

Stormachtig weer in de Lage Landen tussen 1400 en 1625

Reconstructie van stormen langs de zuidoostelijke Noordzeekust, de wijze waarop hun invloed wordt bepaald en veranderingen in het stormpatroon

In dit artikel wordt aangetoond hoe aan de hand van stormgegevens uit de periode van voor de instrumentale waarnemingen, stormpatronen kunnen worden gereconstrueerd. Toename van stormactiviteit lijkt samen te hangen met klimaatsverandering. Dit blijkt uit de reconstructie van stormpatronen tussen 1400 en 1625, waarin zes schommelingen worden onderscheiden. Deze verhoogde stormactiviteit valt ook te relateren aan de aard van de Noord-Atlantische luchtstroming. Omdat klimaatsverandering zal leiden tot een toename van stormactiviteit en bijgevolg ook tot schade, is onderzoek naar stormactiviteit uit het verleden relevant. Tot op heden zijn onderzoeksmogelijkheden voor de Lage Landen nog te weinig voor dit doel benut.

Adriaan M.J. de Kraker

Instituut voor Geo- en Bioarcheologie, Vrije Universiteit Amsterdam

e-mail: adriaan.de.kraker@falw.vu.nl

Inleiding

In dit artikel wordt uitgelegd hoe stormen uit de tijd voorafgaand aan de systematische windobservaties worden gereconstrueerd en hoe over een langere periode veranderingen in stormpatronen kunnen worden vastgesteld.¹ Drie onderzoeksvragen staan hierbij centraal. De eerste is hoe deze kennis kan worden gebruikt om ons inzicht in de kwetsbaarheid van ons toenmalige woongebied te vergroten. Gelet op de sterke veranderingen waaraan ons klimaat nu onderhevig is, is de tweede vraag daarom: hoe kan deze kennis worden gebruikt om de huidige klimaatsverandering beter te begrijpen? Daar toename van stormactiviteit steeds meer wordt beschouwd als een kenmerk van klimaatsverandering, is de derde vraag: hoe kan de kennis van stormactiviteit uit de beginperiode van de Kleine IJstijd (1400-1625) het inzicht in het toekomstige klimaatsverloop vergroten?

Eerst zal een algemeen beeld van de klimaatsverandering worden geschetst. Daarbij wordt ook ingegaan op de bijdrage die de historische klimatologie levert om ons inzicht in het verleden te vergroten. Tevens wordt ingegaan

op de aard van de bronnen die worden gebruikt om stormactiviteit te reconstrueren. Vervolgens wordt aangegeven hoe het bronnenmateriaal wordt verwerkt, waarbij nader wordt ingegaan op de specifieke methode die is ontworpen om de invloed van stormen te kunnen meten. Daarna wordt het beeld van de stormactiviteit tussen 1400 en 1625 toegelicht en vergeleken met de stormactiviteit van de laatste anderhalve eeuw. Daarbij wordt tevens naar mogelijke oorzaken van het veranderende stormbeeld gezocht en bekeken wat de verkregen resultaten voor de toekomst betekenen. Tenslotte worden mogelijkheden voor nader onderzoek verkend en enkele conclusies getrokken.

Veranderend klimaat en de rol van de historische klimatologie

Er zijn zoveel indicaties voor een klimaatsverandering te vinden in het weer van de afgelopen decennia dat waarschijnlijk nog slechts weinigen twijfelen aan een dergelijke verandering. De gemiddelde temperatuur is wereldwijd gestegen van 13,7° C tijdens de periode 1856-1899 tot 14,6° C in 1998 met alleen al in de twintigste eeuw een stijging van 0,74° C (IPCC 2007). Voor Nederland ligt de gemiddelde stijging van de temperatuur tijdens de afgelopen eeuw zelfs op 1,2° C. Daarnaast is er een forse toename in neerslag te noteren, met uitschieters in 1998 en 2006. Zo werd in Nederland in 1998 het neerslagrecord gebroken en registreerde het KNMI 1.240 mm. In België viel in augustus 2006 alleen al 202,3 mm neerslag.² Dit leidde in Nederland en Vlaanderen geregeld tot wateroverlast. De reeks overstromingen van rivieren lijkt niet alleen schier eindeloos, maar lijkt ook alle delen van Europa te treffen. Buiten de Lage Landen (1993 en 1995) werden bijvoorbeeld Duitsland en Polen (2002), Engeland (2005), Roemenië, Zwitserland en Spanje (2007) getroffen.

De verwachting voor de eenentwintigste eeuw is dat deze tendens zich voortzet, al zijn er vele onzekerheden. Het IPCC (2007) voorziet een temperatuurstijging van 1,1° C tot 6,4° C. Behalve in de winters worden ook in andere seizoenen meer neerslagextremen verwacht. Over de vraag hoeveel meer jaarlijkse neerslag dit zal brengen, laat bijvoorbeeld het KNMI zich niet uit. Wat de effecten van al deze veranderingen zijn, is eveneens onzeker; maar vermoedelijk zullen ijskappen en gletsjers sneller smelten. Het KNMI voorziet een zeespiegelstijging van 18 tot 59 cm in deze eeuw, de Commissie-Veerman zelfs van 65 tot 130 cm. Concrete voorspellingen voor stormactiviteit zijn er niet, maar het ligt in de lijn der verwachting dat er ook meer stormdepressies zullen komen. Het valt eveneens te verwachten dat er grotere economische en maatschappelijke schade zal ontstaan. Het is om deze reden belangrijk dat er meer en betere kennis komt over deze weerspatronen.

Omdat het verleden hierbij het meest voor de hand liggende aanknopingspunt is, is inzicht in veranderingen van stormpatronen in de voorbije eeuwen van groot belang. Dit belang wordt nog groter indien we de aandacht vestigen op een periode die ook aan veranderingen onderhevig was, namelijk de Kleine IJstijd. Deze periode, die grotendeels de veertiende tot de achttiende eeuw omvat, is er een die echter weinig directe en geobserveerde gegevens over stormen oplevert, maar wel veel informatie die daar niet rechtstreeks op wijst. Het zijn dit soort gegevens of 'proxy data', waarmee een nog vrij jonge onderzoeksdiscipline werkt. Dit onderzoeksveld, dat zich op het breukvlak van geschiedenis, geografie, ecologie en klimatologie beweegt, is de historische klimatologie (De Kraker 2006a). Enerzijds werkt de historische klimatologie met geschreven bronnen en archiefmateriaal en beperkt ze zich tot de periode waarin de mens de dominante factor is geworden. Anderzijds bestudeert de historische klimatologie een deeldomein van het natuurlijk systeem en past daarbij werkwijzen toe, die dicht bij die van de aardwetenschappen staan. Verder bestudeert de historische klimatologie het bronnenmateriaal niet alleen om inzicht te krijgen in een bepaalde periode, maar vooral om de resultaten daarvan te vergelijken met wat nu gebeurt en daaruit lessen te leren voor de toekomst.

Het spreekt ten slotte voor zich dat uit de reconstructie van afzonderlijke onderdelen van het klimaat, zoals van de temperatuur, neerslag of van de stormen, automatisch alle extremen in beeld komen. Immers, extreme droogten, hevige regenval, lengte van de vorstperiode en zware stormvloeden bepalen allemaal het verloop van het neerslag-, temperatuur- en stormpatroon, maar ze kunnen ook als afzonderlijke weersextremen worden bestudeerd.

Een stap verder gaat de studie naar de impact van die extremen op de toenmalige samenleving. Aspecten als omvang en hoogte van de schade, uitgedrukt in aantallen slachtoffers, in geld of andersoortige omschrijvingen, zijn hierbij van belang. Impact studies richten zich ook op de wijze waarop de samenleving op extremen reageert, in het bijzonder op het soort maatregelen die door overheden zijn genomen in afzonderlijke gevallen en hoe het instrumentarium is aangepast om beter op toekomstige extremen te kunnen reageren.

Een laatste aspect waarmee de historische klimatologie zich bezighoudt, is de studie van de wijze waarop vroegere samenlevingen tegen bepaalde weersextremen aankeken. De perceptie van weersextremen lijkt in de loop van de tijd een zekere verandering te hebben doorgemaakt. Maar geen enkele ramp van enige belang lijkt volledig los te staan van emotie en godsdienst (Allemeyer 2006: 293-344; Rohr 2007: 50-69). Zowel de studies naar impact als naar perceptie kunnen antwoorden geven op de vraag hoe wij nu en in de toekomst met de extremen dienen om te gaan.

Lage Landen stormgevoelig

Gebieden rondom de Noordzee zijn erg gevoelig voor stormen. De overheersende windrichting is westelijk, waarvan de noordwestelijke variant het gevaarlijkst kan zijn. Vooral gebieden aan de oostzijde van de Noordzee hebben daarmee te maken. Dit zijn de kuststreken van België en Nederland, die laaggelegen zijn en op verschillende plaatsen grote inhammen hebben die in het verleden talrijker in aantal waren en dieper landinwaarts liepen. Het overgrote deel van de kustgebieden wordt met broze zeewerken tegen het zeewater beschermd. Zelfs het duin is op menige plaats onstabiel en kan zonder ingrijpen niet op dezelfde plaats worden gehouden (Beekman 2007: 98-107). Realiseren we ons tenslotte dat de eenmaal bedijkte landen door langdurige exploitatie lager zijn komen te liggen ten opzichte van het zeeniveau, dan wordt duidelijk dat opstuwung van zeewater tijdens storm grote schade kon aanrichten.

Bijzonder kwetsbaar in dit kustlandschap zijn de estuaria in het noorden van de Lage Landen en in de zuidwestelijke delta op de grens van Vlaanderen, Zeeland, Noord-Brabant en het zuidelijke deel van Holland. Niet alleen het ontstaan van inhammen aldaar, maar ook de verdere uitschuring daarvan heeft te maken met de getijdenamplitude van het Noordzeewater. Zowel in het noorden als het zuiden zijn de vloedstanden het hoogst, vooral tijdens springtij. In de zuidwestelijke delta kunnen deze springvloeden extra hoog zijn door de trechtermond van de zuidelijke Noordzee. In de estuaria van Oosten- en Westerschelde wordt het extra oplopen van het tij nog eens versterkt. Juist vanwege deze grote amplitude liggen hier de landschappen die zich het best lenen voor het onderzoek naar stormgevoeligheid. Ondanks het feit dat ook de stuwung van het zeewater in de voormalige Zuiderzee bij springtij vergelijkbaar is, is dat hier toch net wat minder sterk dan in de zuidwestelijke delta. De stormvloed van 27 februari 1990 vormt een goede illustratie van de verschillen in de waterhoogtes tijdens vloed. In Harlingen werd een hoogte bereikt van 3.66 m + NAP, in Vlissingen van 3.84 m +NAP en achter in de Westerschelde bij Bath was dit 5.04 m + NAP.³ De gemiddelde getijdenamplitudes op genoemde plaatsen zijn respectievelijk 2.50 tot 3.00 meter, 3.00 meter tot 3.50 en 3.50 tot 4.00 meter.

Naast de kwetsbaarheid van het kustlandschap speelt ook de overheersende luchtstroming een rol van betekenis. Aanvoer van maritieme lucht vanuit het westen, noord- en zuidwesten drukt zijn stempel op zacht en vaak regenachtig weer gedurende de winter en de zomer. Aanvoer van lucht uit het zuiden en oosten drukt zijn stempel op droog warm en/of koud weer gedurende de zomer en de winter. Voor ons gebied is vooral de Noord-Atlantische Luchtstroming ('North Atlantic Oscillation', NAO) van belang (Davies e.a. 1997: 26-28).

Deze bepaalt het weer in het Noord-Atlantische gebied dat balanceert tussen het subtropische hogedrukgebied en het polaire lagedrukgebied. Slaat de balans door ten gunste van de subtropische hoge druk, dan overheersen in het Noordzeegebied meer en sterkere winden tijdens het winterseizoen. Dit leidt tot overwegend zachte en natte winters. Onder deze omstandigheden is er sprake van een positieve NAO-index. Wordt de invloed van de subtropische hoge druk minder, dan waaien er in het Noordzeegebied minder stormen die ook minder krachtig zijn en is er een koudere luchtstroming. In dergelijke omstandigheden spreekt men van een negatieve NAO-index. Dit was het geval tijdens de winter 1962-1963 (Davies e.a. 1997: 27). Beide typen NOA kunnen enkele jaren lang de luchtstroming in de Noord-Atlantische Oceaan bepalen. Bij het reconstrueren van de historische stormgegevens zal deze periodiciteit goed in de gaten moeten worden houden, omdat deze zo'n grote invloed heeft op zowel de temperatuur, neerslag als op de stormen. Immers, de luchtstromingen zijn hier de dominante factor, althans in zoverre het om het winterweer gaat.

Stormen en stormvloed en die tot zware schade leiden in de vorm van overstromingen, andere materiële schade en zelfs menselijke slachtoffers kunnen veel kosten met zich meebrengen. Dit kan uiteenlopen van honderd miljoen euro bij een zware noordwesterstorm tot vele miljarden bij een grootschalige overstroming. Hoewel in beide gevallen de schade dient te worden hersteld, zal in het laatste geval de schade nog jarenlang doorwerken in lagere opbrengsten van het land en zullen voor zulke astronomische bedragen maatregelen getroffen moeten worden om een dergelijke toekomstige ramp het hoofd te kunnen bieden. De overstromingsramp van 1953, met als gevolg daarvan de realisatie van de Deltawerken, hebben decennialang invloed op de Nederlandse economie gehad. Terugkijkend hebben de gevolgen van de stormvloed in 1530 de ondergang betekend voor grote delen van Zuid-Beveland en de welvarende stad Reimerswaal (Gottschalk 1975: 446-452; Dekker 1988; De Kraker 2006b), terwijl de Kerstvloed van 1717 de Noord-Duitse economie jarenlang in een negatieve spiraal heeft gebracht (Jacubowski-Tiessen 1992: 148-201; Jacubowski-Tiessen, 2006). De stormschade in Zuidwest-Nederland van de afgelopen jaren aan huizen en boerderijen bedroeg gemiddeld zo'n 6,5% van de totale jaarlijkse schade, maar liep in 2002 op tot 11,7%, terwijl deze in 2006 ook boven het gemiddelde uitkwam.⁴ Niettemin blijft 1990 bovenaan de stormschadetop van de verzekeringen staan. Dit alles onderstreept nogmaals het economisch-maatschappelijke belang van de studie van stormen en stormvloed en.

Het bronnenmateriaal

Algemeen

Reeds vanaf het begin van de 18^{de} eeuw zijn er op vaste plaatsen dagelijkse waarnemingen verricht van bepaalde onderdelen van het weer met behulp van instrumenten. Dit soort bronnen worden instrumentele klimaatsbronnen genoemd. Omdat in die tijd het instrumentarium nog betrekkelijk eenvoudig was en veel afwijkingen vertoonde, worden de gegevens uit de achttiende eeuw tot circa 1850 vroeg-instrumentele waarnemingen ('Early Instrumental Observations') genoemd (De Kraker 2006a: 312-314).

Drie vormen van waarnemingen zijn van belang. In de eerste plaats waren er de windwaarnemingen te Bilderdam en Zwammerdam door het waterschap Rijnland. Dit had er alle belang bij inzicht in de heersende winden te krijgen en hield bovendien de bereikte waterhoogten nauwkeurig bij. Zo begon men in 1701 te Bilderdam met het dagelijks observeren van de windrichting, maar pas vanaf 1707 zijn ze bewaard gebleven (Geurts e.a. 1992: 8-12). Aanvankelijk ging het om twee waarnemingen, één per 12 uur, maar in de loop van de 18^{de} eeuw werd dit aantal per dag uitgebreid. De maandstaten van de dagelijkse windrichting zijn bewaard gebleven en geven een beeld van de veranderingen in de windrichting (zie figuur 1).

Gelijktijdig werd ook nog op een andere wijze de windrichting en zo mogelijk de windkracht geobserveerd. Dit gebeurde door molenaars. Voor het malen was kennis van de wind en weersystemen van groot belang. Bij een naderend onweersfront werd de molen onherroepelijk stilgelegd, immers de molenaar (pachter of eigenaar) was zelf verantwoordelijk voor de veiligheid van de molen. Bij niet tijdig ingrijpen, sloeg deze op hol en kon vervolgens in brand vliegen. Bij blikseminslag viel de molenaar echter niets te verwijten (De Kraker & Weemaes 1995: 44). Uit de 18^{de} eeuw dateert de windmolenschaal van Jan Noppen, waar de categorie 'slappe koelte' Beaufort 2 aangeeft en 'harde koelte' Beaufort 5, terwijl er bij 'storm' of Beaufort 8 zonder enig zeil gemalen kon worden (Van Engelen & Geurts 1985: 42; Buisman 1996: 58).

Een derde wijze waarop de wind werd geobserveerd, was op schepen. Zeilschepen werden voortgestuwd door de wind in de zeilen, daarom was kennis van de wind en windsystemen voor schippers van groot belang. Zowel kleine zeilschepen op binnenwateren als de grotere zeegaande schepen naar Oost-Indië konden gemakkelijk speelbal van de wind worden. Aan boord van – met name VOC-schepen – werd praktisch altijd een scheepsjournaal bijgehouden (De Kraker 2000a; Buisman 1996: 66-67; Woodruff e.a. 2005). Aan boord lag de nadruk op de dagelijkse registratie van de windrichting

Den 1 Januarij 1717 de wind west Zuid west
 Rijnt water 13 duynen onderpeyl dinst = 1 duynen googer als Rijnland
 Inmiddels dinst water 1 duynen lager als Rijnland
 favont west flood west get 4 water gelijk 12 duynen onderpeyl

den 2 en dito de wind Zuid Zuid west
 Rijnt water 13 duynen onderpeyl dinst = 2 duynen googer als R. t
 favont Rijnt 14 duynen onderpeyl dinst 4 duynen googer

den 3 en dito de wind west
 Rijnt water 13 duynen onderpeyl dinst 3 duynen googer als R. t
 favont dinst 4 duynen googer

den 4 en dito de wind flood west
 Rijnt water 12 duynen onderpeyl dinst = 4 duynen googer als R. t
 favont goede flood westte wind
 Rijnt 9 duynen onderpeyl dinst = 3 duynen googer als Rijnland

den 5 en dito de wind flood flood west
 Rijnt water 11 duynen onderpeyl dinst = 3 duynen googer als Rijnt
 favont flood west Rijnt 9 duynen onderpeyl dinst als 2-voorom

den 6 en dito de wind Landelikh
 Rijnt water 10 duynen onderpeyl dinst = 4 duynen googer

den 7 en dito de wind flood west
 Rijnt water 10 duynen onderpeyl dinst = 5 duynen googer als R. t

den 8 en dito westte wind
 Rijnt water 10 duynen onderpeyl dinst = 6 duynen googer

den 9 en dito de wind Landelikh
 Rijnt water 10 duynen onderpeyl dinst = 6 duynen googer

den 10 en dito de wind Zuid Zuid west
 Rijnt water 12 duynen onderpeyl dinst = 4 duynen googer
 favont Zuid west dinst = 3 duynen googer als Rijnland

den 11 en dito de wind Zuid Zuid west

Figuur 1. Observatie van de windrichting te Bilderdam en de registratie van de waterhoogten, januari 1717. (Archief van het Rijnland, OAR no. 974-975. Vergl. Geurts e.a. 1992: 8-12).

en -kracht, terwijl daarnaast ook vaak bijkomende weersomstandigheden werden vermeld. Het grote belang van scheepsjournalen voor het onderzoek van stormweer ligt verder in het feit dat schippers in de loop der eeuwen een systeem van vaktermen hebben ontwikkeld om niet alleen de aard, maar vooral ook de kracht van de wind weer te geven. Op deze wijze ontstond er een soort classificatie gebaseerd op een vaste terminologie (Geurts e.a. 1992: 21). Dit soort vaktermen was bij alle zeevarende Europese naties in het verleden in gebruik en kennelijk ook goed uitwisselbaar (Wheeler 2005).

De windobservaties in de scheepsjournalen hebben echter voor het onderzoek van stormen in vroeger eeuwen in de Lage Landen één groot nadeel: schepen bewegen en kunnen per dag een flinke afstand afleggen. De dagelijkse waarneming van het weer is dus steeds op een andere plaats. Slechts enkele voorbeelden van continue observaties tijdens het voor anker liggen zijn bekend, namelijk van enkele schepen die in 1598-1599 aan de Tweede Schipvaart naar Oost-Indië deelnamen. Wel goed bruikbaar zijn de observaties gedurende de eerste twee dagen dat schepen Nederland verlieten of juist de laatste twee dagen van hun tocht huiswaarts. Die observaties hebben immers betrekking op het weer op de Noordzee of in Het Kanaal.

Kwaliteitsbronnen stormactiviteit

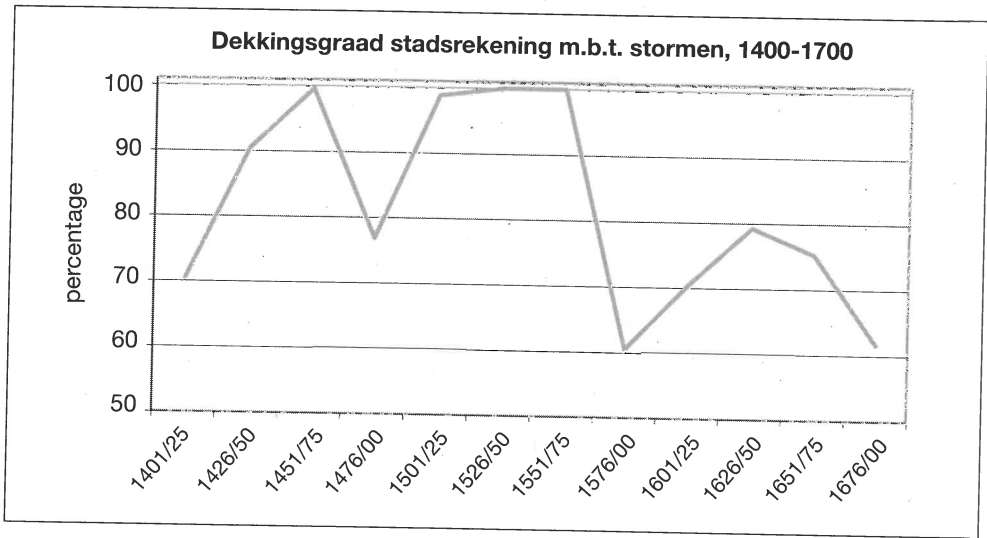
Om inzicht te krijgen in de stormen en het stormachtige weer in het Nederlandse kustgebied zijn bronnen nodig die betrekking hebben op bepaalde landschapselementen of activiteiten in het kustgebied die sterk zijn blootgesteld aan stormen en daardoor flinke economische schade kunnen oplopen. Dit zijn duinen, zeedijken en havenwerken en – waar mogelijk - ook scheepvaartactiviteiten. Het bronnenmateriaal dat daarop betrekking heeft, bestaat uit rekeningen van onderhoud aan dijken, duinen en van havenwerken. Deze laatste uitgaven vormen vaak een onderdeel van de stadsrekeningen van havensteden. Is het echter mogelijk om inzicht te krijgen in de stormactiviteit en de veranderingen in dit patroon voor de periode 1400 tot 1650? Van welke kustgebieden gaat het bronnenmateriaal zo ver terug? Indien rekening wordt gehouden met de ligging, de landschappelijke kenmerken en de tijdsfactor, dan zouden de in figuur 2 genoemde plaatsen in aanmerking kunnen komen.

Naam	Karakteristiek	Klimaatssignaal
Biervliet	Zeehaven (visserij en zout)	Stormen
Blankenberge	Dorp in het duin (visserij)	Stormen
Brugge	Internationale handelsstad	Stormen
Damme	Kleine handelsstad	Stormen
Diksmuide	Kleine stad achter de duinen	Stormen
Veurne	Kleine stad achter de duinen	Stormen
Monnikerede	Kleine stad langs het Dams kanaal	Stormen
St.-Anna-ter-Muiden	Dorp aan het Zwin	Stormen
Nieuwpoort	Zeehaven (visserij)	Stormen
Oostende	Zeehaven (visserij)	Stormen
Oudenburg	Kleine stad achter de duinen	Stormen

Figuur 2. Overzicht van de belangrijkste reeksen stadsrekening in het Vlaams-Zeeuws Kustgebied vanaf 1400.

Maar het bronnenmateriaal moet nog aan een aantal extra eisen voldoen. Zo heeft het weinig zin om met gegevens te werken van slechts enkele jaren of met gegevens uit jaren die ver uit elkaar liggen. Evenmin heeft het veel nut gegevens van stormen uit bijvoorbeeld de omgeving van Bremen in verband te brengen met die uit het kustgebied van Oostende. Ook is het minder wenselijk om gegevens te combineren afkomstig uit totaal verschillende bronnen. Daarom moeten bronnen specifieke weersgegevens verschaffen over een lange reeks van jaren, enkele decennia of meer. Bovendien moeten bronnenreeksen doorlopend zijn en geen hiaten van betekenis vertonen: voor elk jaar dient een bron informatie over stormen te verschaffen.

Een lange reeks rekeningen van dijkonderhoud voldoet aan deze eisen, omdat er jaarlijks tweemaal onderhoud aan de zeedijken plaatsvond. Hogere uitgaven in een jaarrekening konden worden veroorzaakt door ontstane schade. Om dergelijke extra uitgaven te verantwoorden, werden bewijsstukken overlegd. Veelal werden die letterlijk als uitgavenpost opgenomen in de rekening. Leverden de rekeningen gedurende een aantal jaren geen schadegegevens op, dan kan men aannemen dat er zich geen stormen hebben voorgedaan die schade van enige betekenis hebben aangericht. Ook de rekening van een havenstad voldoet aan de gewenste eisen, omdat elke stad jaarlijks een rekening moest overleggen waarin de uitgaven voor openbare werken, dus ook de havenwerken, terugkeerden. Zie voor een overzicht van stadsrekeningen betreffende stormen figuur 3.



Figuur 3. Dekkingsgraad stadsrekeningen betreffende stormen, 1400-1700.

Het tweede criterium is, dat het bronnenmateriaal homogeen moet zijn in het weergeven van een signaal. Dit wil zeggen dat het stormgegeven steeds op dezelfde plaats(en) moet zijn waargenomen en onder dezelfde omstandigheden. Zo zullen stormen achterin zeearmen meer schade aanrichten dan voorin, omdat de vloedhoogten dieper landinwaarts oplopen. Zo maakt het eveneens uit of het gaat om schade aangericht aan dijken die eerst veertien voet hoog waren en met een dubbele rijsmat werden verdedigd of om zeedijken die in de loop der jaren tot achttien voet werden opgetrokken met een bredere basis en een steenglooijing. Een pas aangelegde zeedijk (verse dijk) zal bij storm eerder schade oplopen dan een oude (groene) zeedijk.

Het derde hoofdcriterium is dat van uniformiteit. Hierbij gaat het om de wijze waarop het gegeven tot stand komt. Bij het gebruik van geschreven administratieve bronnen is het van belang dat de wijze van administreren nagenoeg ongewijzigd blijft. In veel rekeningen uit de vijftiende eeuw zijn de posten veelal identiek aan de bewijsstukken ('acquits') in die zin, dat daarin alle details staan vermeld en zo letterlijk in de rekening zijn overgebracht. Als dit verandert of wanneer de klerk bijvoorbeeld een ander woordgebruik gaat bezigen, komt die uniformiteit van het gegeven in gevaar en moet uit de verdere context worden afgeleid wat de betekenis van de nieuwe term precies is. Tenslotte is er nog een vierde criterium, namelijk de beschikbaarheid van meerdere parallelle reeksen om de gegevens te kunnen verifiëren. Op deze interne 'data control' wordt later nog nader ingegaan.

Wat de extra eisen betreft waaraan het bronnenmateriaal moet voldoen, is de werkwijze van de historische klimatologie vergelijkbaar met die van het dendroklimatologische onderzoek (Briffa e.a. 2002). Ook hier worden eisen aan de data gesteld: bomen moeten een redelijke ouderdom hebben, afkomstig

uit een en hetzelfde gebied waar ze steeds onder dezelfde omstandigheden hebben kunnen groeien. Bovendien is het zeer gewenst dat er verscheidene reeksen boomringen uit hetzelfde gebied zijn voor de nodige 'data control'.

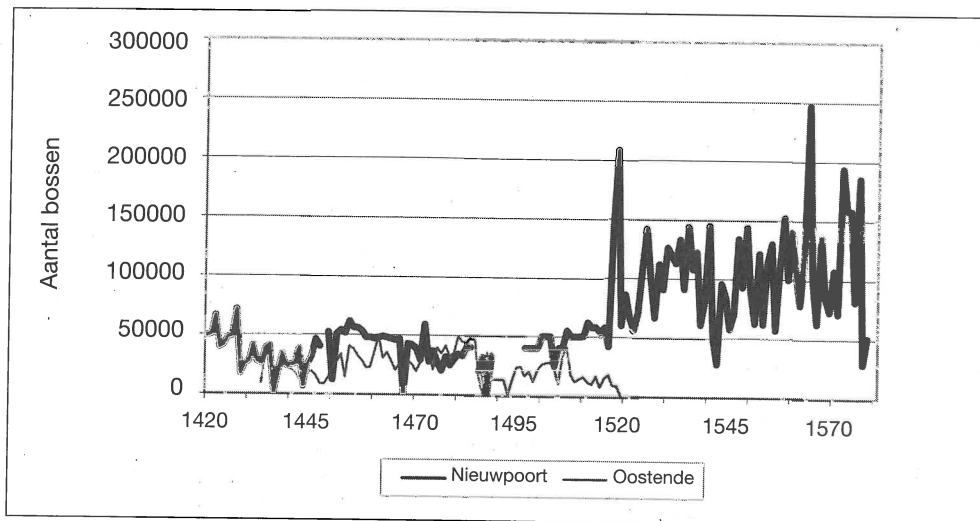
De stormgegevens

Nadat de eerder genoemde bronnen (zie figuur 2) op grond van bovenstaande criteria zijn geselecteerd, kunnen we in deze paragraaf bespreken wat voor soort informatie deze verschaffen.

De stadsrekeningen van Nieuwpoort en Oostende (zie figuur 4) lijken qua opzet en inhoud sterk op elkaar.⁶ Beide kuststeden leefden voornamelijk van de haringvisserij. De vloot haringbuizen werd in de stadshaven geaccommodeerd. Deze bestond uit een havenkom, een soort kade en havenhoofden. Daarnaast was er een vuurtoren (*vierboete*). Aan weerszijden van beide steden strekte zich het duin uit. Terwijl Oostende rond 1400 veel gelijkenis vertoonde met een dorp, was Nieuwpoort een ommuurde stad met veel torens.

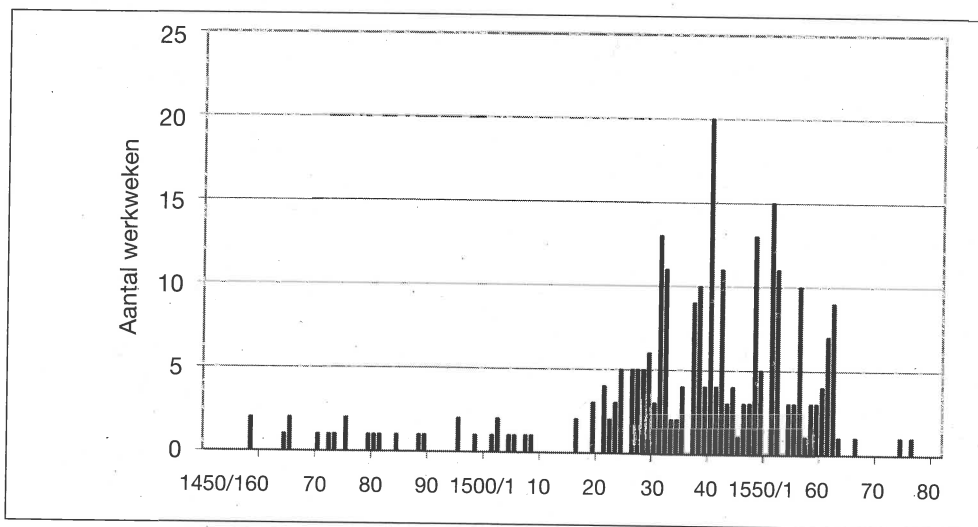
Het soort uitgaven dat we in de rekeningen van de twee steden aantreffen, heeft betrekking op het jaarlijkse onderhoud van de kunstwerken van de haven en het op zijn plaats houden van het duinzand. Voor wat de havenwerken betreft, staan er uitgaven van arbeiders in. Deze zijn per week genoteerd, veelal met de namen van de arbeiders erbij. Ook zijn de uitgaven voor materialen genoteerd, zoals rijshout ('gleuij, gaarden, zincrijse, riet', etc.). Dit soort materialen werd voornamelijk voor het onderhoud van de havenhoofden gebruikt. Voor het werk aan het duin ging het om bezodigen, het leggen van rijshouten constructies en het verspreiden van vele karren mest om het zand vast te houden of om gaten te dichten. Zo staat in de stadsrekening van Oostende uit 1430-1431 'Dit zijn costen van brome die ghepoot es opden zeedijcke tueghen de vlucht vanden zande...'⁷

Hoe groter de stormactiviteit op de kust, des te meer onderhoud nodig was en des te sterker de uitgaven voor materialen stegen. In de stadsrekeningen staan de uitgaven in geld voor desbetreffend onderhoud en voor de hoeveelheden benodigde materialen. De geldbedragen zijn niet het beste criterium om de ernst van weersextremen te meten, want in tijden van nood stijgen de prijzen voor dijkmaterialen – en soms ook lonen van arbeiders – doorgaans fors, terwijl over de lange termijn gezien geld aan inflatie onderhevig is. De verschillen in de verbruikte hoeveelheden materialen voor kustverdediging zijn des te relevanter. Zij kunnen een mogelijk globaal verloop van schade weergeven. Maar voorzichtigheid is geboden. Zolang niet is vastgesteld of het gaat om vervanging op termijn of om extra werken in verband met uitbreiding van duin of havenwerken in het bijzonder, kan het verloop van de hoeveelheden niet zonder meer aan toe- of afname van stormactiviteit worden gekoppeld.



Figuur 4. Uitgaven voor kustverdediging te Nieuwpoort en Oostende, 1420-1580.

Zo valt er voor Oostende een sterke groei waar te nemen in de uitgaven voor dijkmaterialen vanaf de jaren vijftig van de vijftiende eeuw. Die stijging hield verband met de aanleg van de haven. Naast de genoemde materialen om het duinzand vast te leggen en de dijkstukken te onderhouden, worden de volgende jaren steeds opnieuw uitgaven verantwoord voor materialen voor havenwerken. Dit betekent dat de stadsrekening van Oostende vanaf die tijd voor het stormonderzoek belangrijker is geworden, want ook die havenwerken waren erg gevoelig voor storm.



Figuur 5. Aantallen werkdagen inzake het leggen of herstellen van daken van riet en stro te Nieuwpoort, 1450 - 1580.

Voor een wat kortere periode verschaft de stadsrekening van Nieuwpoort nog gegevens over de hoeveelheden stro en riet die strodekkers verwerkten (zie figuur 5). Rietdaken zijn zeer gevoelig voor storm, daarom kunnen ook dit soort gegevens indicatief voor stormen zijn. Zo vallen de stormvloedjaren 1530, 1532 en 1553 direct op door de hoge uitgaven voor riet en stro. Maar opnieuw is voorzichtigheid geboden, want de trend laat wellicht vooral de grote bouwactiviteit te Nieuwpoort zien van de jaren 1520-1550. De stad maakte een sterke bloei door, die al midden vijftiende eeuw was ingezet (Degryse 1994: 106-109). Er zijn daarom nauwkeuriger gegevens uit de rekening nodig. Dit zijn de specifieke vermeldingen van stormen, hoge zeeën, vloed, tempeesten en alle mogelijke varianten die de tijdgenoot wist te bedenken om omstandigheden te verwoorden waaronder schade aan de kustverdedigingswerken werd aangericht. Uiteraard is er tweemaal per maand een hoge zee, namelijk springvloed, maar een hoge zee vermeld in een document, suggereert een springvloed die gepaard is gegaan met storm en daarom schade heeft aangericht. Dus ook termen die de schade omschrijven, zijn veelal voldoende aanwijzing voor stormen en hoge zeeën. Een van de meest voorkomende omschrijvingen is: 'groot gat'. Geen gat ontstaat zomaar of het moet er een zijn die het karakter van een grondval ('brexem') heeft. Omdat de stadsrekeningen de werkzaamheden per week vermelden met alle bijkomende details, kan ook het weerevenement vrij nauwkeurig worden gedateerd. Veelal wordt de dag met name genoemd. Hier hebben we de combinatie van alle benodigde gegevens, namelijk de vermelding van een storm, doorgaans ook de datum en de daaruit voortvloeiende schade.

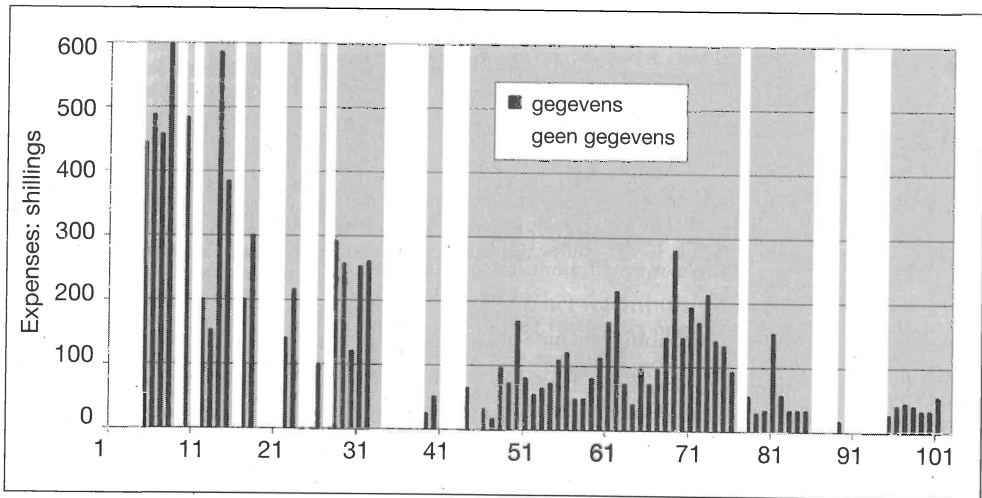
Zo wordt in de stadsrekening van Nieuwpoort over de werkzaamheden in de week van 17 november 1404 vermeld: 'Delvers an de dijc voor Gillien filius Boudins zoutkeete alz de grote vloed was...'⁸ In de rekening van 1417-1418 luidde het voor de week van 26 december 1417 '...delvers an den zeedijc ende hoge dunen omme cause van den storme die gheweist hadde...'⁹

Helaas boet de stadsrekening van Nieuwpoort aan belang in vanaf het jaar dat de posten voor de uitgaven van openbare werken niet meer per week worden geregistreerd, maar slechts met enkele samengestelde posten (vergelijk immers criterium 3, uniformiteit).¹⁰ Gelukkig wordt dit verlies aan storminformatie op andere wijze gecompenseerd, namelijk met gegevens uit andere reeksen stadsrekeningen.

De stadsrekening van Biervliet toont grote gelijkenis met die van Oostende en Nieuwpoort. Ook hier treffen we gegevens aan over dijkonderhoud en dijkherstel na storm. Maar tevens bevat de stadsrekening informatie over de zoutziederij, waarvan één aspect voor het stormonderzoek van groot belang is. Dit is het waken bij de 'vieren'. Een essentieel onderdeel van het zoutzieden was het indampen van as van verzilt veen in pannen met zeewater (De Kraker e.a. 2008). Daarvoor was vuur nodig dat onder de zoutpannen werd gestookt

die in de zoutketen stonden opgesteld. Omdat de zoutketen dicht op elkaar stonden en deels ook in de stad, was onder bepaalde weersomstandigheden grote voorzichtigheid geboden. Indien het lange tijd droog was geweest of er veel wind stond, werd er bij de vuren gewaakt, zelfs 's nachts. De magistraat zag daarop toe en in de stadsrekening werden jarenlang de dagen vermeld waarop bij de vuren werd gewaakt en door hoeveel man. Slechts twee dagen mocht er een soort vreugdevuur worden ontstoken, namelijk op Sint-Jansdag en op Sint-Pietersdag. De overige waakdagen duiden dus op droog weer, zoals op 20 december 1407 'mids de groten droeghte vande vorst'¹¹ of een combinatie van beiden zoals op 10, 11 en 2 maart 1451 'mids der groter drochte ende schaerpe winden...'¹²

Als al deze gegevens per jaar worden gekwantificeerd, krijgen we voor Biervliet het in figuur 6 geschetste beeld.



Figuur 6. Jaarlijks aantal dagen met stormachtig, warm en droog weer te Biervliet, 1400-1500.

Hoewel niet altijd duidelijk wordt of het alleen gaat om dagen van droogte of om de combinatie van droog weer met wind, is het waarschijnlijk dat dit laatste veelal het meeste gevaar zal hebben opgeleverd. Het fluctuerende beeld van de waakdagen tijdens de vijftiende eeuw te Biervliet geeft daarom een indicatie van weersomstandigheden waarin stormactiviteit een aandeel moet hebben gehad.

Tenslotte komen we bij de reeksen rekeningen van dijkherstel van de vele polders en wateringingen in het gebied van de voormalige Vier Ambachten, nu ruwweg oostelijk Zeeuws-Vlaanderen en de Vlaamse gemeenten Wachtebeke, Zélzate en Assenede omvattend. Vanwege de grote invloed van diverse grote

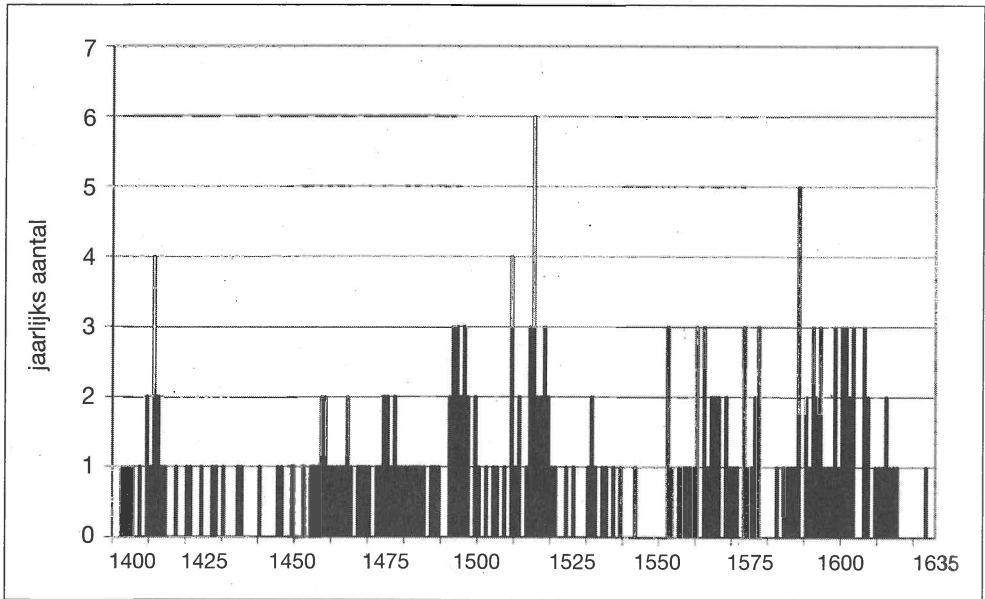
abdijen en door de toenemende invloed van de landsheer (c.q. centrale regering te Brussel) langs de Hontekust en zijn inhammen, zijn meerdere reeksen dijkrekeningen bewaard gebleven (De Kraker 1997: 261-281). Schade aan de dijken kon worden aangericht door de ondermijnende stroming van de Honte, maar ook tijdens stormweer en door ijsgang. Niet alleen grondvallen ('brexems') maar ook schade aangericht door kruierend ijs worden altijd bij name genoemd. De schade door storm veroorzaakt, wordt aangeduid met eenzelfde soort termen als hiervoor al is aangestipt. Een lange reeks dijkrekeningen heeft betrekking op het dijkonderhoud van het Land van Saeftinghe en rondom Terneuzen. Beide gebieden waren onderdeel van het vorstelijke domein 'De Polder van Namen en Triniteyt'. De reeks loopt van 1466 tot 1584, toen het Land van Saeftinghe werd geïnuundeerd om Antwerpen te behouden. In de rekening van 1467-1468 werd de 'tempeste de mer qui avait ler XXe jour d'octobre anno LVIII' vermeld, die de dijken flink had toegetakeld.¹³

Verwerking en discussie van de stormgegevens

Bij het samenstellen van haar stormvloedrepertorium paste Gottschalk (1971-1977) de nodige historische kritiek toe en slaagde er zo in onderscheid te maken tussen stormvloed en als feit of als fictie. Dit was een forse stap vooruit in het onderzoek naar stormvloed, maar omdat zij enkel kronieken raadpleegde, die bovendien een vrij groot gebied bestreken, achtte zij het onmogelijk een patroon in de stormvloed te kunnen waarnemen. Evenmin dacht ze dat het mogelijk was die op een of andere wijze te kwantificeren.¹⁴ Op grond van de informatie van historische stormen, hoge vloed en stormvloed die uit het archiefmateriaal van de besproken dijk- en stadsrekeningen komt en in acht genomen de strenge criteria waaraan dit materiaal moet voldoen, is het wel mogelijk tot een kwantificering van stormen te komen. Dit wordt hierna verder toegelicht.

De belangrijkste informatie die het archiefmateriaal oplevert, is een aanduiding die met storm in verband kan worden gebracht én de datum. Alle andere informatie in termen van schade is mede van belang om te kunnen beoordelen hoe ernstig de storm was. Daarnaast is het van belang om over meerdere, gelijktijdig lopende reeksen van bronnen te beschikken. Een stormgegeven uit één bron kan op die manier direct op zijn betrouwbaarheid worden getoetst. Bovendien kan vermelding van een gegeven in vrijwel alle bronnen erop duiden, dat we met een storm van bovenlokaal belang te maken hebben. Zo wordt in de rekening van Biervliet een kerststorm in 1417 vermeld.¹⁵ Deze wordt bevestigd in de stadsrekening van Nieuwpoort als 'den storme'. Tussen 1479 en 1480 blijkt er te Saeftinghe, in Biervliet, Nieuwpoort en in Oostende meerdere malen flinke schade aan de dijken en havenwerken te zijn aangericht. Het gaat hier dus om enkele opeenvolgende stormen.

Nadat er van een storm of van een stormgerelateerde gebeurtenis is vastgesteld dat deze daadwerkelijk heeft plaatsgevonden en waar, moet een methode worden gevonden om een beeld te krijgen van de stormactiviteit gedurende de gehele periode 1400 tot 1600. Dit kan eenvoudig door het aantal gebeurtenissen te tellen. Het resultaat van een numerieke verwerking met een elfjaarlijks gemiddelde is in figuur 7 weergegeven.



Figuur 7. Jaarlijks aantal hoge vloed, stormen en stormvloed langs de Belgische kust en in het Westerscheldegebied, 1400-1625.

Hoewel ook een zeven- of negenjaarlijks gemiddelde had kunnen worden gekozen, is hier voor een elfjaarlijks gemiddelde gekozen, dat – voor alle duidelijkheid – niets met de zonnecyclus te maken heeft. Echter, alleen tellen doet geen recht aan de intensiteit van elk van die gebeurtenissen. Niet elke storm heeft windkracht 8 of 10 en niet elke storm is van bovenlokaal belang. Daarom is het nodig criteria op te stellen die ons in staat stellen van elk fenomeen de waarde te kunnen bepalen. Deze criteria worden hieronder besproken.

Hierbij wordt er vanuit gegaan dat elke genoteerde gebeurtenis er zonder meer een was die schade heeft berokkend en daardoor ernstig was. Tegenwoordig volgt al een stormwaarschuwing als er een begin van schade optreedt. Dit is al vanaf windkracht 8 en bij toenemende wind wordt deze schade alleen maar groter. Nemen we hierbij in ogenschouw hoe windgevoelig het duinzand tijdens de vijftiende en zestiende eeuw was en de broosheid van het materiaal waarmee duin en dijken werd verdedigd, dan moet bij Beaufort 7 à 8 al flinke schade zijn opgetreden, zeker in combinatie met verhoogde golfslag. Terwijl windmolens bij

Beaufort 8 zonder zeilen maalden, moest het malen ergens tussen 8 en 10 Bft. worden gestaakt. Een eerste criterium is daarom de stormkracht die tot uiting komt in de schade die wordt aangericht (Lamb e.a. 1991: 7-8). Hoe groter de schade, hoe sterker de storm moet zijn geweest. Op dit punt is het bronnenmateriaal tamelijk uitvoerig, want schade wordt niet alleen in geld omschreven maar ook in soorten en hoeveelheden verwerkte materialen.

Een tweede criterium dat daar direct op aansluit, is de schaal waarop de storm heeft toegeslagen. Hoe groot is het gebied waarin schade is aangebracht? Ook om deze reden is het van belang gelijktijdige bronnenseries van meerdere locaties in een bepaalde regio te bestuderen. Bij vermelding op slechts één plaats van een storm of eventuele schade, gaat het om een minder belangrijke storm. Wordt deze op alle plaatsen vermeld, dan gaat het om een aanzienlijke storm, bijvoorbeeld om een stormvloed.

Verder zijn gegevens over de duur van de storm en de windrichting van belang. Een storm die langer dan twaalf uur woedt, jaagt de tweede vloed hoger op dan de eerste en richt alleen al om die reden grotere schade aan. Stormvloed die bijna drie dagen duren, richten de zwaarste schade aan (De Kraker 2006b).

Soms wordt er ook iets vermeld over voorgaande stormen en wordt door de tijdgenoot een vergelijking getrokken. Deze vergelijking gaat vaak over de bereikte hoogte van het water.

Ten slotte is de in de bronnen gebezigde terminologie relevant. Immers, indien er wordt gesproken over een hoge zee dan gaat het om een schadegeval tijdens storm, maar wordt gesproken over een tempeest, grote vloed of iets dergelijks dan is dat een veel ernstiger gebeurtenis. Zelfs administratieve bronnen, dus ook de stadsrekeningen, maken dit onderscheid.

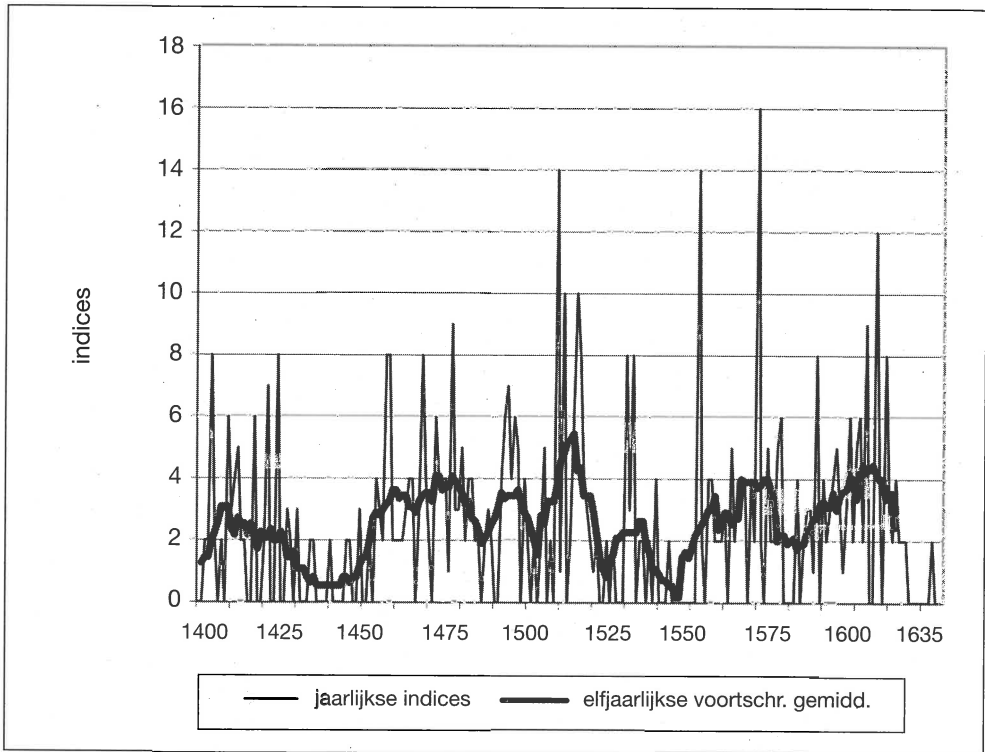
Waarde	Verschijsel	Gevolgen: schade en schaal
1	Hoge vloed	Geen noemswaardige schade, eenmalige vermelding, wellicht een stormgerelateerd verschijnsel
2	Hoge vloed	Schade aangericht tijdens hoge vloed met storm
3	Storm	Schade op verschillende plaatsen en duidelijk sprake van storm
4	Zware storm	Grotere schade op meerdere plaatsen
5	Zware storm	Zware schade met overstromingen op een of meerdere plaatsen
6	Stormvloed	Zware schade en overstromingen (samenvallend met springtij)
7	Stormvloed	Enorme verwoestingen en overstromingen in bepaalde gebieden, samenvallend met springtij
8	Stormvloed	Totale verwoesting met overstromingen op zeer grote schaal (samenvallend met springtij)

Figuur 8. Inschaling van de kracht van hoge vloed, stormen en stormvloed.

Op grond van de criteria (de gevolgen uitgedrukt in schade en de schaal) uit figuur 8 kan aan elke stormgebeurtenis een waarde worden toegekend, die uiteenloopt van 1 tot 8. Eén punt wordt toegekend als het fenomeen slechts een enkele vermelding op een plaats heeft gekregen, waarbij eventuele schade niet duidelijk wordt. Omdat tijdgenoten van de weersgebeurtenissen doorgaans niet in het gemiddelde weer zijn geïnteresseerd, is louter een expliciete vermelding al een indicatie dat er een storm moet hebben gewoed. Zodra zo'n 'event' wel schade aanrichtte, krijgt het twee punten en zit dan al tegen Beaufort 8. Naarmate de schade groter wordt en ook op meerdere plaatsen wordt aangericht, krijgt een 'storm-event' een hogere waarde toegekend. Bij 8 punten gaat het om een algemene stormvloed die in het hele gebied grote overstromingen heeft veroorzaakt. De kracht van dit soort stormen is orkaankracht, oplopend tot soms boven Beaufort 11.

Het mag duidelijk zijn dat het gebruik van meerdere bronnenreeksen die parallel in de tijd lopen van groot belang zijn om een stormgebeurtenis in te schalen. Een hoge vloed bij Nieuwpoort kan namelijk tot grote schade leiden achter in het estuarium van de Westerschelde bij Saeftinghe. In dit geval is het een storm van enige importantie die 3 of 4 wordt ingeschaald. Een 'tempeest' die in vrijwel alle bronnen vermeld wordt, is er zeker een die schade heeft toegebracht op alle plaatsen en die wellicht tot inundatie heeft geleid, en moet tussen 6 en 7 worden ingeschaald. Een zware stormvloed met grootschalige schade en inundaties moet op 8 worden ingeschaald. Het gebruik van parallelle reeksen leidt dus niet alleen tot de nodige interne 'data control', maar ook tot het beter inschalen van de stormgebeurtenissen.

Door op deze wijze de stormgebeurtenissen in te schalen, ontstaat een beeld van de stormactiviteit over de jaren 1400 tot 1625. Om in dit tijdvak nog kortere perioden van verhevigde of verminderde stormactiviteit te kunnen onderscheiden, is als een soort extra filter steeds een elfjaarlijks gemiddelde berekend. In figuur 9 is de stormfrequentie weergegeven met een elfjaarlijks voortschrijdend gemiddelde.



Figuur 9. Stormfrequentie langs de Belgische kust en in het Westerscheldegebied, 1400-1625.

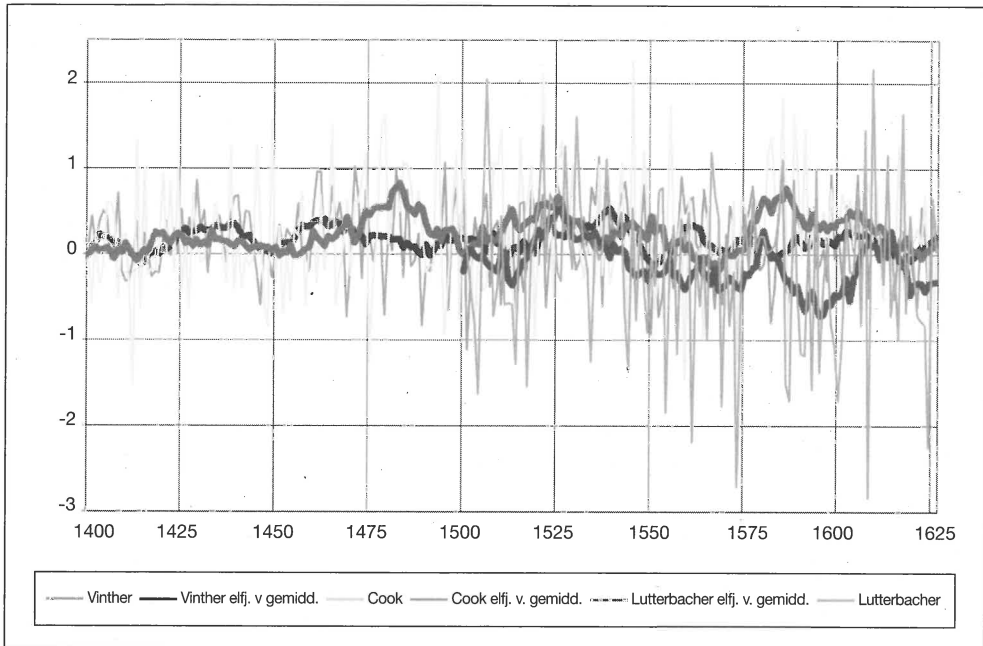
Naarmate er meer stormen in een jaar voorkomen, kan de jaarwaarde oplopen tot boven 8. Dit is het geval in 1509, 1515-1516, 1530, 1552 en 1570. Het zijn in die jaren niet alleen de bekende stormvloedden die tot een hoge score leiden, maar daarvoor zijn ook in hoge mate de bijkomende stormen verantwoordelijk. In 1570 waren er stormen op 10 en 11 maart, een stormvloed op 2 november en nog een storm eind november, toen een deel van de herstelwerken aan dijken te Saeftinghe alsnog verloren ging.

Uiteraard zou men kunnen tegenwerpen of er wel acht categorieën nodig zijn om de stormfenomenen te meten. Naarmate het aantal stormgegevens toeneemt, is een dergelijke verfijning noodzakelijk. Maar ook al zouden er vier categorieën worden gebruikt, dan nog krijgen we hetzelfde beeld.

Bespreking van de stormgegevens

Wanneer de hierboven gepresenteerde gegevens worden samengenomen, komt naar voren dat er zes perioden van verhoogde stormactiviteit zijn geweest. De eerste periode van verhoogde stormactiviteit tekent zich af tijdens de eerste twee decennia van de vijftiende eeuw. De verhoogde stormactiviteit valt grotendeels samen met de vele dagen dat er in Biervliet bij de vuren gewaakt moest worden. Een tweede periode van forse toename van stormactiviteit tekent zich in de jaren 1450 tot 1480 af. Deze toename kan niet uitsluitend worden toegeschreven aan het bronnenmateriaal, maar ook aan het feit dat het onderhoud van de Oostendse havenwerken er toen als stormbron bijkwam, waardoor er meer informatie in de bron te vinden is. In alle geraadpleegde reeksen is een toename van stormen te bespeuren. Een derde korte periode van toegenomen stormactiviteit is het laatste decennium van de vijftiende eeuw. Ook tussen 1506 en 1516 is er opnieuw een versterkte stormactiviteit. Deze is toe te schrijven aan enkele stormvloedden uit 1509, 1511 en zware stormen in 1515-1516. Een vijfde opmerkelijke toename van stormactiviteit vindt plaats vanaf het midden van de zestiende eeuw en duurt tot circa 1575. De zesde en laatste periode van toegenomen stormactiviteit valt tijdens het eerste decennium van de zeventiende eeuw en wordt eigenlijk volledig bepaald door de stormvloed op Tweede Paasdag 1606 en nog een tweede in 1609. Ondanks het beschikbaar komen van steeds meer bronnenmateriaal voor het eerste kwart van de zeventiende eeuw, is er toch geen toename van stormactiviteit waar te nemen.

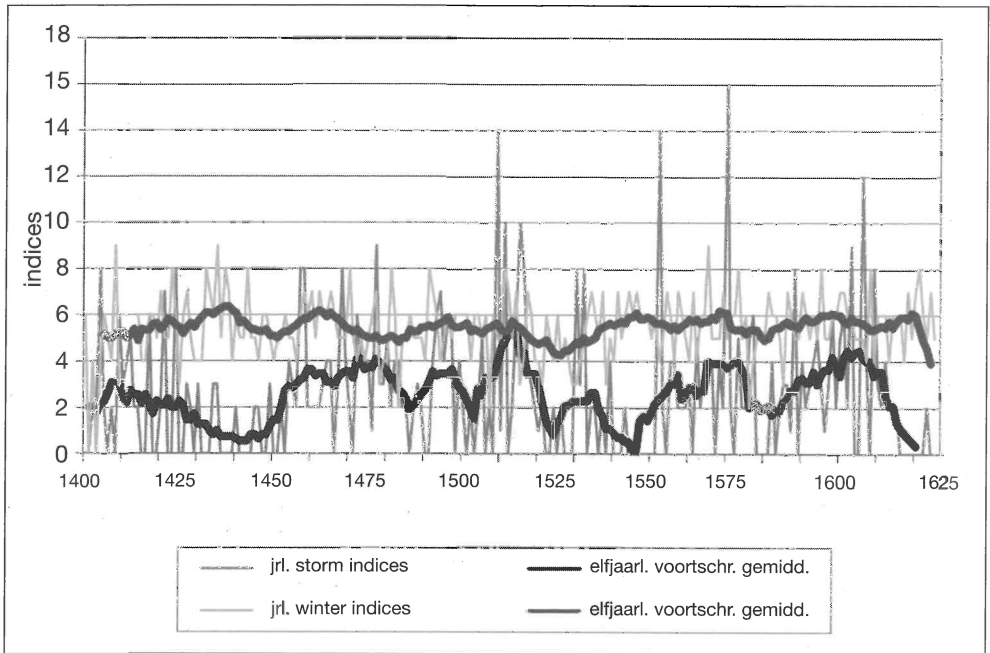
Het beeld van de veranderingen in de stormfrequentie is er een van golfbewegingen. Hierbij springen het derde kwart van de vijftiende eeuw en dat van de zestiende eeuw het meest in het oog. Waar worden deze fluctuaties nu door bepaald of waarmee hangen deze samen? Om op die vragen een antwoord te krijgen, is het nodig erop te wijzen dat naar oorzakelijke verbanden kan worden gezocht, maar ook naar verschijnselen die daar om niet duidelijk verklaarbare redenen mee samenhangen. Stormactiviteit speelt vooral een rol vanaf eind september tot begin april, dus gedurende het lange winterseizoen. In dit verband is het van belang naar de NAO-index te kijken, met name naar het sterke signaal afgegeven tijdens winters met zwaardere stormen, die overwegend ook zacht en nat zijn. Nu bestaan er ten aanzien van de NAO-index enkele reconstructies die teruggaan tot de periode van de stormen die in dit artikel worden behandeld (zie figuur 10). Die van Vinther en Cook (2002) bestrijken de volledige periode, die van Luterbacher e.a. (2002) alleen vanaf 1500. Nadere analyse van de periode 1400-1625 wijst uit dat de reconstructies van Vinther en Cook, herleid tot een dertigjaarlijks voortschrijdend gemiddelde, niet alleen onvolledig, maar ook met elkaar in strijd zijn. De reconstructie van Luterbacher van de NAO-index komt wat dichter bij die van Cook.



Figuur 10. Noord-Atlantische Luchtstroming, 1400-1625.

Rekenen we de gereconstrueerde stormfrequentie langs de Vlaams-Nederlandse zuidkust ook om naar een dertigjarig voortschrijdend gemiddelde, dan is er een grote mate van overeenkomst met de bevindingen van Cook (2002). Bij een elfjaarlijks voortschrijdend gemiddelde is die overeenkomst met laatstgenoemde nog treffender, al lijkt het erop dat de pieken in de stormfrequentie in ons studiegebied steeds enkele jaren eerder vallen. Gelet op het feit dat onze reconstructie niet dezelfde kan zijn voor bijvoorbeeld het Waddengebied, en de gereconstrueerde NAO-index van Cook (2002) meer betrekking heeft op het gebied rondom Schotland, is deze afwijking wellicht verklaarbaar.

Ander vergelijkingsmateriaal dat teruggaat tot 1400 bestaat uit temperatuurreconstructies. Indien we dan de gemiddelde temperatuur nemen van de maanden oktober tot en met maart (ONDJFM) dan zou er een verband zichtbaar moeten worden. De enige temperatuurreeks voor de wintermaanden van de Lage Landen waarover we beschikken, is die gereconstrueerd door Van Engelen e.a. (2002) en door Shabalova e.a. (2002). Het verband tussen de stormactiviteit en deze temperatuurreconstructie is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11. Stormfrequentie gekoppeld aan de indices van wintertemperatuur, 1400-1625.

De bovenste dunne lijn geeft de jaarlijkse winterindices weer met het elfjaarlijks voortschrijdend gemiddelde. De onderste dunne lijn geeft de jaarlijkse stormindices weer met daarin als dikke lijn het elfjaarlijks voortschrijdend gemiddelde.

Een duidelijk verband is niet te bespeuren.

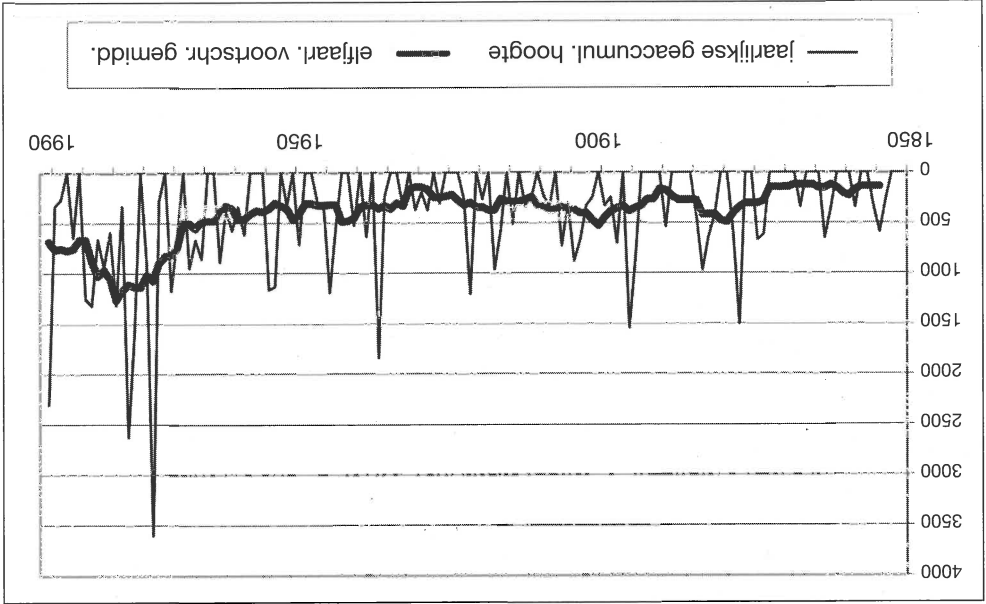
Stormperiode 1400-1420 <> lagere wintertemperatuur:	geen verband
Stormperiode 1455-1480 <> gedeeltelijke verhoging wintertemperatuur:	slecht verband
Stormperiode 1490-1495 <> lichte verhoging wintertemperatuur:	goed verband
Stormperiode 1505-1516 <> lichte verhoging wintertemperatuur:	verband
Stormperiode circa 1525 <> lichte stijging wintertemperatuur:	slecht verband
Stormperiode 1550-1575 <> hogere temperatuur winter:	verband
Stormperiode 1600-1610 <> lichte verhoging wintertemperatuur:	verband

Uit bovenstaande kunnen enkele conclusies worden getrokken. De eerste is dat het verband tussen de verhoogde stormactiviteit en de zachte wintertemperatuur lastig aantoonbaar is. Het lijkt erop dat de stormvariabiliteit veel groter is dan de schommelingen in de wintertemperatuur. De tweede conclusie is dat de temperatuurreconstructie, zoals deze is gebruikt, uitgaat van de gegevens van het bevroren van Hollandse kanalen vanaf 1634 en op grond van die

gegevens geëxtrapoleerd is aan de hand van een scala van uiteenlopende wintergegevens. Ondanks het feit dat er op goede gronden schattingen van het winterweer zijn gemaakt voor de periode 1400 tot 1625, kunnen deze voor verbetering vatbaar zijn. Ook andere temperatuurreconstructies haarten een steeds grotere foutenmarge naarmate het verder teruggaat in de tijd (Von Storch e.a. 2004). Goed beschouwd is dat het koppelen van stormgegevens van Zuidwest-Nederland en Vlaanderen aan temperatuurreconstructies voor het gebied Amsterdam. Op basis van de gegevens van het bevrozen van de kanalen in het gebied Amsterdam-Haarlem-Leiden beschikken we over een tijdreeks gereconstrueerde temperatuur, terwijl de waarden worden gebruikt voor het gebied van de zuidwestelijke delta en Vlaanderen, waar de temperaturen in de winter gemiddeld hoger liggen.

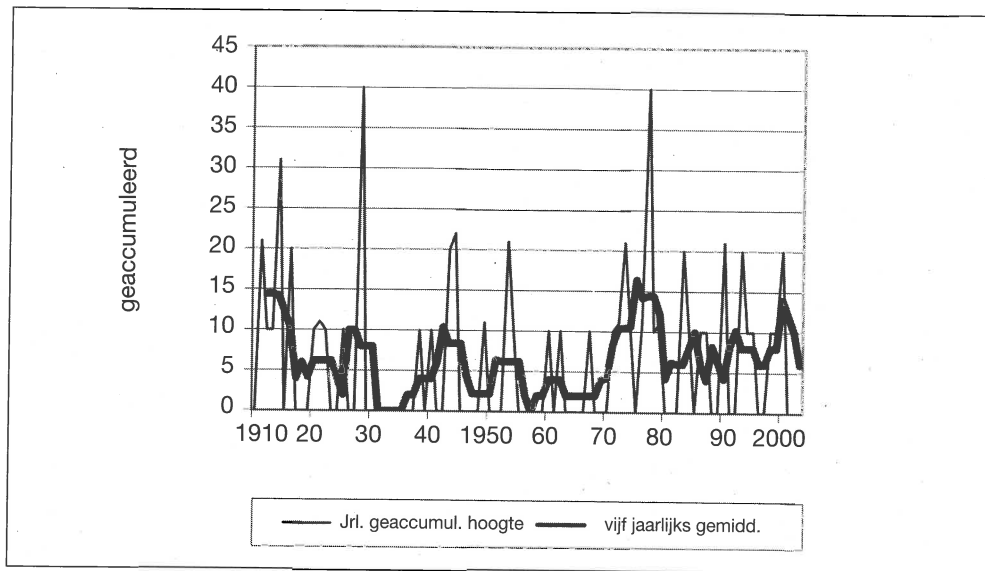
Een ander aspect is de neerslag. Als een verhoogde stormfrequentie samenhangt met zachte winters is er namelijk ook sprake van meer neerslag. Voor de Lage Landen bestaat vooralsnog geen reconstructie van de neerslag voor de genoemde periode. Wel is de neerslag voor Engeland gereconstrueerd, maar deze reeks gaat slechts terug tot het midden van de zeventiende eeuw (Craddock 1976).

Ten slotte kunnen de stormresultaten uit de periode 1400 tot 1625 worden gekalibreerd. Daarvoor gebruiken we de stormgegevens uit het zuidwestelijke kustgebied van de periode 1850 tot 2000 (zie figuur 12).



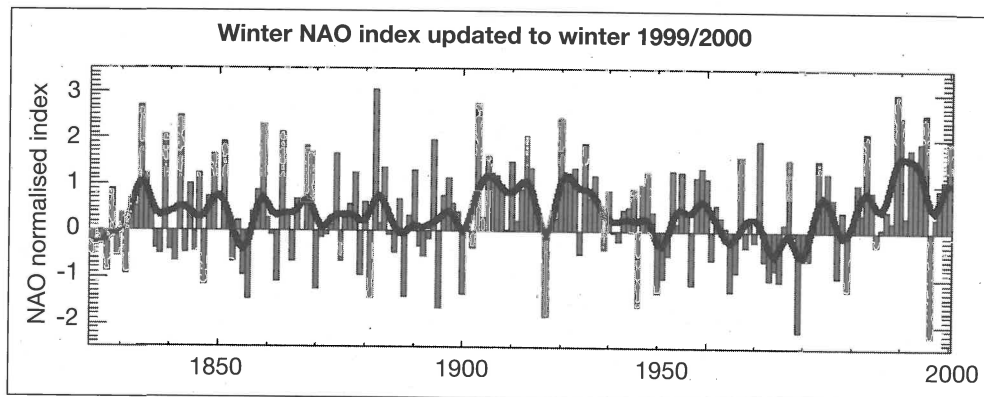
Figuur 12. Jaarlijks geaccumuleerde hoogte van de vloed in cm (meetstation Vlissingen, jaarrapporten Rijkswaterstaat).

In figuur 12 zijn per jaar de geaccumuleerde (storm)vloedhoogten in cm boven normaal aangegeven met daarin een elfjaarlijks gemiddelde. Het gaat hier om de vloedgegevens zoals die te Vlissingen zijn waargenomen. Uit deze reconstructie komt erg sterk een periodiceit naar voren met een toename van hoge vloed en stormen in de jaren tachtig van de 19^{de} eeuw, één kort na 1900, en een sterke toename in de jaren zeventig van de 20^{ste} eeuw.



Figuur 13. Stormen van 10 tot 12 Beaufort in Nederland, 1910-2000 (KNMI).

Indien daaruit alleen de zware stormen worden gefilterd dan blijken vooral genoemde jaren zeventig opvallend stormachtig te zijn geweest en toont ook de periode tussen 1995 en 2000 een toename aan stormactiviteit (figuur 13).



Figuur 14. De Noord-Atlantische Luchtstroming, 1850-2000 (naar Osborne 2004; 2006; ook http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm).

Een vergelijking met de NAO-index wijst uit dat de stormperiodes grotendeels samenvallen met een sterke NAO invloed (zie figuur 14).

Een vergelijking tussen de stormactiviteit uit de periode 1400 tot 1625 en die van de laatste 150 jaar wijst uit dat er in beide perioden sprake is geweest van toegenomen en afgenomen stormactiviteit. Er is op dit punt dus weinig verschil tussen heden en verleden.

Toekomstig onderzoek

Hoe moet het nu verder met het onderzoek naar stormen uit het verleden? Tussen 1625 en het begin van de instrumentele waarnemingen van windrichtingen en stormen (1701) zit een hiaat. Dit hiaat kan worden overbrugd door de stormen uit die periode te bestuderen aan de hand van het soort bronnen waaraan in dit artikel een hoge waarde is toegekend. Daarbij ligt vooral de nadruk op dijkrekeningen. Voor de periode 1600 tot circa 1850 is dit bronnenmateriaal op grote schaal beschikbaar. Bovendien vinden er in de Zeeuwse delta en het noordwestelijke deel van Noord-Brabant op grote schaal herbedijkingen plaats (Van Cruyningen 2006; De Kraker 2007), zodat het aantal reeksen ook flink toeneemt. Dit heeft als belangrijk pluspunt dat stormen uit alle windrichtingen kunnen worden bestudeerd. Immers, polders op de oostzijde van eilanden zullen overwegend last ondervinden van oostenwinden. Deze windrichting is in het huidige onderzoek nog maar weinig gesignaleerd. Anderzijds leiden oostenwinden juist niet tot opstuwing van zeewater in de zeegaten, maar juist tot het omgekeerde. Daarnaast worden stadsrekeningen wat minder belangrijk. Dit ligt vooral aan de verandering in de wijze van administreren. In plaats van het noteren van alle details (vijftiende en zestiende eeuw) als een hele reeks uitgavenposten, volstaat men in de loop van de zestiende eeuw en later steeds meer met verzamelposten die verwijzen naar bewijsstukken. De bewijsstukken worden los naast de rekening bewaard en overlegd bij de jaarlijkse controle. Veel van deze bewijsstukken zijn daarna verloren gegaan. Sommige steden, zoals Amsterdam en Zierikzee hebben het zelfs zo bont gemaakt om hele reeksen rekeningen als oud papier te verkopen of te verbranden.

Een tweede grote kans die zich goed laat benutten, is het uitbreiden van het onderzoeksgebied naar het Zuiderzeegebied. Hier bevatten de rekeningen (en bijlagen) van de voormalige Zuiderzeesteden veel gegevens over stormen. Daar de steden aan de oostzijde, zuidzijde en westzijde met stormen en hoge zeeën werden geconfronteerd, kunnen uit deze bronnen vrijwel alle 'windrichtingen' worden gehaald. Bovendien stelt een overzicht van stormen uit dit gebied ons in staat deze met die van de Vlaamse kust en de Zeeuwse delta te vergelijken

en op die manier een beter ruimtelijk beeld van stormen te krijgen. Het kan ons zelfs in staat stellen stormtrajecten te reconstrueren.

Een derde grote kans voor het toekomstige onderzoek zit in het toepassen van de in dit artikel besproken methode op het recente materiaal om de bruikbaarheid daarvan te vergroten. Op die wijze kan ook het beeld van de periode 1400 tot 1625 verder worden bijgesteld.

In de vierde plaats is er een rol weggelegd voor de vele leden van het grote aantal heem- en oudheidkundige verenigingen, die zich vooral richten op de studie van het eigen heem. Uit het bronnenmateriaal kunnen veel historische stormen worden gehaald. Ook hier gaat het om bronnenmateriaal uit kuststreken. Indien dit wordt verzameld in een grote databank met daarbij per stormgegeven enkele kerngegevens, dan kan ook dit het stormonderzoek in de toekomst tot flinke steun zijn. Ook bijkomende vragen als hoe de toenmalige samenleving tegen dergelijke stormfenomenen aankeek, welke maatregelen werden getroffen en hoe doeltreffend die bleken te zijn, kunnen grotendeels aan de hand van een studie van dit bronnenmateriaal worden beantwoord.

Ten slotte kunnen de resultaten van het stormonderzoek in de Lage Landen een belangrijke bijdrage leveren om in Europees kader de NAO-index verder terug in de tijd te reconstrueren. Aan de hand van de reconstructie van stormtrajecten kan tevens een beter beeld worden verkregen van het te verwachten weerbeeld in de toekomst, waarbij extreme regenval en stormactiviteit niet zelden hand in hand gaan. Wat dit laatste betreft, draagt de winter 2007-2008 weer belangrijke bouwstenen aan voor een positieve NAO-index.

Afsluitende opmerkingen en conclusies

Welke conclusies kunnen nu worden getrokken uit de hier gepresenteerde reconstructie van de stormen uit de begintijd van de Kleine IJstijd? Om te beginnen eerst enkele samenvattende opmerkingen. In dit artikel is ingegaan op het specifieke soort archivalia dat zich leent voor het reconstrueren van historische stormen uit een periode dat er nog geen instrumentele waarnemingen werden verricht. Dit zijn bronnen die betrekking hebben op gebieden en/of objecten die erg gevoelig voor storm waren, zoals dijken, havenwerken en duinen en daardoor economische schade opliepen. Aan dit soort bronnen moeten hoge eisen worden gesteld: ze moeten een lange periode bestrijken, homogeen en uniform van karakter zijn en geen noemenswaardige hiaten vertonen. Het bronnenmateriaal levert informatie op die uiteenloopt van melding van bepaalde stormen, hoge zeeën en stormvloed met de datum waarop ze plaatsvonden, tot allerlei vormen van schade en omstandigheden waaronder ze plaatsvonden. Omdat steeds dezelfde soort informatie

terugkomt, kunnen op grond daarvan criteria worden geformuleerd. Aan de hand van deze criteria kan een stormgebeurtenis worden ingeschaald. Daarbij is uitgegaan van acht categorieën, zodat er een schaal van 1 tot 8 punten ontstaat. Zodra stormen zijn ingeschaald, ontstaat een beeld van de stormactiviteit tijdens de periode 1400 tot 1625.

Geconcludeerd kan worden dat er zes perioden van ongelijke duur zijn te onderscheiden waarin sprake was van een verhoogde stormfrequentie. Dit betekent dat het kustgebied van de Lage Landen en andere vlakke delen met grote regelmaat in het verleden en soms voor langere tijd in sterkere mate kwetsbaar waren. Zonder extra financieel-economische inspanning heeft de toenmalige samenleving die verhoogde druk moeilijk kunnen opvangen, terwijl dit in oorlogstijd vrijwel onmogelijk moet zijn geweest. Er waren grootschalige overstromingen, met veel materiële schade en veel menselijk leed. De eerste vraag hoe kennis van historische stormen ons inzicht in de kwetsbaarheid van ons vroeger woongebied vergroot, kan dus positief worden beantwoord.

Hoewel het nog niet geheel duidelijk is waarmee deze verhoogde stormfrequentie precies samenhangt, vertoont zij wel parallellen met de gelijksoortige periodiciteit die te bespeuren is in de NAO-index. Immers, verhoogde stormactiviteit hangt samen met een versterkte Noord-Atlantische Luchtstroming, met zachte en natte winters. Indirect is er een verband tussen verhoogde stormactiviteit en hogere winterse temperaturen. Zolang er geen methode wordt gevonden om de NAO-index verder terug te reconstrueren dan het midden van de negentiende eeuw, blijft het bewerken van hoogwaardige archivalische bronnen echter de enige manier om middels de inschaling in acht categorieën te komen tot de reconstructie van historische stormen en het onderscheiden van stormpatronen daarin. De tweede vraag of veranderingen in stormactiviteit een teken van klimaatsverandering in vroeger tijden waren, kan ondanks het feit dat er nog veel onderzoek moet worden verricht, als voorzichtig positief worden beantwoord.

De derde vraag was wat kennis van verhoogde stormactiviteit uit het verleden bijdraagt tot het inzicht in het toekomstig klimaatsverloop. Dat dergelijke kennis relevant is voor het heden, wordt door de hier gepresenteerde gegevens bevestigd. Gezien het nog prille inzicht in de oorzakelijke verbanden, moeten we vooralsnog voorzichtig zijn met het aan het elkaar relateren van de recente klimatologische gebeurtenissen. Wel is het op zijn minst opvallend dat we verhoogde stormactiviteit zien in samenhang met meer en onregelmatiger neerslag en met een sterke temperatuursstijging. Verder historisch-klimatologisch onderzoek zou meer licht kunnen werpen op de precieze causale samenhang.

Tenslotte, om meer inzicht in stormtrajecten te krijgen tijdens de volledige periode 1400 tot heden, is nader onderzoek van stormen in twee kerngebieden van belang. Dit zijn de Zeeuwse Delta en de polders, dijken en havens

rondom de vroegere Zuiderzee. Met deze informatie kan niet alleen het gat vanaf 1625 tot de negentiende eeuw worden opgevuld, maar zo kan ook een nadere ruimtelijke spreiding van de invloed van stormen in Noordwest-Europa worden verkregen. Dat het bronnenmateriaal ook nog eens veel gegevens oplevert omtrent perceptie van stormen en het soort maatregelen waarop de toenmalige samenleving op dergelijke weersextremen heeft gereageerd, is een aardig maar steeds actueler wordend onderzoeksterrein van de historische klimatologie.

Noten

- 1 Dit artikel is deels een bewerking en deels een aanvulling van eerdere publikaties over historische stormen (De Kraker 1999, 2000, 2002 en 2005). Gebruikte afkortingen in dit artikel zijn:
KNMI Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
NAO North Atlantic Oscillation
NAP Nieuw Amsterdams Peil
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
DJFM December-januari-februari-maart temperatuur
- 2 KMI-website (Brussel) <http://www.meteo.be/meteo/view/nl/251868-Augustus+2006.html>
- 3 Gegevens Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag. Jaarstaten per meetstation, hier Vlissingen.
- 4 Mededelingen van 11 maart 2009 door ZLM-verzekeringen (Edwin Goetheer, Goes).
- 5 NA VOC, no. 60 Scheepsjournaal van de 'Amsterdam'. Het schip lag voor anker in de haven van Ternate van 17 mei 1599 tot midden augustus 1599, maar elke dag werd het weer genoteerd. Dit geldt ook voor het schip de 'Zeeland' dat in 1598 en 1599 vaak voor anker lag in een Javaanse havens, terwijl toch elke dag het weer werd genoteerd (NA VOC. no. 54) (Vergelijk De Kraker 2000a).
- 6 Algemeen Rijksarchief Brussel (ARAB), Rekenkamer van Vlaanderen (RK), nrs. 36706 t/m 36904 (Nieuwpoort 1401 t/m 1610) en nrs. 37239 t/m 37360 (Oostende 1403 t/m 1538).
- 7 ARAB RK, nr. 32258 (stadsrekening Oostende 1430/31).
- 8 ARAB RK, nr. 36709 (stadsrekening Nieuwpoort 1404/1405).
- 9 ARAB RK, nr. 36720 (stadsrekening Nieuwpoort, 1417/18).
- 10 ARAB RK, nr. 36879 (stadsrekening Nieuwpoort, 1584/85)
- 11 ARAB RK, nr. 32064 (stadsrekening Biervliet, 1407/08).
- 12 ARAB RK, nr. 32090 (stadsrekening Biervliet, 1450/51).
- 13 ARAB RK, nr. 27915 (dijkrekening Polder van Namen en Triniteyt, 1467/68).
- 14 Zij hier zijdelings opgemerkt dat de studie van Pierre Alexandre (1987: 336-581) weinig aan het stormonderzoek heeft toegevoegd, daar hij zich vooral gericht heeft op bronnen van meer inlands gelegen plaatsen van Noord-Frankrijk en nauwelijks melding maakt van stormen in kustgebieden, zoals bijvoorbeeld Calais en Duinkerke.
- 15 ARAB RK, nr. 32147 (stadsrekening Biervliet 1516/17).

Literatuur

- ALEXANDRE, P. 1987: *Le climat en Europe au Moyen-Age, Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale* (Paris).
- ALLEMEYER, M.L. 2006: *'Kein Land ohne Deich...!' Lebenswelten einer Küstengesellschaft in der Frühen Neuzeit* (Göttingen).
- BEEKMAN, F. 2007: *De Kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebbruik op een Zeeuws eiland* (Utrecht).
- BRIFFA, K. R. en MATTHEWS, J.A. 2002: Advance-10K: a European contribution towards a hemispheric dendroclimatology for the Holocene, *The Holocene*, jg. 12/nr. 6, pp. 639-642.
- BUISMAN, J. en ENGELEN, A.F.V. VAN (red.) 1995-2000: *Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen* (4 delen) (Franeker).
- COOK, E.R, d'ARRIGO, R.D. en MANN, M.E. 2002: A well-verified multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation Index since AD 1400, *Journal of Climate*, vol. 15, pp. 754-764.
- CRADDOCK, J.M. 1976: Annual rainfall in England since 1725, *Quaternary Journal Royal Meteorological Society*, vol. 102, pp. 823-840.
- CRUYNINGEN, P. VAN 2006: Profits and risks in drainage projects in Staats-Vlaanderen, c. 1590-1665, *Jaarboek voor Ecologische Geschiedenis 2005/2006, Water Management, Communities, and Environment. The Low Countries in Comparative Perspective. c. 1000 – c 1800*, pp. 123-143.
- DAVIES, T. P., KELLY, M. en OSBORNE, T. 1997: Explaining the climate of the British isles, in: HULME, M. en E. BARROW (red) *Climates of the British Isles, present, past and future*, (London en New York), pp. 11-33.
- DEGRYSE, R. 1994: *De vroegste geschiedenis van Nieuwpoort: een havenstad en omgeving in Westelijk Vlaanderen tot 1386* (Nieuwpoort).
- DEKKER, C. 1988: Tussen twee vloedten. De strijd tegen het water in Zeeland bewesten Schelde tussen 1530 en 1532, *Bijdragen en Mededelingen betreffende de Geschiedenis der Nederlanden*, jg. 103/ nr. 4, pp. 607-621.
- ENGELEN, A.F.V. VAN en GEURTS, H.A.M. 1985: *Nicolaus Cruquius (1678-1754) and his meteorological observations*. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (De Bilt).
- ENGELEN, A.F.V. VAN, BUISMAN, J. en IJNSEN, F. 2002: A millennium of Weather, Winds and Water in the Low Countries, in: Jones, P.D., OGLIVIE, A.E.J., DAVIES, T.D. en BRIFFA, K.R. (red.) *History and climate. Memories of the future?* (New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow) Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 101-125.
- GEURTS, H.A.M. en ENGELEN, A.F.V. VAN 1992: *Beschrijving antieke meetreeksen*, KNMI publikatie nr. 165-V.
- GOTTSCHALK, M.K.E. 1971-1977: *Stormvloedten en rivieroverstromingen in Nederland* 3 delen, (Assen).
- JACUBOWSKI-TIENEN, M. 1992: *Sturmflut 1717. Die Bewältigung einer Naturkatastrophe in der Frühen Neuzeit* (München).

Stormachtig weer in de Lage Landen tussen 1400 en 1625

JACUBOWSKI-TIESSEN, M. 2006: Divine Judgement or Incalculable Risk? A natural Disaster and its Consequences, in: F. WALTER (red.) *Les cultures du risque (XVIe-XXIe siècle)*. Travaux d'histoire suisse, deel 3 (Genève), pp. 87-98.

JONES, P.D en MANN, M.E. 2004: Climate over past millennia, *Review of Geophysics*, 42, RG2002, doi:10.1029/2003RG000143.

KRAKER, A.M.J. DE 1997: *Landschap uit balans. De invloed van de natuur, de economie en de politiek op de ontwikkeling van het landschap in de Vier Ambachten en het Land van Saeftinghe tussen 1488 en 1609* (Utrecht).

KRAKER, A.M.J. DE 1999: A method to assess the impact of high tides, storms and storm surges as vital elements in climatic history. The case of stormy weather and dikes in the northern part of Flanders, 1488 to 1609, *Climatic Change*, vol. 43, pp. 287-303.

KRAKER, A.M.J. DE 2000a: The oldest Dutch ship's logs (1595-1610) their interest for climate history in general and global climatic change in particular, in: T. MIKAMI (red.) *Proceedings of the International Conference. Climate Change and Variability – Past, Present and Future - Tokyo, 13-17 Sept. 1999* (Tokyo), pp. 95-101.

KRAKER, A.M.J. DE 2000b: Storm surges, high tides and storms as extreme weather events, their impact on the coastal zone of the North Sea and the human response, 1350 to 2000, in: B. OBRYSKA-STARKEL (red.) *Reconstructions of climate and its modelling. Millennium images and reconstructions of weather and climate over the last millennium* (Cracow), pp. 85-101.

KRAKER, A.M.J. DE 2002: Historic storms in the North Sea area, an assessment of the storm data, the present position of research and the prospects for future research, in: WEFER, G, BERGER, W., BEHRE en K-E, JANSEN, E (red.) *Climate Development and history of the North Atlantic Realm* (Berlin), pp. 415-434.

KRAKER, A.M.J. DE 2005: Reconstruction of Storm Frequency in the North Sea Area of the Pre-industrial Period, 1400-1625 and the Connection with Reconstructed Time Series of Temperatures, *History of Meteorology*, vol. 2, pp. 51-69.

KRAKER, A.M.J. DE 2006a: Historical climatology, 1950-2006. An overview of a developing science with a focus on the Low Countries, in: C. VERBRUGGEN (red.) *BelGeo. Special Issue Geoarcheology, historical geography and paleoecology*, pp. 307-339.

KRAKER, A.M.J. DE 2006b: Flood events in the southwestern Netherlands and coastal Belgium, 1400-1953, *Hydrological Sciences-Journal*, jg.51/ nr. 5, pp. 913-930.

KRAKER, A.M.J. DE 2007: Zeeuwse zekerheid verankerd in Zeeuws-Vlaamse bodem. Bedijkingen in Staats-Vlaanderen door Noord-Nederlanders en de inrichting van het landschap tussen 1600 en 1800: enkele hoofdlijnen, in: M. EBBEN en S. GROENVELD (red.) *De Scheldedelta als verbinding en scheiding tussen Noord en Zuid, 1500-1800* (Maastricht), pp. 69-91.

KRAKER, A.M.J. DE en WEEMAES, F.D.M. 1995: *Malen in moeilijke tijden De geschiedenis van de grafelijke ros-, wind- en watermolens in Noord-Vlaanderen en aangrenzend Zeeland tussen 1450 en 1610* (Kloosterzande).

KRAKER, A.M.J. DE, WIELINGA, R. en KONING, D. DE 2008: Middeleeuws proces van zoutzieden als experiment herhaald, *Westerbeem*, jg. 57/ nr. 4, pp. 194-209.

LAMB, H.H en FRYDENDAHL, K.1991: *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwestern Europe* (Cambridge).

LUTERBACHER, J., XOPLAKI E, DIETRICH E, JONES, P, DAVIES T, PORTIS D, GONZALES-ROUCO J, VON STORCH H, GYALISTRAS D, CASTY C en H. WANNER H. 2002: Extending North Atlantic Oscillation reconstructions back to 1500, *Atmospheric Science Letters* vol. 2, pp. 114-124, doi:1-1—6/asle.2001.0044.

MOBERG, Anders, Dmitry M. SONECHKIN, Karin HOLMGREN, Nina M. DATSENKO en Wibjörn KARLÉN 2005: Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data, *Nature*, vol. 433, pp. 613-617.

OSBORNE, T.J. 2004: Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse forcing, *Climate Dynamics*, vol. 22, pp. 605-623.

OSBORNE, T.J. 2006: Recent varieties in the winter North Atlantic Oscillation, *Weather*, vol. 61, pp. 353-355.

ROHR, Chr. 2007: *Extreme Naturereignisse im Ostalpenraum. Naturerfahrung im Spätmittelalter und am Beginn der Neuzeit* (Keulen-Weimar-Wenen).

SHABALOVA, M.V. EN ENGELEN, A.F.V. VAN 2003: Evaluation of a reconstruction of winter and summer temperatures in the Low Countries, AD 764-1998, *Climatic Change*, nr. 58, pp. 219-242.

STORCH, H. VON, ZORITA, E, JONES, J.M.DIMITRIEV, Y.González-ROUCO, F. en TETT, S.F.B. 2004: Reconstructing past climate from noisy data, *Science*, vol. 306, pp. 679-682, doi: 10.1126/Science, 1096109.

VINTHER, B.M., ANDERSEN, K.K., HANSEN, A.W., SCHMITH, T. en P.D. JONES 2003: Improving the Gibraltar/Reykjavik NAO index, *Geophysical Research Letters*, vol. 39, p. 2222 doi:10.1029/2003/GL18220

WEE, H. VAN DER 1963: *The growth of the Antwerp market and the European Economy (14th - 16th century)*, 3 delen (Den Haag).

WHEELER, D. 2005: British Navel Logbooks from the Late Seventeenth Century: New climatic information from old sources, *History of Meteorology*, vol. 2, pp. 133-146.

WOODRUFF, S. D, DIAZ, H.F. WORLEY, S.J. REYNOLDS, R.W. en LUBKER, S.J. 2005: Early ship observational data and icoads, *Climatic Change*, vol. 73, pp. 169-194.