

3764



**Stormtijden op de Noordzee en op de
Westerschelde
Correlatie en prognose van de
waterstanden**

door

Prof. ir. J.E.L. VERSCHAVE

Ere-Secretaris-Generaal van het Ministerie van Openbare Werken
Ere docent R.U.G.

**Uittreksel uit het
TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIE
n° 6 - 1977**

**DRUKKERIJ N.I.C.I.
LOUSBERGSKAAI 32
9000 GENT
1977**



STORMTIJEN OP DE NOORDZEE EN OP DE WESTERSCHELDE

CORRELATIE EN PROGNOSE VAN DE WATERSTANDEN

door

Prof. ir. J.E.L. VERSCHAVE

Ere-Secretaris-Generaal van het Ministerie van Openbare Werken
Ere docent R.U.G.

De waterstanden op de Noordzee en op de Westerschelde worden tijdens de stormen bepaald door talrijke op elkaar inwerkende krachten en factoren. Hun uitwerking kan dan ook verrassend zijn. Daardoor blijft hun prognose steeds moeilijk. Ze kan alleen grof benaderend zijn.

Tussen 1953 en 1976, dus na het giertij van 1 februari 1953, had ik de gelegenheid mij in te laten met voorspelling van gevaarlijke stormtijen. Uit deze ervaring zijn enige besluiten te trekken.

HOOFDSTUK 1. Gemiddelde getijden in 1890 en 1970.

Op de Noordzee zijn de gewone astronomische tijhoogten ten rechte van de Belgische kust tijdens de laatste eeuw maar weinig gestegen. Zo de gemiddelde zeespiegel ongeveer 1 dm is gestegen, dan is het peil van H.W. te Oostende maar 5 à 6 cm hoger komen te liggen.

De tabel 1 geeft de vergelijking van de tijgegevens op de Westerschelde tussen 1890 en 1970 (peil N.K.D.). Door de evolutie van de Scheldemonding, van het estuarium en van de tijrivieren, valt er hier een veel grotere stijging van de tijhoogten en van de hoogwaterpeilen aan te stippen.

Te Vlissingen is de gemiddelde tijhoogte 0,12 m

gestegen. Het gemiddeld H.W. peil ligt 0,28 m hoger en het gemiddeld L.W. peil ligt 0,16 m hoger. De energieinflux is derhalve gegroeid.

De grootste tijhoogte bij gemiddeld tij was in 1890: 4,45 m te Liefkenshoek en bedraagt thans 5,00 m te Hemiksem. De tijhoogte is vooral tussen Antwerpen en Temse en Boom aanzienlijk gestegen.

Het getij plant zich veel vlugger voort in de Westerschelde en door de bodemverdieping (baggerwerken) en door de waterstandsverhoging.

Tabel 2 vergelijkt de waterstanden ten opzichte van het Z-vergelijkingsvlak of Nul Oostende (0,04 m onder Nul N.K.D.) te Oostende en op de Westerschelde bij dood tij, gemiddeld tij, gemiddeld springtij en hoog springtij; dit alles ten huidige dage.

Tegenover H.W. Oostende stijgt het waterpeil te Antwerpen 0,86 m hoger bij dood tij, en 0,75 m hoger bij hoog springtij.

Tegenover H.W. Oostende stijgt het waterpeil te Temse nu 1,06 m hoger bij dood tij, 0,95 m hoger bij hoog springtij.

HOOFDSTUK 2. Stormvloedstanden op de Westerschelde.

Tijdens de periode van 1890 tot 1940, werden er vier stormtijen geteld, die de waterstand te Antwerpen

TABEL 1 — Vergelijking van de getijden op de Schelde (gemiddelden) in 1890 en 1970 (vergelijkingsvlak N.K.D.)

Plaatsen van de tijmeters	Hoog water			Laag water			Tijhoogte m			Vertraging van H.W. tegenover Vlissingen u min			Vertraging van L.W. tegenover Vlissingen u min		
	1890	1970	In meer m	1890	1970	In meer	1890	1970	In meer	1890	1970	In min	1890	1970	In min
Vlissingen	+4,10	+4,38	0,28	+0,42	+0,58	0,16	3,68	3,80	0,12	0.00	0.00	—	0.00	0.00	—
Bath	+4,61	+4,97	0,36	+0,20	+0,39	0,19	4,41	4,58	0,17	—	1.24	—	—	1.34	0,10
Liefkenshoek	+4,68	+5,08	0,40	+0,23	+0,37	0,14	4,45	4,71	0,26	2.03	1.31	0.32	2.10	2.04	0.06
Antwerpen	+4,74	+5,15	0,41	+0,37	+0,25	-0,12	4,37	4,90 Hemiksem 5,00	0,53	2.24	1.53	0.31	2.46	2.34	0.12
Temse	+4,67	+5,36	0,69	+0,59	+0,48	-0,11	4,08	4,88	0,80	3.22	2.48	0.34	3.58	3.34	0.24
Boom	+4,70	+5,29	0,59	+0,56	+0,56	—	4,14	4,73	0,59	—	2.48	—	—	3.36	—

TABEL 2 — Normale getijden 1970 (geen wind en geen bovenwaterafvoer) vergelijkingsvlak z (0,04 m onder vergelijkingsvlak N.K.D.)

Plaatsen van de tijmeters	Gem. Dood Tij				Gemiddeld Tij				Gem. Springtij				Hoog Springtij			
	H.W.	L.W.	Tij-hoogte	Half-tij	H.W.	L.W.	Tij-hoogte	Half-tij	H.W.	L.W.	Tij-hoogte	Half-tij	H.W.	L.W.	Tij-hoogte	Half-tij
Oostende	+3,85	+0,88	2,97	+2,36	+4,37	+0,46	3,91	+2,42	+4,76	+0,10	4,66	+2,43	+5,05	-0,20	5,25	+2,43
Vlissingen	+3,92	+0,96	2,96	+2,44	+4,42	+0,62	3,80	+2,52	+4,81	+0,29	4,52	+2,55	+5,05	+0,12	4,93	+2,58
Bath	+4,49	+0,73	3,76	+2,61	+5,01	+0,43	4,58	+2,72	+5,40	+0,25	5,15	+2,82	+5,64	0	5,65	+2,83
Antwerpen	+4,71	+0,57	4,14	+2,64	+5,19	+0,29	4,90	+2,74	+5,56	+0,12	5,44	+2,84	+5,80	-0,10	5,90	+2,85
Stijging boven cota Oostende	0,86				0,82				0,80				0,75			
Temse	+4,91	+0,71	4,20	+2,81	+5,40	+0,52	4,88	+2,96	+5,76	+0,41	5,35	+3,08	+6,00	+0,20	5,80	+3,10
Stijging boven cota Oostende	1,06				1,03				1,00				0,95			

tot boven peil N.K.D. + 7.00 hebben opgevoerd, hetzij gemiddeld één alle twaalf jaar.

Tijdens de tweede wereldoorlog zijn er praktisch geen baggerwerken op de Westerschelde uitgevoerd; de drempels waren opgezand en de ebgeulen waren vernauwd. De stormtijgegevens van 7 april 1943 en van 26 januari 1944 zijn dan ook moeilijk vergelijkbaar. De waterstand te Antwerpen bereikte op 7.4.1943 N.K.D. + 7,07; en benaderde het peil N.K.D. + 7.00 op 26.1.1944.

Vanaf 1945 tot einde 1965 steeg de waterstand te Antwerpen driemaal boven peil N.K.D. + 7.00 en benaderde tweemaal dat peil.

Dat is gemiddeld eenmaal alle 10 jaar voor peil Z + 7,10 en alle zes jaar voor peil Z + 7,00. Tijdens die periode van dertig jaar werden voortdurende baggerwerken en steeds grotere verdiepingen op de drempels uitgevoerd en werd de Braakman afgesloten.

In de periode vanaf 1966 tot 1976 werden gevoelige verdiepingen van de Scheurpas verwezenlijkt en werden ook de Schelgedrempels dieper uitgebaggerd. De bocht van Bath werd verbreed; de schorre van Ossendrecht werd ten behoeve van het Schelde-Rijnkanaal ingedijkt en zandwinningen uit de Schelde werden zowel op Nederlands als op Belgisch grondgebied ten behoeve van openbare werken uitgevoerd.

Tijdens deze laatste periode van tien jaar steeg de hoogwaterstand te Antwerpen driemaal tot boven peil N.K.D. + 7.00. De frekwentie is dus opnieuw gestegen. Gemiddeld alle drie jaar kende Antwerpen zijn watersnood.

De tabel 3 geeft een overzicht en vooral een vergelijking van de stormvloedstanden tussen Oostende en Temse.

De hoogste waterstanden op de Schelde zijn geregistreerd en onderlijnd :

- tussen Bath en Antwerpen tijdens de halve eeuw van 1890 tot 1940 en meestal in de nabijheid van Liefkenshoek;
- tussen Antwerpen en Hingene tijdens de periode van twintig jaar vanaf 1945 tot 1965;
- en te Temse, Boom of meer stroomopwaarts en landinwaarts vanaf 1966.

De stormtijenergie zet zich dus thans heviger en verder door in het Scheldebekken.

Het giertij van 1 februari 1953 heeft talrijke bressen en stroomgaten geslagen in de Scheldeoevers, meestal zeewaarts van Antwerpen. Daardoor is de hoogste waterstand toen te Bath opgetreden en bleven de peilen landwaarts van de Rupelmonding betrekkelijk laag.

TABEL 3 — Stormvloedstanden op de Noordzee en de Westerschelde voor peil te Antwerpen boven z + 7.00 (vergelijkingsvlak z). Z(0.00) ligt 4 cm onder N.K.D. (0.00).

Data	Stormvloedstanden					Peilverschillen						Max. peil en plaats
	Oostende O	Vlissingen V	Bath B	Antwerpen A	Temse T	V-O	B-V	A-B	T-A	A-O	T-O	
12 maart 1906	+6,26	+6,36	+7,27	+7,19	+6,89	0,10	0,91	-0,08	-0,30	0,93	0,63	+7,40 Liefkenshoek
13 januari 1916	+5,75	+5,97	+6,84	+7,06	+6,79	0,22	0,87	+0,22	-0,27	1,31	1,04	A
25-26 november 1928	+5,94	+6,18	+7,12	+7,19	+6,84	0,24	0,94	0,07	-0,35	1,25	0,90	+7,24 Liefkenshoek
23 november 1930	+6,02	+6,14	+7,19	+7,34	+6,94	0,12	1,05	0,15	-0,40	1,32	0,92	A
1 maart 1949	+6,12	+6,26	+7,14	+7,12	+7,00	0,14	0,88	-0,02	-0,12	1,00	0,83	+7,20 Liefkenshoek
1 februari 1953	+6,80	+6,99	+8,04	+7,89	+7,34	0,19	1,05	-0,15	-0,55	1,09	0,54	+7,14 Hingene
23 december 1954	+5,74	+6,00	+6,84	+7,15	+7,02	0,26	0,84	0,31	-0,13	1,41	1,28	door bressen
21 maart 1961	+6,07			+7,00						0,93		A
10 december 1965	+6,02			+7,01						0,99		A en T
16 november 1966	+5,92	+6,17	+6,92	+7,07	+7,25	0,25	0,75	0,15	0,18	1,15	1,33	T
14 december 1973	+5,89	+5,98	+6,71	+6,88	+6,92	0,09	0,73	0,17	0,04	0,99	1,03	T
	+5,67	+5,97	+7,02	+7,22	+7,27	0,30	1,05	0,20	0,05	1,55	1,60	
3 januari 1976	+6,02	+6,45	+7,25	+7,43	+7,47	0,43	0,80	0,18	0,04	1,41	1,45	T

Op 3 januari 1976 ontstonden er geen bressen zee- waarts van de Rupelmonding en bereikten de water- standen overal hoogterecords landwaarts van de Rupel- monding in het ganse bekken. Grote bressen ontston- den in het opwaarts gelegen gebied.

Te Antwerpen bleef de stormvloedstand in 1976 0,46 m beneden die van 1953. Te Temse steeg hij in 1976 tot 0,13 m boven die van 1953.

De gemiddelde vertraging van H.W. te Antwerpen tegenover Vlissingen bedraagt 1 u 53'.

Op 3 januari 1976 was die voortplantingstijd 1 u 37' en op 1 februari 1953 1 u 24'.

Hoe hoger de waterstand, des te groter de voort- plantingssnelheid van de getijgolf.

De getijbeweging op de Schelde is wegens de ver- anderende breedte en diepte en de talrijke bochten in het estuarium zeer ingewikkeld. Naast de progressieve golf zijn er weerkaatste nevangolven en wateropstu- wingen of stijgingen van potentiële energie in de uit- gesproken vernauwingen (trechtereffect). Sommige weerkaatste nevangolven kunnen in resonantie treden met de eigen schommelingsperiode van het overeen- komstig estuariumgedeelte.

De grote energieinflux bij stormtijden geeft aanleiding tot grotere wateropstuwingen in de engere tijrivieren.

In de Scheldemonding worden de laagste hoog- waterstanden en getijhoogten geregistreerd op de lijn Zeebrugge-Westkapelle, wat wijst op een nodaal punt of nodale lijn voor weerkaatste nevangolven of schom- melingen.

Gevaarlijke plaatsen voor resonantieverschijnselen liggen dus op een afstand overeenstemmend met 3 u 6' voortplantingsduur, hetzij een vierde van de getij- periode vanaf die nodale lijn. Voor gewone getijden was die plaats vroeger Liefkenshoek-Antwerpen en thans Hemiksem-Hingene.

Voor stormtijden verschuift die plaats meer land- inwaarts naar Temse en Boom. De bovenwaterafvoer uit het stroombekken tijdens de stormen op zee is thans veel gevaarlijker dan vroeger. Het bergingsver- mogen landwaarts van de kritieke plaatsen van hoogste stormvloedstand wordt steeds kleiner, de wateropstu- wing wordt steeds hoger en het risico van resonantie steeds groter, vooral bij lang aanhoudende stormen, die aanleiding geven tot twee à drie achtereenvolgende stormvloedstanden op de Schelde. Thans stijgt het overstromingsgevaar dus vooral op de Durme, te Lo-

keren afgegrensd op de Schelde tussen Temse en Gent en op de Rupel met haar bijrivieren.

HOOFDSTUK 3. Stormvloedstanden te Oostende.

De stormvloedstanden op de Noordzee worden op- gewekt door de windopstuwing vooral in het ondiepere zuidelijke gedeeltelijke ervan en door snelle luchtdruk- dalingen.

De wind moet drie à zes uur aanhouden, al naar gelang snelheid en richting om het maximum evenwicht van de hellende wateropstuwing tot stand te brengen.

De windopstuwing van het water is functie van het kwadraat van de windsnelheid; van de fetch of de lengte van het stormveld boven de zee en van de cosinus van de hoek, gevormd door de hartlijn van het zeebekken en de windrichting. De opstuwing is omgekeerd evenredig met de zeediepte. De water- standsverhoging is dus groter bij laag tij dan bij hoog tij. De astronomische getijhoogte wordt eveneens door de verhoging van het zeepeil beïnvloed. Ze wordt kleiner bij de opstuwing van de zeestand door wind- effect. Dit geldt eveneens op de Schelde.

Door de corioliskracht vormt de lijn van maxima helling van het watervlak een hoek van 3° à 5° met de windrichting naar rechts toe.

Resonantieverschijnselen en de vorming van seiches kunnen eveneens op de Noordzee optreden. Al naar gelang de waterstanden bij hoge opstuwing of afwaai- ing, varieert de eigen schommelingsperiode van de Noordzee tussen 36 en 48 uur. Indien de verplaatsings- snelheid van een depressie nadert van of gelijk wordt aan de voortplantingssnelheid van de lange stormgolf of de getijgolf, dan treedt er resonantie op. Dit gevaar dreigt vooral bij lang aanhoudende stormen van 36 uur tot 3 dagen.

De wateropstuwing door windactie tegen de kust kan stijgen met 0,20 m à 0,30 m per uur.

Naar Schalkwijk zijn er maxima opstuwingen op de Nederlandse kust mogelijk van 3,35 m bij zware storm (30 m per sec. windsnelheid) over de ganse uitgestrekt- heid van de Noordzee uit richting N.N.W.

Het cijfer is te herleiden tot 3 m als de storm alleen het zuidelijk deel van de Noordzee ten zuiden van de lijn Firth of Forth — Noordpunt van Jutland bestrijkt.

De wateropstuwing voor de Belgische kust zal in zekere mate de invloed ondervinden van de nabijheid van het Nauw van Calais, waardoor bij waterstands-

verhoging in de Noordzee ten gevolge van N.W. en N.N.W. stormen water naar het kanaal kan afvloeien.

De verhoging van het waterpeil te Oostende tegenover het voorspeld peil van astronomisch hoogwater, genoemd « de opzet », is dan ook bepaald door :

1. het windeffect of de wateropstuwing van het gemiddeld zeepeil, genoemd « stormeffect » en het ogenblik van zijn optreden in de getijcyclus;
2. een vermindering van dit effect bij hoog water;
3. een vermindering van de astronomische getijhoogte of normale hydrodynamische voorspelde tijhoogte;
4. een vermindering door afvloeiing naar het kanaal toe langs het Nauw van Calais.

De tabel 4 geeft een overzicht van de voorspelde astronomische peilen en de peilverhogingen te Oostende (kolom 5) tijdens de stormen die na 1 februari 1953 tot in 1976 door ons zijn geregistreerd. Kolom 6 geeft de verhoging van peil bij het voorafgaand en het op hoogwater volgend laagwater.

Kolom 7 geeft het Z-peil te Antwerpen en kolom 8 het peilverschil tussen Antwerpen en Oostende.

De grootste waterstandsverhoging bij hoogwater is te Oostende geregistreerd op 1 februari 1953. (tabel 5)

Er werden vijf seiches (s uit tabel 5) te Oostende waargenomen van 30.1. tot 2.2., die de waterstand nog verhoogd hebben.

Het tijdsverloop tussen de seiches te Oostende waargenomen, was als volgt :

1^e s tot 3^e s : $\pm 48 u$: Stijgende opzet
 2^e s tot 4^e s : $\pm 36 u$: Hoogste stormeffect
 3^e s tot 5^e s : $+ 43 u$: Uitdeinende opzet

Deze seiches zijn kleine vloedgolven met periodes van lange duur.

De seiches 1 en 2 gaven aanleiding tot de seiches 3 - 4 en 5 na schommeling van het Noordzeebekken.

Tabel 6 toont duidelijk hoe het maximum stormeffect hoger was op de oostoever van de zuidelijke trechter van de Noordzee dan op de westoever en hoe dit maximumeffect op de Engelse kust na of bij H.W. plaats vond en voor H.W. op de Nederlandse kust.

De windrichtingen en opstuwingen van water tijdens de storm van 30 januari tot 3 februari 1953 en tijdens

TABEL 4 — Stormtijden op de Noordzee (peilen z)

Data	H.W. Oostende Astron. voorspeld	Wind op Noordzee	H.W. Oostende werkelijk	Opzet of verhoging bij H.W. te Oostende (O)	Verhoging bij L.W. te Oostende voor - na	H.W. Ant- werpen (A) werkelijk	Peil- verschil A - O	H.W. Temse werke- lijk	Opmerkingen
1	2	3	4	5 (4-2)	6	7	8 (7-4)	9	10
1 feb. 1953	+ 4,50	NW-NNW 10-11	+ 6,80	2,30	1,66-2,3	+ 7,89 + 8,10?	1,09 1,30?	+ 7,34 —	Wegens bressen Zonder bressen
23 dec. 1954	+ 4,12	NW. 9-10	+ 5,74	1,62	0,55-2,1	+ 7,15	1,41	+ 7,02	
16 okt. 1958	+ 4,92	WNN-NW 8-9	+ 5,70	0,78	0,9-1,05	+ 6,74	1,04	—	
12 jan. 1959	+ 4,72	N.W. 8	+ 5,62	0,90	0,55-0,9	+ 6,76	1,14	—	Giertij Duitse Bocht
21 maart 1961	+ 4,72	NNW. 9	+ 6,07	1,35	0,90-0,90	+ 7,00	0,93	—	
16 feb. 1962	+ 4,02	NW 10 8	+ 5,42	1,40	1,9-1 6	+ 6,75	1,33	—	
15 nov. 1962	+ 4,70	W-NW 7-8	+ 5,69	1,00	0,65-0,85	+ 6,73	1,04	—	
10 dec. 1965	+ 4,72	NNW. 9	+ 6,02	1,30	0,9-1,4	+ 7,01	0,99	—	
16 nov. 1966	+ 4,52	NN.W. 9-W 7	+ 5,92	1,40	1,1-1,2	+ 7,07	1,15	+ 7,25	
28 feb. 1967	+ 4,92	NW 8	+ 5,78	0,86	—	+ 6,96	1,18	—	
10 nov. 1969	+ 4,52	W-WNW. 9	+ 5,52	1,00	—	+ 6,84	1,32	—	
22 nov. 1971	+ 4,22	NW-NNW. 9	+ 5,72	1,50	1,1-1,2	+ 6,70	0,98	—	
14 dec. 1973	+ 4,64	NNW 8	+ 5,89	1,25	1,1-0,85	+ 6,88	0,99	+ 6,92	
	+ 4,62	NNW 8	+ 5,67	1,05	0,85-1,4	+ 7,22	1,55	+ 7,27	
3 jan. 1976	+ 4,62	N.W 9	+ 6,02	1,40	1-0,90	+ 7,43	1,41	+ 7,47	
21	+ 4,92	W-N.W.	+ 5,62	0,70	0,3-1,00	+ 6,85	1,23	—	
à jan. 1976	+ 4,92	9 à	+ 5,72	0,80	1,0-1,4	+ 6,92	1,20	—	
22	+ 4,82	8	+ 5,42	0,60	1,4-0,9	+ 6,64	1,22	—	

**TABEL 5 — Storm van 30 januari tot 3 februari 1953, Giertij van 1 februari 1953
waterstanden en opzet te Oostende**

Dag en uur G.W.T. + 1 u	OOSTENDE						NOORDZEE	
	Astronomisch verwacht		Werkelijk gemeten		Opzet (m)	faze voor - na +	s (m) (seiches)	Wind o uit : (m/sek) Gemiddelde per dag
	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.				
30 januari 1 u 30' 8 u 30' 13 u 45' 20 u 30'	+ 4,32 + 4,42	+ 0,22 + 0,44	+ 4,59 + 4,44	+ 0,22 + 0,44	0,27 0,00 0,02 0,00	+ 10' + 20' + 10'	1° 0,27	220° (10)
31 januari 2 u 8 u 30' 14 u 30' 20 u 50'	+ 4,45 + 4,52	+ 0 12 + 0,38	+ 4,45 + 5,40	+ 0,46 + 2,04	0 00 0,34 0,88 1,66	- 10' - 10' + 10'	2° 0,20	270° (20)
1 februari 0 u 50' 2 u 40' à 3 u 9 u 5' 15 u 21 u 20'	+ 4,50 + 4,67	+ 0,05 + 0,32	+ 6,80 + 5,97	+ 2,50 + 1,76	2,60 2,30 à 2,40 2,45 1,30 1,44	+ 10' + 30'	3° (0,30) 4° (0,30)	330° (30)
2 februari 3 u 9 u 40' 15 u 20' 21 u 50'	+ 4,60 + 4,57	+ 0,05 + 0,24	+ 5,10 + 4,87	+ 0,35 + 0,64	0,50 0,30 0,30 0,40		5° (0,20)	350° (15)
3 februari 3 u 40' 10 u 20'	+ 4,50	+ 0,12	+ 4,75	+ 0,12	0,25 0			20° (9)

TABEL 6

Havens rondom de Noordzee	Max. Stormeffect (m) tegenover tijd van (lokaal H.W.)	Opzet bij H.W. (m)
Tees Moding	2,00 m na ± bij H.W.	2,00
Immingham	2,20 m ± bij H.W.	2,20
Southend	2,30 m id.	2,30
Dover	2,00 m id. à 20' na H.W.	2,00
Oostende	2,60 m 2 à 1 u. voor H.W.	2,30-2,40
Vlissingen	3,10 m 2 u voor H.W.	2,60
Hoek van Holland	3,30 m 3 u 30' voor H.W.	3,00
Delfzijl	3,05 m 4 u 30' voor H.W.	2,00

het giertij op 1 februari 1953 zijn er de oorzaak van (zie tabel 7).

Normaal komt water in de zuidelijke Noordzee uit het noorden langs de Engelse kust en uit Z.W. doorheen het Nauw van Calais.

Dit gebeurde in aanzienlijke versterkte mate langs het Nauw van Calais op vrijdag 30.1.1953 (3 maal de normale beweging) (wind uit Z.W. à W.).

Hetzelfde gebeurde langs de Engelse kust op vrijdag en zaterdag (tot 10 maal de normale beweging).

TABEL 7 — Residuele waterbeweging in de Noordzee in mijlen per dag (24 u 50': 2 tijcycli) met richting naar:

Lichtschip	Normaal Gemiddelde 1952	Vrijdag 30 - 1 - 53	Zaterdag 31 - 1 - 53	Zondag 1 - 2 - 53	Maandag 2 - 2 - 53	Dinsdag 3 - 2 - 53
Dowsing (Westkust)	3,6 (87°)	7,5 (70°)	(35°) (90° à 180°)		4,2 (206°)	1,8 (224°)
Terschelling (Oostkust)	4,1 (62°)		37,7 (65°)	24,4 (72°)		
Varne (Nauw van Calais)	3,5 (37°)	10,8 (37°)	2,9 (37°)	28,4 (217°)	10,5 (217°)	3,3 (217°)
Galloper (Harwich-Hoek van Holland)	0,5 (217°)		1,2 (37°)	11,1 (217°)	6,7 (217°)	4,2 (217°)

Tijdens het giertij ontsnapte het opgestuwd water naar het oosten en noordoosten (6 à 9 maal de normale beweging).

Na het giertij ontsnapte het overtollig water ook door het Nauw van Calais (8 × het normale op zondag 1.2.53) en dit tot 3 dagen na het giertij.

De invloed van het Nauw van Calais en de afvloeijing naar het kanaal toe zijn vooral merkbaar te Calais en ook nog in geringere mate te Oostende.

Het maximum stormeffect te Oostende was bereikt 1 u voor H.W. hetzij 2,60 m.

Het water begon alsdan over de kaaïen van het Montgommerydok te stromen en zette de ganse oude stad onder water tot 2 m boven de straten. De maregraaf in de nabijheid van dit dok viel uit. Door de overstroming werd de top van het getij gereduceerd. Het water reikte aan en vloeide op de kruin van de pakketbootkaaien op peil $Z + 6,80$. Zonder de overstroming van de stad zou de maregraaf peil $Z + 6,90$ à $Z + 6,95$ hebben geregistreerd; hetzij 0,05 à 0,10 m lager dan te Vlissingen ($Z + 7,00$).

De opzet bij H.W. zou te Oostende 2,40 à 2,45 m hebben bereikt zoals 1 u na H.W. en bij volgende L.W.

Bij de behandeling van de voorspelling van stormtijstanden zal trouwens duidelijk blijken dat het H.W. te Oostende, geregistreerd tijdens het giertij op 1.2.1953, ongeveer 0,10 m onder het werkelijk peil van de stormvloedstand aldaar ligt. Uit de gegevens van dit uitzonderlijk giertij zijn trouwens zeer nuttige

afleidingen gemaakt met het oog op de voorspelling van de nadien voorgekomen stormen.

Op 23.12.1954 werd te Oostende bij H.W. een peilverhoging opgetekend van 1,62 m (hoogste na 1.2.53). De verhogingen waren :

	<i>Opzet</i>	<i>Stijging</i>
bij L.W.	0,55 m	0,25 à 0,20 m/u
2 u voor H.W.	1,40 m	0,15 à 0,10 m/u
H.W.	1,62 m	0,13 m/u
1 u na H.W.	1,75 m	»
2 u na H.W.	2,00 m	Demping
L.W.	2,10 m	Demping
H.W.	1,30 m	

Op 16 februari 1962 werd de Duitse bocht geteisterd door een voorheen nooit geëvenaard giertij. Te Oostende werd de uitwerking ervan door volgende waterstandsverhogingen nadien gekenmerkt.

	<i>Opzet</i>	
LW.	1,90 m	
HW	1,40	(invloed hoogtij)
LW	1,60	
HW	0,50	

Voor de Duitse kust bedroeg de wateropstuwing tot drie meter en meer. Op de Belgische kust was de windkracht : 8 Beaufort.

Deze voorbeelden tonen duidelijk aan dat het ongeveer samenvallen van het astronomisch H.W. en van het bereiken van de maximale helling van opstuwing door de wind de gevaarlijkste toestanden oplevert; ondanks een wederzijdse dempende invloed! Voor-

beelden daarvan zijn de zware storm van 1.2.1953 en de niet zware stormen van 21 maart 1961; 16 november 1966; 22 november 1971 en 3 januari 1976.

De grootste opstuwingseffecten worden veroorzaakt door stormwinden die gedurende een voldoende lange duur van minstens zes uur het ganse zeegebied bestrijken en die heersen uit volgende richtingen:

N.N.W. (325°) op de Noordzee

W.Z.W. (240°) op het kanaal (La Manche)

W.N.W. (279°) op het Scheldeestuarium tussen Vlissingen en Bath.

Tabel 8 geeft de benaderende maximale opzet bij H.W. te Oostende in dm. De gevaarlijkste meteorologische toestand ontstaat als zeer diepe depressies zich verplaatsen van IJsland al over Zuid Noorwegen en Jutland naar midden Duitsland; terwijl anticyclonen heersen boven Frankrijk en Spanje en deze zich terzelfdertijd verplaatsen of uitbreiden naar Ierland toe; vooral als het centrum van de depressie zich verplaatst met een snelheid van 70 à 90 km per uur en er resonantie mogelijk wordt.

Aldus werd tussen 30 januari en 1 februari de Noordzee eerst door een stormwind uit het westen langs het kanaal met water aangevuld en werd nadien een vloedgolf in de noordelijke Noordzee opgewekt en naar het zuiden toe opgestuwd. Eigenlijke resonantie tussen de celeriteit van de vloedgolf en de verplaatsingssnelheid van de luchtdepressie trad er evenwel niet op.

HOOFDSTUK 4. Correlatie tussen de waterstanden te Antwerpen en te Oostende.

Bij normale getijden zonder windopstuwing is het peil te Antwerpen in ronde cijfers 0,85 m hoger dan

dat te Oostende bij dood tij en 0,75 m hoger bij levendig springtij. Te Bath ligt het peil 0,60 m boven dat te Vlissingen. Zonder invloed van het getij kan de wateropstuwing te Bath-Zandvliet tegenover het gemiddeld waterpeil in de Scheldemonding voor windsnelheden van 20 tot 30 m per seconde theoretisch

0,30 à 0,70 m bereiken bij W.-W.N.W. wind

0,25 à 0,55 m bij N.W. wind, en

0,15 à 0,35 m bij N.N.W. wind.

Welnu, tijdens de stormen is volgens de gegevens van tabel 3 het peilverschil tussen Bath en Vlissingen steeds begrepen tussen 0,73 m en 1,05 m; hoogstens 0,13 à 0,45 m meer dan het jaar door.

Ook op de Schelde valt er een matigende wisselwerking tussen windeffect en getijverhoging aan te stippen. Hoe hoger het waterpeil, hoe groter de waterdiepte en hoe belangrijker het kombergingsvermogen.

Tussen Vlissingen en Bath heeft de W.N.W. wind de grootste invloed. Tussen Oostende en Vlissingen geeft de N.W. wind de grootste opstuwing en tussen Bath en Antwerpen geeft de N.N.W. wind de grootste, zij het minder belangrijke opstuwing.

Dat alles oefent op de Schelde een min of meer grote uniformisering van de waterstandsverhogingen uit; al blijven de stormen uit het N.W. de gevaarlijkste voor Antwerpen. Uit de tabel 4 kan men besluiten dat tussen 1953 en 1976, de peilverschillen tussen Antwerpen en Oostende gevarieerd hebben tussen

0,93 en 1,30 m bij N.N.W. stormen

1,14 en 1,41 m bij N.W. stormen

1,04 en 1,32 m bij W.N.W. stormen

Tabel 9 geeft de benaderende maximale peilverschillen tussen Antwerpen en Oostende in dm.

TABEL 8 — Benaderende maximale waterstandsverhoging bij H.W. te Oostende of opzet bij storm op de Noordzee Δz (dm) (behalve bij optredende resonantie of seiches)

Windkracht (Beaufort) op de Noordzee	Windsnelheid (m/sek)	Δz bij windrichtingen uit (dm)					
		W.S.W.	W.	W-NW.	N.W.	N-NW.	N.
Minst. 8 <i>Stormachtig</i>	≥ 20	3	5	8	10	11	10
Minst. 9 <i>Storm</i>	≥ 25	4	8	12	15	16	15
Minst. 10 <i>Zware storm</i>	≥ 30	6	12	17	22	24	22

TABEL 9 — Benaderend maximaal peilverschil tussen de waterstand te Antwerpen en die te Oostende bij storm op de Noordzee (dm) (behalve bij optredende resonantie op de Schelde)

Windkracht Beaufort boven Westerschelde	Wind- snelheid (m/sek)	Peil Antwerpen — Peil Oostende (dm)	
		Wind uit W. N.W. en N.W.	Wind uit N. N.W.
≥ 8 stormachtig	≥ 20	12	10
≥ 9 storm	≥ 25	13	11
≥ 10 zware storm	≥ 30	14	12
≥ 11 zeer zware storm (cycloon)	≥ 35	16	14

Het meest belangwekkend geval is wel degelijk; dat van de storm op 14 december 1973, storm van lange duur met twee opeenvolgende stormtijden. Het tweede getij vertoont duidelijk de superpositie van een secundaire weerkaatste schommelende en resonerende golf, bevorderd door opperwaterafvoer bij laag tij tussen de twee stormvloedstanden.

Het tweede H.W. bleef te Oostende 0,22 m beneden

het eerste. Te Vlissingen in de nabijheid van de nodale lijn kwam hetzelfde peil opnieuw voor.

Te Antwerpen steeg de tweede stand op 0,34 m boven de eerste en te Temse 0,35 m. Zoals hoger uiteengezet is een kritisch stadium bereikt in de evolutie van het Scheldeestuarium, door het menselijk ingrijpen tot stand gebracht.

HOOFDSTUK 5. Prognose van het stormvloedpeil te Oostende.

Om tijdig alle overheids- en waak- of hulpdiensten in de gevaarzones te kunnen waarschuwen moet de prognose van het « gevaarlijk stormtij » te Oostende 2 u voor H.W. aldaar beschikbaar zijn.

Om een zo benaderend mogelijke peil-voorspelling te kunnen bepalen en berekenen moeten de windsnelheden en windrichtingen op de Noordzee en de waterhoogten op de maregraaf te Oostende gevolgd worden vanaf het uur van voorafgaand laag water tot 2 u voor het verwacht H.W.

Daarenboven moet de vervroeging in minuten of de defazering bepaald worden voor het werkelijk L.W.-tijdstip tegenover het astronomisch voorspelde. Dit kan bij hoge wateropzet tot 20 minuten en meer bedragen. De peilverhoging tegenover het theoretisch astronomisch laagwaterpeil dient bepaald (opzet a).

Op het ogenblik van halftij (zie kolom 6 van tabel 10), dient het waterpeil opnieuw op de maregraaf afgelezen en moet de opzet boven de stand $Z + 2,40$ berekend worden. (opzet b).

TABEL 10 — Voorspelde astronomische getijden te Oostende (z peilen)

Tij	Tijhoogte	Peil H.W.	Peil L.W.	Duur van Stijging		Peil 2 u voor H.W.	Stijging tijdens 2 u voor H.W.
				L.W. H.W.	Halftij H.W.		
1	2 (3-4)	3	4	5	6	7	8 (3-7)
Hoog S.T.	5,25	+ 5,05	— 0,20	5 u 30'	2 u 00'	+ 2,40	2,65 m
S.T.	4,66	+ 4,76	+ 0,10	5 u 36'	2 u 10'	+ 2,53	2,23 m
M.T.	3,91	+ 4,37	+ 0,46	5 u 44'	2 u 20'	+ 2,72	1,65 m
D.T.	2,97	+ 3,85	+ 0,88	5 u 53'	2 u 40'	+ 2,93	0,92 m

De stijging of daling van de wateropzet tussen L.W. en halftij (opzet b - opzet a) is aldus te bepalen, hetzij tijdens een duur van 3 u 13' à 3 u 30' al naar gelang de astronomische tijhoogte.

De stijging van opzet per uur vóór halftij kan trouwens ook door een registratie van de tijstand na elk opeenvolgend uur nauwkeurig gevolgd worden.

Hetzelfde geldt voor windsnelheid en windrichting boven de Noordzee (kuststations en lichtschepen). Gewoonlijk kan de tijstand nogmaals geregistreerd worden 10' à 40' na halftij, t.t.z. op het ogenblik dat men nog 2 u van het H.W. verwijderd is. Bij hoog springtij is halftij evenwel zeer dicht bij dat ogenblik. Zo mag in dit laatste geval niet langer gewacht worden met de prognose van de opzet bij H.W. In dit geval is de opzetbepaling 1 u vóór halftij nodig.

De opzet 2 u voor H.W. noemen wij opzet c.

De opzet bij H.W. wordt opzet d.

Zo mogelijk dient de stijging of daling van opzet c tegenover opzet b (opzet c - opzet b) bepaald alsook de daaruit berekende stijging of daling van de opzet per uur.

De prognose van opzet d bij H.W. dient afgeleid uit een extrapolatie van de opzet op grond van registraties a.b.c. en van de gegevens inzake de evolutie van windsnelheden en windrichtingen.

Om opzet d bij H.W. te ramen dient als volgt tewerk gegaan:

1. Men noteert nauwkeurig de tijstand ttz het waterpeil op de maregraaf 2 u voor astronomisch H.W.;
2. Men berekent de stijging of daling voor de opzet gedurende 2 u door extrapolatie van de registraties a.b.c. of gebeurlijk a.a'.b. in geval van hoog astronomisch tij. Men voegt deze hoogte bij of trekt ze af van die vermeld onder 1.;
3. Men voegt erbij de tijstijging van het astronomisch getij gedurende 2 u voor H.W. (kolom 8 tabel 10);
4. Men trekt een percentage van de getijamplitude of halve tijhoogte van het astronomisch getij af. Dit percentage bedraagt benaderend 3%; 4%; 5%; 6%; 7% naar gelang de verwachte opzet bij H.W. tot 1 m; 1,40 m; 1,80 m; 2,20 m; 2,60 m kan stijgen.

Deze aftrek van de hoogte bekomen na operatie 3 hierboven geschiedt om rekening te houden met de vermindering van de astronomische tijhoogte als het gemiddeld waterpeil op de Noordzee stijgt.

Het aldus bekomen stormvloedpeil bij H.W. minus het peil van astronomisch H.W. geeft de opzet d bij H.W.

Deze methode, op verschillende stormvloedten toegepast, geeft een benaderend betrouwbaar te verwachten stormvloedpeil te Oostende.

Tijdens de stormvloed van 30.1 tot 3.2.1953 bedroeg de stijging van opzet 9 cm per uur bij stijgend tij in de morgen van 31 januari en 12,5 cm bij dalend tij in de namiddag.

Bij stijgend tij tijdens de nacht van het giertij werd de stijging van opzet tot 20 cm en zelfs 30 cm per uur opgevoerd tussen 3 u en 2 u voor H.W.

Het maximum stormeffect werd bereikt tussen 2 u en 1 u voor H.W. (top van seiche + stormopstuwing).

De vermoedelijke stormeffecten bedroegen ongeveer

2,45 m	2 uur voor H.W.
2,60 m	1 u 30'' voor H.W.
2,45 m	1 uur voor H.W.

Alsdan was het evenwicht van maximale waterhelling en wateropstuwing bereikt

<i>Astr. peil</i>	<i>werkelijk peil</i>	<i>opzet</i>
2 u voor H.W. Z + 2,60	Z + 5,05	2,45 m
H.W. + 4,50	Z + 6,95	2,45 m

Bij dalend tij en tot het volgende laag water bleef de opzet 2,40 m à 2,45 m onder de aanhoudende stormwind uit N.N.W.

Het samenvallen van het maximum stormeffect met het astronomisch H.W. zou dit giertij nog een meer katastrofaal karakter hebben gegeven.

De toepassing van de prognose-methode zou voorspeld hebben:

$$Z + 5,05 + 2 \times 0,15 + 1,90 - 0,15 = Z + 7,10 \text{ hetzij een opzet bij H.W. van } 2,60 \text{ m}$$

$$(2,10 \times 0,07 = 0,15)$$

Deze opzet of beter dit stormeffect viel te Oostende 1 u 30' voor H.W. of een half uur na het ogenblik dat men een prognose had dienen op te maken.

Tabel 11 geeft de prognose van de stormvloedstanden op 23.12.1954 en op 15 november 1962; ten titel van voorbeelden.

TABEL 11 — Stormen van 23 december 1954 en van 15 november 1962, prognose van waterstand te Oostende

Astronomisch verwacht	Geregistreerd	Opzet (m)	Stijging van opzet (cm/u)
23/12/54 Tijlhoogte : 3,40 m L.W. : + 0,72 3 u 15' na L.W. ; Halftij : + 2,40 3 u 45' na L.W. ; 2 u voor H.W. : + 2,84 H.W. : + 4,12	faze $\hat{=}$ 0 L.W. : + 1,27 + 3,72 + 4,24 H.W. : + 5,74	0,55 1,32 1,40 1,62	24 } 28 à 20 16 (15?)
Stijging van peil in 2 u voor H.W. : 4,12 - 2,84 = 1,28 m	Prognose 2 × 0,15 = 0,30 m + 1,28 - 1,70 × 0,05 = ± (- 0,08) Verificatie : (+ 5,74) - (+ 4,24) = 1,50 m		
15/11/62 Tijlhoogte : 4,50 m L.W. : + 0,20 3 u 25' na L.W. ; Halftij : + 2,40 3 u 38' na L.W. ; 2 u voor H.W. : + 2,57 H.W. : + 4,69	Faze < 5' L.W. : + 0,85 + 3,32 + 3,52 H.W. : + 5,69	0,65 0,93 0,95 1,00	9 8 à 7 7 (6?)
Stijging van peil in 2 u voor H.W. : 4,69 - 2,57 = 2,12 m	Prognose 2 × 0,06 = 0,12 m + 2,12 - 2,25 × 0,03 = 2,05 m Verificatie : (+ 5,69) - (+ 3,52) = 2,17 m		

HOOFDSTUK 6. Gevolgen van de stormvloeden voor België. Besluit.

Het Deltaplan in Nederland beoogt de beveiliging van het grondgebied tegen stormvloeden, die vóór Zeeland N.A.P. + 5,50 of Z + 7,94 (± Z + 8.00) bereiken.

Bijna overal langsheen de Belgische kust zijn de zee-weringen daartoe voldoende hoog. Ze zijn echter niet voldoende versterkt tegen de bij dergelijke waterstand aanrollende stormgolven. In de eerste plaats zijn strandverhogingen zeewaarts van de zeedijken de enige rationele, veelal de enige mogelijke oplossing.

Het Scheldebekken op Nederlands grondgebied is en wordt door het Deltaplan verder beveiligd.

Op Belgisch grondgebied wordt het Scheldebekken steeds aan grotere gevaren blootgesteld.

De verdiepingen in het Scheur en in het Schelde-stuarium tot Antwerpen zullen en moeten in het belang van de scheepvaart steeds verder doorgevoerd worden.

Toen ik op 6 februari 1967 aan de Heer Minister van Openbare Werken het voorstel overmaakte tot

afsnijden en vervanging van de scherpe bocht van Bath, evenwel zonder kombegingsvermindering, schreef ik:

« Ik meen dat de evolutie in de toekomst in dezelfde richting zal doorgaan: (verdere stijging van het Noordzeepil, verdere verdiepingen op de Schelde en gebeurlijke inpolderingen) en dat het zo goed als zeker is, dat de katastrofale gevolgen voor België van zware giertijen alleen nog door het bouwen van een beweegbare stormvloedkering kunnen gekeerd worden ».

Moest een zwaar giertij ooit het water op de Schelde opstuwen tot peil NKD + 9,30 welke onvoorstelbare gevolgen zou zulks met zich slepen?!

In het Scheldebekken liggen er 395 km dijken langs de tijrivieren. Bijna 20 km hebben een kruin boven N.K.D. + 9.00 en amper 8 km boven peil N.K.D. + 9,50.

De uiteenzettingen in deze studie tonen voldoende duidelijk aan dat de enige mogelijke plaats voor een beweegbare stormvloedkering deze te Oosterweel (Antwerpen) is.

Meer stroomafwaarts wordt een inplanting meer hinderend voor de scheepvaart. Meer stroomopwaarts verhoogt ze het gevaar van resonantieverschijnselen en



beperkt zo de komberging van gebeurlijke opperwaterafvoer tijdens de stormen als de stormvloedkering dicht staat en gesloten.

De prognose van het getij te Oostende 2 u voor H.W. aldaar, voorspelt de stormvloed 4 u 45' à 5 u voor H.W. te Oosterweel, zodat het kunstwerk bij stil water na de eb aldaar nog tijdig kan gesloten worden.

Het bouwen van een uniek kunstwerk is goedkoper en veel vlugger te verwezenlijken dan het verhogen en versterken na talrijke onteigeningen van 380 km dijken.

Oostende, 10 september 1977.

LITERATUUROPGAVE

1. Les Marées des ports d'Ostende, de Zeebrugge et de Nieuport

- par J. Lauwers, Hydrographe.
Annales des Travaux publics de Belgique
Avril-Juin 1949
2. Tjwaarnemingen in het Scheldebekken
Tijdperk 1961-1970
ir. J. Theuns et ir. I. Coen.
Tijdschrift der Openbare Werken van België
N° 3 1972-1973.
3. De ontwikkeling van de Scheldemonding en van het Schelde-
estuarium
Prof. ir. J. Verschave
Tijdschrift der Openbare Werken van België
N° 6 van 1975
4. De overstromingsramp van 1953
Waterstanden, ir. P. J. Wemelsfelder.
De ingenieur Jg 65 N° 33 14 aug. 1953
5. Currents in the North Sea during the 1953 Gale by Com-
mander AL. Lawford RN.
Royal Naval Scientific Service
Weather Vol IX N° 3 March 1954
6. Windopstuwing langs de Nederlandse kust
door Schalkwijk K.N.M.I.

RESUME:

MAREES. TEMPETE EN MER DU NORD ET DANS L'ESCAUT OCCIDENTAL

CORRELATION ET PREDICTION DES NIVEAUX D'EAU

Après un aperçu de l'évolution des marées entre 1890 en 1970, l'auteur explique la montée des niveaux atteints par les marées-tempête le long de l'Escaut Occidental et de la côte Belge. La marée-tempête du 1.2.1953, la plus violente de ce siècle est expliquée plus en détail.

L'auteur en déduit une corrélation entre les niveaux atteints par les marées-tempête à Anvers et à Ostende et propose une méthode de prédiction du niveau à Ostende deux heures avant la marée haute.

Trois exemples d'application de la méthode sont donnés.

L'application de celle-ci permet avec plus de certitude l'alerte dans le bassin de l'Escaut au moins 4 h 45' avant marée haute à Anvers.

Considérant les conséquences possibles de ces tempêtes, l'auteur envisage les mesures rationnelles à prendre en Belgique pour éviter de graves inondations et ceci dans un délai aussi bref que possible.