

De paalworm in Hollandse zeedijken

ALBERT VAN BRAKEL

Inleiding

Tijdens mijn onderzoek naar het grootschalig gebruik van teer en pek om schepen in de vroegmoderne tijd tegen vezel- en houtrot te beschermen, stuitte ik op de grote schade die de paalwormen veroorzaakten in het romphout van de VOC retoursschepen. Schepen die met een tussenstop bij de Kaapverdische eilanden of in Kaapstad, grote zeereizen naar de Oost maakten. Kaapstad was de belangrijkste verversingspost voor schepen uit de Republiek die op weg waren naar Oost-Afrika, Indië of het Verre Oosten. Het was in die tijd niet uitzonderlijk dat alvorens de retourreis vanuit Batavia kon worden ondernomen de houten dubbeling van de scheepsromp grotendeels vernieuwd moest worden. Meestal werd dan duidelijk dat door de vraatzucht van exotische schelpdieren het romphout dusdanig doorzeefd was met talloze kanaaltjes, dat hierdoor de schepen veel water maakten en zelfs de waarde van hun lading specerijen gevaar liep. Het was in die tijd bij de zeediëden alom bekend, dat het leefgebied van de paalworm met name in subtropische- en tropische kustgebieden lag. Vooral in gebieden waar zich grote hoeveelheden hout manifesteerden in het zeewater, bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van mangrove bossen aan de kuststreken.

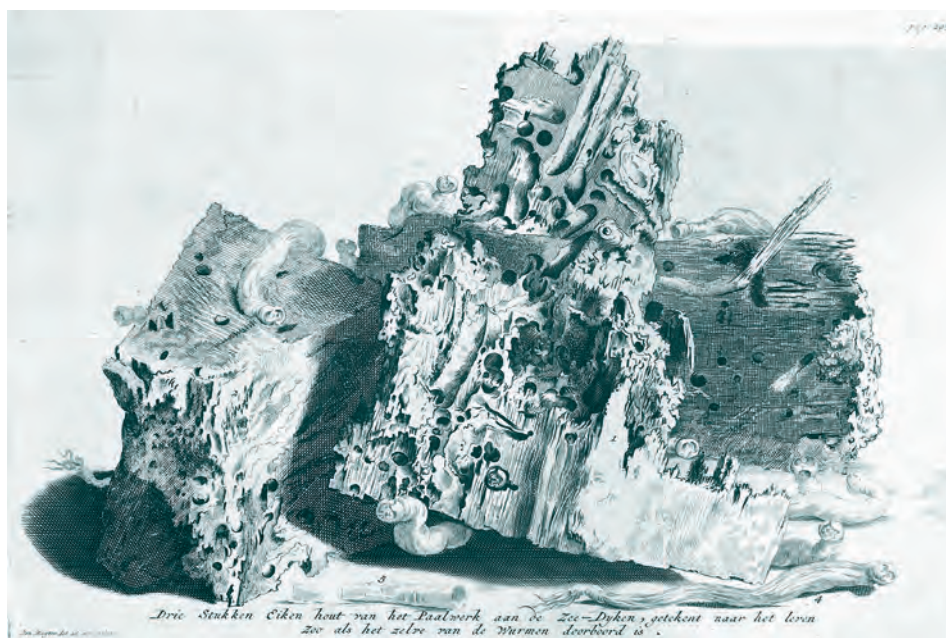
Deze kennis over de aanwezigheid van de paalworm bleef aanvankelijk beperkt tot zeediëden. Het was voor dijkinspecteurs dan ook een complete verrassing, toen het bij reguliere dijkinspecties duidelijk werd dat de beschoeiingen van de Zuiderzeedijken rond 1731 ook dusdanig ernstig door de paalworm aangetast waren, dat dit voor de veiligheid van kustbewoners gevaar opleverde. Als gevolg van die aanslag op de laatste verdedigingslinie tegen de golven, stak een latent aanwezige overstromingsangst bij kustbewoners opnieuw de kop op. Deze mensen waren vanwege de lokale situatie bekend met overstromingsgevaaren, maar hadden zo'n verwoestende destructie van die eens zo solide ogende zeedijken nog niet meegemaakt. Omdat er van een wetenschappelijke aanpak om dergelijke rampen te bestrijden toen nog geen sprake was, bleef het beperkt tot talrijke vlugschriften, die vooral hel en verdoemenis predikten. Door te spreken over een goddelijke straf wisten de bewoners in ieder geval hun angstgevoelens te uitten. Deze bezorgdheid heeft tot in de hoogste lagen van de bevolking geresulteerd in een stroom aan publicaties, wat onder andere blijkt uit een schrijven van de Hoogmogende Staten der Provincie Friesland, welke luidde:

“eene plage, niettemin regtvaardig van God ter vergelding in zijn onnaspeurlijke wijsheid, bestemt om de hoogmoed, overdaad, dartelheid en wellustigheid van ons volk, vervallen tot ongerechtigheid, ja zelfs verfoeilijke en ongehoorde zonden, tot den Hemel toe om wraak roepende, te dempen en te bezoeken”.¹

Dat de paalwormramp van 1730 een oorzakelijk verband heeft met veranderingen in de Zuiderzee, te weten een toename van zowel de watertemperatuur als het zoutgehalte, wordt in dit artikel uitvoerig verklaard. Maar naast deze natuurlijke oorzaken, heeft bij het uitbreken van deze ramp de menselijke factor ook een belangrijke rol gespeeld. De aanwezigheid van zeedijken met houten beschoeiingen en samengeperst zeewier vormde als het ware een optimale voedingsbodem voor de paalworm (afb. 1). De veronderstelling dat de paalworm in de vroegmoderne tijd een exoot en nieuw fenomeen was in de Noord-

Tijdschrift voor
Waterstaatsgeschiedenis
25 (2015) 2, 70-81

¹ J.A. van der Kloes, *Onze bouwmateriaal, IV, Hout en andere plantaardige materialen* (Amsterdam 1925), 144.



Afb. 1. Door de paalworm aangetast paalwerk uit de zeedijken. Ets en gravure door Jan de Ruyter, 1731. Rijksmuseum Amsterdam, objectnr. RP-P-OB-83.767.

zee waarmee vooral West-Friesland overvallen werd, is echter feitelijk onjuist. Zo worden in het recente proefschrift van Adam Sundberg, *Flood, Worms, and Cattle Plaque*, drie min of meer grote natuurrampen uit de Gouden Eeuw met elkaar vergeleken. Eén daarvan is de bewuste paalwormramp uit 1730. In dit proefschrift wordt die ramp als een *Nature Induced Disaster* gepositioneerd. Een ramp die geleid zou hebben tot een betere dijkbouw, waardoor de houten palen als een palissade voor het dijklichaam overbodig werden.² Dit artikel beoogt vast te stellen of aan de hand van eerdere ervaringen met de paalworm deze laatste conclusie wel voldoende onderbouwd kan worden. Dat de paalwormramp grote economische consequenties heeft gehad staat niet ter discussie, maar wel de volgorde/belangrijkheid van de bijbehorende gebeurtenissen.

Vroegste confrontaties met de paalworm

De paalworm – hoewel niet helemaal onbekend in Europees zeewater – komt als hout-opruimer toch vooral in tropische- en subtropische gebieden voor. Deze in zee levende schelpdiertjes voelen zich vooral thuis in warm zeewater, waar voldoende hout als voedselbron aanwezig is. Het eerste schriftelijke verslag over deze vraatzuchtige houtvijand stamt uit het begin van de zestiende eeuw. Christoffel Columbus beschrijft in zijn logboek de vele tegenslagen die hij tijdens zijn vierde ontdekkingsstocht in het Caribische gebied had ondervonden. Nadat Columbus in 1502 met een vloot van vier schepen de haven van Cádiz was uitgevaren, kwam hij onder de kust van Venezuela in een tropische wervelstorm terecht. Om zijn vloot zoveel mogelijk intact te houden zag hij zich genoodzaakt snel een veilige haven op te zoeken, teneinde nog iets van zijn langzaam zinkende vloot te kunnen redden. Tijdens die reis waren zijn schepen dusdanig lek geworden, dat de bemanningsleden bij toerbeurt de lenspompen moesten bedienen, om in ieder geval het dek boven het wateroppervlak te houden. Als ervaren zeeman besloot Columbus daarop zijn reis naar het westen niet door te zetten, maar dicht onder de kust zeilend met twee schepen zijn tocht in oostelijke richting te vervolgen. Met deze twee schepen werd koers gezet naar Hispaniola (het huidige Haïti), maar omdat beide schepen nauwelijks vaart maakten strandde men uitgeput op Jamaica. Daar liet Columbus het restant van zijn

² Adam D. Sundberg, *Floods, Worms, and Cattle Plague. Nature induced Disaster at the Closing of the Dutch Golden Age 1672-1764* (PhD Thesis University of Kansas 2015).

vloot op het strand lopen, waar het al snel duidelijk werd dat ook die schepen nagenoeg volledig doorzeefd waren met paalwormgaten.³ Klaarblijkelijk had er – onopgemerkt door zijn bemanning – ergens in het Caribisch gebied een massale worminvasie in zijn vloot plaatsgevonden. De schepen waren hierdoor zo lek geworden, dat het uitgesloten was om de lange thuisreis aan te vangen. Bij deze mislukte ontdekkingstocht vond Columbus geen nieuwe zeeroute naar Azië, hij verloor door toedoen van de schelpdieren al zijn schepen, waardoor hij gedwongen was om met twee geleende schepen de thuisreis aan te vangen.

Na dit voorval bleken paalworminvasies lange tijd slechts incidenteel plaats te vinden, wat pas ging veranderen toen ook schepen van de grote handelscompagnieën lange zee-reizen richting Azië maakten. Het vernietigende werk van dit wormvormige schelpdier werd toen een min of meer normaal verschijnsel aan boord. Gedwongen door de paalworm werden scheepsbouwers op de VOC werven uitgedaagd om een nieuw concept voor hun schepen te bedenken. De oplossingen bestonden uit varianten die allen als doel hadden de scheepsromp zo goed mogelijk af te schermen voor de paalworm. Het eindresultaat was dat voor de vaart in tropische gebieden het onderwaterschip altijd voorzien moest worden van een tweede huid, als afscherming tegen deze borende zeedieren. De keuze voor welk type bescherm laag men zou gaan, werd op de scheepswerf gedaan op basis van budget en/of beschikbare materialen. De VOC zelf was echter een warm voorstander van een houten dubbeling. Niet alleen omdat het een goedkope remedie was tegen de paalworm, maar ook omdat er toen altijd voldoende grenenhout op zo'n scheepswerf aanwezig was. Toch had deze typische houten dubbeling ook nadelen. Bij elke woeste golfslag konden de grenenhouten plankjes gemakkelijk losbreken van het romphout, waarna de paalworm alsnog vrij spel had in het stevige eikenhout van de scheepsromp. In die tijd konden de scheepsbouwers het paalwormprobleem dan ook niet afdoende oplossen, zodat de zeelieden er maar mee hadden te leven.

Pas toen omstreeks 1730 ontdekt werd dat een paalworminvasie in de Republiek zelf was uitgebroken, werd duidelijk dat die vreemde wezens niet alleen veel schade veroorzaakten aan Oost-Indiëvaarders, maar dat ook talloze dijkpalen, sluisdeuren en houten beschoeiingen gevaar liepen. Die bedreiging was voor de bewoners van ons land een nieuw fenomeen, want tot dan had de paalworm alleen een gevaar gevormd voor schepen die in tropische gebieden voeren. Als gevolg van de paalwormramp in 1730 werden er in de Republiek een groot aantal maatregelen getroffen om dijkconstructies beter tegen de vraatzucht van deze paalwormen te beschermen. Allereerst ging men, net zoals eerder tevergeefs op schepen van de VOC toegepast, er toe over om de houten dijkpalen met ijzeren spijkers te beslaan. De bedoeling daarvan was dat de van een extra grote platte kop voorziene smeedijzeren spijkers onder invloed van zeewater een roestlaag zouden vormen en zo voorkwamen dat de wormen het hout konden binnendringen.⁴ Maar het gebruik van zulke spijkers – meestal 'wormnagels' genoemd – was niet haalbaar voor tientallen kilometers dijk. Wel werd deze methode toegepast om dukdalven en sluisdeuren te beschermen. Naderhand ging men voor beschoeiingen en sluisdeuren tropisch hout gebruiken. Deze aanpak werd geïnitieerd door de houtvester J.W. Gonggrijp, die in 1921 een proef beschreef welke aan de monding van de Surinamerivier was uitgevoerd om inlands hardhout te testen op weerstand tegen de paalworm.⁵ Na een jaar bleken de proefstukken van de tropische hardhoutsoorten Purperhart en Mora doorzeefd te zijn met talloze paalwormgaten. Ook het Demerara Groenhart hout was aangetast, zij het dat die gaatjes slechts een diepte van circa twee centimeter bereikten. Hiermee werd aangetoond dat weliswaar niet alle hardhoutsoorten geschikt waren, maar dat het kiezelharde Demerara hout juist wel stand hield tegen de paalworm.

Toen rond 1730 de paalworm een problematische vijand voor onze zeedijken was geworden, werd vrij snel daarna door Gottfried Sellius een wetenschappelijke studie over deze diergroep gepubliceerd. Daarmee was hij ook de eerste wetenschapper die de paalworm indeelde bij schelpdieren.⁶ Hoewel oorspronkelijk vooral werd gedacht dat plank-

3 Martin Dugard, *The Last Voyage of Columbus. Being the Epic Tale of the Great Captain's Fourth Expedition, Including Accounts of Sword-fight, Mutiny, Shipwreck, Gold, War, Hurricane and Discovery* (New York 2005), 208.

4 M.H. Bartels, P. Swart, H. de Weerd, *Wormspijkers in het Medemblicker havenhoofd. Archeologisch en historisch onderzoek naar maatregelen tegen de paalworm in het noordelijke havenhoofd van Medemblik, West-Friesland. West-Friese Archeologische Rapporten 80* (Hoorn 2015), 16-20.

5 J.W. Gonggrijp, 'Over demerara green hart, manbarklak en een nieuwe tegen de paalworm bestaande houtsoort', *West-Indië, landbouwkundig tijdschrift voor Suriname en Curaçao*, nr. 4 (sep. 1921), 5.

6 L.C. Palm, 'Achtergronden van het Paalwormonderzoek 1730-1870', *Tijdschrift voor de geschiedenis der geneeskunde, natuurwetenschappen, wis-kunde en techniek* 13 (1990), 88-101.

ton de natuurlijke voedselbron was voor ‘onze’ paalworm, heeft Sellius dit aspect in zijn eerste studie, *Historia naturalis teredinus marina*, al ter discussie gesteld. Sellius was ook de eerste wetenschapper die op het belang wees van hoge zeewatertemperaturen voor het voortplantingsniveau van paalwormen. Desondanks bleef het vraagstuk waarom dit schelpdier zo’n buitengewone belangstelling voor hout aan de dag legt, nog lang onbeantwoord. Gedurende lange tijd werd verondersteld dat deze boormossels het aangestaste hout slechts zouden gebruiken als zelfbescherming. Pas rond 1923 kon door laboratoriumonderzoek in Amerika vastgesteld worden, dat circa tachtig procent van alle cellulose uit hout verdween via het spijsverteringssysteem van de paalworm.⁷ Hierdoor kon op wetenschappelijke wijze aangetoond worden dat de paalwormen in staat zijn om het afgeschraapte hout inderdaad als voedsel te gebruiken. Met andere woorden, de paalworm is in staat om cellulose uit hout om te zetten in glucose, zodat het vervolgens door het dier als energiebron gebruikt kan worden.

Biologie van de paalworm

Paalwormen leven net als termieten van hout. Beide diersoorten worden dan ook fanatiek bestreden, omdat ze alles wat van hout is gemaakt snel kunnen verwoesten. Deze destructieve functie van het dier heeft echter ook een nuttig effect in hun natuurlijke leefomgeving, vooral daar waar zich mangrovebossen langs de vlakke tropische kusten bevinden. De paalworm ruimt in die gebieden de onwortelde mangrovebossen op, door ze als het ware compleet te verorberen. Om goed te begrijpen hoe verwoestend de paalworm te werk ging in de zeedijken, en ook hoe dat uitpakte voor de zeewaardigheid van onze houten vloot, is het belangrijk om de biologische eigenschappen van dit schelpdier nader te bezien. De paalworm is een hoog gespecialiseerd schelpdier. Verspreid over de wereldzeeën bestaan er wel 65 verschillende soorten paalwormen (*Teredinidae*), waarvan slechts een tweetal – de *Teredo navalis* en de *Psiloteredo megotara* – in Europees zeewater kunnen toeslaan.⁸ De soort die wellicht het grootste aantal problemen in ons land heeft veroorzaakt, is de kosmopolitische *Teredo navalis*, die op vele continenten voorkomt.

Een belangrijk aspect bij de penetratie van paalwormen in hout is dat het dier alleen in het larvestadium zich in een stuk hout kan werken. De paalwormlarve gebruikt in deze korte periode, die ten hoogste enkele weken duurt, een voetje waarmee het zich al doberend op de golfstroom voortbeweegt, totdat het mogelijk is zich vast te klampen aan een stuk hout.⁹ Hierna ontwikkelt het dier vervolgens een tweetal beweegbare schelpen, die als een soort boorkop worden gebruikt, om zich daarmee met wrikkende bewegingen in het hout te werken. Dit gaat met hoge snelheid, waarbij circa 1,5 millimeter per dag door de paalwormlarve geboord wordt.¹⁰ Hierbij transformeert de larve zich binnen twee etmalen tot een kleine paalworm, die snel groeiend zich steeds verder in het hout dringt (afb. 2). Omdat de larve in het begin minder dan een millimeter meet, is het entreegatje bij de penetratie in hout voor het blote oog nauwelijks zichtbaar. Hierdoor kunnen deze schelpdieren hun vernietigende werk onopgemerkt voortzetten totdat zelfs het sterkste hout gedegrademd is tot een broos geheel.¹¹

Onderzoek heeft verder aangetoond dat paalwormen meestal de lengterichting van de houtnerf volgen, en altijd in hun eigen kanaaltje blijven. Dit laatste spreekt eigenlijk voor zichzelf, want vanaf hun sifons tot aan de schelp is de paalworm een biologische eenheid, die opgesloten zit in hout. Omdat de paalworm zich bij het raspen klem zet met zijn kop om het boorwerk te kunnen verrichten, merkt het dier een afnemende weerstand aan het einde van het stuk hout waarin het verblijft. Zodra dit het geval is buigt de paalworm in een andere richting om haar boorwerkzaamheden voort te kunnen zetten. De gang van een paalworm is dus bijna nooit recht, maar kan juist veel bochten hebben.

Onder gunstige omstandigheden van temperatuur en zoutgehalte van zeewater kan de paalworm binnen een jaar een lengte bereiken van dertig centimeter bij een diameter van

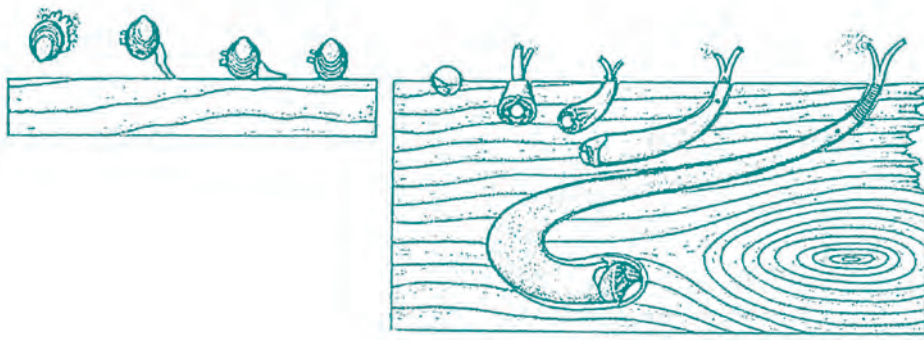
7 Walter H. Dore, Robert C. Miller, ‘The digestion of wood by *Teredo Navalis*’, *University of California Publications on Zoology* 22 (1923) nr. 7, 383-400, aldaar 393.

8 Paalwormen – *Teredo navalis* en *Psiloteredo megotara*. Niet-inheemse soorten van het Belgisch deel van de Noordzee en aanpalende estuaria. VLIZ Information Sheets 41 (Oostende 2011).

9 Ruth D. Turner, *A Survey and Illustrated Catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia)* (Cambridge Mass. 1966), 50.

10 Roger Mann, Scott Gallagher, ‘Growth, morphology and biochemical composition of the wood boring Molluscs *Teredo Navalis* L., *Banxia Gouldi* (Bartsch), and *Nototeredo knoxi* (Bartsch) (Bivalvia: Teredinidae)’, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 85 (1985), 229-251, aldaar 244.

11 N.B. Nair and M. Saraswathy, ‘The biology of wood-boring teredinid molluscs’, *Advances in Marine Biology* 9 (1971), 335-509.



Afb. 2. Levenscyclus van de *Teredo navalis*. Overgenomen uit N. Balakrishnan Nair, M. Saraswathy, 'The biology of wood-boring teredinid molluscs', *Advances in Marine Biology* 9 (1971), 335-509.

vier tot negen millimeter.¹² Tijdens dit groeiproces blijft het uiteinde van de paalworm net onder de oppervlakte van het hout, zodat de diameter van het minuscule openingetje niet groter wordt. Vandaar dat het voor een volgroeide paalworm fysiek onmogelijk is het geselecteerde stuk hout te verlaten. Paalwormen zitten als het ware gevangen in het hout, waar ze als larven zijn binnengedrongen. Deze ingang dient alleen om via het uiteinde van beide sifons vers zeewater door het lichaam te pompen, waarmee het dier via de kieuwen zuurstof binnenkrijgt. Daarnaast kan het met behulp van deze sifons ook het verteerde voedsel (hout) en sperma of eicellen in zee uitstoten. In dat zeewater vindt vervolgens de bevruchting van de eicellen plaats. De spermatozoïden kunnen echter ook via de sifons van een nabij wonend vrouwelijke paalworm worden ingetrokken. Hoewel de paalworm vele honderdduizenden eitjes per keer kan uitstoten, zullen deze 'gelukkig' lang niet allemaal tot paalwormen transformeren. Als larve vallen velen ten prooi aan andere zeebewoners.

In biologische termen wordt de paalworm een protandrisch hermafrodiet dier genoemd. Dit betekent dat zodra het dier geslachtsrijp is geworden, het eerst spermatozoïden en vervolgens ook eicellen voortbrengt. Hoewel de bevruchting van dergelijke eitjes bij een groot aantal paalwormsoorten in zee plaatsvindt, is dat bij onze paalworm – *Teredo navalis* – juist niet het geval. Het mannetje brengt – zodra het geslachtsrijp is – zijn sifons direct in die van een nabij verblijvend vrouwelijke worm en scheidt daarna zaadcellen af. De bevruchting van de eicellen vindt vervolgens in het lichaam van het vrouwelijke dier plaats, waarna in de broedbuidel de ontwikkeling van bevruchte eieren tot vrij zwemmende paalwormlarven volgt.¹³ Eenmaal uitgebroed dienen de uitgestoten larven binnen een drietal weken een stuk hout zien te vinden als voedselbron. Biologen achten een aantal periodieke seksewisselingen als meest waarschijnlijk, waarbij paalwormen gedurende hun totale levensduur ongeveer vier keer van geslacht kunnen wisselen.¹⁴ Door die periodieke verandering van sekse is een paalworm in staat om een enorm aantal larven in korte tijd voort te brengen. Biologen noemen aantallen van een half tot een miljoen larven per seizoen. Bij zo'n snelle uitbreiding van de paalwormpopulatie is het dan ook niet zo vreemd dat de verwoestingen aan hout aanzienlijk en plotseling zichtbaar kunnen zijn. Maar toch hangt het vooral van externe factoren, zoals temperatuur en zoutgehalte van het zeewater plus de aanwezigheid van voldoende hout af, hoeveel van deze larven uiteindelijk volgroeide paalwormen zullen worden.

Leefmilieu van de paalworm

Primaire voorwaarden voor zowel het leven als de voortplanting van paalwormen zijn zout of brak water, in elk geval voldoende zuurstofrijk en een niet te lage temperatuur. Natuurlijk is de aanwezigheid van voedsel in de vorm van hout ook essentieel. In zoetwa-

¹² Wesley R. Coe, 'Sexual Phases in Wood-Boring Mollusks', *The Biological Bulletin* 81 (1941), 168-176, aldaar 168.

¹³ Turner, *Survey*, 48-50.

¹⁴ *Ibidem*, 169.

ter kunnen paalwormen niet overleven! Hoewel vaak wordt aangenomen dat de aanwezigheid van paalwormen in zeewater louter en alleen afhangt van de watertemperatuur, speelt dit eigenlijk alleen een rol tijdens de korte periode dat een paalwormlarve moet zien te overleven. Dus voordat deze een stuk hout vindt om zich in te nestelen. Voor de meeste paalwormsoorten is de minimum overlevingstemperatuur voor de larven circa tien graden Celsius.¹⁵

Volwassen paalwormen die zich al in hout genesteld hebben, kunnen veel grotere temperatuurschommelingen doorstaan. Dit komt omdat ze in staat zijn hun sifons terug te trekken waarna ze vervolgens ook nog het minuscule entreegatje in het hout af kunnen sluiten. Hierdoor is de paalworm in staat om gedurende lange tijd in min of meer inactieve toestand zelfs bij temperaturen tot iets boven het vriespunt te overleven.¹⁶ Die lage temperaturen kunnen zich bijvoorbeeld voordoen als in drijf- of scheepshout gevestigde paalwormen meeliften naar meer noordelijke streken. De zeewatertemperatuur is eigenlijk alleen van belang bij het voortplantingsproces. Zo zijn er soorten die al kuit schieten zodra de watertemperatuur is gestegen tot circa tien graden Celsius, terwijl andere soorten dit pas doen wanneer het zeewater warmer is dan 25 graden Celsius.¹⁷

Inmiddels is in de Verenigde Staten veel wetenschappelijk onderzoek verricht naar de invloed van zowel temperatuur als saliniteit op het voortplantingsproces van de *Teredinidae*.¹⁸ Onomstotelijk kon worden vastgesteld dat saliniteit verreweg de belangrijkste rol speelt bij het voortplantingsproces van iedere paalwormsoort. Wanneer men tijdens het onderzoek de saliniteit liet dalen tot tien promille oftewel tien gram per liter, kwam de activiteit van vrijwel alle larven tot stilstand. Na vijf dagen bij die saliniteit bleek meer dan de helft van de larven dood te zijn. De saliniteit van zeewater is niet overal in de wereld gelijk. Zo is het zoutgehalte in tropisch zeewater, door de verdamping van water als gevolg van de heersende temperatuur, beduidend hoger dan bijvoorbeeld van zeewater in de Botnische Golf (zie tabel 1).

Het zeewater in Noord-Europa – de Oostzee en vooral de Botnische Golf – wordt naast een opmerkelijk laag zoutgehalte ook gekenmerkt door een lage temperatuur. In combinatie met het geringe zuurstofgehalte op grote diepte zijn de overlevingskansen voor de paalwormlarven gering. Door deze zeewatercondities zijn juist hier zoveel eeuwenoude scheepswrakken gaaf bewaard gebleven. Hoewel het merendeel van de paalwormpopulaties zich nog steeds in de tropische kustgebieden bevindt, waar ze primair dienen als opruimers van mangroveboomwortels, komt de *Teredo navalis* ook wel voor in gebieden met een meer gematigd klimaat. Laten we nu, aan de hand van de gepresenteerde biologische gegevens, terugkeren naar het voorkomen van de paalworm in de Nederlandse wateren.

TABEL 1. SALINITEIT ZEEWATER

zee	saliniteit (in promille)
Oostzee	24 (in Botnische Golf 8)
Noordzee	34
subtropisch wateren	36
Middellandse Zee	39
Rode Zee	41

15 www.nobanis.org, geraadpleegd 7-5-2007.

16 Ibidem.

17 Turner, Survey, 52.

18 K. Elaine Hoagland, 'Effects of temperature, salinity, and Substratum on larvae of the shipworms *Teredo Bartschi* Clapp and *T. Navalis* Linnaeus (Bivalvia: Teredinidae)', *American Malacological Bulletin* 4 (1986), 89-99.

Dijkaanleg en de verspreiding van paalwormen rond 1730 in het Zuiderzeegebied

Tegen het eind van de late middeleeuwen veroorzaakten klimatologisch veranderingen en talrijke stormvloed en al een dusdanig wateroverlast in ons land dat de bevolking genoodzaakt was om adequate verdedigingslinies tegen het zeewater aan te leggen. Zolang men nog weinig van het water te duchten had, wist men zich te redden met kleinschalige oplossingen, bijvoorbeeld het opwerpen van terpen. Als gevolg van de ontginning en ontwatering van de veengebieden in het westen van ons land vond hier een snelle daling van het maaiveld plaats. Men kon niet om de bouw van grote ringdijken om het land te beschermen heen. Eerst werden de meeste dijken nog opgebouwd uit in de directe nabijheid beschikbaar materiaal, zoals veen en klei.¹⁹

De met grasplaggen beklede dijken bleken echter niet solide genoeg als het buitendijkse land door de zee was verzwolgen. Zij stonden dan direct en langdurig aan de golfslag bloot. In het gebied rond de Zuiderzee kwam in de loop van de zestiende eeuw de wierdijk in zwang. Dit zee gras werd geoogst op het wad in de buurt van het eiland Wieringen.²⁰ Een dijk van wier had als voordeel dat – onder druk – het wier zich door inklinking samenvoegde tot een taaie massa, die de golfslag kon weerstaan.

De Zuiderzee was een zogenaamd brakwater getijdengebied. Het gebied werd niet alleen door de Noordzee beïnvloed, maar ook mondden een aantal rivieren, zoals de IJssel en de Overijsselse en Utrechtse Vecht erin uit. Bij zeer hoge waterstanden, bijvoorbeeld als gevolg van een stormvloed op de Noordzee, kon het zeewater gemakkelijk via de gaten tussen de Waddeneilanden naar binnen stromen. Het brakke water werd dan aanmerkelijk zouter.

Ook de aan zee grenzende delen van de in totaal 126 kilometer lange West-Friese Omringdijk werden uitgerust met een wiermuur of -riem. Het opvallendste verschil tussen een dijk van aarde en een dijk van zee wier is het ontbreken van een glooiing bij die laatste. Wierdijken werden als een muur gebouwd, waarbij aan de zee kant een hoeveelheid samengeperst zee wier was aangebracht die ongeveer zeven meter hoog en twaalf meter breed was. De wierriem werd aan de landzijde door een aarden wal ondersteund, terwijl deze aan de zeezijde op haar plaats werd gehouden door houten palen, die in de bodem werden geslagen. Deze palen hadden een lengte van circa tien meter, waarvan circa 2,5 meter in de grond werd geheid, en aan de bovenzijde waren de palen onderling door een gording verbonden (zie afb. 3 en 4).²¹

Hoewel het zonder twijfel een verbetering was ten opzichte van de oude aarden dijken, had ook een wierdijk nadelen. Ten eerste slonk de biologische wiermassa voortdurend als gevolg van gestage inklinking en daarnaast leidde een continue veroudering van de bovenlaag er toe dat de wierlaag om de twee jaar opgehoogd moest worden.²² Maar mits goed aangelegd, ging de kern van wierdijken wel een eeuw mee. De steile vorm was wellicht nog het grootste nadeel van deze zeedijken. Ze waren bij sterke golfslag kwetsbaar voor ondermijning en bij ijsgang konden schotsen grote brokken uit de wierriem losscheuren.

Rond 1680 werd er voor het eerst schade ontdekt aan de grenen dijkpalen. Die schade wist men slechts te pareren door ze te vervangen door palen van eikenhout. In 1706 bleek echter ongeveer tachtig procent van de eiken palen ook door paalwormen vernield te zijn. Hierdoor opgeschrikt werd op het Zeeuwse eiland Walcheren de zeedijk bij Westkapelle onderzocht. Het bleek dat daar een groot aantal palen nagenoeg uitgehold was door een leger van paalwormen. 's Landsinspecteur van Zeeland schreef in zijn 'Testament' (handboek voor bouw- en waterbouwkunde) dat de paalworm al voor die tijd bekend was, maar deze zich in 1730 met een factor van een paar miljoen had vermenigvuldigd!²³ Hoewel door de beschutte ligging de dijken van het eiland Wieringen in de Zuiderzee tussen Den Helder en Medemblik lange tijd gespaard bleven, kwam men in de winter van 1730 na enkele stormen tot de ontdekking dat paalwormen kans hadden gezien om het paal-

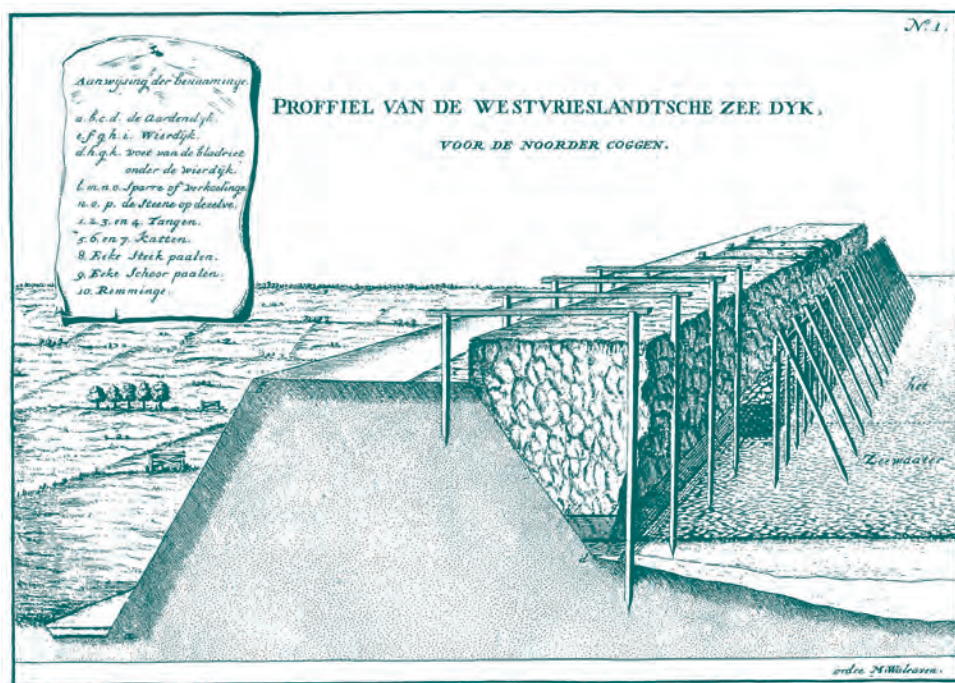
19 G.D. van der Heide, *Van landijs tot Polderland : tweeduizend eeuwen Zuiderzeegebied* (Amsterdam 1965), 275.

20 J.J. Schilstra, *In de ban van de dijk. De Westfriese Omringdijk* (Hoorn 1979), 29.

21 R. Ballot, 'Bescherming tegen het water', in: A. Haytsma (red.), *De Westfriese Omringdijk. Geschiedenis van een monument* (Abcoude 2005), 53-74, aldaar 59-61.

22 Ibidem.

23 L. Hollestelle, 'De zorg voor de zeevering van Walcheren ten tijde van de Republiek', in: P.A. Henderikx, J.A. Lantsheer en A.C. Meijer (red.) *Duizend Jaar Walcheren. Over gelanden, heren en geschot, over binnen- en buitenbeheer* (Middelburg 1996), 103-121, aldaar 120.



Afb. 3. Profiel of dwarsdoorsnede van de zeedijk van de Vier Noorder Koggen in West-Friesland. De wierriem lag op een fundering van bladriet. Om onderspoeling tegen te gaan, was voor de voet van het wierpakket een door zware stenen aangedrukte laag sparren, de zogenaamde krebbling, aangebracht. Gravure door M. Walraven, begin achttiende eeuw. Nationaal Archief, Den Haag, VTH verzameling binnenlandse kaarten Hingman, 15^e-19^e eeuw, nr. toegang 4.VTH, inv.nr. 555.

werk van de wierdijken volkomen te ruïneren. Een min of meer identieke paalworminvasie werd in 1731 in de West-Friese Omringdijk ontdekt en in de late herfst van 1732 ook in de Diemerdijk.²⁴

Tallose houten palen waren dusdanig met gaten doorzeefd dat ze als lucifers afbraken. Bij storm zou de wierriem dus gemakkelijk kunnen kantelen of losslaan. Het complete dijkstelsel was in gevaar. Tijdens controles door het dijkbestuur in West-Friesland bleek dat de staat van dijken voor het grootste deel zo slecht was – overigens niet alleen door de paalworm maar ook als gevolg van achterstallig onderhoud – dat ze vervangen moesten worden. Aangetrokken door een prijsvraag van de Staten van Holland en West-Friesland, verdiepten tal van wetenschappers zich in de paalworm. Als oplossing werden de vreemdste mengsels ter behandeling van de palen aangedragen, uiteenlopend van teer en pek, arsenicum en kopervitriool, hooi, kalk, gemalen glas, harpuijs, distels, spijkers, ja tot zelfs gemalen paalworm! Helaas niets hielp, alle palen in de proefvakken bleken na enige tijd te zijn aangetast, zelfs palen die met koper bekleed waren.²⁵

Het waren de West-Friese burgemeesters Pieter Straat en Pieter van der Deure – beide betrokken bij het West-Friese dijkbestuur – die in 1733 met de juiste oplossing op de proppen kwamen. Deze deskundigen bepleitten een andere aanpak. Hout dat eenmaal was aangetast door de paalworm moest vervangen worden door een onaantastbaar materiaal en steen lag hierbij voor de hand. Straat en Van der Deure stelden versterking van het houtwerk door een steenglooingen voor (afb. 5).²⁶

De kostbare steenstorting – er werden aanvankelijk hiervoor veelal ‘gratis’ hunebedden en zwerfkeien uit Drenthe gebruikt – bleek ten slotte de oplossing voor een adequate dijkbescherming tegen zelfs de zwaarste stormen. De kosten voor dergelijke dijkverbeteringen in Noord-Holland waren echter enorm. Zo bedroeg de schade aan de Drechtlandse dijk alleen al anderhalf miljoen gulden. Aan de zuidkant van het eiland Wieringen – de luwe kant, die bovendien door de waarden nog enigszins werd beschermd – kon volstaan worden met het inpakken van de oude wierdijk met een extra laag aarde en steen-

24 H.P. Moelker, 'De Diemerdijk. De gevolgen van paalwormvraat in de 18^e eeuw', *Tijdschrift voor waterstaatsgeschiedenis* 6 (1997), 46-52; Alfons Fransen, *Dijk onder spanning. De ecologische, politieke en financiële geschiedenis van de Diemerdijk bij Amsterdam, 1591-1864* (Hilversum 2011), 213-214; Bartels, Swart, De Weerd, *Wormspijkers*, 26-28, 35-36.

25 Nationaal archief Den Haag, tg. 3.0109, archief gedeputeerden van Haarlem ter dagvaart, inv. nr. 1238; Fransen, *Dijk onder spanning*, 214-215.

26 Cor van der Heijden, *Rampen en plagen in Nederland 1400-1940. Pestbacillen, paalwormen en plunderende Moscovieten* (Zaltbommel 2004), 66.



talud. Deze dijkversterking vergde overigens nog eens 300.000 gulden, hetgeen door de Staten van Holland aan West-Friesland toegekend werd.²⁷ In totaal vergde de vervanging van de paalwerken door steenglooiingen een investering van 6,5 miljoen gulden.²⁸

Oorzaak van de paalwormramp

Resteert nog de vraag waarom de paalwormramp pas in 1730 uitbrak. Ruim honderd jaar eerder hadden zeelieden immers al van het bestaan van deze zeedieren uitvoerig melding gemaakt. Dat paalwormen een grote bedreiging voor hout vormden, kon dus geen onbekend verschijnsel zijn. Twee ontwikkelingen kunnen naar mijn mening verantwoordelijk gehouden worden voor de verbeterde condities voor paalwormlarven in de Zuiderzee. Al vanaf de vijftiende eeuw werden tussen de Waddeneilanden de zeegaten groter en dieper, waardoor niet alleen de getijdewerking in de Zuiderzee toenam, maar ook de verzilting. Deze toenemende saliniteit werd nog versterkt door een verminderde zoetwatertoevoer vanuit de IJssel. Dit laatste was het gevolg van een gedeeltelijke verzanding van de IJsselmonding. Aan het einde van de zeventiende eeuw viel deze rivier soms bijna droog. Uit diverse peilingen bleek later dat de bedding van de IJssel eigenlijk te hoog lag voor een continue toestroming van rivierwater, zeker bij een erg lage Rijnwaterstand.²⁹ Deze gedeeltelijke opdroging van de IJssel werd nog versterkt door het ontstaan van het getijdengebied de Biesbosch na de Sint Elizabethsvloed van 1421. De monding van de Waal werd hierdoor meer stroomopwaarts verplaatst, waardoor deze rivier steeds meer Rijnwater ging afvoeren, met als gevolg dat de IJssel in de loop van de zeventiende eeuw geleidelijk minder dynamisch werd.³⁰ Tevens nam na elke strenge winter het aantal rivieroverstro-

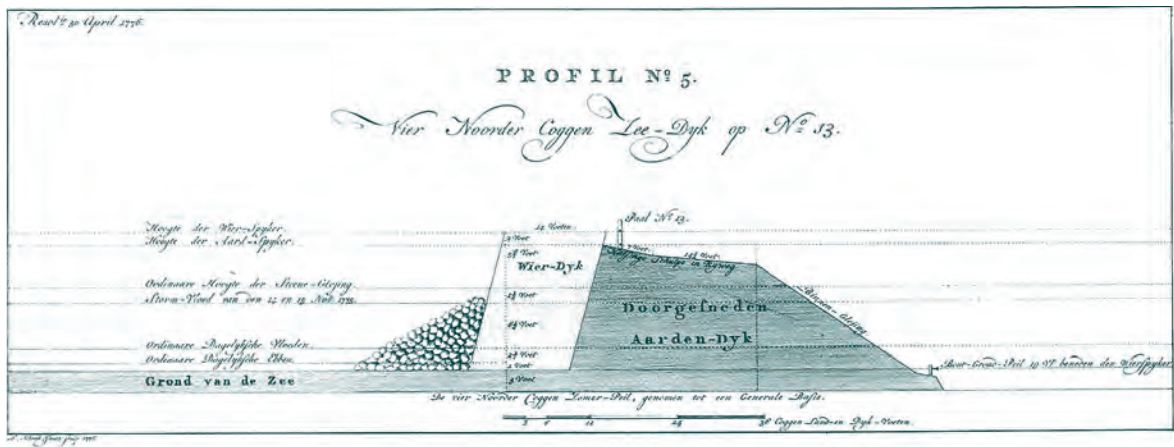
Afb. 4. De zeedijk tussen Diemen en Jaap Hannes. Ets, an., 1705. Rijksmuseum Amsterdam, objectnrs. RP-P-OB-83.212 en 83.213.

27 W. Vrolijk e.a., *Verslag over den paalworm* uitgegeven door de natuurkundige afdeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen (Amsterdam 1860), 24.

28 C. Baars, 'De Paalwormfurie van 1731/32 en de schade aan de Westfriesse Zeedijk', *Waterschapsbelangen* 73 (1988), 809-815.

29 Van der Heide, *Landijs tot polderland*, 311.

30 M.K.E. Gottschalk, *Stormvloeden en rivieroverstromingen in Nederland*, III, de periode 1600-1700 (Assen/Amsterdam 1977), 418.



Afb. 5. Profiel of doorsnede van de volgens het plan van Straat en Van der Deure gereconstrueerde zeedijk van de Vier Noorder Koggen in West-Friesland. Ets door L. Schenk Jansz., 1776. Westfries Archief, Hoorn.

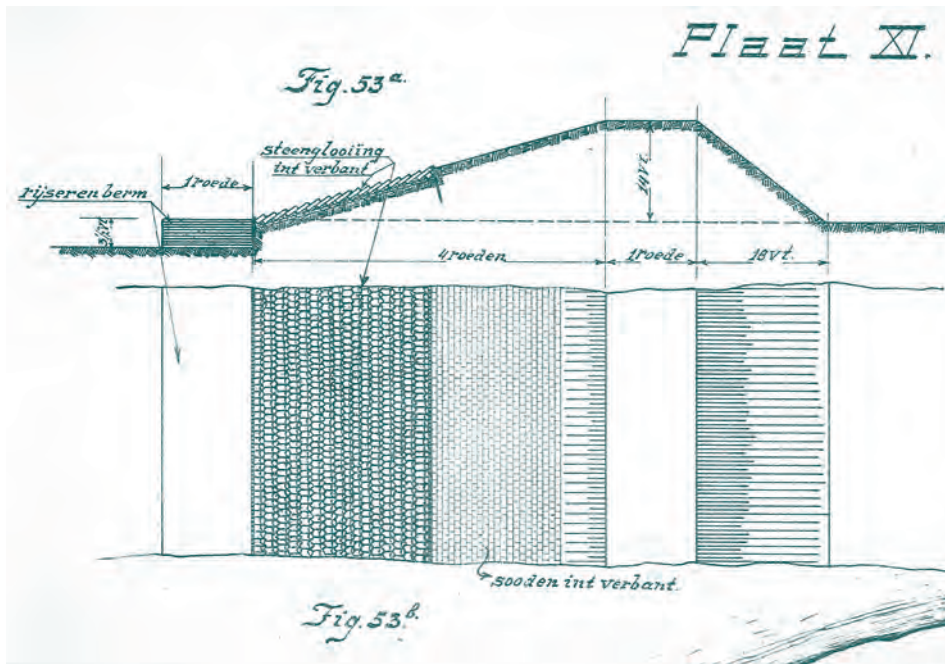
mingen in het Duitse gebied toe, met als gevolg dat de uiterwaarden er blank stonden en er uiteraard steeds minder water via de Rijn werd afgevoerd.³¹

Bovendien steeg aan het einde van de 'kleine ijstijd' – een relatieve koude periode die halverwege de vijftiende eeuw inzette en eind zeventiende eeuw begon af te zwakken – de temperatuur. Vooral de jaren 1729-1733 kenmerkten zich door droge en warme zomers. Hierdoor werd het water van de Zuiderzee niet alleen opgewarmd, maar ook minder verdund met zoet regenwater. Als gevolg van deze variabelen stegen zowel het zoutgehalte als de watertemperatuur van de Zuiderzee en ontstonden er optimale condities voor epidemische uitbraken van paalwormlarven. Toen de saliniteit van het water eenmaal voldoende hoog was geworden, nestelden die paalwormlarven zich massaal – net als in hun natuurlijke habitat bij losgewoelde mangrovebossen – in het complexe stelsel van palen waarmee de wierdijken waren opgebouwd.³² Juist de levend geboren larven van de *T. navalis* hebben een veel grotere overlevingskans dan larven van andere soorten, voornamelijk omdat ze in hun kritische ontwikkelingsfase in het ouderlijk lichaam beschermd blijven.³³ Ten slotte vindt het kuitschieten bij levend barende paalwormen pas plaats wanneer er optimale kansen op het overleven van de larven aanwezig zijn. Het paalwerk van de wierdijken bood een ideaal leefmilieu voor de paalworm. Het vigerende kustverdedigingsstelsel was door de 'houthonger' van ontelbare paalwormen onhoudbaar geworden.

Het vervangen van hout door een stenen talud lijkt een fundamentele doorbraak geweest te zijn om te komen tot veilige zeedijken in Nederland. Deze stenen dijkconstructie is nog steeds in gebruik. Halverwege de negentiende eeuw kwam het prachtig sluitend te zetten basalt in zwang, begin vorige eeuw beton en na de Tweede Wereldoorlog asfalt.³⁴ Maar hoe vernieuwend was het gebruik van steen als dijkbedekking eigenlijk? De waterbouwkundige Andries Vierlingh schreef immers al in 1570 uitvoerig over de noodzaak van een steenglooiing voor de zeedijken (afb. 6). Deze deskundige bepleitte dat die stenen dakpansgewijs plat op een talud gelegd moesten worden, teneinde de golfslagkracht op het dijklichaam te verminderen. Dit systeem werd aanvankelijk vooral met zogenaamde Vilvoordse stenen uitgevoerd. Platte stukken natuursteen die in grote hoeveelheden jaarlijks uit Mechelen, Vilvoorde en Leuven aangevoerd werden.³⁵ Het arbeidsterrein van Vierlingh – Zeeland en gedeeltelijk ook in Noord-Brabant – lag in de nabijheid van de Scheldemonding en daar vielen de kosten van Vilvoordse steen mee. Er zijn geen aanwijzingen dat het bouwen van dit type zeedijk met een stenen glooiing ooit is toegepast in West-Friesland. Mogelijk heeft dat ook te maken met het ontbreken van een centrale organisatie voor het toezicht op de waterstaat ten tijde van de Republiek. Ieder dijkbestuur stond het vrij een eigen visie te ontwikkelen op de verdediging van zijn dijken.³⁶ Vierlingh noemt het merendeel van de dijkgraven botteriken, slaven van sleur en gewoonte en gemakzuchtige ijdeltuigen die zich alleen inspannen om hun bezoldiging veilig te stellen.³⁷

Dit alles in acht nemend lijkt het vanzelfsprekend dat dijkbestuurders geneigd waren om het bouwen van zeedijken lokaal uit te besteden, het liefst met behulp van plaatselijk

31 J. Buisman, *Duizend jaarweer en wind in de lage landen*, dl. 5: 1675-1750 (Franeker 2006), 577.
 32 Baars, 'Paalwormfurië', 809-911.
 33 Turner, *Survey*, 48-50.
 34 D.L. de Jong, 'Historische Techniek', *Orgaan van den Bond voor Technische Ambtenaren* 19 (1937), 84-92, aldaar 91; T. Huijtema, *Dijken langs zee, rivieren en kanalen. Kaden om polders, droogmakerijen enz.* (Amsterdam-Antwerpen 1947), 47-52; Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 's-Gravenhage 1984).
 35 J. de Hullu, A.G. Verhoeven (eds.), *Andries Vierlingh Tractaat van de Dijkkagie* ('s-Gravenhage 1920), 338.
 36 Men was in West-Friesland wel bekend met Vilvoordse steen. Dit materiaal werd tussen 1500 en 1550 op grote schaal toegepast aan de Hondsbosche Zeewering bij Petten, zie J.J. Schilstra, *De Hondsbosche* (z.p. 1981), 46-47.
 37 De Hullu, Verhoeven, *Andries Vierlingh*, XV.



Afb. 6. Tekening van een zeedijk met steenglooiing volgens Andries Vierlingh. Overgenomen uit J. de Hullu, A.G. Verhoeven (eds.), *Andries Vierlingh Tractaet van de Dijkkagie* ('s-Gravenhage 1920).

aanwezige materialen. Vandaar de grote verschillen tussen dijkbouw in het Zeeuwse gebied met stenen op een buitendijks talud ten opzichte van die in West-Friesland met een met palen verankerde wierriem. De grote hoeveelheden zeewier waren immers tegen redelijke kosten dichtbij verkrijgbaar. Alleen de talloze houten palen zullen in die tijd veel geld gekost hebben, zowel betreffende de aankoop, als de arbeidskosten om ze in de grond te heien. Hout was weliswaar een importmateriaal, maar werd in bulk in de West-Friese havensteden en de Zaanstreek aangevoerd ten behoeve van onder andere de grote scheepsbouwindustrie. De regio ten noorden van Amsterdam had in dit opzicht een voor-sprong ten opzichte van andere streken. Met name de Zaanstreek ontwikkelde zich na 1600 tot het grote centrum van de houtzagerij in West-Europa. Hier stonden honderden houtzaagmolens. De keuze voor een wierdijk in plaats van een waterkering voorzien van een dure steenglooiing lag dus voor de hand. Voor de paalworm betekenden de palen echter een ideale leefomgeving die een sterke gelijkenis vertoonde met de mangrovebossen.

Conclusie

De paalwormramp van 1730 leert ons dat de angst voor dit beestje niet ongegrond was. Net zomin als voor Oost-Indiëvaarders, bestond er een afdoende remedie om het houtwerk van de wierdijken te vrijwaren voor een paalwormaanval. Het vervangen van de houten palen door een stenen talud kan achteraf niet als een grote dijkinnovatie worden beschouwd. Het ging eigenlijk alleen om het herstel van adequate dijkbouw, zoals door Andries Vierlingh aanbevolen.³⁸ Het lijkt er sterk op dan men in het West-Friese gebied uit kostenoverwegingen nooit heeft overwogen om te kiezen voor een stenen dijkta-lud. Toepassing van de combinatie zeewier met houten palen was goedkoop en voldeed ook. In de zeventiende eeuw begaf de West-Friese Zeedijk het slechts een keer, in 1675. Daarna is deze dijk altijd voor doorbraak gespaard gebleven. Dat de dijkbouwers geen rekening hielden met de mogelijkheid van paalwormen in het zeewater kan hen moeilijk ver-weten worden, want de boormossels waren voor 1730 nooit een groot probleem gebleken.

Tijdgenoten schilderden het ongedierte af als een straf van God voor de zondige mens.

³⁸ De Jong, 'Historische Techniek', 91.

Gewezen werd op de ‘misdaad’ van de sodomie waarover juist toen een serie grote en spraakmakende processen gaande was.³⁹ Dat is natuurlijk grote onzin. De ramp kan niet los gezien worden van deze dijkconstructie, die – net zoals in de mangrove – als kraamkamer fungeerde voor de paalwormlarven. In het pakket sparren aan de voet van de wierriem konden de larven zich goed ontwikkelen en vervolgens de eerste de beste paal als bewoning en voedselbron uitkiezen. De aanwezigheid van grote hoeveelheden constructiehout in combinatie met de voortgaande verzilting van de Zuiderzee en opwarmend zee-water door een serie droge en warme zomers, veroorzaakten dat de paalwormlarven zich konden vestigen in al dat hout. Alleen door over te stappen op een compleet andere dijkconstructie bestaande uit een glooiend talud bekleed met steen kon het probleem dat de *T. navalis* opleverde worden ondervangen.

Het is dan nog maar de vraag of de paalwormramp van 1730 louter en alleen als een natuurramp mag worden gepositioneerd, zoals Adam D. Sundberg in zijn proefschrift doet.⁴⁰ De *T. navalis* is in het Europees zeewater immers een autochtoon zeedier. Het kon onze zeedijken pas belagen toen langs de Zuiderzee de wierdijk algemeen werd toegepast. In 1730 werd voldaan aan de drie overlevingscriteria van paalwormen, namelijk voldoende hoog zoutgehalte, relatief hoge watertemperatuur en de aanwezigheid van hout in dat zeewater. Ook bij de aanleg van de van de Afsluitdijk in 1921 heeft dit fenomeen zich voorgedaan. Bij dit werk verbaasden de dijkwerkers zich over de enorme aantallen paalwormen die zich massaal hadden genesteld in de zinkstukken van tweejarige wilgentenen.⁴¹ In juni 1977 gaf het ministerie van Verkeer en Waterstaat nog een notitie uit over het onverwachte voorkomen van de paalworm in het Deltagebied, met name in het Veerse Meer.⁴² In deze notitie worden aanbevelingen gedaan inzake houtsoorten die min of meer resistent zijn tegen een aantasting door de paalworm. Ook de behandeling van meerpalen met creosootolie en/of epoxyteer levert goede resultaten op. Gezien het uitlopende en milieugevaarlijke karakter van deze middelen lijkt dit mij echter een dubieuze en inmiddels achterhaalde aanbeveling.

Recent liet het havenbedrijf Rotterdam in samenwerking met Rijkswaterstaat nog een onderzoek naar de paalworm uitvoeren door de ecooloog Peter Paalvast naar aanleiding van paalwormschade in de houten steigers in de haven van Bremen. Paalvast promoveerde in april 2014 op de resultaten van dit onderzoek. Hij concludeerde dat de kansen op een grote uitbraak van de paalworm toenemen als gevolg van de klimaatverandering en de zeespiegelstijging waardoor het zoute zeewater verder landinwaarts kan doordringen.⁴³ Er kunnen echter ook andere factoren in het spel zijn bij de gestegen kansen voor de paalworm. Als gevolg van de onstuimige groei van de raffinaderijsector in het Rijnmondgebied en het opzetten van een chemische industrie, was het Rotterdamse havenwater behoorlijk vervuild geraakt. Er werd met succes druk uitgeoefend op de petrochemische bedrijven om hier iets aan te doen. Bovendien stelde Shell na 1980 een groot deel van haar petrochemische installaties om bedrijfseconomische redenen uit bedrijf en liet ze slopen. Het personeelsbestand daalde hierdoor tussen 1980 en 2000 van 7.000 naar 2.500 werknemers.⁴⁴ Er wordt tegenwoordig op Pernis geen synthetisch rubber meer gemaakt en ook geen insecticide, geen herbicide, geen ethyleen glycol, geen ethyleen oxide, geen glycerine enzovoort. Wellicht dat de betere waterkwaliteit in de petroleumhavens, door bovengenoemde ontwikkelingen significant verbeterde, waardoor de overlevingskansen van de paalwormlarven onopgemerkt zijn toegenomen.

39 Femke Deen, ‘Paniek over de stomme zonde’, *Historisch nieuwsblad* 2014, nr. 2, 47-53, aldaar 51.

40 Sundberg, *Flood, Worms, and Cattle Plague*.

41 Martijn Lak, ‘Een glorieuze overwinning in Nederlands eeuwig tweekamp met het water’, *Historisch nieuwsblad* 16, nr. 1 (feb. 2007), 16-23.

42 D. de Jong, E.J. ten Luggenhorst, *Paalworm in het Deltagebied. Condities voor voorkomen en bestrijding*. Deltadienst, afdeling Milieu Onderzoek nota 77-4 (Middelburg 1977).

43 Peter Paalvast, *Ecological studies in a man-made estuarine environment, the port of Rotterdam* (Nijmegen 2014).

44 Albert van Brakel, *Geïrrigatie en rekrutering van nieuwe werknemers, Shell Pernis in de periode 1945-1970* (doctoraalscriptie Erasmus Universiteit 2003).