

VU Research Portal

Minerva in de polder

Zeischka, S.

2008

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Zeischka, S. (2008). *Minerva in de polder: Waterstaat en techniek in het hoogheemraadschap van Rijnland (1500-1856)*. [, Vrije Universiteit Amsterdam]. Verloren.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

HOOFDSTUK II. ONTWIKKELINGEN IN WATERSTAATSTECHNIEKEN

Inleiding

Naast een voorstelling van het Rijnlandse onderzoekskader, is ook een *status questionis* van het onderzoek naar de waterstaatstechniek een noodzakelijke opstap. Dit hoofdstuk heeft daarom als voornaamste doel een algemeen overzicht te geven van de waterstaattechnische ontwikkelingen. Voortbouwend op wat andere auteurs hebben geschreven, geeft het in de eerste plaats een beeld van hoe enkele concrete technieken tussen circa 1500 en 1850 evolueerden. Het overzicht is gebaseerd op vier specifieke technieken. Aan bod komen achtereenvolgens bemalingstechnieken, die zeker tot en met de zestiende eeuw sterk samenhangen met bepolderingen; sluis-, dijk- en wegebouw. De drie eerste hebben een evident belang omdat ze basisfuncties in de lokale waterstaat vervullen: water uitmalen, het harmoniëren van waterstaat en transport en de kering van het buitenwater. Verschillende argumenten verantwoorden ook de keuze om ook op wegebouw in te gaan. In eerste instantie functioneerden wegen vaak als waterkering en omgekeerd (waterkeringen als wegen). Ook waren water- en wegenbeheer van oudsher met elkaar verstrengeld: zoals gesteld bevatte het middeleeuwse heemrecht immers zowel de zorg voor wegen als voor waterkeringen. Vele regionale en lokale waterschappen hadden overigens bevoegdheden over wegen en droegen dus bij aan de ontwikkeling ervan.

De beschrijving van al deze technieken, uitgewerkt in de paragrafen 1 tot en met 4, dient ook een tweede doel: de laatste paragraaf behandelt enkele kenmerken van de vroegmoderne waterstaattechnische ontwikkeling. Welk ritme kan onderkend worden: wanneer was er sprake van innovatie, in welke perioden bleek de toepassing van nieuwe techniek trager of geen ingang te vinden? Zijn er duidelijke breuklijnen of vertonen de ontwikkelingen een veel gematigder dynamiek? In hoeverre kan er sprake zijn van 'algemene' ontwikkelingen: is in de verschillende onderdelen van de waterstaatstechniek dezelfde periodisering herkenbaar? Zijn er regionale patronen te onderkennen? Leidde inventies op alle vlakken even snel tot innovaties?

In diezelfde laatste paragraaf wordt ook een vergelijking gemaakt met andere velden van de techniekgeschiedenis. Zo wordt de waterstaatstechniek afgezet tegen enkele ontwikkelingen die zich in de scheepsbouw en navigatietechnieken hebben gemanifesteerd en waarvoor uitgebreide detailstudies beschikbaar zijn. Deze vergelijking is reeds in de algemene inleiding aangekondigd en is nodig om de betekenis van de waterstaatstechniek in het bredere perspectief van de vroegmoderne techniekgeschiedenis te kunnen omschrijven.

1. Ontwikkelingen in bemalingstechnieken en poldervorming

De kunstmatige af- en ontwatering van de lage gebieden die in de huidige provincies Noord- en Zuid-Holland liggen, begon in de vroege middeleeuwen. De eerste sporen van lokale

waterstaatstechniek in het Hollandse kerngebied hangen samen met de systematische ontginningen vanaf de negende eeuw. Deze ontginning hield ook het graven van kleine afwateringskanaaltjes in, maar van heuse poldervorming met de aanleg van dijken en kaden was toen nog geen sprake.¹ De ingebruikname van venige gronden voor agrarische doeleinden had echter nefaste consequenties aangezien door oxidatie en inklinking van het veen het maaiveld begon te dalen. Aanvankelijk konden de landen nog met kaden en dijkes droog genoeg gehouden worden, maar naderhand lagen ze toch te laag en werd een natuurlijke afvloeiing helemaal onmogelijk. Allerhande werktuigen werden ingeschakeld om het water op te voeren. De middelen die men inzette, zijn wel enigszins gekend, maar dat is veel minder het geval voor wat betreft hun verspreiding en hun technische capaciteiten. Voorafgaand aan windbemaling werden verschillende kleinere opvoerwerktuigen gebruikt die door mens of dier werden aangedreven. Het betrof waarschijnlijk handmolens, tredmolens, kettingmolens en hoosvaten die omwille van hun kleinheid ongeschikt waren voor intensieve of grootschalige bemaling.² In de vijftiende eeuw verslechterde de waterstaatkundige situatie zodanig dat naar andere oplossingen werd uitgekeken. De paardenwatermolen werd waarschijnlijk eerder dan de windmolen geïntroduceerd, ook al dateert de eerste vermelding pas van 1470.³ De verspreiding ervan is wegens het gebrek aan bronnen moeilijk in te schatten, iets wat tot onenigheid onder historici leidde. Sommigen nemen aan dat de kleinschaligheid van rosmolens het onwaarschijnlijk maakte dat dit type molen ooit in grote aantallen werd toegepast.⁴ Bicker Caarten suggereerde dat er in de veertiende eeuw reeds een grotere voorkeur was voor windmolens dan voor paardenmolens.⁵ Later nam hij een genuanceerdere positie in en kende hij aan de paardenmolen in kleine polders wel een belangrijkere positie toe.⁶ Ook Ibelings stelde dat paardenmolens in de vijftiende eeuw wel degelijk goed verspreid waren.⁷

Beter gedocumenteerd is de windwatermolen. De oudste gegevens over windbemaling in Holland dateren uit 1408 wanneer graaf Willem VI twee hoogheemraden van Delfland naar Alkmaar stuurde om er de molen van Floris van Alkemade en Jan Grietensoen te onderzoeken. Hetzelfde jaar liet dezelfde Floris van Alkemade een windwatermolen bouwen bij kasteel Cronestein, even buiten Leiden.⁸ De verspreiding van het apparaat in tijd en ruimte is voor wat betreft de vijftiende eeuw beter gekend dan de meest elementaire technische gegevens. Hoewel er in het begin van de vijftiende eeuw al molens waren, is de 'doorbraak' in Rijnland pas vele decennia later gekomen. Van de 31 vijftiende-eeuwse poldermolens in het hoogheemraadschap werden er niet minder dan 24 pas na 1480 gebouwd, ruim een derde

¹ Van der Linden, 'De Koningsroede', 40-41.

² Bicker Caarten, *Middeleeuwse watermolens*, 25-35.

³ Idem, 27.

⁴ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 106. De herziene versie van dit boek: Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), gaat volledig voorbij aan het gebruik van paardenmolens, 122-123 en 133.

⁵ Bicker Caarten, *Zuid-Hollands Molenboek*, 36.

⁶ Bicker Caarten, *Middeleeuwse watermolens*, 25-35.

⁷ Ibelings, 'Turfwinning en waterstaat', 79 waar gewag wordt gemaakt van 'tientallen, zo niet honderden paarde- en windmolentjes' in Rijn- en Schieland.

⁸ Bicker Caarten, *Middeleeuwse watermolens*, 25-35.

werd zelfs tussen 1483 en 1486 gezet.⁹ Bovendien deed zich de doorbraak voor in een beperkte geografische ruimte: circa twee derde van de vijftiende-eeuwse molens bevond zich in de zogeheten Rijnambachten, ambachten aan de oevers van de Rijn. Ook rond Leiden en Haarlem stonden een aantal molens.¹⁰ De verspreiding van windbemaling vóór 1500 mag zonder meer beperkt genoemd worden, maar dit neemt niet weg dat er op het vlak van molentypologie een grote verscheidenheid te vinden was. Het beeld dat in de beginperiode wipmolens en pas later achtkante of ronde bovenkruiers inzet werden,¹¹ is reeds enkele jaren verlaten. Het onderzoek van Bicker Caarten toonde duidelijk aan dat er een veel grotere diversiteit was: veelhoekige binnenkruiers, achtkante binnenkruiers, wipmolens (zowel met open als gesloten ondertorens) en ronde, stenen binnenkruiers kwamen gelijktijdig voor.¹²

Een eenduidig beeld van de oudste ontwikkelingen in molenbemaling is door de schaarse bronnen niet te construeren. Toch is er over de grote lijnen wel eensgezindheid vast te stellen. Algemeen wordt aangenomen dat de poldermolen zich ontwikkelde uit de korenmolen, waarvan twee types bestonden: de torenmolen en de standerdmolen. Uit de torenmolen ontwikkelde zich een veelhoekige of ronde houten molen waaruit later de achtkante bovenkruier zou ontstaan. De standerdmolen leidde tot het bouwen van wipmolens. Volgens Bicker Caarten gaven de vroegste molenbouwers eerder de voorkeur aan bovenkruiers – de veelhoekige of ronde molens die uit de torenmolens ontwikkeld waren – en niet aan wipmolens. Verder meent deze auteur dat bovenkruiers zich van het noorden van Holland naar het zuiden (Alblasserwaard, Vijfheerenlanden) verspreidden en wipmolens juist van het zuiden naar het noorden.¹³ Deze reconstructie van de ontwikkeling en verspreiding van vijftiende-eeuwse molentypes is vandaag aanvaard.¹⁴ De regionale verschillen zouden zich door de eeuwen heen blijven handhaven. Zo trof men in Delfland, Rijnlands zuiderbuur, vooral bovenkruiers aan, meestal achtkanters, terwijl in Rijnland een mix van kleinere wipmolens en bovenkruiers bestond en dit laatste type in Noord-Holland het meest voorkomende type was. Daar betreft het wel doorgaans binnenkruiers, in tegenstelling tot de Zuid-Hollandse bovenkruiers die doorgaans van buiten gekruid werden. In de Zuid-Hollandse rivierengebieden – de waarden – bleef de wipmolen dominant. Alle auteurs verwerpen overigens ook de oude mening dat in de beginperiode molens bestonden waarvan de kap niet draaibaar was zodat slechts bij een beperkt aantal windrichtingen gemalen zou kunnen worden.¹⁵

Ondanks de beginnende opkomst van (wind)bemaling sinds 1408, waterden nog vele landen geruime tijd op natuurlijke wijze af. Grootchalige poldervorming verspreidde zich

⁹ Of deze eigenaardige clustering aan administratieve redenen te wijten is, valt niet aan te tonen. Geografische en economische gegevens wijzen wel in de richting van een daadwerkelijke bouwhausse. Zie: Van Dam, *Vissen in veenmeren*, 86.

¹⁰ Ook hier zijn een aantal complementaire economische, waterstaatkundige en 'politieke' verklaringen van doen. Zie: Van Dam, *Vissen in veenmeren*, 86 en 90.

¹¹ Visser, *Zwaaiende wieken*, 15; Bicker Caarten, *Zuid-Hollands Molenboek*, 42; Idem, *Middeleeuwse watermolens*, 242.

¹² Bicker Caarten, *Middeleeuwse watermolens*, 216.

¹³ Idem, 242-244.

¹⁴ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 105; Keunen, 'Waterbeheersing en de ontwikkeling van de bemalingstechniek', 573.

¹⁵ Bicker Caarten, *Middeleeuwse watermolens*, 216; Keunen, 'Waterbeheersing en de ontwikkeling van de bemalingstechniek', 572; Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 106.

overigens net als windmolens zeer ongelijkmatig. Poldervorming hield in dat stukken land omkaad werden teneinde er de waterstand op een kunstmatige wijze te regelen. Dit kon door verlaten en sluisjes, maar hoe langer hoe meer werd bemaling een noodzaak. Van Leeuwen-Canneman heeft de poldervorming in oostelijk Delfland in de vijftiende eeuw gereconstrueerd en kwam tot de vaststelling dat de grootschalige poldervorming er een zeer specifiek patroon vertoonde. De maatregelen van de hoogheemraden om het water in oostelijk Delfland te beheersen, moesten door de steeds wisselende inversie van het landschap worden bijgestuurd, en veroorzaakten een soort domino-effect dat uiteindelijk resulteerde in een volledige bepoldering en bemaling van het gebied.¹⁶ Ook voor Rijnland is er op het vlak van middeleeuwse poldervorming al enig onderzoek gedaan. Belangrijke waterstaatkundige ingrepen van lokale aard leidden er in de veertiende eeuw tot nieuwe institutionele vormen waarbij de lokale ambachtsbestuurders en vindingrijkheid een belangrijke rol speelden.¹⁷ Er was echter nog geen sprake van kunstmatige afwatering, laat staan van enige bemaling, die kwam pas in de vijftiende eeuw tevoorschijn. De introductie en verspreiding van de molenbemaling concentreerde zich aan de Rijn en rond enkele steden: een gelijksoortige poldervorming zoals die zich in Delfland manifesteerde, deed zich in Rijnland dus niet voor. Wel bleek dat vijftiende-eeuwse molens heel grote oppervlakten konden bemalen, soms wel volledige ambachten.¹⁸ Een ander verschil ten opzichte van Delfland hield in dat in Rijnland geen vergelijkbare betrokkenheid van het hoogheemraadschap aanwijsbaar was.

De geleidelijke toename van de capaciteit van windmolens en dus ook van bemalingstechniek stelde nieuwe eisen aan het afwateringssysteem van polders. In dit kader ontwikkelde zich het polder-boezemsysteem. Een boezem is een stelsel van wateren dat zowel van het buitenwater (door uitwateringssluizen of gemalen) als van het aangrenzende land is afgesloten en dat gebruikt wordt voor de tijdelijke berging en transport van het water. Om het bergende vermogen nog te verhogen kon een stuk afgescheiden worden van de boezem en als hoger gelegen 'verzamelplaats' dienen. Op deze wijze ontstond het systeem van een 'hoge' en 'lage' boezem. Deze vorm van uitwatering vond reeds aan het eind van de vijftiende eeuw plaats.¹⁹

Het was pas vanaf de zestiende eeuw dat in Rijnland een grootschalige bepoldering op gang kwam: bijna de helft van de ambachten zag in die eeuw de eerste molen op zijn grondgebied verschijnen.²⁰ Uit recent onderzoek blijkt poldervorming binnen het hoogheemraadschap een zeer ongelijke verspreiding te hebben gehad. Na de Rijnambachten volgden eerst de zuidelijke en nog later de noordelijke veenambachten waarbij voor deze laatste vooral in de periode 1550-1570 een snelle inpoldering geconstateerd werd. Enkele hoger gelegen (duin)ambachten of ambachten die aan het Haarlemmermeer lagen, zagen de eerste polders in hun territorium pas in de zeventiende eeuw verschijnen. De zestiende-

¹⁶ Van Leeuwen-Canneman, 'Poldervorming in oostelijk Delfland', 73-111.

¹⁷ Van der Linden, 'Een nieuw publiekrechtelijk fenomeen in de veertiende eeuw: de Rijnlandse polder', 160.

¹⁸ Van Dam, *Vissen in veenmeren*, 88, noot 14.

¹⁹ Bicker Caarten, *Zuid-Hollands Molenboek*, 46-47.

²⁰ Van Tielhof en Van Dam, *Waterstaat in stedenland*, 134 en 324-326 (Bijlage 2). Dit hield overigens niet in dat bepoldering niet eerder plaats kon hebben gehad aangezien men ook kon bepolderen zonder bemaling.

eeuwse polderstichtingen in Rijnland bleken door hun kleinschalige karakter sterk te contrasteren met hun vijftiende-eeuwse voorgangers.²¹ Over de bemalingstechnieken die gebruikt werden, is erg weinig geweten. Zo is de verspreiding van de verschillende types molens – zowel geografisch als in diachronisch perspectief – nog steeds relatief slecht gekend.

Wel staat vast dat de eerste grote golf van poldervorming gepaard ging met een verdergaande ontwikkeling van de molen- en bemalingstechniek. Op verschillende domeinen van deze techniek werden innovaties doorgevoerd waardoor de capaciteit sterk toenam. De ontwikkeling van de achtkante molen is daarvan het bekendste voorbeeld. Dit type ontstond zoals eerder vermeld uit de torenmolen. De bouw van achtkanters was aanzienlijk eenvoudiger dan die van ronde houten molens. De eerste vermeldingen van achtkante molens dateren van het begin van de zestiende eeuw.²² Van dit type poldermolens bestonden overigens ook twee types: binnen- en buitenkruiers. De binnenkruier wordt als oudste beschouwd en kenmerkt zich doordat het kruiwerk (het mechanisme dat de molenaar in staat stelt de molenkap te doen draaien en de molen ‘in de wind te zetten’) direct onder de kap van de molen is geplaatst. Dit vereist wel wat ruimte in de kap waardoor de molen een wat stugge, gedrongen vorm krijgt. Bij buitenkruiers bevindt het kruiwerk zich buiten de eigenlijke molen; de kap wordt door een staart verbonden met het kruiwiel dat zich ter hoogte van de begane grond bevindt. Hierdoor kan de molenaar de molen van op de grond kruien, zonder daarvoor steeds naar de kap te moeten klimmen. Omdat het kruiwerk aan de buitenkant is gebouwd, hebben deze achtkanters een slankere vorm. De introductie van de buitenkruier wordt doorgaans aan het eind van de zestiende eeuw gesitueerd.²³ Naast nieuwe molenlichamen en kruimechanismen werden ook belangrijke aerodynamische verbeteringen aangebracht. Op zich brachten de nieuwe molenlichamen al enkele voordelen met zich mee, maar van groter belang waren aanpassingen aan roeden en zeilen: met een nieuwsoortig hekwerk kon een beduidende rendementsverhoging gerealiseerd worden. Het oudere type van dwarsgetuigde wieken werd verdrongen door het nieuwere, zogenaamde Oud-Hollandse wiekensystemen waarbij het hekwerk niet langer even ver aan beide kanten van de molenroede stak, maar steeds meer achter de molenroede. Tegen het midden van de zeventiende eeuw bereikte deze evolutie haar eindpunt: voordien lag een derde van het zeil vóór de roe en twee derde erachter, nadien verschoof het met zeil bedekte deel volledig achter de molenroede en werd het deel ervoor van zogenaamde windborden voorzien.²⁴ Een andere aanpassing betrof de hoek waarmee het hekwerk op de molenroede was vastgemaakt. Gaandeweg verdween de oude praktijk bij Oud-Hollandse wieksystemen om dit recht op de molenroede te monteren, ten voordele van de nieuwe constructiewijze waarbij het hekwerk onder een kleine, verlopende hoek op de molenroede stond. Deze hoek werd scherper naar de molenas toe, waardoor de aerodynamica en dus het rendement sterk verbeterde. Deze

²¹ Idem.

²² Bicker Caarten, *Zuid-Hollands Molenboek*, 46 en *Middeleeuwse watermolens*, 61. Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 106 dateert de eerste verschijning van een achtkante molen in 1562. Dat achtkanters ook in de vijftiende eeuw voorkwamen wordt door Bicker Caarten tegengesproken: Bicker Caarten, *Zuid-Hollands Molenboek*, 229.

²³ Stokhuyzen, *Molens*, 38.

²⁴ Keunen, ‘Waterbeheersing en de ontwikkeling van de bemalingstechniek’, 575.

laatste innovatie was in 1589 bekend, maar het blijft onzeker hoe de verspreiding evolueerde. Pas tegen de achttiende eeuw werd dit een algemene constructiewijze.²⁵

Met de op het einde van de zestiende eeuw aanwezige molentechniek konden ook droogmakerijen gerealiseerd worden. Hiervoor varieerde men op bestaande techniek, zoals het gebruik van molengangen aantoonde. Dergelijke molengangen waren een rij elkaar toemalende molens die het mogelijk maakten diepere polders te bemalen zonder dat daar grote technische innovaties voor nodig waren. De opvoerhoogte werd vergroot, ook al bleef de opvoerhoogte van elke molen afzonderlijk onveranderd. Deze innovatie, een uitvinding die aan Simon Stevin wordt toegeschreven, is vooral bekend omdat ze een veelvuldige toepassing vond in de grote Noord-Hollandse droogmakerijen.²⁶

Het feit dat het merendeel van de polders in 1800 door molens bemaald werd die wezenlijk niet zoveel verschilden van de molens die rond 1600 in zwang waren, verleidde heel wat auteurs ertoe in de zestiende eeuw een eeuw van 'vervolmaking' van molentechniek te zien: een eeuw waarin de molentechniek tot volle wasdom was gekomen. Maar was dat wel zo? Wijzen enkele vroeg-zeventiende-eeuwse uitvindingen er niet eerder op dat tijdgenoten de bestaande molentechniek voor verbetering vatbaar vonden en juist niet van mening waren dat de bemalingstechnieken de volmaaktheid hadden bereikt? Stevin en met hem verschillende generatiegenoten waren ervan overtuigd dat aan de molens en opvoerwerktuigen nog heel wat verbeterd kon worden. De Bruggeling ontwierp bijvoorbeeld een pompsysteem met twee parallel werkende pistons. Tegenwoordig wordt vanuit technisch oogpunt het pompsysteem eerder als primitief omschreven, maar Stevin schatte zijn pomp hoog in en zag het als een valabel alternatief voor de traditionele schepraderen: een aangepaste versie van dit pompsysteem wilde hij ook in windmolens installeren.²⁷ Daarnaast probeerde Stevin ook het scheprad te verbeteren. Het ontwerp dat hij hiervoor uitdacht, behelsde de constructie van een rad met slechts acht schoepen, in tegenstelling tot de zestien tot vierentwintig schoepen die in gebruikelijke schepraderen verwerkt waren. Bovendien waren de schoepen in Stevins rad niet alleen minder in aantal, ze waren ook breder en met lederen strippen aan de zijanten afgewerkt zodat er minder water verloren zou gaan in de ruimte tussen krimp, opgeleider en rad.²⁸ Aan het gaande werk van molens, bestaande uit snel verslijtende tandwiel(overbrenging)en, stelde Stevin eveneens enkele zwakten vast die hij dacht te kunnen verhelpen; onder meer door de tanden een andere vorm te geven en door de transmissie van molenroede naar scheprad drastisch te herzien.²⁹ Er zouden in totaal ongeveer een twintigtal molens volgens Stevins principes zijn gebouwd, maar heel vaak bleek het resultaat eerder ontmoedigend te zijn.³⁰

²⁵ Forbes, *The principal works of Simon Stevin*, vol. V, 314. Voor een uitvoerige bespreking van technische aspecten van wieksystemen, zie: Pouw, *Wieksystemen voor polder en industriemolens*.

²⁶ Forbes, *The principal works of Simon Stevin*, vol. V, 14.

²⁷ Idem, 18-38. Met deze pompmachine werd in mei 1588 het Rapenburg te Leiden leeggepompt. Volgens het 'Actenboek' van de Staten Generaal bleek bij deze proefnemings dat '*door eens mans aerbeyt meer waters geloost was als door een peerts arbeyt*'. Bovendien zouden dergelijke pompinstallaties ook in paardenmolens geïnstalleerd kunnen worden (Idem, 30, 38).

²⁸ Idem, 316.

²⁹ Idem, 39-63 en 324-327.

³⁰ Devreese en Van den Berghe, '*Wonder en is gheen wonder*', passim.

Ook na Stevin waren velen de mening toegedaan dat het ontwerp van molens en bemalingsapparaten nog heel wat efficiënter kon.³¹ Vooral het dieper malen met slechts één molen was een grote uitdaging: molengangen vereisten immers een aantal elkaar toemalende molens en vielen daarom erg duur uit. Met de introductie van de vijzel, een opvoerwerktuig waarvoor Simon Hulsebos het octrooi had gekregen, kon deze uitdaging beantwoord worden: was de opvoerhoogte van een scheprad niet veel meer dan 1,5 meter, met een vijzel kon een opvoerhoogte van 4 meter bereikt worden. Sommige auteurs schrijven de eerste toepassing van dit apparaat aan de Lisserpoelpolder toe,³² al blijven harde bewijzen achterwege. In hoeverre de vijzel na zijn introductie verspreid raakte, is moeilijk te achterhalen, maar in de vroegmoderne tijd was het geen groot succesnummer. Behalve de Lisserpoel zijn in de zeventiende eeuw ook de Starnmeer en de Wassenaarse Polder met vijzels drooggemaakt, en vermoedelijk ook de Hemmeer en de Stommeer.³³

Verder deden zich enkele 'kleinere' verbeteringen of aanpassingen voor die het vermogen en het rendement van windmolens opdreven. Reconstructies en berekeningen op basis van zestiende-eeuwse bestekken geven aan dat de vlucht van deze molens op 25 meter geschat kan worden. In de achttiende en negentiende eeuw kon deze 29 meter bedragen wat volgens sommigen leidde tot een toename van de capaciteit met 25 procent.³⁴ Om deze capaciteitsverhoging mogelijk te maken, deden zich ook vernieuwingen voor in het ontwerp van het molenlichaam. Vanaf de zeventiende eeuw veranderde de constructie van de voet van achtkanters: die werd steeds hoger opgemetseld zodat het houten achtkant van het molenlichaam hoger stak. Aan het begin van de zeventiende eeuw was de gemetselde voet doorgaans slechts enkele decimeters hoog, terwijl dit sinds het begin van de achttiende eeuw tot 1,80 meter opgetrokken was, wat eveneens de bewoonbaarheid van de molen erg bevorderde.³⁵

Ook in de achttiende eeuw waren er enkele uitvindingen die de bemalingstechniek een andere richting had kunnen doen inslaan. Daarbij werden soms (doorgaans onbewust) ideeën uit het verleden opnieuw gepropageerd, soms ging het om totaal nieuwe apparaten. Tot de eerste behoort de zogenaamde 'tonnemolen' van Obdam (1755), een vijzel waarrond een meedraaiende koker gebouwd was. Het apparaat onderging hetzelfde lot als de vijzel van Hulsebos: het bleef slechts bij een enkele toepassing.³⁶ Andere ontwerpen van andere tijdgenoten hadden nog minder succes. De 'trechtermolen' van Fahrenheit en 's Gravesande was een pompinstallatie die volgens het principe van huidige centrifugaalpompen werkte. Het bood enkele voordelen ten opzichte van het klassieke scheprad: het kon hoger opmalen en er deed zich tijdens het opmalen geen waterverlies voor. Het werd getest maar bleek niet goed te werken.³⁷ Nog beruchter is het 'waterrad' van Leopold de Genneté, dat een zelfwerkende pompinstallatie behoorde te zijn en in staat zou zijn om het Haarlemmermeer

³¹ Heel wat van de hier vernoemde uitvindingen worden naast veel andere technieken toegelicht in: Doorman, *Octrooien*.

³² De Baar, 'Simon Jacobsz Hulsebos', 48.

³³ Schultz, *Van zee tot land*, 96.

³⁴ Keunen, 'Waterbeheersing en de ontwikkeling van de bemalingstechniek', 573-574.

³⁵ Sipman, *Molenbouw*, 94-116.

³⁶ Doorman, *Octrooien*, 311.

³⁷ Idem, 308-309.

droog te malen.³⁸ Geen van beide zou een kans op succesvolle toepassing te maken. Hoewel rond Obdams 'tonnemolen' wel positieve geluiden te horen waren, was dit rond Gennetés apparaat helemaal niet het geval.³⁹ Een werktuig dat wél faam verwierf was het zogeheten hellende scheprad van de gebroeders Eckhardt. Hierbij was het scheprad niet verticaal geplaatst maar onder een hoek zodat het in tegenstelling tot het klassieke scheprad het water óp het buitenwater wierp in plaats van ertegen. Het eerste exemplaar werd in 1771 gebouwd en tot en met het eerste kwart van de negentiende eeuw werden nog enkele molens met dit opvoerwerktuig uitgerust. Het hellende scheprad was van bij het begin een controversieel ontwerp met voor- en tegenstanders. Ook in de twintigste eeuw was er geen eensgezindheid: sommige auteurs menen dat het goed voldeed,⁴⁰ anderen zijn de tegenovergestelde mening toegedaan.⁴¹ Hoewel de ruimere verspreiding van het hellende scheprad dus pas van het eind van de achttiende eeuw dateerde, was het idee om raderen niet verticaal, maar enigszins schuin te plaatsen andermaal niet nieuw. Rond 1630 werden enkele octrooien verleend die opvallende gelijkenissen vertonen met de uitvinding van Eckhardt.⁴²

De late achttiende en de vroege negentiende eeuw kenmerkten zich door de trage introductie van stoomenergie enerzijds en verschillende kleinere innovaties in de vooralsnog overheersende windmolentechniek. Met betrekking tot dat laatste zijn vooral enkele veranderingen in materiaalkeuze te noemen en meer specifiek het gebruik van ijzer.⁴³ Ijzeren molenroeden en schepraderen boden het voordeel dat ze sterker en duurzamer waren dan houten exemplaren. De introductie van ijzeren onderdelen in de waterstaat verliep erg traag. Pas rond het midden van de negentiende eeuw nam de verspreiding grotere vormen aan. Vooral de firma Pot aan de Kinderdijk verwierf bekendheid met haar ijzeren molenroeden.⁴⁴ Ook de stoomtechnologie verspreidde zich erg langzaam, hoewel de buitenlandse ontwikkelingen op dit vlak in Nederland op de voet werden gevolgd. De interesse voor de introductie van stoomtechniek ten behoeve van de waterstaat manifesteerde zich voor het eerst in 1757 toen de Rotterdamse stadsopzichter Maarten Waltman naar London gezonden werd om verslag uit te brengen over stoompompinstallaties. De eerste stoombemaling in Nederland vond een twintigtal jaren later plaats: in 1776 werden de Rotterdamse stadsgrachten door een stoompompmachine bemalen en niet veel later (1781) liet de Amsterdamse bankier John Hope op zijn buitenplaats Groenendaal te Heemstede een Newcomenmachine installeren. Hij werd daarmee de eerste eigenaar van een volledig in Nederland ontworpen en gebouwde stoommachine.⁴⁵ Ondanks het gegeven dat in de decennia daarop met enige regelmaat nieuwe stoomgemalen werden gebouwd,⁴⁶ bleef de

³⁸ Habets, 'Het waterrad van Genneté'.

³⁹ Idem; zie ook: Lulofs, *Korte beschrijving*.

⁴⁰ Thurkow, 'De droogmakerij van Bleiswijk en Hillegersberg', 45.

⁴¹ Sipman, *Het hellend scheprad*.

⁴² Doorman, *Octrooien*, passim, waarin octrooien in 1623 (Van der Plas), 1624 (Hulsebos) en 1630 (Van der Molen, Hoochwater en Boon).

⁴³ Naast andere materialen waren er echter ook nieuwe constructiewijzen: Spille, *Beschrijving van een manier*.

⁴⁴ Keunen, 'Waterbeheersing en de ontwikkeling van de bemalingstechniek', 575-576.

⁴⁵ Roberts, 'An Arcadian Apparatus' 251-252.

⁴⁶ Behalve de reeds genoemde stoompompinstallaties zijn nog te vermelden: de polder Blijdorp bij Rotterdam (1787), de droogmaking van de Mijdrechtse Poel (1794), de aanleg van een droogdok bij de Hellevoetsluis (1800-1804), de droogmaking onder Berkenwoude (1804), Nieuwediep (1810), Katwijk

verspreiding eerder beperkt. Overigens waren de stoommachines in Engeland gebouwd en was de Nederlandse inbreng eerder klein. Globaal genomen kan men stellen dat de introductie van stoomtechnologie zich voornamelijk bij door de overheid georganiseerde, grootschalige initiatieven voordeed terwijl particuliere polders aan windbemaling vasthielden. Pas na 1850 nam stoombemaling van polders een hoge vlucht.⁴⁷

Dat de introductie van stoom traag verliep en niet als een radicale breuk met het verleden mag worden beschouwd, hing zeer sterk samen met het aanslepende debat tussen voor- en tegenstanders. De discussie begon vanaf 1770 en het duurde tot 1844 tot er onder technici een consensus groeide over stoomtechniek.⁴⁸ Het verschijnen van deze nieuwe techniek bracht technici ertoe de traditionele molentechniek verder te ontwikkelen. Nieuwe systemen werden uitgedacht om de maalcapaciteit van windmolens op te drijven en ondanks het feit dat het in praktijk vaak óf wind óf stoom was, werd ook nagedacht over de combinatie van beide energiebronnen. Waterstaatsingenieur Jan Blanken, zelf zoon van een molenbouwer, ontwierp een combinatie van stoom en windenergie. Hij kwam eveneens met een 'Vereenvoudigd Stelsel' voor gewone poldermolens waarbij de molenspil niet langer direct de as van het scheprad aandreef. Door een andere transmissie (via een hulpas boven het scheprad) kon het onderwiel in de traditionele molen weggelaten worden. De ruimte die hierdoor ontstond, kon benut worden om een tweede of derde scheprad in de molen te plaatsen.⁴⁹ Tezelfdertijd werden ook alternatieven uitgedacht voor de klassieke windmolens. De Utrechtse tabakskerver Dorn Seiffen ontwikkelde een molentype waar de wieken in een horizontaal in plaats van een verticaal vlak bewogen. De machine had heel wat evidente technische voordelen,⁵⁰ maar werd geen succes, ondanks lovende rapporten en een premie van 9.000 gulden voor de uitvinder ervan.⁵¹

2. Ontwikkelingen in de sluisbouw

Een tweede techniek die aan bod komt, is de sluisbouw. Sluizen worden gebruikt om water te lozen of in te laten en voor het verbinden van buiten- en binnenwater zonder een vrije doorstroming van het water toe te laten. In het eerste geval vervullen ze een gelijkaardige functie als bemalingstechnieken; in het tweede zorgen ze ervoor dat het uitgemaalde water niet terugstroomt. Het spreekt voor zich dat deze techniek vaak in polders is toegepast omdat

(1806), Haarlemmermeer (vanaf 1842). Van der Pols, 'De introductie van de stoommachine in Nederland', 190-191

⁴⁷ Over de introductie van stoombemaling in Nederland zie: Lintsen, 'Van windbemaling naar stoombemaling'; Idem, 'Stoom en bemaling'; Van der Pols, 'De introductie van de stoommachine in Nederland'.

⁴⁸ Lintsen, 'Stoom en bemaling', 137-138, waar ook het verloop van dat debat kort geschetst wordt.

⁴⁹ Van de Ven, 'Blanken en de waterstaat', 86-88.

⁵⁰ Er was geen kruiwerk (kruikap, schoren) nodig om de molen steeds weer op de wind te zetten, het brandgevaar was sterk verminderd doordat er geen zware molennassen zijn en bovendien lag het aantal 'toeren per minuut' tot vier keer lager waardoor wrijving sterk gereduceerd werd. Verder was de overbrenging door middel van tandwielen eenvoudiger en de constructie van het molenlichaam was kleiner, lichter, eenvoudiger en minder duur dan dat van een achtkante molen of wipmolen. De twee gebouwde exemplaren waren uitgerust met schepraderen.

⁵¹ Moelker, *De molen van W.F. Dorn Seiffen*.

door bepodderingen bestaande waterwegen als het ware door een dijk of kade werden doorgeknipt. Toch houdt dit niet in dat in polders enkel van sluizen gebruik zou zijn gemaakt, aangezien lozen en inlaten van water ook op heel verschillende manieren gebeurt, bijvoorbeeld door duikers. In tegenstelling tot sluizen die een uitgewerkt sluislichaam hebben, zijn duikers eerder kleine kokervormige constructies die in dijken en dammen gewerkt waren en buiten- en binnenwater verbinden. Grotere werken waren verlaten en overtoeren of 'overhalen'. Verlaten waren steeds aangelegd met het oog op de uitwatering hoewel kleine schuitjes er soms wel door konden varen. In wat volgt komen enkel de hoofdlijnen uit de sluisbouw aan bod omdat deze techniek de belangrijkste was en omdat vooral op dit terrein onderzoek is gedaan. Onder de noemer 'sluizen' kunnen nog ondervindingen gemaakt worden naar gelang van de functie (duikersluizen, spuisluisen, schutsluizen), maar deze onderscheiden blijven voor de hier beschreven ontwikkelingen zonder gevolgen.⁵²

De vroegste sluizen werden enkel gebruikt voor uitwatering en bestonden uit een eenvoudige, uitgeholde boomstam. Al snel werden sluizen complexe bouwwerken bestaande uit een reeks van achter elkaar geplaatste gebinten, met wanden en vloeren en voorzien van een afsluitmechanisme. Net als de molenbouw onderging de sluisbouw in de late middeleeuwen een grote metamorfose en kwam de sluisbouw in de tweede helft van de zestiende eeuw tot een hoge graad van ontwikkeling. Ondanks de toenemende variëteit in soort, functie en grootte van sluizen kan gesteld worden dat de sluisbouw in de veertiende, vijftiende en zestiende eeuw met twee hoofdproblemen kampte. Het eerste betrof de moeilijke aansluiting tussen sluis en dam- of dijklichaam, het tweede probleem betrof het afsluitmiddel van de sluis. Het probleem van de aansluiting was dat wanneer een sluis niet goed in het dijklichaam gewerkt zat, het kon voorkomen dat het water onder (onderloopsheid) en langs (achterloopsheid) het sluislichaam stroomde zodat de constructie instabiel werd. De vroegste oplossing hiervoor bestond erin de sluis van damwanden te voorzien, waardoor rond het sluislichaam als het ware een kraag werd gemaakt die in een betere aansluiting met dijk of dam voorzag. In verband met onderloopsheid stonden ook innovaties die grondzetting en -verdichting tot gevolg hebben, waardoor verzakkingen van de sluis konden worden bestreden en voorkomen. Met name heiwerk bood hierbij een uitkomst. Deze innovatie werd bij de ontwikkeling van de vijftiende-eeuwse sluizen bij Spaarndam uitgewerkt.⁵³ Het tweede belangrijke probleem betrof het afsluitmiddel. Rond 1500 waren drie verschillende technieken in gebruik: klepdeuren, (enkele) draaideuren en schotdeuren. Klep- en draaideuren werkten als het ware 'automatisch' in die zin dat het sluiten en openen ervan door de stroming en de druk van het water zelf werden gedaan. Deze deuren waren in een gebint van de sluiswand bevestigd ('slagbint') en sloten tegen een 'slagdrempel' in de sluis. Schotdeuren daarentegen bestonden uit een houten schot dat door middel van een windas omhoog kon worden gehesen. Tot het midden van de zestiende eeuw waren de meeste sluizen volledig van hout en werd buiten- en binnenwater door middel van deze afsluitmechanismen gescheiden.⁵⁴ Hoewel schutsluizen die de belangen van scheepvaart dienden, later niet met klepdeuren werden uitgerust, kwam dat oorspronkelijk wel voor: de

⁵² Voor een beschrijving van verschillende sluisstypen: Arends, *Stuwen en sluizen*, 1-4.

⁵³ Van Dam, 'Spuien en heien', 45.

⁵⁴ Arends, *Stuwen en sluizen*, 10.

mast van schepen werd gestreken en de schepen voeren zo door de sluis. Jongere schutsluizen hadden wel een open bovenkant terwijl vele sluizen wel helemaal in het dijklichaam ingewerkt waren. Schutsluizen met schotdeuren kwamen wel voor, ook al was het gebruik van draai- en later puntdeuren een meer voor de hand liggende keuze.⁵⁵

Vanaf 1550 deden zich nog twee belangrijke innovaties voor, die samenhangen met de steeds toenemende grootte van sluizen. Verstening van sluizen kwam reeds in de middeleeuwen voor, maar werd pas in de tweede helft van de zestiende eeuw op grotere schaal toegepast. Zo werd rond 1480 de sluis in Vreeswijk versteend⁵⁶ terwijl in Rijnland pas in 1558 met de bouw van de eerste stenen sluis in Halfweg begonnen werd.⁵⁷ Overigens bleef het gebruik van steen beperkt tot grotere sluizen terwijl kleine sluisjes nog eeuwen uit hout bestonden.⁵⁸ Naast het gebruik van nieuwe bouwmaterialen werden ook nieuwe afsluitmiddelen ontworpen. De vergroting van sluizen was niet alleen door een steeds complexer wordend sluislichaam mogelijk, maar ook door de invoering van dubbele in plaats van enkele deuren.⁵⁹ Ondanks enkele wijzigingen in de constructie van de gangbare afsluitmiddelen⁶⁰ maakte de grootte van sluizen het gebruik van draaideuren en schotdeuren bij schutsluizen onmogelijk. Scharnieren in de sluiswanden zouden onmogelijk in staat zijn te grote draaideuren te houden en schotdeuren zouden bij een toenemende omvang niet meer te heffen zijn. De oorsprong van het nieuwe afsluitmiddel, puntdeuren, is niet met zekerheid te traceren, maar het staat vast dat ze reeds bij de bouw van de sluizen te Halfweg werden toegepast en waarschijnlijk aan de Goudse bouwmeester Cornelis Frerixz van der Goude moeten worden toegeschreven.⁶¹ Puntdeuren zijn draaideuren die samenkomen onder een stompe hoek, waarbij de punt naar het buitenwater is gericht. Op deze manier worden de deuren door het buitenwater dichtgehouden, terwijl ze bij hoog binnenwater en laag buitenwater vanzelf openen. Nadat de sluisbouw op het einde van de zestiende eeuw een hoog niveau had bereikt, volgde daarop een periode waarin volgens de literatuur opmerkelijk minder innovaties geïntroduceerd werden. Het zegt veel dat in een overzichtswerk als *'Leefbaar Laagland'* bij het overzicht van technische ontwikkelingen tussen 1600 en 1800 helemaal geen aandacht wordt besteed aan sluisbouw.⁶²

In de zeventiende eeuw vertoonde de ontwikkeling in sluisbouw veel gelijkenissen met die in de molenbouw. Verschillende lieden streefden ernaar de techniek te vervolmaken. Opnieuw speelde Stevin een vooraanstaande rol. Hij was behalve molendeskundige ook betrokken bij het ontwerpen van nieuwe afsluitmiddelen voor sluizen waarover hij een traktaat schreef.⁶³ Zo dateren toldeuren al van het begin van de zestiende eeuw, maar werd het ontwerp ervan aan het eind van dezelfde eeuw nog sterk gewijzigd. Toldeuren zijn

⁵⁵ Dam, *De Oude Sluis te Vreeswijk*, 26, 69.

⁵⁶ Arends, *Stuwen en sluizen*, 18.

⁵⁷ Van Amstel-Horák, 'Nieuwbouw van twee sluizen in een benauwde tijd', 68.

⁵⁸ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 139.

⁵⁹ Van Dam, 'Ecological Challenges, Technological Innovations', 510.

⁶⁰ Onder meer het gebruik van schrankschoren en trekstangen en zwaardere slagdrempels, zie: Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003) 138; Van Dam, 'Spuien en heien', 36.

⁶¹ Van Amstel-Horák, 'Nieuwbouw van twee sluizen in een benauwde tijd', 63-64.

⁶² Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 175-188.

⁶³ Voor de waterstaatkundige activiteiten van Stevin en toegelichte tekstuitgaven van zijn traktaten, zie: Forbes, *The principal works of Simon Stevin*, vol. V.

draaideuren waarvan de as zich niet aan het uiteinde van de deur bevindt, maar iets uit het midden daarvan. De eerste toepassingen waren moeilijk te bedienen en pas na de verbeteringen rond 1600 werd de toldeur iets frequenter toegepast. Al gauw ontstonden ook kruisbestuivingen tussen de verschillende types sluisdeuren: bijvoorbeeld puntdeuren waarin toldeuren waren ingewerkt. In diezelfde periode werden ook de zogenaamde kruisende deuren uitgevonden. Die bestonden uit twee paren puntdeuren die in gesloten stand met de voorharren tegen elkaar steunden. Op deze wijze kon het water naar twee kanten gekeerd worden, in tegenstelling tot de gewone puntdeur die slechts naar één kant kon keren. Beide types deuren waren vooral bedoeld om in spuisluizen gebruikt te worden, maar slechts een relatief klein aantal toepassingen is bekend.⁶⁴ Het is dan ook zeer de vraag in hoeverre ze ingang hebben gevonden. Stevin zelf geeft in zijn traktaat *'Sterctebou'* (1617) te kennen dat bijna alle sluizen met schot- of puntdeuren waren uitgerust en dat de klepdeuren en roldeuren (deuren *'diemen zijdeling int landt trect'*) door hun slechte werking in onbruik waren geraakt.⁶⁵ In de achttiende eeuw bleek dan weer dat de belangstelling voor de vroegzeventiende-eeuwse deuren maar beperkt was. De sluisdeuren die in het *'Theatrum Machinarum Universale'* – een soort handboek voor het bouwen van sluizen uit de achttiende eeuw – voorkomen, zijn bijna uitsluitend draai- of puntdeuren, een enkele keer ook toldeuren.⁶⁶

Vanaf het begin van de negentiende eeuw vonden nieuwe inventies wel een snelle toepassing. Het drooghouden van bouwputten bij de bouw van sluizen was steeds een moeilijkheid geweest omdat kwelwater in de bouwput stroomde. Een nieuw type fundering, waardoor een waterdichte betonplaat ontstond waarop de sluis kon worden gebouwd, bleek de oplossing van dit oude probleem.⁶⁷ De negentiende eeuw bracht ook enkele weinig toegepaste verbeteringen. Zo werden in de sluisbouw waaierdeuren en gekoppelde deuren ontwikkeld, die al evenmin een groot succes bleken.⁶⁸

3. Ontwikkelingen in de dijkbouw

Naast het regelen van de binnenwaterstand is ook de waterkering een fundament van de waterstaat. Aan de kusten en oevers van rivieren lagen grote dijken die als kering waren opgeworpen. In Rijnland waren vooral de Spaarndammerdijk langs het IJ en de dijken langs de Oude Rijn van groot belang om het buitenwater te keren. Ook de grens met andere hoogheemraadschappen, de zogenaamde landscheidingen, waren voor Rijnland belangrijke waterkeringen. Veel primaire (buitenwaterkerende) dijken hebben een oudere oorsprong dan de kleinere kaden die in de polders volstonden. Over de ontwikkeling van dijkbouw is niet zoveel bekend, bovendien concentreert de beschikbare literatuur zich bijna volledig op zee- en rivierdijken. Over polderkaden en -dijken is in de literatuur geen 'techniekgeschiedenis'

⁶⁴ Arends, *Stuwen en sluizen*, 19-24, 86-93 en 99-102.

⁶⁵ Forbes, *The principal works of Simon Stevin*, vol. V, 90-99.

⁶⁶ Van Zyl en Schenk, *Theatrum Machinarum Universale*.

⁶⁷ Arends, *Stuwen en sluizen*, 170.

⁶⁸ Idem, 93-106.

terug te vinden.⁶⁹ Niettemin kan men wel vermoeden dat enkele algemene aspecten van dijkbouw ook voor polderkaden gelden, temeer daar het verschil tussen dijken en kaden zich vooral in de afmetingen vertoont.⁷⁰ Het overzicht schetst de belangrijkste ontwikkelingen in de algemene dijkbouw in de vroegmoderne tijd, waarbij – net zoals eerder bij de sluizen – voorbij wordt gegaan aan de verschillende functies van dijken en de uitgebreide typologie ervan.⁷¹

Rond 1500 waren al heel wat dijken en kaden aangelegd. Over de wijze waarop dit toen gebeurde, is op arbeidsorganisatorische elementen na⁷² relatief weinig geweten. Bij de aanleg gebruikte men materialen uit de directe omgeving van de dijk: de meeste dijken waren dus veen- of kleidijken, in zeedijken werd ook vaak zeewier verwerkt. Middeleeuwse dijken waren zogenaamde ‘zodendijken’: dijken die met zoden werden opgehoogd. Het gebruik van materialen uit de directe omgeving bleef ook in de vroegmoderne tijd een belangrijk kenmerk van dijkbouw. Zo werden dijken van de latere droogmakerijen gemaakt en opgehoogd met materiaal uit de gegraven ringvaart.⁷³ Het profiel van de vroegste dijken was symmetrisch: binnen- en buitentalud waren even steil, al kwam daar snel verandering in door het gebruik van dijkbescherming. In de vijftiende en zestiende eeuw traden in de dijkbouw enkele markante ontwikkelingen op, zoals rijswerk en krammatten uit stro of riet die een betere samenhang en bescherming van het dijklichaam beoogden. Belangrijker was de ontwikkeling in het profiel van het dijklichaam. Vanaf de zestiende eeuw werd dit in bestekken steeds nauwkeurig omschreven en deden nieuwe principes hun intrede. Voorheen werden dijken vaak met paalwerk en wierkussens beschermd, maar deze bescherming had grote nadelen aangezien ze een loodrecht vlak vormde waarop de golven met volle kracht inbeukten. Deze slikker- en wierdijken werden voornamelijk in Noord-Holland en West-Friesland toegepast.⁷⁴ De zestiende-eeuwse vernieuwing hield in dat het profiel werd afgezwakt en de dijk aan de buitenzijde een flauwer talud kreeg waartegen het water moest oplopen en daardoor zijn destructieve energie verloor. Als gevolg daarvan was het wel noodzakelijk geworden de kruinhoogte op te trekken. Daarnaast werd de organisatie van dijkaanleg zorgvuldig uitgevoerd door het werk in percelen aan te besteden. Deze ontwikkelingen deden zich voor het eerst voor in Zuidwest-Nederland en leidden tot de zogenaamde ‘Zeeuwse dijk’. Ook werden dijken steeds meer met een kleilaag bedekt, die de waterkering niet enkel minder doorlatend, maar ook beter bestand maakte tegen afslag.⁷⁵

De verspreiding van deze manier van dijkbouw leidde dan ook tot een uniformisering. Het Zeeuwse dijktipe is in de achttiende en negentiende eeuw door Holland en Friesland overgenomen.⁷⁶ Toch moet dit beeld enigszins genuanceerd worden. De bekendste

⁶⁹ Uitzondering is: Baars, *De geschiedenis van de landbouw in de Beijerlanden*, passim, die zich voornamelijk op dijkprofielen concentreert en verder de ontwikkeling van techniek op zich daarbij niet centraal stelt. Zie ook: Zeischka, ‘Dealing with diversity’.

⁷⁰ Huitema, *Dijken*, 226.

⁷¹ Voor een overzicht van de uitgebreide naamgeving van de verschillende soorten en functies van dijken, zie: Barends, ‘De zeedijk van zijn ontstaan tot het jaar 1730’, 195-196.

⁷² Van Dam, ‘Digging for a dike’, 220-255; Baars, *De geschiedenis van de landbouw in de Beijerlanden*, passim.

⁷³ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003) 92, 134-138.

⁷⁴ Barends, ‘De zeedijk van zijn ontstaan tot het jaar 1730’, 199-200.

⁷⁵ Huitema, *Dijken*, 227.

⁷⁶ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 136.

voorzitter van dijken met een flauw buitentalud was zonder twijfel Andries Vierlingh (1507-1578), die erg betrokken was bij bedijkingen in het Deltagebied, maar zijn inzichten deden dijkbouw geen andere weg inslaan noch leidden ze tot uniformisering. Uit onderzoek bleek wel dat de adviezen en ideeën van Vierlingh reeds in de zestiende eeuw buiten het Deltagebied toepast werden. Enkele van zijn adepten hielden bij dijkbouw in Noord-Holland en in Sleeswijk-Holstein rekening met zijn expertise.⁷⁷ Sommige auteurs menen dan ook dat de uniformisering van dijkbouw zich wel reeds in het begin van de zestiende eeuw heeft voorgedaan.⁷⁸ Niettemin, hoewel Vierlingh zijn kennis opschreef in een *'Tractaet van dyckagie'* werden dijken nog eeuwenlang met paalwerk beschermd, in tegenspraak met Vierlinghs voorkeur voor een ander dijkprofiel. Zijn *'Tractaet'* bleef niet alleen onvoltooid, maar ook ongepubliceerd. Een eerste uitgave werd pas in 1920 verzorgd.⁷⁹ De impact van het werk was bijgevolg zo goed als onbestaande.

De materialen in de zeventiende en achttiende eeuw veranderden in wezen niet zoveel. Nog steeds bestonden dijken voornamelijk uit klei, zand en zoden. In het geval dat geen kleizoden voorhanden waren, gebruikte men zogenaamde krammatten.⁸⁰ Dat waren banden uit stro, in feite gevlochten rijswerk. Krammen die een spadesteek de grond in werden gestoken, hielden de banden op de dijk waardoor een soort beschermingslaag ontstond.⁸¹ In de achttiende eeuw werden ook de zinkstukken verder ontwikkeld en vanaf de negentiende eeuw maakte bij het gebruik van rijswerk de toepassingen van steenstortingen opgang. Ook op andere terreinen van de dijkbouw vonden in de achttiende eeuw grote veranderingen plaats en werd ernaar gestreefd de bedijkingen te verbeteren. Vooral de dijken aan de oevers van de grote rivieren stonden in de schijnwerpers waarbij het probleem van de waterverdeling tussen de rivieren een grote rol speelde. Met de opkomst van de riviercartografie kwamen nieuwe inzichten in dat facet van de waterbouwkunde tot stand en kon door verdere innovaties het land langs de rivieren beter beschermd worden.⁸²

Ook op het vlak van de dijkbescherming waren er in de achttiende eeuw belangrijke vernieuwingen. Oudere maatregelen als wier en houten paalwerk die in de zeventiende eeuw nog veelvuldig als bescherming waren toegepast, verdwenen langzaam. Mede door toedoen van de paalwormcatastrofe in 1730 die het paalwerk van kilometers dijk aantastte, kwamen steeds meer stenen beschoeiingen voor. Hier en daar vond de aanleg van stenen beschoeiingen overigens in de zestiende eeuw al plaats, maar door de Tachtigjarige Oorlog was de aanvoer van steen moeizaam of onmogelijk geworden.⁸³ Bij de bouw van dijken besteedde men vóór 1650 evenmin aandacht aan de verdichting van de ondergrond waarop het dijklichaam rustte en men hield er rekening mee dat de dijk, als hij eenmaal gebouwd was, nog kon verzakken.⁸⁴ Vanaf 1650 werden technieken gebruikt om de onderwateroever te

⁷⁷ Schoorl, *Het waddeneiland Callensoog*, 132.

⁷⁸ Idem, 119, speciaal voetnoot 49 en 50 aldaar; Baars, *'Andries Vierlingh'*, 17.

⁷⁹ De Hullu en Verhoeven, *Tractaet van dyckagie*.

⁸⁰ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 138.

⁸¹ Baars, *Geschiedenis van de landbouw in de Beijerlanden*, 39; Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 180-181; Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 181.

⁸² Van den Brink, "In een opslag van het oog"; Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 177-179.

⁸³ Barends, *'De zeedijk van zijn ontstaan tot het jaar 1730'*, 204; Baars, *'Andries Vierlingh'*, 17; Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 179.

⁸⁴ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (1993), 142-143.

beschermen en zo mogelijk vast te leggen door rijswerk te laten zinken.⁸⁵ Vanaf wanneer deze innovatie werd toegepast is niet bekend. Baars vond aanwijzingen dat dit in de zestiende eeuw al zo was.⁸⁶ Anderen betwijfelen het gebruik van zinkstukken maar menen wel dat deze techniek vanaf het einde van de zeventiende eeuw steeds verder ontwikkeld werd.⁸⁷

4. Ontwikkelingen in de wegebouw

Het waterrijke karakter van het Hollandse landschap en het feit dat transport over het water een cruciaal element in de economische ontwikkeling was, heeft er ten onrechte toe geleid dat veel historici landwegen als een inferieure verkeersinfrastructuur beschouwden. Het trekvaartennetwerk was immers een degelijk transportsysteem voor passagiersvervoer terwijl ook het goederenverkeer door middel van beurtveren en de 'gecostumeerde binnenvaart' vooral over waterwegen plaatsvond. Maar wegen en wegverkeer speelden wel degelijk een rol en in de vroegmoderne tijd is er veelvuldig aandacht aan besteed.⁸⁸ De opgaande economische conjunctuur van de zestiende eeuw bracht immers ook op dit vlak het belang van technische innovatie aan de orde. Parallel aan de ontsluiting van het platteland door beurtveren en meer nog door het trekvaartennetwerk ontstonden regelmatige landverbindingen tussen steden: zogeheten wagenveren, waarvan de oudste vermeldingen uit 1520 stammen. Nog later, vanaf de zeventiende eeuw kwamen daar nog postwagens of diligences bij.⁸⁹

Het intensere wegverkeer bracht ook discussies op gang over de verschillende soorten wegen. Vanuit juridisch-administratief standpunt werd een classificatie gehanteerd waarbij elk type weg zich onder meer door bepaalde technische eigenschappen kenmerkte. In veel gevallen heerste er echter onduidelijkheid betreffende openbaarheid, oorsprong en gebruik van de verschillende soorten wegen. Contemporaine rechtsgeleerden wisten veelal zelf niet wat voor kenmerken toegeschreven moesten worden aan welk type weg. Hoofdwegen waren de zogenaamde 'heerwegen': grote openbare wegen waarvan de landsheer de rechtmatige eigenaar was of er de vruchten van plukte.⁹⁰ Heerwegen waren interlokale wegen, die de belangrijkste steden met elkaar verbonden. Over buurtwegen, lijdwegen, nood- of 'notwegen' en uitwegen heerste nog veel meer (terminologische) verwarring. Van deze vier soorten blijken lijdwegen de belangrijkste: wagenwegen met een bijbehorende breedtemaat. Buurtwegen waren eerder landwegen met een wat smallere maat, bovendien doorgaans niet in het bezit van ambachten, wat bij lijdwegen wel vaker voorkwam. Noodwegen worden doorgaans in verbinding gebracht met transport van oogst.⁹¹ Verder kwamen ook heel wat

⁸⁵ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 180.

⁸⁶ Baars, *Geschiedenis van de landbouw in de Beijerlanden*, 39

⁸⁷ Van de Ven, *Leefbaar laagland* (2003), 180-181.

⁸⁸ Van der Woud, *Het lege land*, 144-146.

⁸⁹ Horsten, *De doorgaande wegen in Nederland*, 50-51. Voor allerlei vormen van landtransporten, zie: Fuchs, *Beurt- en wagenveren*.

⁹⁰ Keuning, *Geschiedenis van de wegen tussen Rijn en IJ*, 55-61; Clazing, *Wegenbeheer in Rijnland in de vijftiende en zestiende eeuw*, 12-19, zie aldaar voor verdere verwijzingen naar rechtshistorische literatuur.

⁹¹ Clazing, *Wegenbeheer in Rijnland in de vijftiende en zestiende eeuw*, 17-18; Keuning, *Geschiedenis van de wegen tussen Rijn en IJ*, 74-76.

lokale wegen voor waarvan de naamgeving voornamelijk iets over de functie zegt, zoals kerkwegen of -paden en uitwegen. Deze classificatie bleef van toepassing tot het begin van de negentiende eeuw, toen de indeling van gemeente-, provinciale en nationale wegen haar intrede deed.⁹² Veel landtransport, vooral lokaal verkeer, vond overigens plaats over routes die niet onder een van deze categorieën vielen. Dijken waren in de eerste plaats als waterkeringen ontworpen, maar men kon ze door het aanbrengen van een zandlaag ook als transportwegen gebruiken. Hoewel deze praktijk pas voor het eerst in de zeventiende eeuw vermeld werd,⁹³ kwam ze ook vroeger voor. Al in de vijftiende eeuw werd in Rijnland over de Spaarndammerdijk en de Rijndijk gereden.

De betekenis van wegen werd in de zestiende eeuw dus steeds duidelijker zichtbaar. Dit had enkele belangrijke nevenconsequenties. Enerzijds nam ook voor de lokale waterstaat het belang van wegen toe omdat ze als natuurlijke verhogingen in het landschap snel ook een waterkerende functie toebedeeld kregen. Anderzijds onderkenden verschillende overheden de noodzaak aan goede wegen en introduceerden ze technische innovaties. Zo deed zich omstreeks 1600 een uniformisering van de spoorbreedte voor, wat inhield dat gelijksoortige wegen even breed werden gemaakt. De invoering van gelijke sporen vond zijn oorsprong vooral in militaire overwegingen en kwam veel minder voort uit economische ontwikkelingen. In alle gewesten benoorden de grote rivieren gold in de eerste helft van de zeventiende eeuw voor belangrijke wegen eenzelfde spoorbreedte: een uniformiteit die nog tijdens diezelfde eeuw weer verdween. Over de technische verschillen tussen de onderscheiden soorten wegen is weinig bekend. In Rijnland moesten heerwegen een breedte hebben van 1,5 tot 2 roeden, terwijl lijdwegen over het algemeen een breedte van één tot anderhalve roede maten.⁹⁴ Behalve de verschillende afmetingen bevorderde de materiaalkeuze een goede wegeninfrastructuur evenmin. Verharde wegen kwamen tijdens de Republiek bijna niet voor, de meeste wegen – zowel heer- als andere wegen – waren dan ook zand-, klei- of veenwegen, met alle gevolgen van dien voor de bruikbaarheid. Kuilen en putten in de weg, afgetreden kanten, weggespoelde stukken en de schade van karrensporen maakten dat de toestand van de wegen niet erg goed was. Het onderhoud bestond dan ook doorgaans uit het opvullen van de gaten met specie die uit de nabijheid gehaald werd. Dat deze in veengebieden uit sloten werd gebaggerd, kwam de kwaliteit van de wegen natuurlijk niet ten goede. Veenwegen hadden zo al de neiging om langs de bermen aan de zijkanten af te kalven.⁹⁵ Behalve de spoorbreedte werd in de zestiende eeuw ook op andere vlakken innovatie nagestreefd: er kwamen keuren die het gebruik van specie uit sloten verboden of het gebruik van rijshout bij de reparatie en het opvullen van kuilen voorschreven, maar niettemin bleven wanpraktijken aanhouden. Er werden ook maatregelen genomen die schade aan de weg moesten voorkomen: wegen kregen een profiel zodat het water na een regenbui kon wegstromen en de weg niet in een modderpoel veranderde of er kwamen aparte voetpaden die door palen van het wegverkeer gescheiden waren.⁹⁶ Deze maatregelen hadden evenwel een sterk lokaal karakter en een verbetering van de regionale wegenbouw kan men

⁹² Keuning, *Geschiedenis van de wegen tussen Rijn en IJ*, 10.

⁹³ Horsten, *Historische wegenatlas van Nederland*, 58.

⁹⁴ Clazing, *Wegenbeheer in Rijnland in de vijftiende en zestiende eeuw*, 23.

⁹⁵ Horsten, *De doorgaande wegen in Nederland*, 40.

⁹⁶ Clazing, *Wegenbeheer in Rijnland in de vijftiende en zestiende eeuw*, 22-28.

dus niet veronderstellen, temeer daar wegen vrij frequent als stortplaats van de lokale bevolking werden gebruikt. Wegen hadden ook nog geen vast traject: soms werd het tracé met enkele meters verlegd.⁹⁷ Het steeds toenemende belang van scheepvaartverkeer zorgde er bovendien ook voor dat met de aanleg van kleine kanaaltjes wegen doorsneden werden en dat er bruggen kwamen. Al naargelang het verdere gebruik werden die later weer dichtgedamd, of kwam er een duikertje of nog later, vanaf de achttiende eeuw, een stenen brug.⁹⁸

De tweede helft van de achttiende eeuw was een periode waarin opnieuw technische innovaties werden doorgevoerd; in de eerste plaats kwamen er plannen om belangrijke wegen te verharderen. Het eerste traject was de trekweg tussen Amsterdam en Haarlem die met keien en klinkers werd voorzien. Toch zou het in Rijnland nog een heel eind duren alvorens verdere bestrating aan de orde kwam: zo is de weg tussen Den Haag en Haarlem pas in 1807 verhard. Ook wegen met een eerder lokale betekenis zijn in het begin van de negentiende eeuw verhard: zandwegen werden óf van klinkers óf van een grindlaag voorzien. Om dit financieel voor de lokale bevolking mogelijk te maken, konden tollën worden geheven.⁹⁹ Niettemin werden vooral wegen die de verbinding tussen steden verzorgden sterk verbeterd.

5. Periodisering en kenmerken van technische ontwikkelingen

Met voorgaande paragrafen zijn de ontwikkelingen op vier belangrijke vlakken van de waterstaatstechniek beschreven. Om de eigen karakteristieken van de waterstaatstechniek te bepalen door ze te vergelijken met andere technieken, meer bepaald met scheepsbouw en navigatietechniek, is het nodig de ontwikkelingen op een abstracter niveau te benaderen. Welke periodisering kan onderkend worden? Welke kenmerken vertoonden de waterstaattechnische evoluties en in welke mate geleken ze op of verschilden ze van ontwikkelingen in scheepsbouw en navigatietechniek? Om op deze vragen antwoorden te formuleren, kunnen enkele begrippen gebruikt worden die het mogelijk maken de analyse van de ontwikkelingen te verfijnen. Joel Mokyr introduceerde in dat verband de begrippen 'micro- en macro-inventies'. Met micro-inventies wordt bedoeld op kleine, incrementele stappen die bestaande technieken verbeteren, aanpassen en stroomlijnen. Macro-inventies zijn radicale uitvindingen, gebaseerd op volkomen nieuwe ideeën waarvoor geen duidelijke precedenten aan te wijzen zijn. Beide zijn complementair: radicale inventies kunnen in veel gevallen maar 'overleven' als ze door opeenvolgende micro-inventies worden verfijnd en uitgewerkt, terwijl structurele vernieuwingen slechts mogelijk zijn door macro-inventies.¹⁰⁰ Mokyr's begrippen kunnen echter niet zomaar toegepast worden op bovenstaande schets van de waterstaatstechniek. De poldermolen kan moeilijk als macro-inventie gezien worden: de

⁹⁷ Clazing, *Wegenbeheer in Rijnland in de vijftiende en zestiende eeuw*, 26; Beenakker, *Lisse op de grens van droog en nat*, 65.

⁹⁸ Beenakker, *Lisse op de grens van droog en nat*, 64.

⁹⁹ Idem, 64-65; Keuning, *Geschiedenis van de wegen tussen Rijn en IJ*, 78-80; Van der Woud, *Het lege land*, 162, De Clercq, 'De ontwikkeling van het provinciale wegennet'.

¹⁰⁰ Mokyr, *The Lever of the Riches*, 12-13.

windmolentechniek op zichzelf was immers geen radicale vernieuwing zoals dat van bijvoorbeeld de eerste stoommachine wel gesteld kan worden, ook al was de poldermolen in de zestiende-eeuwse waterstaat misschien wel de meest betekenisvolle vernieuwing. Naar analogie met Mokyr's begrippen kan in de lokale waterstaat wel over grote en kleine innovaties gesproken worden: centraal staat dan de mate waarin een techniek binnen een beperkte ruimte (*in casu* de polder) als volkomen nieuw beschouwd kan worden. De introductie van een poldermolen op voorheen onbemalen land is dan een 'grote innovatie', aanpassingen aan bestaande apparaten en infrastructuren zijn kleine vernieuwingen. Het onderscheid tussen dergelijke grote en kleine veranderingen is als het ware een instrument om technische ontwikkeling te meten en om tot een duidelijker karakterisering van de waterstaatstechniek te komen.

Zeer veralgemenend kunnen dan drie fasen onderscheiden worden. De eerste fase, tot 1550/1600, is een fase waarin heel wat grote vernieuwingen tot stand kwamen die ook zonder meer hun weg naar de toepassing vonden, een ontwikkeling die door poldermolens en sluizen het best geïllustreerd wordt. Ook enkele kleinere innovaties kenden een ruime verspreiding, zoals keuren rond wegonderhoud en de standaardisering van spoorbreedten. In de tweede fase, 1550/1600-1740, bleven vooral kleine innovaties duidelijk aanwijsbaar: bestaande technieken werden verder verfijnd en geoptimaliseerd door allerlei kleinere aanpassingen. Het Oud-Hollandse wieksysteem was het resultaat van een accumulatieve reeks verbeteringen die leidde tot wijdverbreide technische verbeteringen. Het verschijnen van stenen sluizen, hogere molenvoeten en molengangen moet eveneens gezien worden als het optimaliseren en maximaliseren van de capaciteiten van bestaande technieken. Anderzijds werd deze periode ook gekenmerkt door de introductie van duidelijke grote inventies die niet of nauwelijks werden toegepast, ook al hadden zij onmiskenbaar enkele technische voordelen, boden ze uitkomst bij enkele problemen of stelden ze nog verdere capaciteits- en rendementverhoging in het vooruitzicht. Als voorbeeld geldt de vijzel, maar ook verschillende uitvindingen van Stevin en zijn generatiegenoten komen hiervoor in aanmerking. Hierbij moet opgemerkt worden dat het vooral de periode 1600-1650 betreft waar veel van deze technische nieuwigheden het licht zagen. De derde en laatste fase, grofweg 1740-1850, is er één waarin opnieuw enkele grote innovaties het licht zagen, maar ze kenden lang niet altijd een grote verspreiding. Pas helemaal op het einde had de vernieuwingsbeweging onder de toegepaste technieken enigszins succes, met stoom als meest radicale representant, hoewel er op alle terreinen voorbeelden aangebracht konden worden. De 'inventiegolf' die zich in deze fase voordeed, behelsde niet alleen de verbetering van bestaande technieken, maar steeds meer ook radicaal nieuwe ontwerpen. Voornamelijk met betrekking tot opvoerwerktuigen kwam deze tendens heel sterk tot uiting.

Met deze karakterisering wordt het traditionele, sterk vereenvoudigende beeld van technische ontwikkeling in de Republiek ('groei-bloei-verval') ingeruild voor een veel diffuser patroon: technische ontwikkeling vond voortdurend plaats, als een ononderbroken sequentie van grote en kleine innovaties. Deze veranderende visie is op zich niet nieuw: met betrekking tot scheepvaart en navigatietechniek hebben auteurs eveneens een genuanceerdere kijk geformuleerd.¹⁰¹ Daarbij is de technische ontwikkeling ook beschreven

¹⁰¹ Davids, 'De technische ontwikkeling van Nederland', 24-25. Voor detailstudies: Unger, *Dutch Shipbuilding before 1800*; Davids, *Zeewezen en wetenschap*.

als een proces van specialisatie en standaardisatie. Zo constateerde Richard Unger met betrekking tot scheepsbouw dat in de vijftiende en zestiende eeuw de verscheidenheid aan scheepstypen steeds groter werd; er trad met andere woorden een proces van specialisering op. Steeds weer voerde men aanpassingen en vernieuwingen door om in bepaalde behoeften te kunnen voorzien. Vanaf het tweede kwart van de zeventiende eeuw trad in de scheepsontwerpen een standaardisatie op. Radicale vernieuwingen kwamen niet meer voor, hoewel in de achttiende eeuw opnieuw enkele innovaties werden geïntroduceerd. De evolutie van de Nederlandse navigatietechnieken vertoont eveneens sterke gelijkenissen met die in de waterstaatstechniek. Daar werd vastgesteld dat tussen 1585 en 1650 de technische mogelijkheden en verscheidenheid sterk toenamen, evenals na 1740.

Wat levert de vergelijking met de waterstaatstechniek op? In de eerste plaats mag men besluiten dat die niet fundamenteel verschilt van de chronologie die zich in de scheeps- en navigatietechniek voordeed; integendeel, de cesuren die de fasering op de drie terreinen markeren zijn omzeggens gelijk. Maar kunnen de parallellen ook doorgetrokken worden naar andere aspecten? In het geval van scheepsbouw en navigatietechnieken kon vroegmoderne technische ontwikkeling immers ook gekarakteriseerd worden als een proces van achtereenvolgens specialisatie en standaardisatie. Geldt dit ook voor de waterstaatstechniek?

In het overzicht van de vier waterstaatstechnieken kan men zowel argumenten pro als contra vinden. Inderdaad tekende zich tot circa 1650 een zekere specialisatie af. In de zestiende eeuw trof men heel wat soorten sluizen aan, die naargelang van hun functie bepaalde specifieke technische kenmerken vertoonden; spuisluizen en schutsluizen verschilden danig van duikersluisjes. Ook in molentechniek was enigszins specialisatie opgetreden. De wind was voor bemaling een zo belangrijke energiebron geworden dat in feite een nieuw type molen was ontstaan: de poldermolen, waarbij nog verdere onderverdelingen gemaakt kunnen worden. In de zestiende eeuw werden immers drie soorten poldermolens gebouwd: wipmolens en binnen- en buitenkruisende achtkanters. De steeds verdere verfijning van ontwerpen leidde ertoe dat het rendement verhoogd werd en dat sommige steeds meer gecompliceerde technieken het van hun voorgangers wonnen. Deze 'winnaars' konden blijkbaar vanaf ongeveer 1650 voor een zekere standaardisatie zorgen. Het Oud-Hollandse wieksysteem bijvoorbeeld concurreerde het archaische dwarsgetuigde systeem weg, en het aantal types sluisdeuren dat in de achttiende eeuw toegepast werd, was lang niet zo groot als Stevin en zijn tijdgenoten hadden uitgedacht. Bijna alle sluizen waren met puntdeuren uitgerust. Ook onder de opvoerwerktuigen was een duidelijke standaardisatie merkbaar: het scheprad verwierf een monopolie terwijl pompsystemen en vijzels zoals ze in de zeventiende eeuw werden gepropageerd betekenisloos bleven.

Argumenten tegen zijn dan weer het feit dat in sommige te verwachten gevallen vóór 1650 geen succesvolle 'gespecialiseerde' technieken voorkwamen. In andere, latere omstandigheden waar standaardisatie verondersteld zou kunnen worden, trad juist geen standaardisatie op of kan die op zijn minst betwist worden. Het eerste kan geïllustreerd worden met het magere succes van vijzels. Het leeuwendeel van de droogmakerijen vond plaats met gewone schepraderen: specialisatie vond in dit geval dus niet plaats. Het tweede probleem, de uitgebleven standaardisatie, is eveneens vrij gemakkelijk aan te tonen. Zo suggereert de aangehaalde literatuur dat in heel Holland dezelfde wieksystemen gebruikt werden, maar het gebrek aan detailstudies verdoezelt enigszins de historische realiteit. Ondanks het feit dat het Oud-Hollandse wieksysteem wel het gangbare patroon was, bleef in

de praktijk heel wat variatie bestaan. Het gegeven dat elke timmerman zijn eigen wijze had om molenroeden te bouwen, leidde er bij tijdgenoten toe deze verschillen juist als hinderlijk te ervaren. Molentechniek zou er wel bij varen als één ontwerp gebruikt zou worden;¹⁰² met andere woorden, wanneer er nog meer standaardisatie en uniformisering zou optreden. Ook op andere vlakken bleef verscheidenheid bestaan. De tegenstelling tussen Noord- en Zuid-Holland hield ook in de achttiende eeuw aan: enkel in Zuid-Holland kwamen buitenkruiers voor, boven het IJ bleef de binnenkruier in zwang. De standaardisatie die in de wegenbouw rond 1600 was bereikt, ging zelfs al snel weer verloren zodat er opnieuw verschillende spoorbreedten gebruikt werden.

Conclusie

De belangrijkste evoluties zijn voorgesteld, de vergelijkingen gemaakt. Wat kan hieruit geconcludeerd worden? De voornaamste vaststelling betreft de karakterisering van de technische ontwikkeling. Uit het overzicht van de vier waterstaatstechnieken is een patroon gebleken dat zowel gelijkenissen als verschillen met andere technieken vertoont. De parallellen betreffen de fasering, de verschillen voornamelijk specifieke kenmerken die in de scheepsbouw en de navigatietechniek voorkwamen, maar in de waterstaat heel wat minder eenduidig aan te wijzen bleken. Er konden immers zowel argumenten voor als tegen worden aangehaald, zodat voorlopig geconcludeerd mag worden dat de ontwikkeling van de waterstaatstechniek een stuk gedifferentieerder verliep.

Nu deze verschillen en gelijkenissen vastgesteld zijn, kan het onderzoek met betrekking tot de casussen begonnen worden en kunnen de waterstaatstechniek en de context waarbinnen die zich bevond, uitgediept worden. Op die manier biedt de analyse van lokale waterstaatswerken ook een tegenwicht voor de analyses van scheepsbouw en navigatietechniek, technieken die een heel ander karakter hadden. De lokale waterstaat, ondanks haar basale karakter, behoorde niet of veel minder tot de pijlers van de toenmalige Hollandse grootmacht waarvan de internationale zeevaart in al haar vormen een wezenlijk onderdeel uitmaakte. Deze laatste had immers effect op de geopolitieke en internationale economische positie van de Republiek en was bovendien in handen van een relatief kleine groep van besluitvormers. Omgekeerd was de maatschappelijke inplanting van de waterstaat veel breder. Het hele Hollandse laagland was er letterlijk mee doordrenkt. Zo goed als elke instelling, van de laagste tot de hoogste sport op de institutionele ladder, of elke sociale groep, van dagloner of keuterboer en van molenaar tot stedelijke grootgrondbezitter, was erbij betrokken of had er belangen in.

¹⁰² Aeneae, *Verhandeling over de molenwieken*.