



Vlaanderen
is wetenschap

PA024_3
WL rapporten

Retourperiode hoogwaterstanden te Antwerpen tijdens stormtijcondities

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Retourperiode hoogwaterstanden te Antwerpen tijdens stormtijcondities

Brackx, M.; Nossent, J.; Vandenbruwaene, W.; Deschamps, M.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2020
D/2020/3241/204

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Brackx, M.; Nossent, J.; Vandenbruwaene, W.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2020). Retourperiode hoogwaterstand te Antwerpen tijdens stormtijcondities. Versie 5.0. WL Rapporten, PA024_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2020RPA024_3
Keywords (3-5):	Stormtij, Antwerpen, extreme waarden analyse, retourperiode		
Kennisdomeinen	Hydraulica en sediment > 1.1 Getij Waterbeheer > 7.1 Overstromingen Waterbeheer > 8.3. Stormvloedwaarschuwing		
Tekst (p.):	14	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Brackx, M.
------------	------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Nossent, J.	Getekend door: Jiri Nossent (Signature) Getekend op: 2020-12-02 09:18:02 +00:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jiri Nossent</i>
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene Getekend op: 2020-12-01 15:05:01 +00:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Wouter Vandenbruwaene</i>

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps Getekend op: 2020-12-01 16:29:34 +00:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-12-01 14:39:47 +00:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>



Abstract

In dit rapport worden de retourperiodes van de hoogwaterstanden te Antwerpen bepaald die optreden tijdens stormtijcondities ($> 6,6$ mTAW). Op die manier kan het Hydrologisch Informatiecentrum (HIC) de retourperiode van een opgetreden hoogwaterstand direct raadplegen, en zo aangeven hoe uitzonderlijk de opgetreden hoogwaterstand is. De retourperiodes werden empirisch berekend door een extremewaardenanalyse uit te voeren op basis van ongeveer 100 jaar aan hoogwaterstanden te Antwerpen over de periode 1888 tot 2019. De extremen werden geselecteerd door het toepassen van een *peak over threshold* (POT) op basis van de grens van 6,6 mTAW. De hoogwaters werden daarbij vooraf gecorrigeerd voor een lineaire trend en de 18,6-jarige cyclus. De aannames in de extremewaardenanalyse werden gekozen in functie van het vastleggen van de retourperiode van de hoogwaterstand (niet de retourperiode van het stormevent), en in functie van het accuraat inschatten van de kortere retourperiodes (tot 20-25 jaar).

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Methode	2
2.1 Data	2
2.2 Trendcorrectie	2
2.3 Berekening retourperiodes	4
2.4 Onzekerheid	8
3 Resultaten.....	10
4 Conclusie en aanbevelingen	13
Referenties	14

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht retourperiodes.....	11
Tabel 2 – Overzicht van de 20 meest extreme hoogwaterstanden	12

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Jaargemiddelde hoogwaterstanden met trendlijn bestaande uit lineaire trend en 18,6-jarige cyclus	3
Figuur 2 – Jaargemiddelde hoogwaterstanden voor en na correctie voor trend (lineaire trend en 18,6-jarige cyclus)	4
Figuur 3 – Dagelijkse hoogwaterstanden na correctie voor trend (lineaire trend en 18,6-jarige cyclus) met aanduiding van 6,6m-lijn	5
Figuur 4 – Frequentieverdeling en QQ-plot van alle hoogwaterstanden, met aanduiding van 6,6m-lijn	5
Figuur 5 – Histogram van de extreme waterstanden, aantal observaties per interval van 10 cm	6
Figuur 6 – De geobserveerde retourperiode wordt berekend voor elk van de gecorrigeerde waterstanden boven 6,6m	7
Figuur 7 – Residuen van de logaritmische regressiecurve	8
Figuur 8 – Bepaling van onzekerheidsbanden via bootstrapping: 1000 simulaties van de regressievergelijking	9
Figuur 9 – Regressievergelijking van de waterstand in functie van de retourperiodes	10

1 Inleiding

Het Hydrologisch Informatiecentrum (HIC) informeert en adviseert de Vlaamse waterwegbeheerder gedurende stormtijcondities in het Zeescheldebekken (verwachting > 6,6 mTAW te Antwerpen). Na het optreden van een stormtij is één van de pertinente vragen hoe uitzonderlijk de opgetreden hoogwaterstand(en) was. Om dit te bepalen berekent het HIC de retourperiode van de opgetreden hoogwaterstand te Antwerpen op basis van een extremewaardenanalyse. Voorliggend rapport beschrijft de methodiek en de resultaten van de extremewaardenanalyse. We merken op dat de aannames in de extremewaardenanalyse gekozen zijn in functie van het vastleggen van de retourperiode van de hoogwaterstand (en niet de retourperiode van het stormevent), en in functie van het accuraat inschatten van de kortere retourperiodes (tot 20-25 jaar).

2 Methode

2.1 Data

De retourperiodes worden empirisch berekend op basis van de hoogwaterstanden gemeten in Antwerpen over de periode 1888-2019. Deze meetreeks werd uit de WISKI-databank geëxporteerd.

Er zijn enkele periodes waarvoor geen dagelijkse hoogwaters beschikbaar zijn:

- 1891 tot 1910
- 1915 tot 1918
- 1931 tot 1944

Wel wordt voor een aantal van deze periodes melding gemaakt van de jaarlijkse hoogste hoogwaters in de 10-jarige overzichten (bv. Vekemans, 1946), maar uit methodologische overweging worden deze niet meegenomen in de analyse van de retourperiodes.

2.2 Trendcorrectie

Door de zeespiegelstijging en door verschillende ingrepen in het Schelde-estuarium, zijn de waterstanden in Antwerpen sinds 1888 aanzienlijk gestegen. Voor het berekenen van de actuele retourperiodes is het noodzakelijk om de historische hoogwaters te corrigeren naar het huidige niveau.

Net als voor MONEOS (Vandenbruwaene et al., 2020), wordt er een trendbepaling uitgevoerd op de jaargemiddelde hoogwaters¹. De trend bestaat uit twee componenten: een lineaire trend en een 18,6-jarige cyclus. De lineaire trend beschrijft het gecombineerde effect van zeespiegelstijging en ingrepen in het estuarium; de 18,6-jarige cyclus beschrijft de verplaatsing van de maansbaan ten opzichte van het eclipticavlak aarde-zon. De gevonden trend wordt samen met de jaargemiddelde hoogwaterstanden weergegeven in Figuur 1.

De vergelijking is van de vorm:

$$h [mTAW] * 100 = \mu + \lambda * Jaar + \alpha * \sin(\omega * Jaar - \phi_h)$$

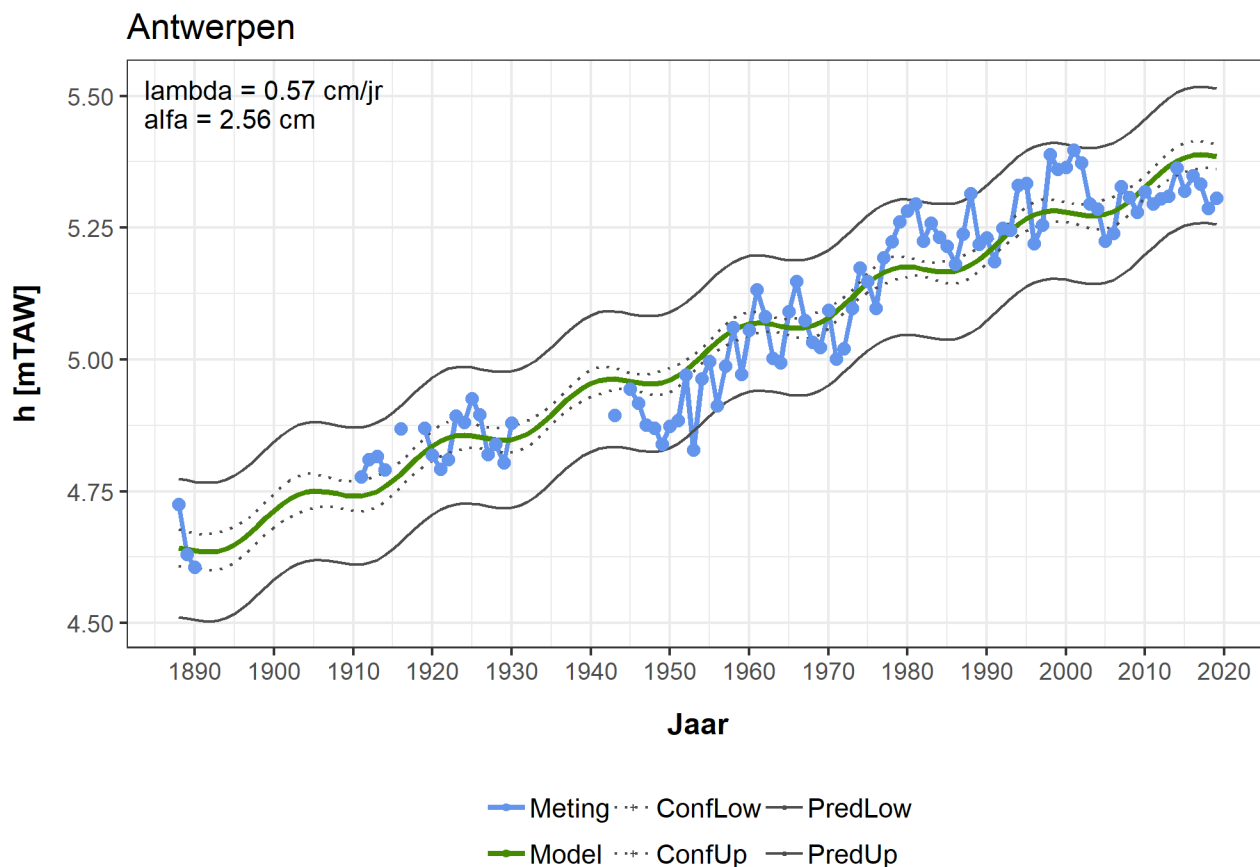
met parameters

- $\mu = -615.0 \text{ cm}$
- $\lambda = 0.57 \text{ cm/jr}$
- $\alpha = 2.56 \text{ cm}$
- $\omega = 2\pi/18.613$
- $\phi_h = 1.27 * 10^4 - 4$

¹ R-script voor trendbepaling (MONEOS):

https://wl-subversion/svn/repoSpHIC/Measurements/Scripts/Tide/Long_term_trends

Figuur 1 – Jaargemiddelde hoogwaterstanden met trendlijn bestaande uit lineaire trend en 18,6-jarige cyclus

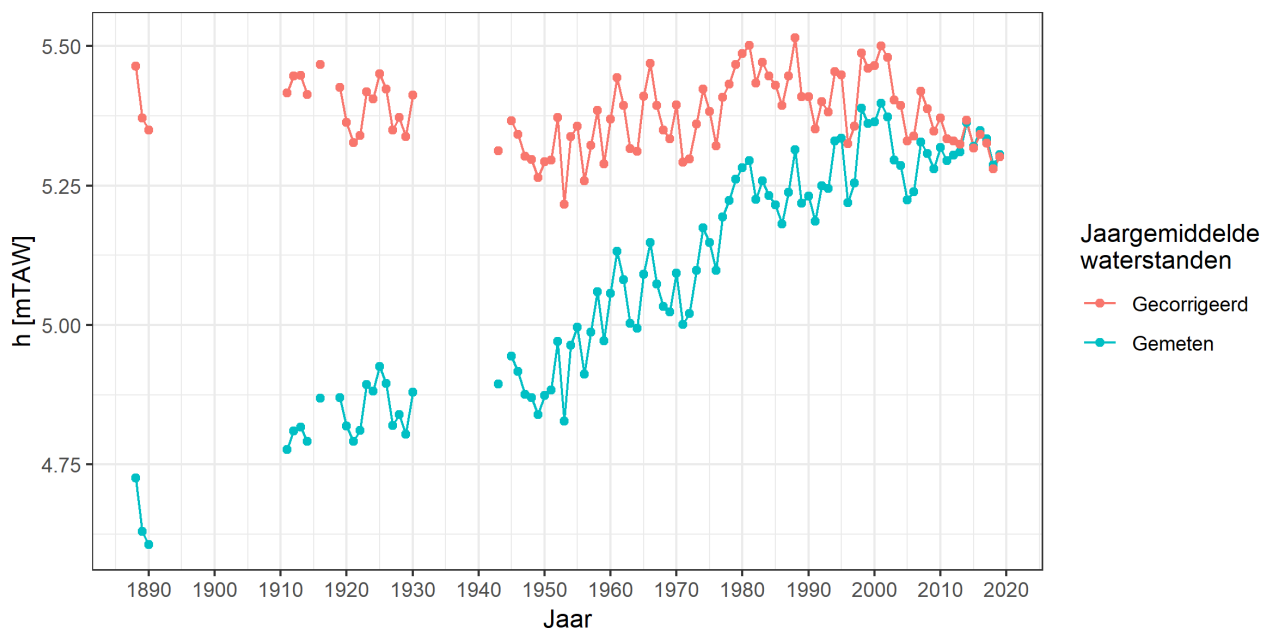


Voor de lineaire trend worden de historische hoogwaters naar boven gecorrigeerd (lineair met de tijd). Voor de 18,6-jarige cyclus wordt in de top van de cyclus een waterstand naar beneden toe gecorrigeerd, in het dal naar boven toe. Op die manier worden waterstanden bekomen die representatief zijn voor het huidige niveau van de lineaire trend en een gemiddelde fase in de 18,6-jarige cyclus. Figuur 2 illustreert hoe de historische jaargemiddelde waterstanden door de trendcorrectie worden opgetrokken naar het actuele niveau.

Uit Figuur 1 en Figuur 2 blijkt dat de berekende trend het grootste deel van de variatie van de waterstanden kan corrigeren. Toch zijn er periodes waarin de waterstanden langdurig boven (periode 1977-2003) of onder (periode 1945-1957 en 2009-2019) de trendlijn schommelen. Dit wijst op een onderliggende niet-lineaire trend, die mogelijks verklaard kan worden door het niet-lineair gedrag van de zeespiegelstijging en/of door specifieke ingrepen in het Schelde-estuarium. Het onderzoeken van deze dynamiek valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

Een bijkomende correctie die de volgende jaren van belang zal zijn is een correctie op de waterstanden in Antwerpen voor de ingebruikname van het gecontroleerd overstromingsgebied KBR (Kruibeke-Bazel-Rupelmonde) in 2015. Dit zorgt ook in Antwerpen voor een afvlakking van de hoogste waterstanden, waardoor de retourperiodes aanzienlijk langer zullen worden.

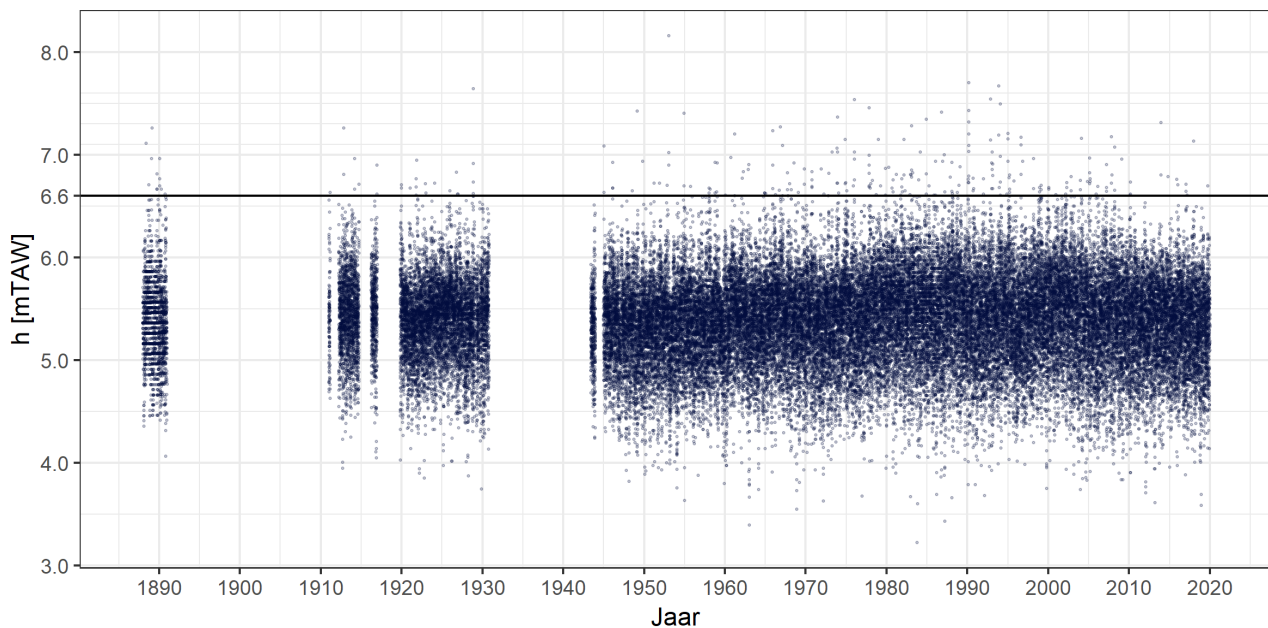
Figuur 2 – Jaargemiddelde hoogwaterstanden voor en na correctie voor trend (lineaire trend en 18,6-jarige cyclus)



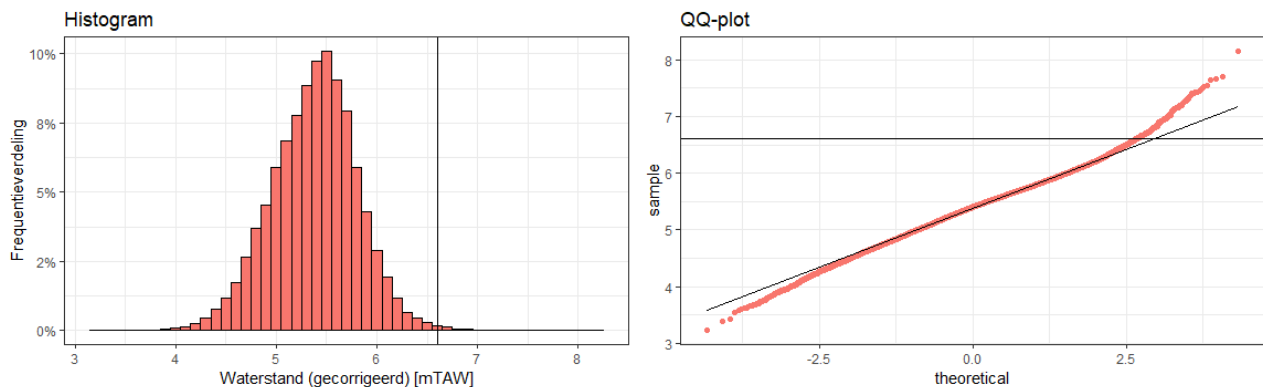
2.3 Berekening retourperiodes

Figuur 3 geeft alle trend-gecorrigeerde dagelijkse hoogwaterstanden weer, met aanduiding van de 6,6m-lijn. Figuur 4 geeft de frequentieverdeling van deze waterstanden weer. Uit het histogram en de QQ-plot blijkt dat de waterstanden algemeen vrij goed de normale verdeling volgen, maar dat de staarten afwijken van de theoretische lijn. Dit verklaart waarom het noodzakelijk is om de berekening van de retourperiodes niet op alle data, maar specifiek op de staart van de verdeling uit te voeren.

Figuur 3 – Dagelijkse hoogwaterstanden na correctie voor trend (lineaire trend en 18,6-jarige cyclus) met aanduiding van 6,6m-lijn

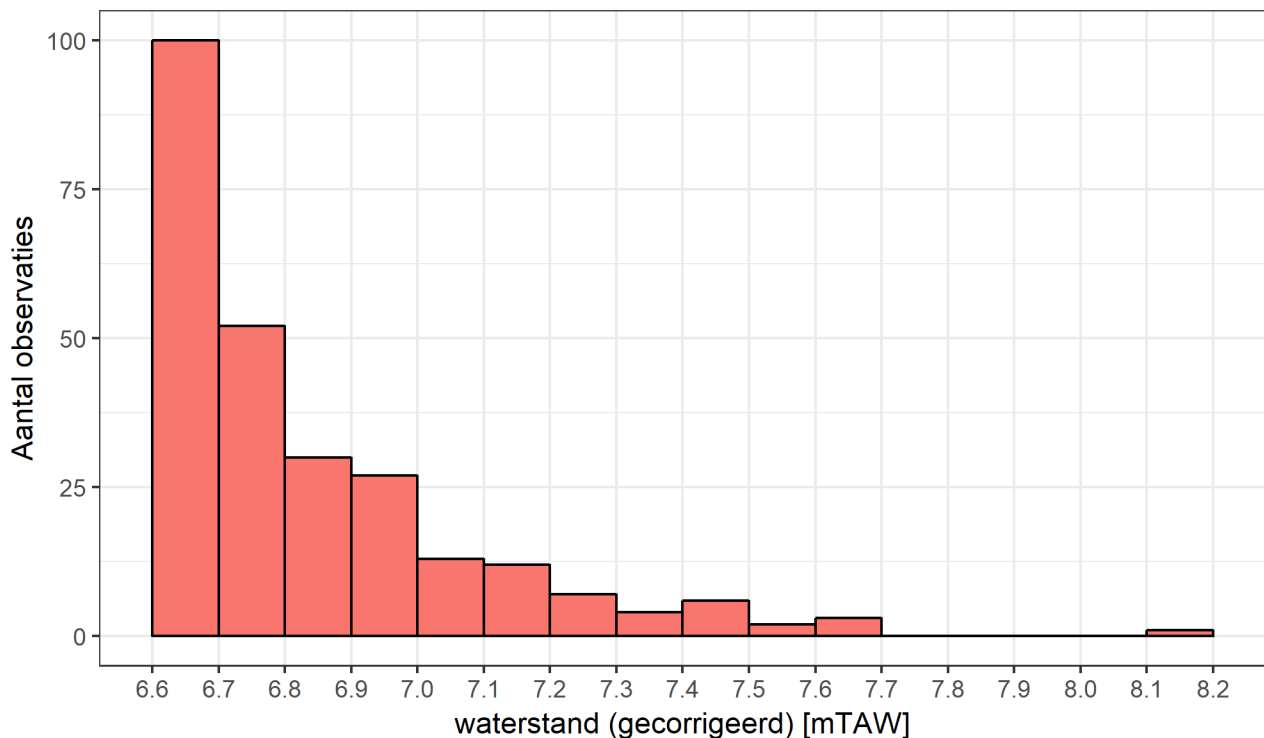


Figuur 4 – Frequentieverdeling en QQ-plot van alle hoogwaterstanden, met aanduiding van 6,6m-lijn



Er wordt gekozen voor een extremewaardenanalyse volgens de *peak over threshold* methode (POT). De POT-analyse wordt toegepast met een vooraf vastgelegd peil van 6,6 mTAW (vanaf dit peil spreekt men van een stormvloed). Praktisch wordt elk hoogwater dat na de trendcorrectie boven 6,6m TAW uitkomt weerhouden voor de extremewaardenanalyse. Uit analyse van de data blijkt dat er in de meetperiode van 1888-2019 een totaal van 65005 geldige hoogwaters geregistreerd werden, waarvan 257 “extreme waarden” van meer dan 6,6 mTAW. Figuur 5 geeft een histogram weer van de extreme waarden, deze volgen een exponentieel dalende trend te volgen.

Figuur 5 – Histogram van de extreme waterstanden, aantal observaties per interval van 10 cm

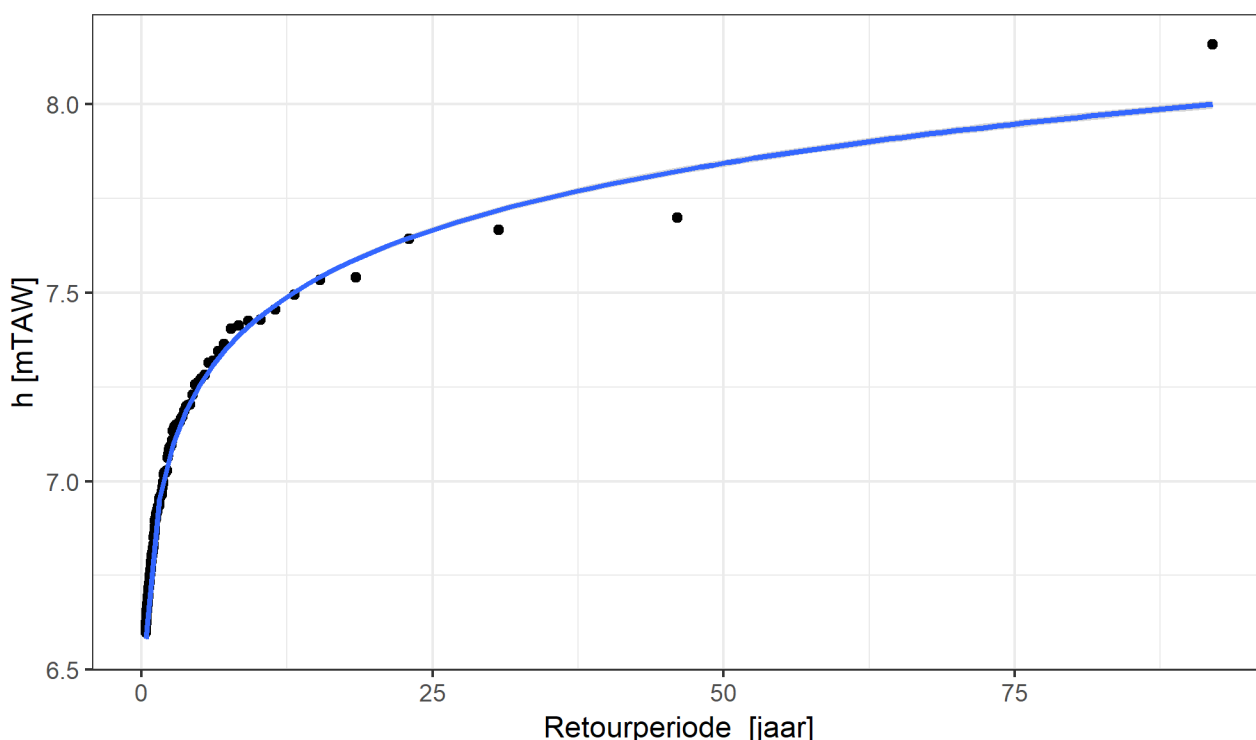


Het totaal aantal jaren wordt berekend door het aantal geldige waterstanden te vermenigvuldigen met de duur van een getij (12u24min).

$$\text{Totaal aantal jaren} = 65005 \text{ HW's} * 12,4\text{u}/24 / 365 = 92 \text{ jaar}$$

De weerhouden extremen worden vervolgens geordend van hoog naar laag, om empirisch de frequentie van overschrijding en de overeenkomstige retourperiode te bepalen. Voor de hoogste waterstand is de geobserveerde retourperiode dan gelijk aan de totale lengte van de meetreeks, voor de tweede hoogste waterstand de helft van de lengte van de meetreeks, enz. De resulterende reeks wordt weergegeven in Figuur 6.

Figuur 6 – De geobserveerde retourperiode wordt berekend voor elk van de gecorrigeerde waterstanden boven 6,6m



Vervolgens wordt een regressiemodel gefit. Voor het opstellen van een regressievergelijking wordt in dit rapport rechtstreeks met de retourperiodes gewerkt.

Er werd gekozen voor een logaritmisch regressiemodel met retourperiodes op log10-schaal. De vergelijking is van de vorm:

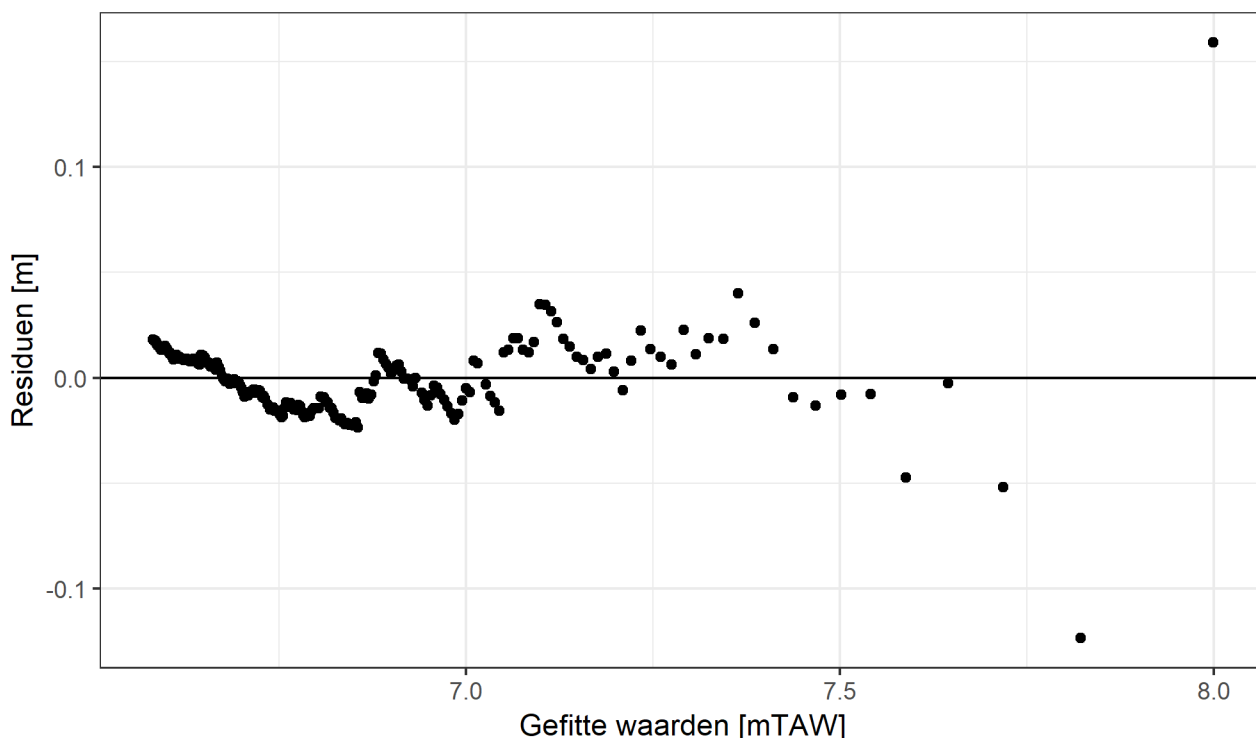
$$h \text{ [mTAW]} = a + b * \log_{10} (T_{\text{retour}} \text{ [jaar]})$$

met h de waterstand, T_{retour} de retourperiode en a en b de regressieparameters, welke bepaald werden via *linear least squares regression*. De logaritmische regressiecurve wordt ook gebruikt in Blanckaert et al. (2003) en is bovendien geassocieerd met de exponentiële frequentieverdeling (Hertoghs et al. 2017).

Het regressiemodel wordt weergegeven in Figuur 9. Uit deze figuur, waarop ook de betrouwbaarheidsbanden zijn aangeduid, blijkt dat de logaritmische curve goed de data volgt. Uit analyse van de residuals blijkt dat deze rond nul schommelen, wat ook wijst op een goede fit (Figuur 7). Enkel voor de hoogste waterstanden wordt de afwijking groter. Dit kan verklaard worden door het beperkte aantal waarnemingen dat nog gebruikt kan worden om de retourperiodes van de hoogst waterstanden te schatten.

Gezien de uitstekende fit van de logaritmische curve, is het binnen deze studie niet noodzakelijk is om meer complexe extremewaardenstatistiek uit te voeren. Indien men als doel zou hebben om de waterstanden voor langere retourperiodes te schatten, zou een diepgaande extremewaardenanalyse wel aangewezen zijn, echter zal dan ook meer gedetailleerd rekening gehouden moeten worden met ingrepen in het Schelde-estuarium (zoals recent het gecontroleerd overstromingsgebied KBR).

Figuur 7 – Residuen van de logaritmische regressiecurve



2.4 Onzekerheid

Doordat de retourperiode een afgeleide parameter is, afhankelijk van meerdere waarnemingen, is het niet zinvol om klassieke betrouwbaarheidsintervallen te berekenen. Om een beeld te krijgen van de onzekerheid op de voorspelde retourperiodes, wordt daarom net als in Blanckaert et al. (2003) gewerkt met Monte Carlo simulaties.

Aan de hand van bootstrapping worden 1000 varianten op deze extreme waarden dataset gemaakt. Bootstrapping is een statistische techniek die gebruikt wordt om de steekproevenverdeling/sampling distribution van parameters te schatten. Bootstrapping doet dit door heel vaak een nieuwe steekproef te nemen uit de huidige steekproef met teruglegging. Door het terugleggen en telkens samplen uit de oorspronkelijke set kan ettelijke keren dezelfde waarde terugkomen en andere waarden helemaal niet, waardoor de verdeling op basis van de nieuw gesampelde set er anders zal uit zien. Door vervolgens per steekproef de retourperiodes te berekenen en te kijken naar de verdeling van de parameters over deze steekproeven, kan de onzekerheid ingeschat worden.

Wanneer men echter allemaal sets van exact 257 POT-waarden zou nemen, zou de retourperiode van de laagste waarden steeds gelijk zijn. Alle 257 zijn namelijk boven 6,6 mTAW en de geobserveerde retourperiode van 6,6 mTAW wordt berekend als het totaal aantal jaren gedeeld door 257. Daarom wordt het aantal extreme waarden in de bootstrap samples variabel gemaakt. Voor elk van de 1000 varianten worden het aantal extreme waarden X willekeurig bepaald door trekking uit een binomiale verdeling²:

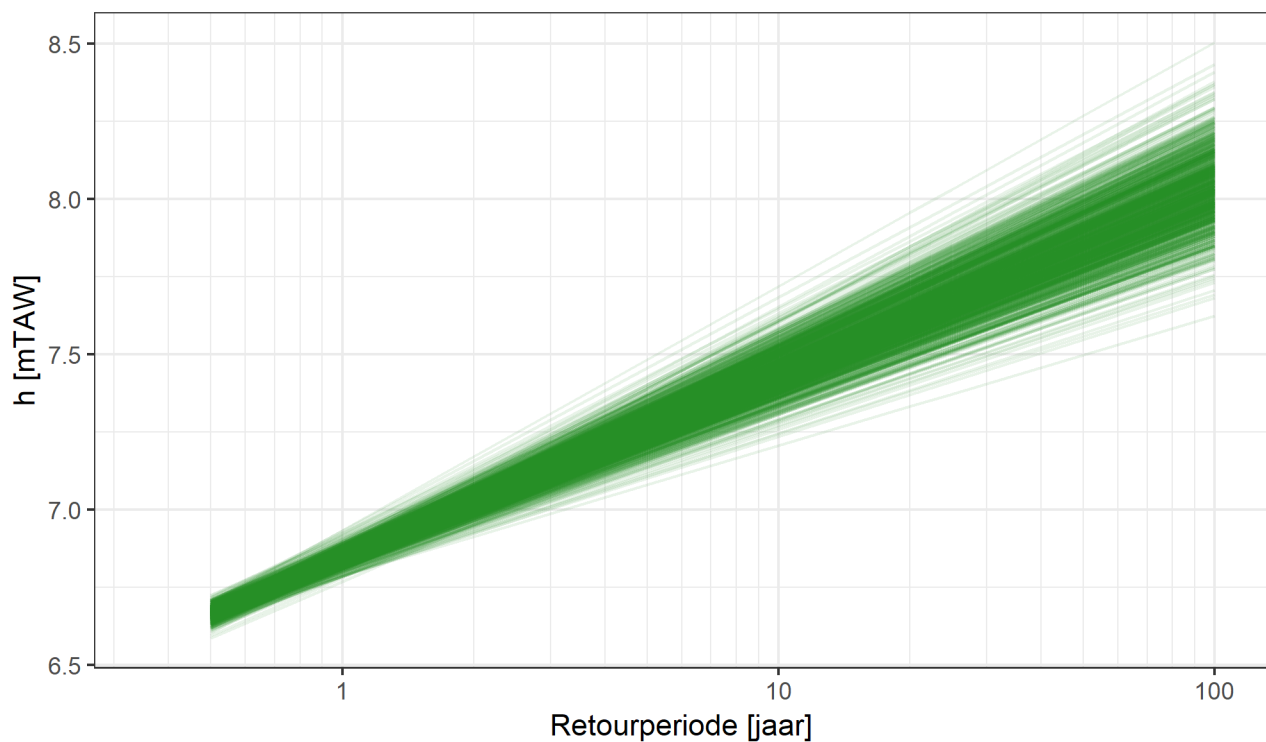
² In de kansrekening en de statistiek is de binomiale verdeling een verdeling van het aantal successen X in een reeks van n onafhankelijke alternatieven alle met succeskans p . Zo'n experiment wordt ook wel een Bernoulli-experiment genoemd.

$$X \sim \text{Bin}(n, p)$$

met parameters $n = 65005$ (totaal aantal hoogwaterstanden) en $p = 257/65005$ (de steekproefkans op extreme waarde). Dit komt op hetzelfde neer, maar is computationeel eenvoudiger, als zou men bootstrap samples met teruglegging van 65005 hoogwaters maken uit de volledige dataset en daarop de threshold van 6,6 mTAW toepassen.

Door op elk van deze bootstrap samples de extremewaardenanalyse toe te passen, kan de spreiding van de gefitte modellen gebuikt worden voor het opstellen van betrouwbaarheidsintervallen. Figuur 8 illustreert de verschillende regressiecurves voor de 1000 simulaties. Door het berekenen van de 2,5- en 97,5-percentielwaarden, wordt het 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend.

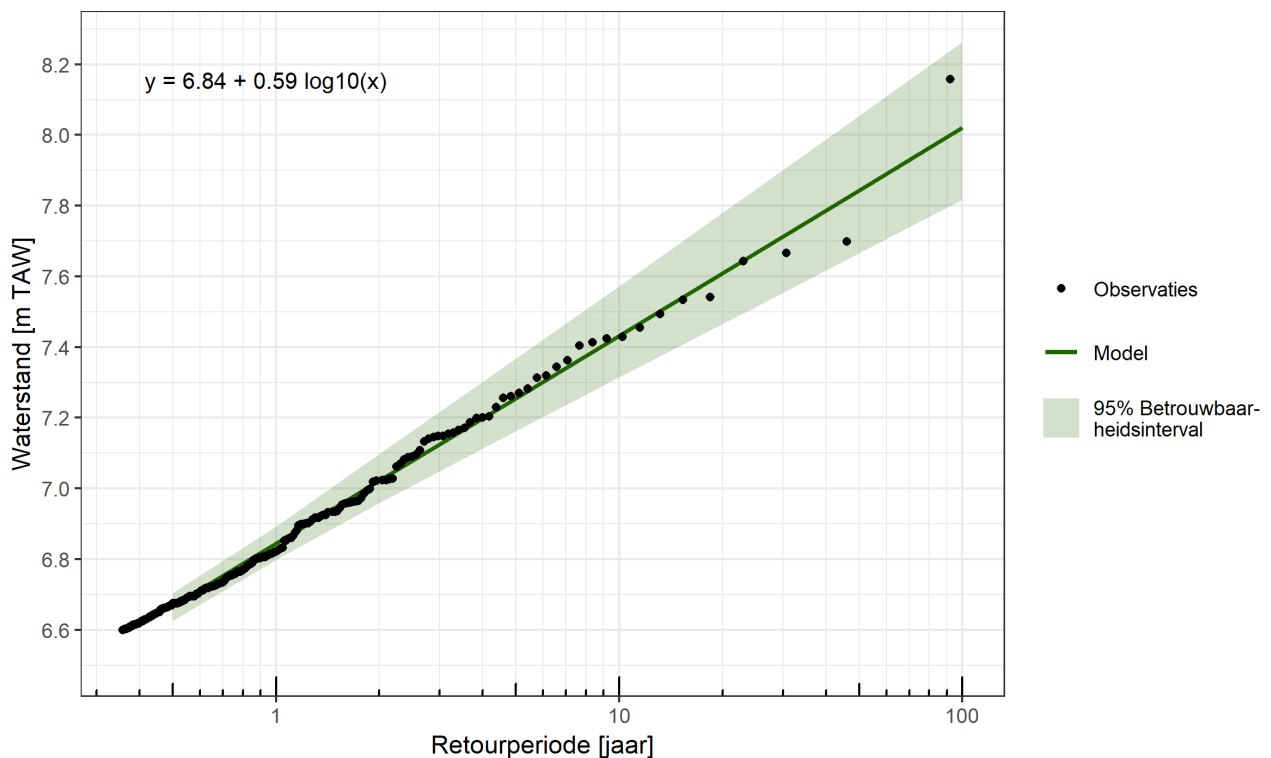
Figuur 8 – Bepaling van onzekerheidsbanden via bootstrapping: 1000 simulaties van de regressievergelijking



3 Resultaten

Figuur 9 geeft de waterstand weer in functie van de retourperiode. Voor elke observatie van waterstand werd eerst empirisch een retourperiode berekend. Vervolgens werd door deze observaties een logaritmische trendlijn gefit en werd via bootstrapping het 95%-betrouwbaarheidsinterval bepaald.

Figuur 9 – Regressievergelijking van de waterstand in functie van de retourperiodes



In Tabel 1 worden waterstanden en betrouwbaarheidsintervallen weergegeven voor enkele kenmerkende retourperiodes.

Tabel 1 – Overzicht retourperiodes

Retourperiode [jaar]	Waterstand [mTAW]	Ondergrens 95% BBI [mTAW]	Bovengrens 95% BBI [mTAW]
0,5	6,67	6,63	6,70
1	6,84	6,80	6,89
2	7,02	6,96	7,09
5	7,26	7,17	7,36
10	7,43	7,32	7,57
20	7,61	7,48	7,78
25	7,67	7,53	7,84
50	7,84	7,68	8,06
100	8,02	7,83	8,27

Tabel 2 geeft een overzicht van de 20 meest extreme hoogwaterstanden, gerangschikt volgens de trendgecorrigeerde waterstand. Op de eerste plaats staat de watersnoodramp van 1953, er werd toen in Antwerpen een waterstand van maar liefst 7,77 m TAW opgetekend, wat na trendcorrectie overeenkomt met 8,16 m TAW.

Tabel 2 – Overzicht van de 20 meest extreme hoogwaterstanden

Ranking hoogwater	Datum	Tijd [MET]	Waterstand gecorrigeerd voor trend [mTAW]	Waterstand gemeten [mTAW]
1	1/02/1953	3:49	8,16	7,77
2	27/02/1990	16:56	7,70	7,52
3	14/11/1993	15:43	7,67	7,53
4	26/11/1928	1:26	7,64	7,11
5	11/11/1992	15:26	7,54	7,39
6	3/01/1976	16:57	7,53	7,31
7	28/01/1994	16:17	7,49	7,37
8	15/11/1977	5:35	7,45	7,24
9	28/02/1990	5:09	7,43	7,25
10	1/03/1949	16:00	7,42	7,00
11	20/10/1986	16:47	7,41	7,20
12	23/12/1954	14:14	7,40	7,03
13	14/12/1973	18:58	7,36	7,10
14	24/11/1984	3:37	7,34	7,13
15	1/03/1990	5:36	7,32	7,14
16	6/12/2013	5:27	7,31	7,30
17	2/02/1983	6:43	7,28	7,07
18	16/11/1966	18:08	7,27	6,95
19	09/02/1889	11:10	7,26	6,52
20	11/11/1912	16:38	7,26	6,62

4 Conclusie en aanbevelingen

Voorliggend rapport berekent de retourperiodes voor de hoogwaterstanden ($> 6,6$ mTAW) gedurende een stormtij te Antwerpen (zie Figuur 9 en Tabel 1). De retourperiodes werden bepaald op basis van bijna 100 jaar aan hoogwaterstanden, gemeten in de periode van 1888 tot 2019. Uit de analyse blijkt dat de waterstanden, horend bij de retourperiodes, een logaritmische trend volgen in het bestudeerde gegevensbereik. Bij retourperiodes hoger dan ca. 20-25 jaar neemt de onzekerheid echter toe, doordat hier slechts een beperkt aantal observaties beschikbaar zijn.

Een belangrijk detail is dat er gerekend wordt met individuele hoogwaterstanden, ook voor waterstanden die behoren tot eenzelfde stormevent. De resulterende retourperiodes dienen dus ook op die manier geïnterpreteerd te worden.

In dit rapport werd gekozen om de retourperiodes voor alle waterstanden vanaf 6,6 m TAW vast te leggen. Het voorspellen van uiterst extreme waterstanden vereist een licht verschillende aanpak, waarbij gewerkt wordt met stormevent in plaats van met individuele waterstanden, en waarbij de staart van de verdeling zo afgebakend wordt dat die de meest nauwkeurige modelfit oplevert. Het voorspellen van uiterst extreme waterstanden werd daarom in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

Door het toepassen van een trendcorrectie konden de historische hoogwaterstanden gecorrigeerd worden naar het actuele niveau van de waterstanden in Antwerpen. De trendcorrectie is noodzakelijk om te corrigeren voor zeespiegelstijging en menselijke ingrepen in het Schelde-estuarium. De toegepaste trendcorrectie bestaat uit een lineaire component en een 18,6-jarige cyclus. Mogelijk zou een meer gedetailleerde trendbepaling de nauwkeurigheid van de gecorrigeerde waterstanden en de daaruit berekende retourperiodes nog iets kunnen verbeteren. Daarbij kan gedacht worden aan een lopend gemiddelde over een periode van 18,6 jaar, of een trend die meer rekening houdt met kennis van menselijke ingrepen in het estuarium. Tenslotte zal een bijkomende correctie voor toekomstige berekeningen van retourperiodes van belang zijn door de ingebruikname van het gecontroleerd overstromingsgebied (GOG) Kruibeke-Bazel-Rupelmonde (operationeel vanaf 2015). De werking van het GOG bij stormtij zorgt immers voor een aftopping van de hoogwaters te Antwerpen.

Referenties

Blanckaert, J. (2003), Actualisatie van het Sigmaplan, Deelopdracht 3: Hydrologische en Hydraulische modellen, Volume 1a: Statistiek Scheldebekken, I/RA/11199/03.027/JBL

Hertoghs, R.; Nossent, J.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Statistiek niet tijposten meetnet HIC: Herberekening 2016. Versie 4.0. WL Rapporten, 16_048_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vandenbruwaene, W.; Thant, S.; Michielsen, S.; Van de Moortel, I.; Brackx, M.; Hertoghs, R.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2020). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2019: Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in het Schelde estuarium in 2019. Versie 4.0. WL Rapporten, PA047_9. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Vekemans, R. (1946). Tienjarig overzicht 1931-1940 der tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken. Tijds. Openb. Werken Belg. = Ann. Trav. Publics Belg. augustus: [1-62] + 12 plates.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be