanische energie dan in de Romeinse Keizertijd, wél werd er misschien meer gebruik van gemaakt, hetgeen overigens al veel eerder door Heichelheim was gesuggereerd.¹⁵ Kortom, een gradueel en geen fundamenteel verschil. Het lijkt het meest waarschijnlijk dat aan de vraag naar mechanische energie in de Oudheid door het aanbod van slavenarbeid niet werd voldaan. Men mag daarom niet stellen dat de slavernij arbeidsbesparende vindingen overbodig maakte. Slavernij en watermolens waren beide manifestaties van dezelfde vraag naar mechanische energie, ze vulden elkaar eerder aan dan dat ze concurrerend waren.

J. Gimpel ziet in het relatief grote aantal watermolens dat in het Domesday Book vermeldt wordt een teken van een middeleeuwse 'Industriële Revolutie', en wijst daarbij op de analogie met de omstandigheden die de Industriële Revolutie in de achttiende eeuw hebben begeleid.¹⁶ Ook hier was sprake van een bevolkingsaanwas, een revolutie in de landbouwmethoden, en een analogon van de Verlichting: de vernieuwingsbeweging die Haskins 'de Renaissance van de twaalfde eeuw' noemde. Als karakteristieke artefacten treffen we niet de stoommachine, de automatische weefstoel en de fabriek aan, maar het waterwiel, het raderuurwerk en de gotische kathedraal. Deze 'Industriële Revolutie' zou echter gefnuikt zijn door de rampen van de veertiende eeuw.

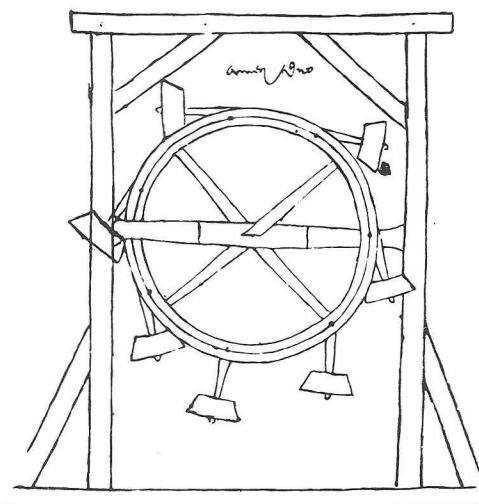
Deze theorie van Gimpel lijkt aantrekkelijk, maar is ze juist, zelfs als we afzien

van kibbelen over wat precies een 'industriële revolutie' is? Een fundamenteel bezwaar is dat van zo'n middeleeuwse 'industriële revolutie' zo weinig te merken was, dat er zo weinig maatschappelijke gevolgen aan waren verbonden. Zelfs als we mogen aannemen dat de catastrofes van de veertiende eeuw deze 'industriële revolutie' in de kiem hebben gesmoord, blijft het wonderlijk dat zij geen sporen heeft nagelaten in bijvoorbeeld de regelgeving of de infrastructuur.

In het algemeen waren gildevoorschriften een sterke rem op innovatie. Ze stipuleerden niet alleen kwaliteitsvoorschriften, maar ook verbodsbepalingen, juist wat betreft nieuwe technieken die een bedreiging konden betekenen voor de regionale monopoliepositie van een gilde. Het kan niet anders dan dat die remmende bepalingen zouden verdwijnen tijdens zo'n revolutie, maar daar blijkt niets van. Dergelijke bepalingen zijn nog zeer lang blijven bestaan.¹⁷ Tegen een 'Industriële Revolutie' in de Middeleeuwen pleit ook dat er zo weinig bekend is uit die periode van voorzieningen voor communicatie en vervoer van industriële produkten, dus van wegen en kanalen. Ook werd het wegennet uit de Romeinse periode niet hersteld, hooguit incidenteel gerepareerd. Zonder communicatie en transport is een industriële revolutie echter niet goed denkbaar.

Het is jammer van Gimpels stoutmoedige gedachte, maar juist lijkt ze niet. Gimpel heeft zich grotendeels moeten baseren op secundaire literatuur, en op interpretaties die kritischer hadden kunnen zijn. Zijn held is Villard de Honnecourt, in wie hij - in navolging van Lassus¹⁸ - een 'architect en ingenieur' uit de eerste helft van de dertiende eeuw vermoedt. Maar diens befaamde schetsboek - overigens wel een uniek en belangrijk document - laat eigenlijk niet veel meer zien dan een verzameling schetsen van mechanische apparaten die voor het grootste deel waarschijnlijk niet gewerkt zullen hebben. Van het perpetuum mobile (fig. 2) dat hij schetste, weten we dat zelfs zeker, ook al presenteerde hij het als een werkende machine. Zijn schetsboek getuigt van de technische fantasie van een amateur, en is ook als zodanig belangrijk, maar het is niet het werkboek van een competent ingenieur. De detailstudies van kledingplooien, haardrachten, figuurproporties en details van kerkgebouwen in verschillende steden, die het grootste deel van het carnet innemen, doen eerder vermoeden dat Villard een rondreizend meestersteenhouwer of beeldhouwer was.

Wel een zeer competent technicus was de schrijver die onder de naam 'Theophilus' waarschijnlijk omstreeks 1120 een verhandeling schreef over de technische kanten van schilderen, brandschilderen van glas en metaalbewerking, getiteld *De Diversis Artibus*. De in technisch opzicht belangrijkste vertaling van dit werk met verklarende voetnoten is die van de classicus Hawthorne en de metaalkundige Smith van 1963.¹⁹ Deze editie is voorbeeldig, ook omdat ze het resultaat is van samenwerking tussen experts die de grenzen van hun expertise kennen.



Maint on se fait maistre despute de faire tor ner une ruee par li seule. vef
ent ci com ent puet faire par mailles nonpers u par vifargent.

Figuur 2. Perpetuum mobile volgens Villard de Honnecourt, ca 1235. Onder-
schrift: 'Maint jor se sunt maistre despute de faire tor ner une ruee par li seule. vef
ent ci com ent puet faire par mailles nonpers u par vifargent'. (Menigmaal hebben
geleerden er over getwist hoe een wiel uit zichzelf te laten draaien; ziehier hoe men
dit kan doen met een oneven aantal hamers of met kwikzilver).

Ondertussen zijn we wel in staat de in de titel van dit hoofdstuk gestelde vraag te beantwoorden: inderdaad zijn 'museum keepers and technicians' wier kennis en visie niet verder reikt dan hun functie impliceert, niet de aangewezen personen om de geschiedenis van de techniek te schrijven, zelfs al zouden bijvoorbeeld deze 'museumkeepers' wel geschiedenis hebben gestudeerd. Anderzijds is het ook duidelijk dat economisch-historici met andere beperkingen dit ook niet adequaat kunnen doen, omdat zij immers niet kunnen oordelen over de kwaliteit van de technische aspecten van technisch-historisch onderzoek. We noemden al de kritiekloze waardering die Finley uitte aangaande het onderzoek van Des Noëttes, blijkbaar zonder enig vermoeden van de gebrekkige experimentele uitvoering en van de geringe geldigheid van de conclusies die daarop werden gebaseerd.

Dat degenen die over de geschiedenis van de techniek zou willen schrijven van techniek geen verstand zou behoeven te bezitten - en dat is de conclusie waar Finleys uitval toe leidde - is in feite even absurd als wanneer men zou stellen dat het mogelijk zou zijn economische geschiedenis te schrijven zonder kennis van economie, of kunstgeschiedenis zonder inzicht in de kunst. Nu is zulke technische of historische kennis, zo min als welke kennis dan ook, een monopolie. Economisch-historici en ook 'museumkeepers and technicians' kunnen techniekgeschiedenis schrijven, als ze maar over de grenzen van hun vak heen kunnen zien. Voorbeelden van zulke mensen zijn er genoeg: E.-E. Viollet-le-Duc was architect en R.J. Forbes ingenieur, terwijl de classicus A.G. Drachmann zoveel technische vaardigheid bezat dat hij ook de technische kant van technische ontwikkelingen actief onderzocht en F. Braudel en L. White Jr. bezaten als historici zoveel technische kennis dat zij zich in de waarde van een technisch-historisch onderzoek niet gemakkelijk vergisten. Nog sterker geldt dit voor jongere historici op dit gebied. Het is het meest wenselijk als de onderzoeker zowel het historische aspect als het technische geheel beheerst, zoals Drachmann deed. Dit zal echter maar bij uitzondering mogelijk blijken, en in het algemeen is het misschien nog het beste als mediaevisten en technisch specialisten tot samenwerking kunnen komen, in de trant van Hawthorne en Smith.

Toch is de gedachte dat technische kennis niet noodzakelijk is voor het schrijven van geschiedenis van de techniek in het geheel niet een overwonnen standpunt. Er is in de laatste decennia een kennissociologie van wetenschap en techniek ontwikkeld die deze gedachte zou kunnen ondersteunen. Zoals hierna betoogd zal worden, berust de redenering in de theorie die tot deze conclusie leidt waarschijnlijk op een misverstand. Omdat echter de rest van deze theorie zeer waardevolle elementen lijkt te bevatten, zoals bijvoorbeeld de beschrijving van de systematische analyse van de ontwikkeling van artefacten, is het toch nodig dit aspect daarvan nader ter discussie te stellen.

Kennissociologie van wetenschap en techniek

Finley schreef zijn boekbespreking nog voordat een aantal belangrijke werken op het gebied van de wetenschapsfilosofie verscheen: de boeken van Popper (1959),²⁰ Kuhn (1962)²¹ en Lakatos (1971)²². Tegenwoordig stoelen daarop in de eerste plaats een aantal courante theorieën over de ontwikkeling van de wetenschap, maar sedert kort ook enkele over de ontwikkeling van de techniek.

Deze wetenschapstheoretische beschouwingen hebben in combinatie met een algemene sociologische kennistheorie geleid tot een sociologische kennistheorie van de wetenschap, zoals uitgewerkt door Bloor in een boek dat in 1976 uitkwam.²³ Omdat natuurwetenschap en ingenieurskunst nauw verwant zijn, was het geen wonder dat deze theorie daarna ook in iets gewijzigde vorm werd uitgebreid naar technische kennis. Het 'strong programme' van Bloor kent vier condities die vervuld moeten worden bij de sociologische wetenschapsbeschrijving. Drie ervan liggen voor de hand: causaliteit,²⁴ onpartijdigheid ten aanzien van succes of mislukking en reflectiviteit, waarmee wordt bedoeld dat de theorie ook op zichzelf van toepassing is. De vierde eis, die van 'symmetrie', bergt echter de kiem van moeilijkheden in zich.

Deze eis van 'symmetrie' is ook het meest opvallende kenmerk van het door Bloor zo genoemde 'sterke programma'; het is de eis die volgens deze theorie aan het sociale fundament van alle kennis moet worden gesteld. Hij houdt in dat alle kennis, of ze waar is of onwaar, fout of juist, volgens dit programma op dezelfde wijze onderzocht dient te worden wat betreft de sociale herkomst. Enige scepsis lijkt hier wel op zijn plaats.

Dit kan toegelicht worden aan de hand van de uitbreiding die door Pinch en Bijker aan het begrip 'symmetrie' is gegeven voor de sociologische verklaring van technologische ontwikkelingen.²⁵ Het duidelijkste is dit misschien uitgelegd in de dissertatie van Bijker: 'The "working" of a machine will not be an intrinsic property of the artifact, explaining its success; rather, it will be explained as the result of the machine's success. Thus, the success and the failure of an artifact are to be explained symmetrically - that is to say, by the same conceptual framework. An asymmetrical explanation would, for example, explain the success of artifacts which we now consider to be working, by referring to that "working"; the failure of such machines would be explained by pointing at, for example, social factors'.²⁶

Voor een deel kan men het hier geheel mee eens zijn: 'succes' en 'mislukking' zijn termen die op de sociale aanvaarding van een artefact slaan, en het lijkt voor de hand te liggen dat deze beide op dezelfde wijze moeten worden verklaard. De eis van 'onpartijdigheid' impliceert dat. Maar wat moeten we met de begrippen 'werken' of 'niet werken', die overigens niet nauwkeuriger werden omschreven?

Dat zowel het werken als het niet-werken van een artefact op dezelfde wijze moeten worden verklaard, lijkt wederom acceptabel, maar er is *a priori* geen enkele reden om aan te nemen dat deze verklaringswijze identiek zou moeten zijn met die toegepast op het begrippenpaar: succes - mislukking. Misschien zou men zich daar geen zorgen over behoeven te maken, daar het onwaarschijnlijk is dat een niet-werkend artefact sociaal geaccepteerd wordt. Maar is het omgekeerde ook waar? Is een artefact dat geen sociale acceptatie ondervindt daarom ook niet-werkend, zoals Bijker het stelt?

Dit voorstel gaat in tegen het geaccepteerde spraakgebruik, waarin het 'werken' van een artefact een noodzakelijke conditie is die voorafgaat aan de sociale keuze die in 'succes' of 'mislukking' besloten ligt. Er is, met andere woorden, anders dan Pinch en Bijker dat doen, een hiërarchie toe te kennen aan deze begrippenparen: de vraag of iets werkt in technische zin of niet, is prelabel aan die van succes of mislukking in sociale zin. In het begrippenstelsel dat Pinch en Bijker voorstellen, ligt dat anders: bij hen betekent 'werken' niet, zoals gebruikelijk, het met succes vervullen van de beoogde technische functie, maar van de behoefte van een sociale groep. Bijker illustreert dat met de vroege hoog-wiel fiets, de 'ordinary'. Die 'werkte' voor de groep van welgestelde atletische jongemannen, maar voor andere groepen was hij te gevaarlijk en te duur, daarvoor gold dat hij 'niet werkte'. Het artefact, de 'ordinary' splitst zich volgens Bijker in tweeën: de 'succesvolle' voor de jongemannen, de 'mislukte' voor de rest. Men zou misschien tegen deze interpretatie in kunnen brengen dat Bijker met 'working', 'bruikbaar' bedoelt. Maar ook dan blijft het bezwaar tegen de symmetrische interpretatie bestaan, en daar komt bij dat het technisch aspect geheel buiten beschouwing wordt gelaten.

In de context van dit artikel is belangrijk dat het effect van dit voorstel gelijk is aan dat van Finley om de geschiedenis van de techniek te schrijven zonder van de diensten van technische experts gebruik te maken. Immers, de socioloog kan op grond van deze benadering menen dat hij niet alleen kan uitleggen waarom een artefact wel of niet succesvol is, maar ook waarom het wel of niet werkt; daar komt geen technisch inzicht aan te pas. Het is echter niet waarschijnlijk dat een dergelijke verklaring als afdoende kan worden geaccepteerd.

Dit taalgebruik, dat een ontkenning inhoudt van de hiërarchie in de begrippen 'werken' en 'niet-werken', en 'succes' en 'mislukking', negeert daarmee ook het historisch belang van het technisch aspect van een artefact. Dit laat zich illustreren aan de hand van een voorbeeld, afkomstig uit een aandachtsgebied van de dissertatie van Bijker, namelijk de vroege ontwikkeling van de fiets - die misschien minder ver van de Middeleeuwen af ligt dan men zou denken, als tenminste het tekeningetje van een rijwiel in Leonardo's *Codex Atlanticus* geen vervalsing is.²⁷ Dit voorbeeld betreft het prototype rijwiel dat Archibald Sharp in 1888 ontwierp.²⁸

Het frame van deze fiets was uitzonderlijk eenvoudig en sterk, maar desondanks voldeed dit prototype niet. Sharp verwoordt het als volgt: 'This design answered all requirements as regards lightness and strength; but as an expert rider experienced almost as much difficulty in learning to ride this machine as a novice in learning one of the usual type, it was abandoned'. Dit rijwiel was dus voor een getrainde expert - een sociale groep bestaande uit één man - bruikbaar, maar voor alle anderen een mislukking. Volgens het taalgebruik van Pinch en Bijker moeten we vaststellen dat het daarom niet 'werkte'. Het 'niet-werken' van dit fiets-prototype wordt aldus volgens de werkwijze van Bijker sociologisch verklaard, maar dan toch wel zeer onbevredigend, namelijk op een wijze die in het Engels 'begging the question' wordt genoemd. Dit lijkt bovendien wel een zeer gewrongen verklaring, want een eigentijdse fietsenmaker of ingenieur die met dit ontwerp geconfronteerd wordt, ziet in een oogopslag waar de moeilijkheid schuilt; het besturingssysteem van dit rijwiel is namelijk in hevige mate onstabiel. De ingenieur kan dat bovendien verklaren aan de hand van de mechanica van besturingssystemen.

De vraag is nu welke verklaring de voorkeur verdient: de sociologische of de technische? Het lijkt me - met meer zekerheid is dit nu eenmaal niet te zeggen - dat dit de laatste is, vooral ook omdat zij de sociologische verklaring volgens Pinch en Bijker verduidelijkt, terwijl het omgekeerde niet het geval is. Maar in dat geval wordt de hiërarchie van 'werken of niet-werken' boven die van 'succes of mislukking' bevestigd, en wordt daarmee ook de universele eis van een 'symmetrische' verklaring impliciet afgewezen, ongeacht voor welk gebied van wetenschap deze bedoeld is.

Technische ontwikkelingen in Oost en West

De geschiedenis van de techniek bezit een nauwe band met de sociale en economische geschiedenis. Wat minder voor de hand ligt misschien de band met de ideeëngeschiedenis. Toch kan ook die niet verwaarloosd worden. Zo zal het sociaal-economisch weinig uitmaken wat de herkomst is van het idee of de vinding waarop een innovatie (dus een maatschappelijk aanvaarde technische vernieuwing) berust, terwijl het anderzijds voor een historicus onaanvaardbaar is deze herkomst terzijde te laten. Speciaal voor de Middeleeuwen bestaat het probleem van overdracht van wetenschappelijke en technische kennis uit de Islamitische en Chinese cultuurgebieden.

Omdat er in West-Europa in deze periode kennelijk werd voldaan aan een basisvoorwaarde voor overdracht, namelijk dat er een zekere receptiviteit bestond voor nieuwe ideeën of vindingen op technisch gebied, was dit een mogelijkheid. Deze receptiviteit bestond echter voor alle vindingen, ongeacht hun herkomst. Als

men de herkomst van een vinding tracht na te gaan door vergelijking met soortgelijke vindingen elders, betekent dit dat verschillende mogelijkheden overwogen moeten worden: de vinding kan uit de eigen cultuur zijn voortgekomen, of ze kan door overdracht (diffusie) uit een andere cultuur zijn overgenomen. In het eerste geval kan het gaan om een heruitvinding of een parallelle vinding, waar we verscheidene voorbeelden van kennen uit de negentiende eeuw, zoals de gelijktijdige uitvinding van de telefoon door Alexander Graham Bell en Elisha Gray, wier patentaanvragen enkele uren na elkaar binnen kwamen bij het 'U.S. Patent Office' op 14 februari 1876.²⁹ Een algemene verklaring voor zulke gevallen is dat in het kader van de technische ontwikkeling het moment was aangebroken dat deze vinding te verwachten was.

In het geval van overdracht uit een andere cultuur is er een spectrum van mogelijkheden, gaande van de verspreiding van een gerucht dat een bepaalde vinding is gedaan, dat de aanzet vormt tot een herhaling elders (stimulus-diffusie), tot en met de overdracht van een apparaat waarin de nieuwe vinding belichaamd is. Een dergelijke overdracht zal in het algemeen plaatsvinden van een technisch superieure naar een technisch inferieure maatschappij. Tot ongeveer 1400 AD was de Chinese maatschappij in technisch opzicht superieur aan de Westeuropese, en ook de Moslimbeschaving was dit tot aan de periode van de Mongoleninvallen in het Midden-Oosten in de tweede helft van de dertiende eeuw. Het is daarom van belang na te gaan welke technieken West-Europa uit het Oosten bereikt kunnen hebben, ook al moeten we meestal in het duister tasten of dit overdracht van een denkbeeld was, of van een produkt of een instrument, als we al mogen aannemen dat die overdracht werkelijk plaatsvond.

Ondanks de gebrekkige transportmiddelen en de talloze gevaren blijkt er in de Middeleeuwen veel gereisd te zijn. Uit de reisberichten van Marco Polo, Willem van Ruusbroec en Jean de Plan de Carpin in de periode van de 'Pax Mongolica' (ca. 1250 - ca. 1340) blijkt dat een groot aantal Westerse handwerkslieden zich in Karakorum had gevestigd; men mag aannemen dat een aantal van hen naar Europa is teruggekeerd, en kennis van het Chinese handwerk en de Chinese techniek mee terug bracht. Dit bevorderde de verspreiding van technieken en van technische denkbeelden, maar meer nog zal deze in de hand zijn gewerkt door het naast elkaar leven van bijvoorbeeld Christen- en Moslimtechnici in Spanje tijdens de Reconquista, op Sicilië tijdens het bewind van de Hohenstaufen, en in de kruisvaarderstaten. De kruistochten intensiveerden ook de contacten met Byzantium; dit zal vooral het geval zijn geweest na de verovering van Constantinopel door de kruisvaarders in 1204.

Over de mogelijke relatie tussen oosterse en westerse wetenschap en techniek, is door Joseph Needham veel materiaal aangedragen in zijn pionierswerk *Science*

and Civilisation in China.³⁰ Ofschoon Needham, die in Cambridge biochemie doceerde, sterk de neiging vertoont vrijwel alle Europese ontwikkelingen op dit gebied toe te schrijven aan overdracht uit China, is de wijze waarop hij zijn materiaal presenteert en zijn conclusies ontvouwt zo compleet en zo doorzichtig dat het meestal niet moeilijk is te zien waar de historische gegevens eindigen en het onkritisch 'hineininterpretieren' begint. Door deze werkwijze blijft het werk van Needham waardevol, hoeveel bezwaren ook tegen zijn vergaande conclusies kunnen worden ingebracht. Mede op grond van dit pionierswerk zal het in de toekomst waarschijnlijk mogelijk blijken de Chinese wetenschappelijke resultaten en technische verworvenheden in detail te vergelijken met de Europese. Dit zou ons in staat stellen na te gaan of er inderdaad overdracht heeft plaatsgevonden, en als dat zo was, wat er precies overgedragen werd.

Het is namelijk in het geheel niet duidelijk of bijvoorbeeld de klassieke trits van middeleeuwse uitvindingen: de boekdrukkunst, het magnetisch kompas en het buskruit, werkelijk uit het Oosten is overgenomen of niet. Mogelijk is het wel, en Needhams argumenten dat het magnetisch kompas via Arabische zeelui zijn weg naar het Westen vond, is alleszins geloofwaardig, terwijl het buskruit misschien direct uit China is overgenomen. De gelijkenis tussen de vaasvormige 'bombar-den' in China en Europa is zo groot, dat de mogelijkheid van directe overdracht zeker onderzocht dient te worden.³¹ Anderzijds lijkt het er op dat de boekdrukkunst een heruitvinding is.

Een middeleeuwse uitvinding van ongeveer 1290 waarvan de Westeuropese herkomst weinig twijfel oproept, is het uurwerk met échappement, ook al suggereert Needham dat in de waterklok van Su Song van het eind van de tiende eeuw AD al een échappement werd gebruikt. Een daar enigszins op gelijkend mechanisme komt inderdaad voor in de reconstructie die Combridge van deze klok maakte,³² maar dit is een interpolatie, die niet voorkomt in de beschrijving, *Xin Yi Xiang Fa Yao* ('Methode om het nieuwe instrument te vervaardigen'), die Su Song gaf van de klok. Na de inval van de Jin-tartaren in 1126 in Noord-China bleek echter het werkingsprincipe van de klok van Su Song verloren te zijn gegaan, en het is daarom niet waarschijnlijk dat het Westeuropese échappement hier iets mee te maken had. In 1271 schreef de in Parijs wonende monnik Robertus Anglicus nog dat men een raderuurwerk zou kunnen maken als er een geschikte rem, *frena*, voor zou bestaan, en waarschijnlijk werd deze, het échappement, voor 1290 inderdaad toegepast in Engelse torenuurwerken. Verder reikt onze kennis over deze ontwikkeling momenteel helaas niet.

Conclusies

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn geworden dat de technische geschiedschrijving van de Middeleeuwen nog in ontwikkeling is. Er zijn nog vele open vragen en het zal nog heel wat onderzoek en studie vragen deze in de toekomst te beantwoorden. Getracht is aannemelijk te maken dat de suggestie dat technische expertise gemist kan worden bij het schrijven van de geschiedenis van de techniek in het algemeen, dus ook van die van de Middeleeuwen, tot verkeerde gevolgtrekkingen leidt. Dit denkbeeld, dat door Finley werd geopperd, is recent nieuw leven ingeblazen door het overigens belangrijke werk van Pinch en Bijker.

Juist door wél gebruik te maken van technische expertise bleek de onjuistheid van enkele vanouds geaccepteerde denkbeelden, zoals die van Lefebvre des Noëttes betreffende de samenhang tussen slavernij, paardetractie en de behoefte aan arbeidsbesparende machines. Het blijkt dat er geen wezenlijk verschil bestaat in de wijze waarop in de behoefte aan mechanische energie werd voorzien in de Romeinse Keizertijd en de Middeleeuwen. Paardetractie was in beide periodes ongeveer even efficiënt, en waterwielen werden in beide periodes op ruime schaal toegepast. De conclusie is dat bij het schrijven van de geschiedenis van technische ontwikkelingen diepgaande kennis vereist is van zowel de economische en sociale als technische aspecten. Nauwe samenwerking tussen specialisten is dus het meest gewenst.

Gimpels idee van een (gefnuikte) middeleeuwse Industriële Revolutie is niet voldoende onderbouwd, en waarschijnlijk niet houdbaar. Zijn werk maakt duidelijk dat een nieuwe analyse van het schetsboek van Villard de Honnecourt, waarbij niet *a priori* uitgegegaan wordt van de gedachte dat hij een belangrijk bouwmeester en ingenieur was, zeker gewenst is.

De wisselwerking tussen maatschappij en technische vernieuwingen bestaat uit maatschappelijke voorwaarden die het ontstaan van vernieuwingen bevorderen, en de effecten die deze hebben op de maatschappij. Een belangrijk maatschappelijk element bij innovatie wordt gevormd door de eventuele sancties waar degenen die de beslissing neemt tot het beschikbaar stellen van de middelen voor het uitvoeren van technische vernieuwingen aan blootgesteld kan worden.

Tenslotte: voor de middeleeuwse techniek is het probleem van de overdracht van technische kennis of denkbeelden uit China en Arabië specifiek. Ondanks het vele werk dat op dit gebied al verricht is, zal de beantwoording van de vraag naar de wijze van overdracht van technische ideeën in de Middeleeuwen van het Oosten naar West-Europa moeten wachten op technische detailstudies.

Noten

1. E.-E. Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné du mobilier français de l'époque carolingienne à la Renaissance* (6 tomes) (Parijs 1858-1875). Dit is voor de geschiedenis van de techniek nog steeds een waardevol werk.
2. C. Singer, E.J. Holmyard en R.S. Hall, *A history of technology* (5 vols.) (Oxford 1954-1958).
3. B. Gille, *Histoire des techniques* (Parijs 1978).
4. L. White Jr., *Medieval technology and social change* (Londen, Oxford en New York 1962) en *Medieval religion and technology* (Berkeley, Los Angeles en Londen 1978).
5. S.W. Schuchardin, N.K. Laman en A.S. Fjodorov (ed.), *Allgemeine Geschichte der Technik, von den Anfängen bis 1870* (Leipzig 1981).
6. Speciaal wat betreft de attitudes ten aanzien van techniek in de Oudheid is Plekets studie nog steeds waardevol: H.W. Pleket, 'Technology in the Greco-Roman world: a general report', *Talanta* 5 (1973) 6-47.
7. M.I. Finley, 'Essays in bibliography and criticism XL. Technology in the Ancient World', *Economic History Review* 2nd Ser. 12 (1959) 120-125.
8. H. Hodges, *Technology in the Ancient World* (Londen 1970).
9. R.J. Forbes, *Studies in ancient technology* 9 vols. (Leiden 1954-1963).
10. M.I. Finley, 'Archaeology and history', *Daedalus* 100 (1971) 168-186.
11. R. Lefebvre des Noëttes, *L'Attelage, le cheval de selle à travers les ages. Contribution à l'histoire de l'esclavage* (2 tomes) (Parijs 1931). Lefebvre des Noëttes was een pionier in zijn streven de geschiedenis van de technische ontwikkeling te integreren in de algemene geschiedenis. Het is daarom des te meer te betreuren dat zijn technische studies over de aanspanning van het paard en van het stevenroer onhoudbaar zijn gebleken. Overigens worden zijn foutieve conclusies nog vaak geciteerd.
12. J. Spruytte, *Études expérimentales sur l'attelage* (Parijs 1977).
13. M.A. Littauer, 'The function of the yoke saddle in ancient harnessing', *Antiquity* 42 (1968) 27-32.
14. O. Wikander, 'Exploitation of water-power or technological stagnation? A reappraisal of the productive forces in the Roman Empire', *Scripta Minora* (1983-1984: 3).
15. F.M. Heichelheim, 'Römische Sozial- und Wirtschaftsgeschichte (von der Königszeit bis Byzanz)', *Historia Mundi. Ein Handbuch der Weltgeschichte* Vol. IV (Bern 1956) 397-488.
16. J. Gimpel, *La révolution industrielle du Moyen Age* (Parijs 1975).
17. M. Stürmer (ed.), *Herbst des alten Handwerks* (München en Zürich 1986) 90-138.
18. J.-B.A. Lassus, *Album de Villard de Honnecourt, architecte du XIII siècle* (Parijs 1858).
19. Theophilus, *On divers arts*, J.G. Hawthorne en C.S. Smith (ed.) (Londen 1963).
20. K.R. Popper, *The logic of scientific discovery* (Londen 1959).
21. T.S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions* (Chicago 1962).
22. I. Lakatos, 'History of science and its rational constructions' in: Buck en Cohen (ed.), *Boston Studies* (Vol.8) (Dordrecht 1971).

23. D. Bloor, *Knowledge and social imagery* (Londen, Henley-on-Thames en Boston 1976).
24. D. Bloor, *Knowledge*, 4: '[The sociology of scientific knowledge] would be causal, that is, concerned with the conditions which bring about belief or states of knowledge. Naturally there will be other types of causes apart from social ones which will cooperate in bringing about belief'.
25. T.J. Pinch en W.E. Bijker, 'The social construction of facts and artifacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other', *Social Studies of Science* 14 (1984) 399-441.
26. W.E. Bijker, *The social construction of technology* (Eijsden 1990).
27. A. Marinoni, 'Das Fahrrad' in: L. Reti (ed.), *Leonardo, Kunstler, Magier* (Maidenhead 1974) 288-291.
28. A. Sharp, *Bicycles and tricycles. An elementary treatise on their design and construction* (Londen en New York 1896).
29. D.A. Hounshell, 'Two paths to the telephone', *Scientific American* 244, No.1 (1981) 134-140.
30. De serie werken *Science and Civilisation in China (SCC)*, geredigeerd door J. Needham, en grotendeels door hemzelf geschreven, begon in 1954 te verschijnen. De eerste delen behandelen 'Introductory orientations' en 'History of scientific thought' en deel III, dat in 1959 verscheen, 'Mathematics, the sciences of the heavens and the earth'. De ingenieurswetenschappen kwamen pas in deel IV aan bod. De historische rol van het buskruit wordt in deel V.7, 'The gunpowder epic' (Cambridge 1986) uitgebreid besproken.
31. Het is niet alleen de opvallende gelijkenis in vorm van deze 'bombarden', één uit een manuscript van Walter de Milamete uit 1327 (SCC V.7, 287-8) en één in een beeldje uit de Da-Zi tempelgrotten in Sichuan, vermoedelijk uit de periode 1250-1280 (SCC V.7, 580-1), die aan een directe overdracht doen denken. De kennelijke afwezigheid van het recuul (terugstoot) in beide gevallen wijst er op dat de twee 'bombarden' in de eerste plaats vlammenwerpers waren.
32. J. Needham, Wang Ling en D.J. de Solla Price, *Heavenly clockwork*, met suppl. door J. Combridge (Cambridge 1986).