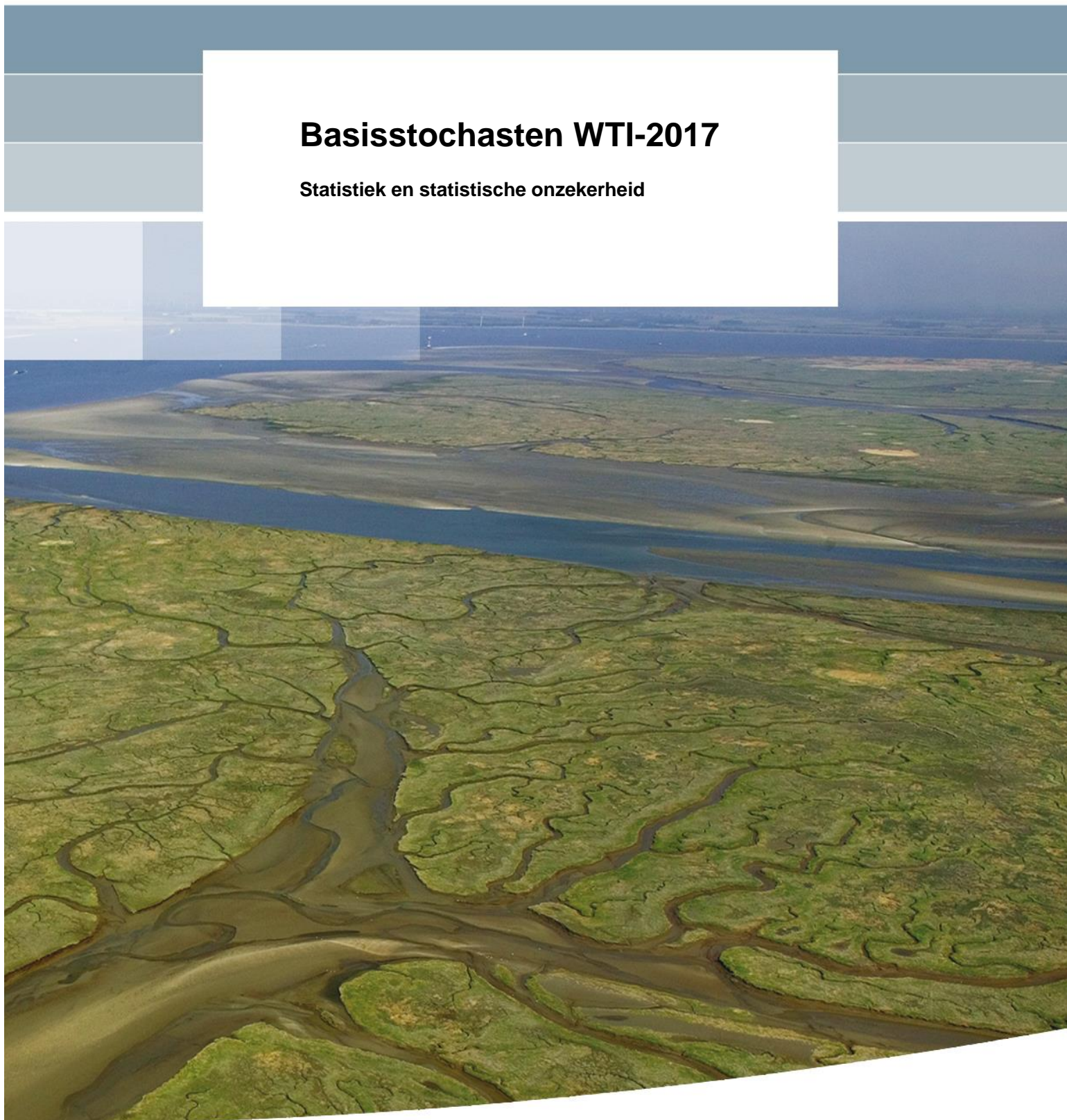


Basisstochasten WTI-2017

Statistiek en statistische onzekerheid



Titel
Basisstochasten WTI-2017

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS - WVl	1209433-012	1209433-012-HYE-0007	126

Trefwoorden

WTI-2017, Belastingmodellen, Hydra-Ring, basisstochasten, statistiek basisstochasten, statistische onzekerheid.

Samenvatting




Het modelinstrumentarium voor de wettelijke toetsing van primaire waterkeringen wordt ingrijpend veranderd. Vanaf 2017 zullen de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) voor de toetsing berekend worden met het programma Hydra-Ring. Een belangrijke invoer van Hydra-Ring is de set van basisstochasten en bijbehorende statistieken. Deze variabelen, zoals zeewaterstand, windsnelheid en afvoeren bij Lobith en Borgharen, beschrijven de belangrijkste variabiliteit van het watersysteem. Door middel van hydrodynamische- en golfmodellen worden basisstochast-waarden omgerekend naar hydraulische belastingen aan de teen van de dijk. Uit deze belastingen en de bijbehorende kansen van optreden worden de HR, de maatgevende condities bij een vastgestelde herhalingstijd, afgeleid voor WTI-2017.

Dit rapport beschrijft de keuze en achtergrond van de basisstochasten voor elke regio of systeem van de primaire keringen in Nederland. Van elke basisstochast wordt ook de kansverdeling beschreven zoals deze in Hydra-Ring is geïmplementeerd. De statistiek van de basisstochasten is gebaseerd op metingen, behalve de statistiek van de Rijn- en de Maasafvoer; deze laatste is gebaseerd op GRADE.

In Hydra-Ring gaat het om kansen tot 1/100.000 per jaar of zelfs kleiner. De waarden van de stochasten bij deze kleine kansen zijn daarom erg onzeker. Hydra-Ring houdt rekening met de statistische onzekerheid door hieraan kansverdelingen te koppelen. Afhankelijk van de aard van de onzekerheid is gekozen voor een passende verdeling, die als extra stochast is toegevoegd aan Hydra-Ring. De extra stochasten voor de statistische onzekerheid zijn, afhankelijk van de basisstochast, geïmplementeerd in Hydra-Ring als additief, multiplicatief, begrensd additief of begrensd multiplicatief.

Referenties

WTI-2017, Cluster onzekerheden, Cluster Belastingen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	jan. 2015	Houcine Chbab		Joost Beckers		Marcel van Gent	
2	Nov. 2015	Houcine Chbab		Annette Kieftenburg		Marcel van Gent	
3	Jan 2016	Houcine Chbab		Annette Kieftenburg		Marcel van Gent	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel van dit rapport	4
1.3	Afbakening	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Basisstochasten in Hydra-Ring	5
2.1	Regio's en belastingmodellen	5
2.2	Basisstochasten per regio/watersysteem	5
2.3	Andere kandidaten voor basisstochasten	8
2.3.1	Stormduur	8
2.3.2	Stormopzetduur en getijfase	10
2.3.3	Bodemschematisatie en ruwheden voor WAQUA	11
2.3.4	Laterale toestromingen	12
2.3.5	Splitsingspunten Pannerdensch Kop en IJsselkop	12
2.3.6	Bodemschematisatie voor SWAN	12
2.3.7	Bodemhoogte en strijklengte voor golfgegevens Bretschneider	12
2.3.8	Waterstandsverwachtingen	13
2.3.9	Golfvormen	13
2.3.10	Seiches	13
3	Statistiek basisstochasten	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Afvoerstatistiek	15
3.2.1	Statistiek Rijn bij Lobith	15
3.2.2	Afvoer IJssel bij Olst	18
3.2.3	Afvoer Maas bij Borgharen	21
3.2.4	Afvoer Maas bij Lith	23
3.2.5	Afvoer Overijsselse Vecht bij Dalfsen	27
3.3	Afvoergolfvormen	31
3.3.1	Afvoergolfvorm Rijn bij Lobith	31
3.3.2	Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen	32
3.3.3	Afvoergolfvorm Overijsselse Vecht bij Dalfsen	33
3.4	Meerpeilstatistiek	34
3.4.1	IJsselmeerpeil	34
3.4.2	Markermeerpeil	36
3.5	Zeewaterstandsstatistiek	37
3.5.1	Inleiding	37
3.5.2	Basispeilen 1985	38
3.5.3	Effect verlenging meetreeksen zeewaterstanden	39
3.5.4	Toeslagen hoogwaterstijging en trendcorrecties	41
3.5.5	Zeewaterstandsstatistiek WTI-2017	43
3.6	Windstatistiek	44
3.6.1	Inleiding	44
3.6.2	Windsnelheid hoog bereik	44
3.6.3	Statistiek/kansverdeling windrichting	53
3.6.4	Windstatistiek laag bereik	55

3.6.5	Effect nieuwe windstatistiek op HR	59
3.7	Statistiek Duinen	60
3.8	Waterstandsvoorspellingen tbv sluiting stormvloedkeringen	63
3.8.1	Voorspelling zeewaterstand Hoek van Holland (Europoortkering)	63
3.8.2	De Oosterscheldekering	64
3.8.3	De Ramspolkering	64
3.8.4	De Hollandse IJsselkering	65
3.8.5	Haringvlietsluizen	65
4	Correlaties	67
4.1	Inleiding	67
4.2	Correlatie meerpeil-afvoer	67
4.3	Correlatie IJssel- en Vechtafvoer	68
4.4	Correlatie Rijn en Maas	68
4.5	Wind-waterstandstatistiek kustgebieden	70
4.6	Wind-watertandstatistiek Maasmond (Benedenrivieren)	73
4.7	Correlatie seiches en zeewaterstand bij Maasmond	75
5	Statistische onzekerheid basisstochasten	79
5.1	Inleiding	79
5.2	Statistische onzekerheid Hydra-Ring	80
5.3	Betrouwbaarheidsintervallen zeewaterstands- en meerpeilstatistiek	81
5.4	Modellering en uit-integreren van statistische onzekerheid in Hydra-Ring	88
5.5	Kwantificering statistische onzekerheid basisstochasten	95
5.5.1	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek	95
5.5.2	Meerpeilstatistiek	106
5.5.3	Statistische onzekerheid zeewaterstandsstatistiek	111
5.5.4	Statistische onzekerheid windsnelheid	113
5.5.5	Onzekerheid seiches	115
5.5.6	Onzekerheid golfparameters H_s en T_p voor duinen	116
6	Samenvatting en conclusies	117
7	Referenties	121
A	Wind-waterstatistiek Hoek van Holland	A-1
B	Memo KNMI: extrapolatie van de waterstand in het Waddengebied	B-1
C	Schattingen betrouwbaarheidsintervallen zeewaterstanden	C-1
D	Verschil tussen normale en log-normale schattingen statistische onzekerheid zeewaterstand	D-1
E	Uit-geïntegreerde werklijnen zeewaterstanden	E-1
F	Schattingen statistische onzekerheid wind	F-1

English summary

The assessment tools for the Dutch national assessment of primary flood defenses have undergone considerable changes. Beginning in 2017, the values of local hydraulic loads (such as river water levels) that must be used in the assessments will be computed with the probabilistic engine Hydra-Ring. The statistical properties of global load variables, such as sea water level, wind speed, and discharge at Lobith and Borgharen, serve as input into Hydra-Ring. Through the use of hydrodynamic and wave models, these global variables are transformed to local hydraulic loads at the toe of the levee. Hydra-Ring links the statistics of the global loads to the modeled local loads, to derive the local hydraulic loads (associated with a required return period) which must be used in the flood defense assessments.

This report provides background of the global load variables for each region or system of defenses in the Netherlands. It provides the statistical distributions of the variables as they are implemented in Hydra-Ring. These statistics are derived from measurements, except in the case of the Rhine and Meuse discharge; these are derived using the Generator of Rainfall And Discharge Extremes, GRADE program.

Hydra-Ring is computing loads with annual exceedance probabilities of 1/100,000 or lower. For such low probabilities, the associated values of the loads are extremely uncertain. Hydra-Ring accounts for this uncertainty by including for each load variable – as an extra random variable – an uncertainty distribution around the load.

Lijst van Tabellen

Tabel 2.1	Regio's in Hydra-Ring:	5
Tabel 2.2	Belastingmodellen in Hydra-Ring.....	5
Tabel 2.3	Basisstochasten per regio in Hydra-Ring (zonder keringen).....	7
Tabel 3.1	Afvoeren van de Rijn bij Lobith inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie met overstromingen in Duitsland in combinatie met noodmaatregelen (Bron (Prinsen et al, 2015)).	16
Tabel 3.2	Afvoer Lobith en bijbehorende afvoer bij Olst (productieberekeningen).	18
Tabel 3.3	Werklijn IJssel bij Olst inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval	20
Tabel 3.4	Afvoeren van de Maas bij Borgharen behorende bij verschillende herhalingstijden, inclusief de 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie zonder overstromingen bovenstrooms van Borgharen.....	21
Tabel 3.5	Afvoer Maas bij Borgharen en bijbehorende afvoer bij Lith (productieberekeningen)	24
Tabel 3.6	Werklijn Maas bij Lith inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval, afgeleid uit de werklijn bij Borgharen.	25
Tabel 3.7	Afvoeren WTI-2017 voor de Vecht bij Dalfsen inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen.	27
Tabel 3.8	Overzicht fysische maxima zijdelingse afvoer Vecht, bron (van Vuren et al, 2009).....	29
Tabel 3.9	Relatie IJsselmeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden	35
Tabel 3.10	Relatie Markermeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden.....	37
Tabel 3.11	Basispeilen hoofdstations langs de kust (Van Urk, 1993)	38
Tabel 3.12	Drempelwaarden gebruikt voor selecteren pieken; uit (Roscoe, 2009).....	39
Tabel 3.13	Aantal pieken boven de gekozen drempelwaardes uit Tabel 3.12.	40
Tabel 3.14	Veranderingen in 1/10.000-hoogwaterstanden (HW) uit drie studies: basispeilen (BP) 1985 (Dillingh,1993), 1985 reproductie, 2007 actualisatie (Roscoe, 2009) en actualisatie 2012 (Eilander, 2014b).....	40
Tabel 3.15	Toeslagen 1985-2023 per station voor gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddelde zeestand (GZS), berekend met de Penalized sum of squares (PSS) of met lineaire regressie (LR). Bron (Eilander, 2014c)	42
Tabel 3.16	Gebruikte drempelwaarden POT series, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron (Caires, 2009)).	47
Tabel 3.17	Schattingen van de parameter λ_u van de exponentiële verdeling (bron (Caires, 2009)).	48

Tabel 3.18	Schattingen van de parameter σ van de exponentiele verdeling, omnidirectioneel en richtingsafhankelijk (bron Caires, 2009).	50
Tabel 3.19	Resultaat 1/10.000 kwantielen Up inclusief betrouwbaarheidsintervallen, omnidirectioneel en richtingsafhankelijk (Bron (Caires, 2009)).	51
Tabel 3.20	Windstations Hydra- Ring	53
Tabel 3.21	Kansverdelingen windrichting relevante windstations, sectoren van 30 graden.	54
Tabel 3.22	Aantal windrichtingen per watersysteem en regio	55
Tabel 3.23	Kansverdeling windrichtingen van 22,5 graden voor Schiphol en Deelen.	55
Tabel 3.24	Overzicht gebruikte data afleiding windstatistiek laag bereik	56
Tabel 3.25	Resultaten effect nieuwe windstatistiek op benodigde kruinhoogten, bron (Geerse en Verkaik, 2010).	60
Tabel 3.26	Steunpunten golfrandvoorwaarden diep water (In italic zijn de steunpunten weergegeven die gebruik maken van interpolatie van twee nabijgelegen meetstations. Bron (Boers et al, 2014).	61
Tabel 3.27	Parameters voor de statistische relatie golfhoogte en zeewaterstand. Bron (Boers et al, 2014).	62
Tabel 4.1	Overzicht mv-bestanden en stations voor de afleiding van de windwaterstandscorrelaties	71
Tabel 4.2	Resultaten berekende s-waarden als maat voor de correlatie windzeewaterstand voor 6 regio's	72
Tabel 4.3	Netto seiche effect voor enkele terugkeertijden.	77
Tabel 5.1	Basisstochasten waarvoor statistische onzekerheid bepaald/geïmplementeerd is in Hydra-Ring	81
Tabel 5.2	Parametersschattingen van de normale verdeling gebruikt voor het afleiden van de betrouwbaarheidsintervallen met bootstrap methode inclusief breedte afgeleide intervallen (Geerse en Wojciechowska, 2015).	85
Tabel 5.3	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	86
Tabel 5.4	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het Markermeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	87
Tabel 5.5	Parametersschattingen van de normale verdeling gebruikt voor het afleiden van de betrouwbaarheidsintervallen met bootstrap methode inclusief breedte afgeleide intervallen (Geerse en Wojciechowska, 2014).	87
Tabel 5.6	Parameters statistische onzekerheid (vigerende) zeewaterstandsstatistiek bij Hoek van Holland	92
Tabel 5.7	Parameters statistische onzekerheid windsnelheid voor station Schiphol	94
Tabel 5.8	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0$ m ³ /s en σ afhankelijk van herhalingstijd (kolom 6).	96

Tabel 5.9	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0$ m ³ /s en σ afhankelijk van herhalingsstijd (kolom 6).....	98
Tabel 5.10	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0$ m ³ /s en σ afhankelijk van herhalingsstijd (kolom 6).....	100
Tabel 5.11	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen: additief model, lognormale verdeling met $\mu = 0,0$ m ³ /s en σ afhankelijk van herhalingsstijd (kolom 4).	103
Tabel 5.12	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Lith: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0$ m ³ /s en σ afhankelijk van herhalingsstijd (kolom 6).....	104
Tabel 5.13	Betrouwbaarheidsintervallen percentielen IJsselmeerpeil.....	106
Tabel 5.14	Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid	107
Tabel 5.15	Betrouwbaarheidsintervallen meerpeilstatistiek Markermeer, verschillende kwantilen.....	109
Tabel 5.16	Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid	110
Tabel 5.17	Statistische onzekerheid zeewaterstandsstatistiek Hoek van Holland, omni-directioneel.	112
Tabel 5.18	Modelparameters statistische onzekerheid bij Schiphol, omni-directional.	114
Tabel 5.19	Windstations en bijbehorende parameters (μ en σ) voor de statistische onzekerheid van de omni- en de richtingsafhankelijke situaties.....	115
Tabel 6.1	Stochasten en bijbehorende statistiek, inclusief mogelijke effecten van veranderingen in de statistiek.....	117
Tabel 6.2	Gehanteerde modellen om de statistische onzekerheid van de basisstochasten te schatten.	119

Lijst met Figuren

Figuur 1.1	Wettelijke normfrequenties voor de primaire keringen in Nederland. In WT1-2017 zullen nieuwe normen worden gehanteerd. Bij gereedkomen van dit rapport waren deze echter formeel nog niet beschikbaar.....	2
Figuur 1.2	Overzicht nieuwe (nog vast te stellen) normen.....	3
Figuur 2.1	Een waterstandsverloop (blauwe lijn) te Maasmond, bestaande uit de superpositie van rechte stormopzet en astronomisch getijverloop met een faseverschil van $\varphi = -4,5$ uur.....	10
Figuur 3.1	Resultaten GRADE voor de Rijn bij Lobith rekening houdend met overstromingen in bovenstroomse delen van het stroomgebied en eventuele inzet van noodmaatregelen (Bron (Prinsen et al, 2015))......	17
Figuur 3.2	Vergelijking van GRADE uitkomsten met die van de extrapolatiemethode, inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen.....	17
Figuur 3.3	Relatie afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst.....	19
Figuur 3.4	Relatie afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst met relatie: een relatie behorende bij afvoeren bij Lobith kleiner dan 16.000 m ³ /s en een relatie voor afvoeren hoger dan 16.000 m ³ /s.....	19
Figuur 3.5	Werklijn IJssel bij Olst inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	20
Figuur 3.6	Vergelijking van de werklijn van GRADE en de huidige werklijn van de IJssel bij Olst.....	21
Figuur 3.7	Resultaten van GRADE voor de Maas bij Borgharen inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval voor de situatie zonder overstromingen/noodmaatregelen in buitenland.....	22
Figuur 3.8	Vergelijking resultaten van GRADE en extrapolatiemethode voor de Maas bij Borgharen, inclusief onzekerheidsbanden.....	23
Figuur 3.9	Relatie afvoer van de Maas bij Borgharen en Lith (productieberekeningen). ...	24
Figuur 3.10	Werklijn Lith op basis van GRADE bij Borgharen inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	25
Figuur 3.11	Werklijnen Maas bij Borgharen en bij Lith (volgend uit GRADE).....	26
Figuur 3.12	Huidige werklijn (HR-2006) en werklijn volgend uit GRADE voor Lith.....	26
Figuur 3.13	Werklijn Overijsselse Vecht bij Dalfsen (blauw), rood gestippelde lijn is de nieuwe werklijn waarin de statistische onzekerheid (95%-betrouwbaarheidsintervallen) is uit-geïntegreerd.....	28
Figuur 3.14	Effect van aftoppen van de Vechtafvoer op de MHW (bron (van Haaren, 2015)).	29
Figuur 3.15	Uit-geïntegreerde werklijn van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen met aftopping op 800 m ³ /s.....	30

Figuur 3.16	90%-percentielen van de afvoer van de Vecht voor bovenstroomse locaties van de Vecht voor verschillende herhalingstijden.....	31
Figuur 3.17	GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie met overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).....	32
Figuur 3.18	GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie zonder overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief uit golfvormen HR2001 en WTI-2011).....	32
Figuur 3.19	GRADE golfvorm voor de Maas bij Borgharen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).	33
Figuur 3.20	Standaard golfvorm van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen (bron, Geerse, 2006))	34
Figuur 3.21	Frequentielijn IJsselmeerpeil (Geerse, 2006). Deze werklijn blijft vigerend in WTI-2017.	35
Figuur 3.22	Frequentielijn IJsselmeerpeil berekend met probabilistisch en verlaagde afvoeren. Olst en Vechtafvoer vermenigvuldigd met factor 14/16. Bron (Geerse, 2014). N.B. Zwarte lijn is vigerende meerpeilstatistiek.	36
Figuur 3.23	Frequentielijn Markermeerpeil zoals vastgesteld voor Hydra-M (WL/Delft Hydraulics 1998). De betrouwbaarheidsintervallen volgen uit (Geerse en Wojciechowska, 2014).	37
Figuur 3.24	95% betrouwbaarheidsinterval voor Hoek van Holland volgens VVM-0 methode, uit: Dillingh (1993).	39
Figuur 3.25	Vergelijking basispeilen (BP) afgeleid in drie studies: 1985 reproductie, 2007 actualisatie (Roscoe, 2009) en actualisatie 2012 met bijbehorende 95% betrouwbaarheidsintervallen (Eilander, 2014b).....	41
Figuur 3.26	Ruimtelijke verdeling toeslagen kustgebieden	43
Figuur 3.27	Grafische weergave van de windstations gebruikt voor de nieuwe de windstatistiek (Caires, 2009).....	44
Figuur 3.28	Gebruikte windstations in windonderzoek inclusief meetperiode. Rood (KNMI, 1983) en Groen (Caires, 2009).....	45
Figuur 3.29	Resultaat van 1/10.000 kwantielen, exponentiële verdeling op basis van POT (bron (Caires, 2009)).....	48
Figuur 3.30	Vergelijking oude (Rijkoort Weibull) en nieuwe (Exponentieel) windstatistiek voor relevante windstations en herhalingstijden.....	52
Figuur 3.31	Vergelijking van de kansverdeling op windrichting (30 graden) voor Schiphol..	54
Figuur 3.32	Kansverdeling op de windrichting voor 5 windstations.....	57
Figuur 3.33	Windstatistiek Schiphol voor het hele bereik voor 2 windrichtingen op basis van de exponentiele verdeling (blauwe punten voor hoog bereik) en via turven (laag bereik, groene punten): windrichting 22,5 graden (links) en 360 graden (rechts).	59

Figuur 3.34	Steunpunten golfstatistiek. De oranje symbolen duiden dat voor dit steunpunt een interpolatie van de waarden van de twee nabijgelegen steunpunten plaatsvindt.	61
Figuur 3.35	Relaties tussen zeewaterstand en golfhoogte voor 6 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).	62
Figuur 3.36	Relaties golfhoogte en golfperiode voor 5 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).	63
Figuur 4.1	Illustratie correlatiemodel meerpeil en IJsselafvoer, met het getransformeerde meerpeil y tegen de getransformeerde afvoer x ; $\sigma = 1,2$ (bron (Geerse, 2006)).	67
Figuur 4.2	De 50%-lijnen uit WTI-2011 en de 1-1 lijn zoals gebruikt voor WTI-2017.	69
Figuur 4.3	Afgeleide en oude s -waarden, als maat voor de correlatie tussen wind en zeewaterstand voor 6 regio's van de kust.	73
Figuur 4.4	Het principe achter de beschrijving van de wind-waterstandstatistiek in grafische vorm.	74
Figuur 4.5	Voorbeeld van waterstand inclusief seiches en definitie netto seiches effect. ..	75
Figuur 4.6	Schematische weergave van de conditionele kansverdeling van NSE gegeven de waterstand h	76
Figuur 4.7	Waterstand (met en zonder NSE) en NSE bij ROZ als functie van terugkeertijd.	76
Figuur 5.1	Belangrijke typen onzekerheden.	79
Figuur 5.2	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen voor station Hoek van Holland, omni-directioneel. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	83
Figuur 5.3	GEV plot van de jaarmaxima bij Harlingen; metingen (rood), model (zwart). ...	84
Figuur 5.4	GEV vormparameter (kromming) van de waterstand voor verschillende stations langs de kust. De verticale lijnen geven de standaard fout weer.	84
Figuur 5.5	Betrouwbaarheidsintervallen station Hoek van Holland voor de omni-directionele situatie, bepaald op basis van de vormparameter verkregen uit de studie van KNMI. Horizontale zwarte lijn is het interval van de basispeil bij Hoek van Holland (Geerse en Wojciechowska, 2015).	85
Figuur 5.6	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	86
Figuur 5.7	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen van het Markermeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	87
Figuur 5.8	Voorbeeld van een eenvoudige discretisatie van een onzekerheidsbron.	90
Figuur 5.9	Voorbeeld van werklijn voor (blauw) en na volledig uit-integreren van onzekerheidsbron (rood). Het 95% betrouwbaarheidsinterval is als gestippelde lijnen weergegeven rond de blauwe doorgetrokken lijn.	90
Figuur 5.10	De omni-directionele statistiek van zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door normale verdeling (rood).	91

Figuur 5.11	Uit-geïntegreerde werklijn (groene lijn) van de zeewaterstand bij Hoek van Holland.	92
Figuur 5.12	Uit-geïntegreerde werklijnen waterstand Hoek van Holland op basis van normale en lognormale schattingen.	93
Figuur 5.13	De omni-directionele statistiek van de wind Schiphol, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door de normale verdeling (rood).....	94
Figuur 5.14	De uit-geïntegreerde omni-directionele windstatistiek (rood gestippeld) bij Schiphol.	95
Figuur 5.15	Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith.....	96
Figuur 5.16	De werklijn en uit-geïntegreerde werklijn van de Rijn bij Lobith.....	97
Figuur 5.17	Vergelijking huidige werklijn HR-2006 met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid voor station Lobith.....	97
Figuur 5.18	Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst. (blauw gestippeld = 95%-interval) en rood gestippeld = schatting door normale verdeling met parameters zoals weergegeven in Tabel 5.9.....	98
Figuur 5.19	De uit-geïntegreerde werklijn van de IJssel bij Olst.	99
Figuur 5.20	Huidige werklijn en werklijnen van GRADE (met en zonder statistische onzekerheid) bij Olst.	99
Figuur 5.21	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen.	101
Figuur 5.22	De uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Borgharen.	101
Figuur 5.23	Vergelijking huidige werklijn HR-2006 met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid voor station Borgharen.	102
Figuur 5.24	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen.	103
Figuur 5.25	Uit-geïntegreerde werklijn van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen.....	104
Figuur 5.26	Uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Lith.	105
Figuur 5.27	Huidige werklijn en werklijn van GRADE met en zonder statistische onzekerheid voor station Lith.....	106
Figuur 5.28	Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.....	107
Figuur 5.29	Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het IJsselmeer voor verschillende terugkeertijden.....	108
Figuur 5.30	Uitgeïntegreerde werklijn van het IJsselmeerpeil.....	109
Figuur 5.31	Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.....	110
Figuur 5.32	.Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het Markermeer voor verschillende terugkeertijden.	111
Figuur 5.33	Uit-geïntegreerde werklijn van het Markermeerpeil.	111

Figuur 5.34	Werklijn van de omni-directionele zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief 2,5%, 30%, 70% en 95% percentielen en hun schattingen door de normale verdeling met parameters uit Tabel 5.17.	112
Figuur 5.35	Werklijn en uit-geïntegreerde werklijn zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen.	113
Figuur 5.36	Werklijn van de omni-directionele windsnelheid bij Schiphol, inclusief 2,5%, 30%, 70% en 95% percentielen en hun schattingen door de normale verdeling met parameters uit Tabel 5.18.	114
Figuur 5.37	Uitgeïntegreerde werklijn windsnelheid bij Schiphol.	115

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Waterwet (2009) schrijft voor dat de primaire waterkeringen getoetst moeten worden aan de gestelde veiligheidsnormen. In deze wet is voor de beheerder van een primaire waterkering de verplichting neergelegd iedere twaalf jaar aan de Minister van Infrastructuur en Milieu (I&M) verslag uit te brengen over de toestand van de primaire waterkeringen. De Minister van I&M houdt toezicht op primaire waterkeringen. De veiligheidsnormen waaraan de primaire waterkering moeten voldoen worden nu nog uitgedrukt in normfrequenties of herhalingstijden variërend van 250 tot 10.000 jaar, afhankelijk van het watersysteem en het beschermde gebied (zie Figuur 1.1).

De toetsing wordt uitgevoerd aan de hand van het Wettelijk Toets-Instrumentarium (WTI). Dit WTI bestaat uit twee onderdelen: de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). De HR zijn een weergave van de maatgevende hydraulische belasting op een waterkering bij de wettelijke normfrequentie. Het VTV schrijft voor hoe een waterkering getoetst moet worden voor verschillende faalmechanismen.

De set HR per locatie bestaan uit een combinatie van waterstand (toetspeil) en golfcondities¹ (golfhoogte, -periode en –richting). Daarnaast hoort ook het waterstandsverloop met piekwaarde gelijk aan het toetspeil tot de set HR. De waterstanden en golfparameters worden berekend met behulp van probabilistische Hydra-modellen. Deze probabilistische berekeningen bestaan uit:

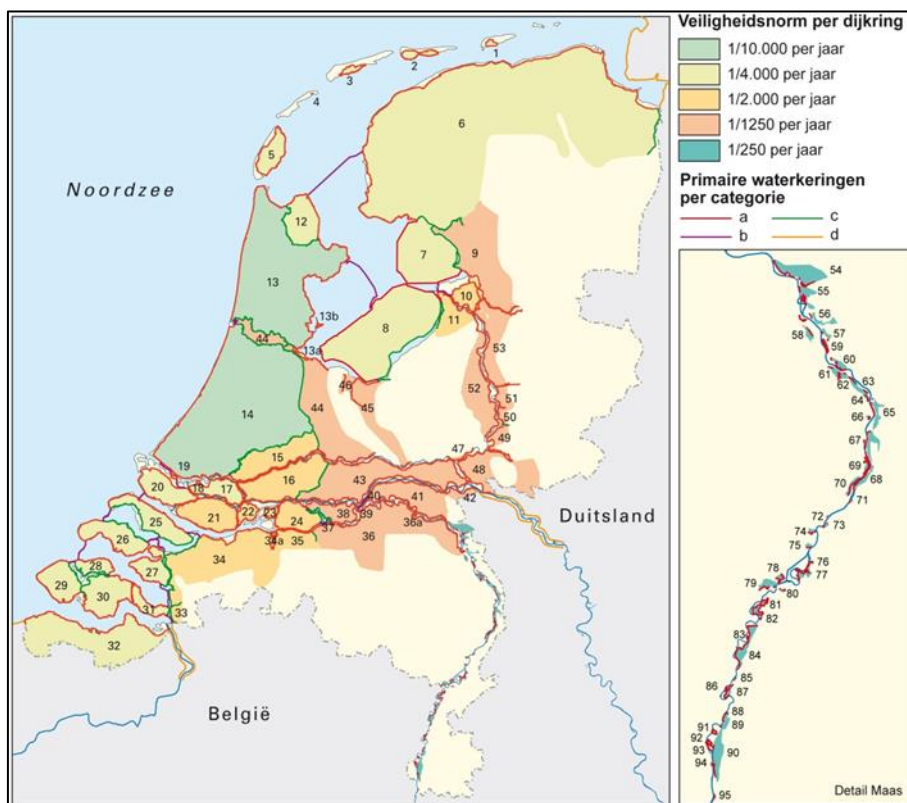
1. de statistiek van de basisstochasten die de belangrijkste variabiliteit van het watersysteem beschrijven,
2. de vertaling van een representatieve set stochastwaarden naar bijbehorende hydraulische belasting bij de teen van de waterkering,
3. de kansberekening voor overschrijding van maatgevende belastingen (waterstanden en/of golfcondities) en
4. eventuele toeslagen voor effecten die nog niet zijn meegenomen in de vorige drie punten/berekeningen.

De statistiek van de basisstochasten (wind, zeewaterstand, afvoer, meerpeil, beheer situatie van de stormvloedkeringen en/of offshore golfcondities) zijn, naast databases met fysica (resultaten productieberekeningen van waterstanden en golfcondities behorende bij combinaties van basisstochastwaarden) en dijkgegevens (profielen, bermen, ed.), essentiële invoer voor de probabilistische berekeningen. Voor elk watersysteem gelden in principe andere basisstochasten.

De huidige HR-2006 gaat uit van de overschrijdingskansbenadering, die kijkt naar de kans op overschrijding van een kritieke belasting voor een tevoren vastgesteld faalmechanisme en (eigenschappen van) waterkeringssectie. In 2017 wordt een overstap gemaakt naar een overstromingskansbenadering. Dit houdt in dat gekeken wordt naar de kans op falen (rekening houdend met meerdere faalmechanismen) van een dijkkring of dijkkringtraject, bestaande uit meerdere waterkeringssecties. Daarnaast wordt in WTI-2017 waarschijnlijk overgestapt op nieuwe veiligheidsnormen.

¹ Er worden twee typen golfcondities bepaald: golfcondities voor het toetsen op hoogte (golfoverslag) en golfcondities voor het toetsen van bekleidingen. Voor beide typen golfcondities gelden verschillende belastingmodellen.

Het doel van WTI-2017 is o.a. het afleiden van de (nieuwe) HR voor de volgende toetsronde. Naast de overstap op de overstromingskansbenadering dient hierbij uitgegaan te worden van de nieuwe veiligheidsnormen. Waar nodig en gewenst dient de statistiek van de basisstochasten geactualiseerd te worden.



Figuur 1.1 Wettelijke normfrequenties voor de primaire keringen in Nederland. In WTI-2017 zullen nieuwe normen worden gehanteerd. Bij gereedkomen van dit rapport waren deze echter formeel nog niet beschikbaar.

In de huidige HR-2006/VTV-2006 en WTI-2011 wordt in beperkte mate rekening gehouden met onzekerheden. Dikwijls wordt gebruik gemaakt van een beste schatting of van een gemiddelde waarde voor onzekere grootheden. Dit geldt voor zowel sterkte- als belastingparameters. Aan de belastingkant wordt bijvoorbeeld alleen rekening gehouden met de natuurlijke variabiliteit (ook wel inherente onzekerheid genoemd) in afvoer, meerpeil, zeewaterstand en wind. Kennisonzekerheden (bijvoorbeeld als gevolg van gebrek aan voldoende data/informatie) worden niet beschouwd. De overstap van overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering is aanleiding om ook een verbetering door te voeren op het punt van omgaan met onzekerheden. In WTI-2017 worden daarom alle relevante onzekerheden worden beschouwd in WTI-2017 en geïmplementeerd in Hydra-Ring, zowel aan de sterkte- als de belastingkant. Het Directoraat Generaal Water en Ruimte (DGRW) van het Ministerie I&M bepaalt uiteindelijk of onzekerheden daadwerkelijk verdisconteerd zullen worden in de nieuwe vast te stellen HR.

Kennisonzekerheden in de belastingen zijn onder te verdelen in statistische- en modelonzekerheden. De statistische onzekerheden zijn gerelateerd aan onzekere coëfficiënten/parameters in de kansverdelingen van de basisstochasten, meestal vanwege

het beperkte² aantal meetgegevens. Modelonzekerheden binnen WTI zijn mogelijke onnauwkeurigheden in de parameterinstellingen (kalibratie), de modelschematisaties en modelinvoer waarmee waarden van de basisstochasten worden vertaald naar lokale belastingen op de waterkering.



Figuur 1.2 Overzicht nieuwe (nog vast te stellen) normen.

Het WTI2017, dat momenteel in ontwikkeling is, zal de mogelijkheid bieden om kennisonzekerheden mee te nemen in de probabilistische berekeningen (de Waal, 2014). Hydra-Ring is het nieuwe probabilistisch instrumentarium dat gebruikt gaat worden voor de probabilistische berekeningen binnen WTI2017. Het ontwerp en de functionaliteit van Hydra-Ring staat beschreven in de Scientific Documentation Hydra-Ring (Diermanse et al, 2013). Hierin staan o.a. beschreven de (wetenschappelijke) achtergronden voor probabilistisch rekenen (rekentechnieken) en de wijze waarop de statistiek, modelonzekerheid, statistische onzekerheid en correlaties van de hydraulische belastingen en sterkteparameters worden behandeld. Het document bevat ook een beschrijving van de faalmechanismen die ingebouwd worden in Hydra-Ring.

Om de kennisonzekerheden in de belastingen mee te nemen in Hydra-Ring moeten deze in kaart gebracht worden. Het afgelopen jaar zijn daarom diverse studies uitgevoerd naar de verschillende typen onzekerheden en mogelijk effect hiervan op de HR (Geerse, 2013;

² De lengte van de meetperiodes is beperkt in vergelijking met de geldende normen. Afvoermetingen bijvoorbeeld zijn beschikbaar voor een periode van 100 jaar; op basis hiervan wordt geëxtrapoleerd naar extreme situaties.

Geerse en Wojciechowska, 2014; Nicolai et al., 2014). O.a. aan de hand van deze studies is vervolgens besloten welke onzekerheden op welke manier in Hydra-Ring zullen worden meegenomen. Ten aanzien van de belastingen worden de resultaten van al deze studies in twee rapporten geïntegreerd: één integraal rapport waarin de statistiek van de basisstochasten wordt beschreven inclusief correlaties en statistische onzekerheden en een tweede rapport over de modelonzekerheden. Onderhavig rapport gaat over de statistiek van de basisstochasten, correlaties en statistische onzekerheid.

1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport gaat in op 1) het beschrijven van de basisstochasten van het belastingmodel dat ten grondslag ligt aan Hydra-Ring inclusief bijbehorende statistieken en 2) de kwantificering van de statistische onzekerheden van de basisstochasten. Eerst wordt duidelijk gemaakt welke basisstochasten voor de verschillende watersystemen en regio's zullen worden gebruikt. Vervolgens worden de kansverdelingen van deze basisstochasten beschreven zoals deze geïmplementeerd gaan worden in Hydra-Ring. In dit rapport wordt tot slot ingegaan op de statistische onzekerheid van de basisstochasten.

1.3 Afbakening

Dit rapport zal slechts zeer summier beschrijven hoe de basisstochasten en bijbehorende statistieken en statistische onzekerheden in Hydra-Ring worden gebruikt in de probabilistische berekeningen. Achtergronden en nadere informatie zijn te vinden in verschillende deelrapporten: (Eilander, 2014a), (Eilander, 2014b), (Klerk, 2014, 2015), (Nicolai et al, 2013), (Geerse en Wojciechowska, 2014) en (van Haaren, 2015).

Naast basisstochasten en statistische onzekerheid is in het kader van WTI-2017 onderzoek gedaan naar modelonzekerheid, deze valt echter buiten de scope van dit rapport en is gerapporteerd in (Chbab en Groeneweg, 2015) en bijbehorende achtergrondrapporten. Ook de uitgangspunten voor de productieberekeningen met hydrodynamische modellen als WAQUA en IMPLIC en golfmodellen als SWAN en Bretschneider vallen buiten de scope van dit rapport. Hiervoor wordt verwezen naar (Smale, 2014). De sterkteparameters en de onzekerheden in deze sterkteparameters maken evenmin onderdeel uit van dit rapport. Hiervoor wordt verwezen naar het Scientific Documentation van Hydra-Ring (Diermanse et al, 2013). De waterstandsverlopen vallen ook buiten de scope van dit rapport. Deze zullen per watersysteem worden afgeleid en in verschillende documenten vastgesteld.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van de belastingmodellen in Hydra-Ring en licht de keuze toe van de basisstochasten voor elk van de deelsystemen.
- Hoofdstuk 3 gaat in op de marginale statistiek van de basisstochasten van Hydra-Ring. De windstatistiek bij verschillende stations en de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith en van de Maas bij Borgharen zijn nieuw en krijgen daarom in dit hoofdstuk bijzondere aandacht.
- Hoofdstuk 4 behandelt de correlaties tussen verschillende basisstochasten.
- Hoofdstuk 5 gaat in op de modellering van de statistische onzekerheid. Per basisstochast is in dit hoofdstuk een schatting gemaakt van de bijbehorende statistische onzekerheid evenals de frequentielijn (ook werklijn genoemd) waarin deze onzekerheid is verwerkt (uit-geïntegreerde frequentielijn). De statistische onzekerheid is als extra stochast toegevoegd aan Hydra-Ring.
- Een samenvatting en de conclusies zijn opgenomen in hoofdstuk 6.

2 Basisstochasten in Hydra-Ring

2.1 Regio's en belastingmodellen

In deze paragraaf wordt de indeling in deelgebieden die gebruikt wordt in Hydra-Ring kort samengevat. Een uitgebreide beschrijving van de structuur van Hydra-Ring is te vinden in (Diermanse et al, 2013) en (Nicolai et al, 2014).

Hydra-Ring onderscheidt 18 regio's, zie Tabel 2.1. Per regio geldt een set basisstochasten, variabelen die de (variatie in) hydraulische belasting bepalen. Daarnaast heeft elke regio een wijze van vertaling van de basisstochasten naar hydraulische belasting op de waterkering. N.B. regio 8 bevat naast het Markermeer zelf ook het IJmeer, IJburg, Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw en de Eem omvat. De Veluwerandmeren horen echter niet tot het Markermeer; de Veluwerandmeren zijn namelijk omringd door keringen van categorie C (en niet A). Regio 17 (Europoort) betreft het gebied aan de buitenzijde van de Europoortkering. Feitelijk maakt de Europoort onderdeel uit van regio 3 en regio 4, maar vanwege de rol van deining en seiches is dit gebied als een afzonderlijke regio gedefinieerd. Merk ten slotte op dat de duinen geen regio zijn maar in Hydra-Ring wel als zodanig zijn aangemerkt: regio 16. Deze regio omvat de duinen langs het hele kustgebied.

Tabel 2.1 Regio's in Hydra-Ring:

1. Bovenrivieren (Rijn)	7. IJsselmeer	13. Hollandse Kust Zuid
2. Bovenrivieren (Maas)	8. Markermeer	14. Oosterschelde
3. Benedenrivieren (Rijn)	9. Waddenzee Oost	15. Westerschelde
4. Benedenrivieren (Maas)	10. Waddenzee West	16. Duinen
5. IJsseldelta	11. Hollandse Kust Noord	17. Europoort
6. Vechtdelta	12. Hollandse Kust Midden	18. Limburgse Maas

Hydra-Ring combineert statistiek van de basisstochasten met een correlatiemodel, en een WAQUA en/of SWAN/Bretschneider model voor de vertaling van stochastwaarden naar een hydraulische belasting bij de teen van de dijk. De manier waarop deze plaats vindt noemen we het belastingmodel. In totaal zijn er zeven typen belastingmodellen. Tabel 2.2 laat zien welke typen belastingmodellen voor welke regio's worden gebruikt.

Tabel 2.2 Belastingmodellen in Hydra-Ring

Belastingmodel	Afkorting	Regio's
Bovenrivierengebied	BOR	1, 2 en 18
Benedenrivierengebied	BER	3, 4 en 17
Vecht en IJssel-delta	VIJD	5 en 6
Kustgebieden (dijken)	Kust	9, 10, 11, 12, 13 en 15
Merengebied	M	7, 8
Oosterschelde (dijken)	OS	14
Duinen	D	16

2.2 Basisstochasten per regio/watersysteem

In Tabel 2.3 hieronder zijn de basisstochasten voor de verschillende watersystemen weergegeven. De stochasten gerelateerd aan de toestand van de afsluitbare keringen

(Europoort-, Ramspol- en Oosterscheldekering) zijn niet in deze tabel opgenomen. Deze discrete stochasten beschrijven twee mogelijk toestanden van het systeem: kering open of kering dicht. In het belastingmodel worden beide toestanden apart beschouwd en vervolgens met de bijbehorende kans van optreden in de probabilistische berekening beschouwd.

Het belastingmodel voor regio 17 (Europoort) is gelijk aan die voor regio 3 (benedenrivieren Rijn). Er is echter een verschil in de manier waarop de Europoortkering wordt meegenomen. De Europoortkering zou bij maatgevende omstandigheden gesloten moeten zijn. De kans op falen van de kering is klein en het effect van een geopende kering op de waterstanden aan de zeezijde van de kering is minimaal. De bijdrage van deze situaties aan de maatgevende omstandigheden in regio 17 is daarom verwaarloosbaar en de kering hoeft niet als stochast meegenomen te worden. Voor regio 3 is dat niet zo. Een falende kering heeft een groot effect op de waterstanden aan de binnenzijde en deze situatie (hoe klein de kans hierop ook is) moet beschouwd worden in de probabilistische berekening.

Het belastingmodel voor regio 18, de Limburgse Maas is identiek aan dat voor regio 2; dit geldt ook voor de basisstochasten. De indeling van de Maas in 2 regio's heeft te maken met de aanwezigheid van de kades en de mogelijkheid dat deze kunnen overstromen. Bij de productie zijn om die reden 2 situaties beschouwd: de situatie waarbij de kades overstromen en de situatie zonder overstromen van de kades. In dit laatste geval worden de kades oneindig hoog beschouwd.

Zoals hierboven vermeld, zijn de duinen langs de hele kust ingedeeld in één regio: regio 16. Het faalmechanisme duinafslag is één van de faalmechanismen waarvoor binnen het WTI-2017 toetsmethoden worden ontwikkeld ten behoeve van het VTV-2017. Het belastingmodel voor duinen levert de hydraulische randvoorwaarden voor het duinafslagmodel DUROS+. Dit model is beschreven in het Technisch Rapport Duinafslag 2006 (TRDA2006) (ENW, 2007). Het gebruik van het model DUROS+ is in een aantal opzichten bepalend voor de manier waarop de HR voor duinen worden afgeleid. Het betreft hierbij de waterstand en golven bij verschillende herhalingstijden (hoofdstuk 3).

Tabel 2.3 Basisstochasten per regio in Hydra-Ring (zonder keringen).

Regio	Naam basisstochast	Regio	Naam basisstochast
1	Windrichting (16 richtingen)		Waterstand Den Oever
	Rijnafvoer Lobith		Waterstand Huibersgat
	Windsnelheid Deelen		Waterstand West Terschelling
2, 18	Windrichting (16 richtingen)		Windsnelheid West Terschelling
	Maasafvoer ³ Lith	11	Windrichting (12 richtingen)
	Maasafvoer Borgharen		Waterstand Harlingen
Windsnelheid Deelen	Waterstand Den Helder		
3, 17	Windrichting (16 richtingen)		Waterstand IJmuiden
	Rijnafvoer Lobith		Waterstand Den Oever
	Waterstand Maasmond (MM)		Waterstand West Terschelling
	Windsnelheid Schiphol		Waterstand IJmuiden extra
4, 17	Fout in waterstandsvoorspelling MM		Windsnelheid De Kooy (DH)
	Windrichting	12	Windrichting (12 richtingen)
	Maasafvoer Lith		Waterstand Den Helder
	Waterstand Maasmond (MM)		Waterstand IJmuiden
Windsnelheid Schiphol	Waterstand Hoek van Holland		
5	Windrichting (16 richtingen)		Waterstand IJmuiden extra
	IJsselafvoer Olst		Windsnelheid IJmuiden
	Waterstand IJsselmeer	13	Windrichting (12 richtingen)
Windsnelheid Schiphol	Waterstand Den Helder		
	Waterstand IJmuiden		
6	Windrichting (16 richtingen)		Waterstand Hoek van Holland
	Discharge Dalfsen		Waterstand Vlissingen
	IJsselmeerpeil		Waterstand Oosterschelde buiten
7	Windrichting (16 richtingen)		Windsnelheid Hoek van Holland
	IJsselmeerpeil	14	Windrichting (12 richtingen)
	Windsnelheid Schiphol		Waterstand OS11
	Windsnelheid Vlissingen		
8	Windrichting (12 richtingen)		Fout in waterstandsvoorspelling OSK
	Markermeerpeil		Duur van de opzet
	Windsnelheid Schiphol		Faseverschil tussen opzet en getij
9	Windrichting (12 richtingen)	15	Windrichting (12 richtingen)
	Waterstand Lauwersoog		Waterstand Vlissingen
	Waterstand Harlingen		Waterstand Hansweert
	Waterstand Delfzijl		Waterstand Vlissingen extra
	Waterstand Huibersgat		Windsnelheid Vlissingen
	Waterstand West Terschelling		
Windsnelheid West Terschelling	16	Windrichting (12 richtingen)	
		Waterstand duinen (verschillende stations)	
		Golfhoogte H_s duinen	
		Golfperiode T_p duinen	
10	Windrichting (12 richtingen)		
	Waterstand Lauwersoog		
	Waterstand Harlingen		
	Waterstand Den Helder		

De golfhoogte H_s en de golfperiode T_p voor regio 16 (duinen) zijn random grootheden maar gelden niet als onafhankelijke stochasten. De golfhoogte is namelijk gekoppeld aan de zeewaterstand en de golfperiode is gekoppeld aan de golfhoogte, zie paragraaf 3.7.

³ Borgharen geldt voor bovenstroomse delen van de Maas, o.a. Limburgse Maas, en Lith voor benedenstroomse locaties van de Maas.

2.3 Andere kandidaten voor basisstochasten

Naast de variabelen die in de vorige paragraaf als basisstochasten zijn benoemd, zijn er andere variabelen en onzekere parameters in de belastingmodellen die in aanmerking zouden kunnen komen om als basisstochasten in de probabilistische berekening te worden meegenomen. Een aantal van deze parameters bepalen in belangrijke mate de uitkomsten van de productieberekeningen (voor waterstanden en golven). In het huidige HR-2006/WTI-2011 worden deze nog deterministisch meegenomen. Er wordt voor deze onzekere parameters een beste schatting gemaakt en die waarde wordt aangehouden. Als de waarde echter kan variëren of onzeker is en deze variatie/onzekerheid bovendien invloed heeft op de HR, dan kan het verstandig zijn om deze parameter als stochast in de berekening mee te nemen.

In het kader van WTI-2017 heeft een heroverweging plaatsgevonden waarbij gekeken is of enkele van deze parameters in de belastingmodellen als stochast meegenomen zouden kunnen worden in Hydra-Ring, zie (Nicolai et al, 2014). Een variabele of onzekere modelparameter als stochast meenemen levert in principe een nauwkeuriger schatting van de maatgevende belasting. Een grootte als stochast opnemen betekent echter ook dat het model Hydra-Ring gecompliceerder wordt, met mogelijk langere rekentijden. Ook zal het betekenen dat er extra productiesommen moeten worden gemaakt. De overweging om een parameter wel of niet als stochast op te nemen wordt gebaseerd op een inschatting of de variatie van deze variabele een invloed heeft op de HR die van een dezelfde orde is als de bestaande basisstochasten. Als deze invloed veel kleiner is of het toevoegen van extra stochasten aanleiding geeft om de productiesommen opnieuw te maken (met uitzondering van het rivierengebied) dan loont het niet om de parameter stochastisch te behandelen. Het resultaat van de probabilistische aanpak (meenemen als stochast) zal dan weinig afwijken van het resultaat van een deterministische aanpak (beste schatting) of zal de vereiste inspanning buiten de projectkaders (planning en kosten) vallen.

De parameters die beschouwd zijn in de heroverweging zijn de volgende:

1. Stormduur (duur van de wind),
2. Stormopzetduur (duur van de stormopzet als volg van de wind) en getijfasen
3. Bodemschematisatie voor WAQUA,
4. Laterale toestromingen,
5. Splitsingspunten Pannerdensche Kop en IJsselkop
6. Bodemschematisatie voor SWAN,
7. Bodemhoogte en strijklengte voor golfgegevens Bretschneider,
8. Getijfase (tijdsverschil tussen astronomisch hoogwater en (rechte) stormopzet,
9. Fout in waterstandsvoorspellingen,
10. Golfvorm afvoer
11. Seiches

De parameters en de gemaakte overwegingen zullen in de volgende paragrafen beschreven worden.

2.3.1 Stormduur

De stormduur (de tijd dat een hoge windsnelheid aanhoudt) is een variabele die van nature varieert. De windsnelheid bepaalt in de Hydra modellen de windopzet op de grote meren en de golfbelasting op de waterkeringen. Een langere stormduur kan tot gevolg hebben dat de windopzet groter en de golven tijdens een hoogwater hoger kunnen worden. In het huidige HR-2006 wordt stormduur nergens als stochastische variabele meegenomen in het

belastingmodel.. Het afgelopen jaar is bekeken of dit in WTI-2017 voor bepaalde regio's gedaan zou moeten worden.

Voor de regio's 1, 2 en 18 (Bovenrivieren) speelt de stormduur geen rol in het belastingmodel, noch in WAQUA noch in Bretschneider. Voor de regio's 3 t/m 8 (Benedenrivieren, Vecht- en IJsseldelta, IJsselmeer en Markermeer) is voor de stormduur in de huidige Hydra's een beste schatting gemaakt. Voor deze regio's is bekeken welke invloed de stormduur als stochast zou hebben op de waterstanden:

- Voor regio 3 en 4 (Benedenrivieren) is bekend dat de wind (hoogte en duur) weinig invloed heeft op de berekende waterstanden (zie Bijlage 2 uit (Geerse, 2003)). De waterstanden in het gebied worden, behalve door de afvoer en de keringtoestand, bepaald door de stormvloed, die ook zonder wind de waterstanden verhoogt. Het effect van (westelijke) wind is slechts dat de stormvloed dan, door interne windopzet in het gebied, voor nog hogere waterstanden zorgt; de stormvloed 'op zichzelf' is echter veel bepalender voor de waterstanden in het gebied dan het additionele effect van de wind. Vandaar dat het stochastisch meenemen van de stormduur naar verwachting een beperkt effect heeft.⁴
- Voor regio 5 en 6 (Vecht-IJsseldelta) kan in het huidige probabilistisch model Hydra-Zoet de stormduur al probabilistisch (d.w.z. als stochast) meegenomen worden. Voor de Vecht-IJsseldelta heeft Geerse (2004) het effect hiervan onderzocht. Dat bleek zeer beperkt: een vaste, goed gekozen stormduur, levert vrijwel dezelfde toetspeilen als het stochastisch verwerken van verschillende duren (incidenteel slechts centimeters verschil).
- Voor regio 7 en 8 (IJsselmeer en Markermeer) is bekend dat de meren vrij snel reageren op een verandering van de wind (Chbab, 2012). De duur van de wind heeft daardoor weinig invloed op de (maximale) waterstanden. Als iedere duur (vrijwel) dezelfde waterstanden levert, voegt het weinig toe om verschillende duren van de wind stochastisch mee te nemen;

Voor de golven, opgewekt door de wind, geldt het volgende:

- Voor regio 5 t/m 8 (Vecht-IJsseldelta, IJsselmeer en Markermeer) is de verwachting dat de golfgroei heel direct reageert op de wind (nog sneller dan de waterstand). N.B. de productieberekeningen met SWAN worden stationair gemaakt. Het stochastisch verwerken van de stormduur voegt mede daarom waarschijnlijk niets toe.
- Voor regio 3 en 4 (Benedenrivieren) en de kustgebieden geldt eveneens dat de golven snel reageren op de wind, zodat in dat opzicht kortere en langere duren van de wind niet direct van invloed zijn op de golfgegevens. Hier speelt echter een ander aspect, namelijk dat tot dit moment in het belastingmodel (in zowel Hydra-Ring en Hydra-Zoet) de maximale waterstand op een locatie wordt gecombineerd met de maximale windsnelheid boven het gebied. Veelal zal bij het bereiken van de maximale lokale waterstand de wind al geluwd zijn. Vooral op het Haringvliet en Hollandsch Diep kan dit tot een overschatting van de golven leiden. Volgens een gevoeligheidsonderzoek kan de benodigde kruinhoogte daardoor wel overschat worden (Geerse en Slootjes, 2007). NB: Voor het Benedenrivierengebied zijn de tijdverschillen tussen de maximale wind en

⁴ De stormvloed is op zee uiteraard opgewekt door de wind, maar in het belastingmodel voor de benedenrivieren komt de wind boven de Noordzee niet voor; alleen de wind boven de benedenrivieren komt in het model voor.

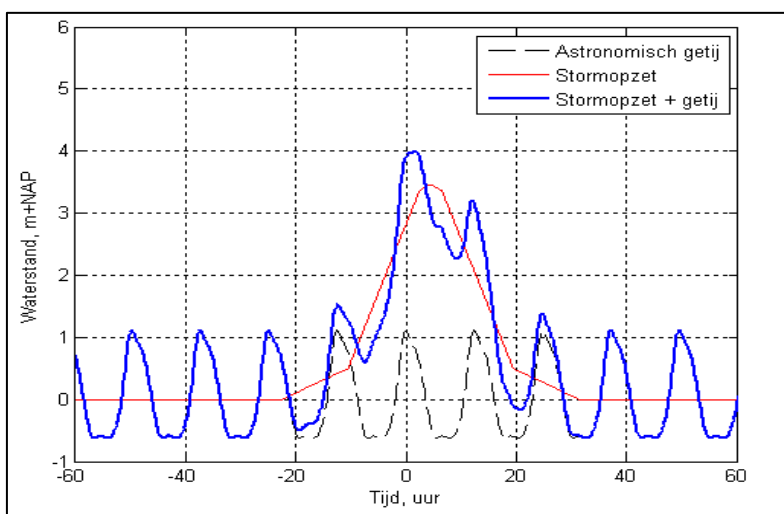
de maximale waterstand groter dan voor de kust (een getijperiode vs. enkele uren). Daarom is de invloed van de aanname over dit tijdsverschil voor de benedenrivieren veel relevanter dan voor de kust.

Gelet op het bovenstaande dient, voordat in het Benedenrivierengebied (eventueel) de stormduur stochastisch meegenomen kan worden, eerst in het belastingmodel rekening te worden gehouden met de tijdsverschillen tussen maximale wind en maximale waterstand. Pas als dat is gebeurd, kan worden gezien of voor de golven de stormduur stochastisch meegenomen moet worden. Het lijkt niet uitgesloten dat het stochastisch verwerken van stormduur tot hogere hydraulische belastingniveaus leidt, omdat bij langere stormduren de kans op samenvallen van hoge windsnelheden en hoge waterstanden toeneemt. Dit onderzoek past echter niet binnen de kaders (planning en financiën) van het WTI-2017 project.

Gelet op het bovenstaande wordt geconcludeerd dat er geen aanleiding is om de stormduur als stochast mee te nemen. De stormduur zal daarom in WTI-2017 deterministisch worden behandeld voor alle regio's. -

2.3.2 Stormopzetduur en getijfase

De stormopzetduur is de duur van de opzet, veroorzaakt door storm boven de Noordzee. Dit is niet hetzelfde als de stormduur (vorige paragraaf). In HR2006 wordt de stormopzetduur deterministisch (als een vaste waarde) behandeld, behalve voor regio 14 (Oosterschelde), waar de stormopzetduur lognormaal verdeeld is met een gemiddelde van 54,3 uur en een standaardafwijking van 18,8 uur (RWS, 2001; Vrouwenvelder en Steenberg, 2007). Deze kansverdeling is afgeleid voor de meest ongunstige windrichting (NW), maar er wordt aangenomen dat dezelfde verdeling toepasbaar is voor alle windrichtingen. In werkelijkheid zal de stormopzetduur voor andere windrichtingen dan NW korter zijn. Bovendien is het bij andere windrichtingen minder waarschijnlijk dat de kering sluit, waardoor de stormopzetduur minder belangrijk is. Ook de getijfase wordt in deze regio als stochast behandeld met een uniforme kansverdeling tussen -6,2 en +6,2 uur.



Figuur 2.1 Een waterstandsverloop (blauwe lijn) te Maasmond, bestaande uit de superpositie van rechte stormopzet en astronomisch getijverloop met een faseverschil van $\varphi = -4,5$ uur.

Voor bijna alle overige regio's speelt de stormopzetduur geen rol of wordt deterministisch meegenomen. Voor de regio's 1, 2 en 18 is de stormopzetduur niet relevant, omdat de zee (tijdens verhoogde afvoeren) daar geen invloed heeft. Ook voor de Vecht- en IJsseldelta evenals het IJsselmeer en het Markermeer is de stormopzetduur niet relevant, omdat de windopzet daar wordt berekend op basis van de stormduur van de wind. Voor de zoete wateren is de stormopzetduur alleen relevant voor regio 3 en 4 (Benedenrivieren).

In Tijssen (2010) is onderzocht of het de moeite loont de stormopzetduur bij Hoek van Holland stochastisch mee te nemen in de probabilistische berekeningen voor het benedenrivierengebied. De conclusie was dat het meenemen van stormopzetduur als stochast weinig effect heeft. De effecten van de kortere en langere opzetduren middelen grotendeels uit. Bij het hanteren van de vaste duur van 30 uur (basisniveau 0,5 m), wordt incidenteel het toetspeil slechts enkele centimeters onderschat.

Behalve de stormopzetduur is voor de regio's 3 en 4 ook de getijfase (tijdsverschil tussen astronomisch hoogwater en rechte stormopzet) van belang. Voor de WTI-2011 productieberekeningen wordt een trapeziumvormig verloop van de rechte opzet aangenomen (Chbab, 2012b), zie de rode lijn in Figuur 2.1. Daarbij wordt aangenomen dat het maximum van de opzet 4,5 uur ná astronomisch hoogwater valt. In dit geval spreekt men van een fase $\varphi = -4,5$ uur. De faseverschuiving van -4,5 uur is gebruikt voor de afleiding van HR-2006. De keuze van -4,5 uur is gebaseerd op de nota van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging (1984) en het onderzoek naar de wisselwerking tussen opzet en verticaal getij door De Ronde (1985). In (Chbab, 2010) is uitvoerig onderzocht welke fases tijdens stormen het meest voorkomen. Hierbij zijn metingen (stormopzet en getij) gebruikt uit de periode⁵ 1976-2006. Hieruit blijken vooral fases rond de -4,5 uur en 3,0 uur vaker op te treden, terwijl fases rond de 0,0 uur veel minder vaak voorkomen. Omdat enerzijds voor fases nabij -4,5 en 3,0 uur in beide gevallen sprake is van een vergelijkbaar breed verloop van de zeewaterstand en anderzijds de fase van -4,5 uur de hoogste frequentie van optreden heeft (Chbab, 2010), mag worden aangenomen dat de deterministische waarde van $\varphi = -4,5$ uur een goede (en veilige) keuze is. Deze keuze is in WTI-2011 voorgelegd aan en is geaccepteerd door ENW. Het mogelijk effect van stochastische meenemen van het faseverschil is niet onderzocht en dus niet bekend. N.B. het is op voorhand niet uit te sluiten dat het faseverschil tussen het tijdstip van de maximale opzet en het astronomische getij random is met een homogene verdeling, waarschijnlijk uniform, en dat het gevonden faseverschil volledig te verklaren is door opzet-getij interactie. Dit aspect is niet onderzocht en valt buiten de scope van dit rapport.

Op basis van het bovenstaande wordt de huidige aanpak met betrekking tot stormopzetduur en faseverschil met getijverloop aangehouden. Dat betekent dat alleen in regio 14 (Oosterschelde) de stormopzet en het faseverschil tussen het astronomische getij als stochasten worden beschouwd.

2.3.3 Bodemschematisatie en ruwheden voor WAQUA

Het hydrodynamische model WAQUA wordt gebruikt voor de vertaling van realisaties van de basisstochasten naar waterstanden bij de te toetsen waterkering. De waarden van de basisstochasten fungeren als randvoorwaarden voor een WAQUA-simulatie. De resultaten

⁵ Deze meetperiode is veel langer dan de meetperiode die in de nota Waterhuishouding en Waterbeweging is gebruikt. De in deze nota gebruikte meetperiode is in (Chbab, 2010) verlengd met de meetjaren 1986-2006.

van het WAQUA-model zijn echter onzeker als gevolg van onzekerheden in de bodemschematisatie en de ruwheden. Er is gekeken hoe deze onzekerheden meegenomen zouden kunnen worden in Hydra-Ring.

De conclusie is dat het meenemen van deze onzekerheden als basisstochasten vanwege praktische redenen niet doenlijk is. Het aantal manieren waarop de schematisatie kan worden gevarieerd is oneindig groot. Ook het meenemen van de ruwheid als discrete stochast (via de ruwheidsklassen) zorgt voor enorm veel extra werk. Immers, voor iedere mogelijke trekkingswaarde van de ruwheidsklasse moet een WAQUA-model worden gekalibreerd en gevalideerd.

Om bovengenoemde praktische redenen worden de onzekerheden in modelschematisaties en ruwheden niet expliciet meegenomen in het belastingmodel. Er is voor gekozen om de onzekerheid van het WAQUA-model mee te nemen via een achteraf toegevoegde modelonzekerheid in de lokale waterstand (Chbab en Groeneweg, 2015).

2.3.4 Laterale toestromingen

In de WAQUA-berekeningen worden meerdere kleine en een aantal grote laterale toestromingen aangenomen. Ook hiervoor is bekeken of deze als stochast meegenomen zouden moeten of kunnen worden in Hydra-Ring.

Een snelle inventarisatie (zie Chbab en Groeneweg, 2015) leert dat het effect van de variatie van de veelal kleine lateralen te verwaarlozen is. De onzekerheden van enkele grotere lateralen worden meegenomen via de modelonzekerheid in de lokale waterstanden.

2.3.5 Splitsingspunten Pannerdensche Kop en IJsselkop

De afvoerverdeling op de splitsingspunten (Pannerdensche Kop en IJsselkop) in het WAQUA Rijntakkenmodel is een andere onzekere parameter. In (Geerse, 2013) is onderzocht wat de invloed is op de waterstanden van het meenemen van onzekerheden in deze afvoerverdeling en hoe deze als extra stochast geïmplementeerd zou moeten worden. Het meenemen van deze onzekerheden als basisstochasten betekent een zeer ingrijpende aanpassing van Hydra-Ring en een enorme toename van het aantal productiesommen. Daarom is besloten om deze onzekerheden via modelonzekerheid in de lokale waterstand mee te nemen (Chbab en Groeneweg, 2015).

2.3.6 Bodemschematisatie voor SWAN

Om de wind (basisstochast) te vertalen naar golfcondities bij de te toetsen waterkering wordt het model SWAN gebruikt. De modelparameters en bodemschematisatie van SWAN zijn een bron van onzekerheid voor de modelresultaten. Er is gekeken hoe deze onzekerheden meegenomen zouden kunnen worden in Hydra-Ring. Gezien het tijdpad voor WTI-2017 is niet haalbaar om deze onzekerheden als basisstochasten mee te nemen. De onzekerheden van het SWAN model worden daarom meegenomen als overall modelonzekerheden in golfhoogte, golfperiode en golfrichting die achteraf worden toegepast (Chbab en Groeneweg, 2015).

2.3.7 Bodemhoogte en strijklengte voor golfgegevens Bretschneider

Voor de bovenrivieren wordt het Bretschneider model gebruikt om de wind te vertalen naar golfcondities bij de te toetsen waterkering. Onzekere parameters in dit model zijn de effectieve strijklengte en de gemiddelde bodemhoogte. Ook hiervoor geldt dat deze

onzekerheden in Hydra-Ring meegenomen zullen worden als stochastische onzekerheid die achteraf wordt toegepast op de modelresultaten: golfhoogte, golfperiode en golfrichting (Chbab et al, 2014).

2.3.8 Waterstandsverwachtingen

Waterstandsverwachtingen gegenereerd door modellen zijn nodig voor de aansturing van de stormvloedkeringen in de Oosterschelde, regio 14, en de Nieuwe Waterweg, regio 3 en 4. De stormvloedkeringen worden gesloten op basis van deze onzekere verwachtingen⁶. Een onnauwkeurigheid in de verwachting kan leiden tot niet (tijdig) sluiten van de kering bij een waterstand waarbij dit wel nodig zou zijn. Dit heeft een effect op de maatgevende waterstanden achter de kering. De onzekerheid in de waterstandsverwachtingen kunnen in de berekening meegenomen worden door rondom de voorspelde maximale waterstand een stochastische afwijking aan te nemen. In Hydra-Ring wordt deze afwijking gemodelleerd als een normaal verdeelde stochast voor beide keringen: de Europoortkering en de Oosterscheldekering.

2.3.9 Golfvormen

De huidige HR voor de regio's 1, 2 en 18 worden berekend op basis van een gemiddelde (standaard) afvoergolf. Voor de Rijn is sprake van een vrij brede standaard afvoergolf, die weinig topvervlakking kent (Geerse, 2013). Dit geldt ook voor de Maas benedenstrooms van Lith. Bovenstrooms van Lith ligt dat anders. Bekend is namelijk dat bij Borgharen zowel smalle als brede golfvormen voorkomen. De smalle golven zakken benedenstrooms echter sterk in door de aanwezigheid van buitendijkse plassen op dit traject en het overstroomen van kades, zodat nabij Lith de extreme waterstanden vooral door de brede golven te Borgharen worden bepaald. Ook de inzet van retentiebekkens langs de Maas kan zorgen voor veranderingen in de golfvorm. Dit maakt dat de golfvorm mogelijk als stochast meegenomen zou moeten worden voor het bovenstroomse deel van regio 2 en (delen van) regio 18. Vanwege het beperkte aantal productieberekeningen voor deze regio lijkt dit een realistische optie. De vraag is echter hoe dit geïmplementeerd moet worden in Hydra-Ring en wat de consequenties hiervan zijn. Op basis van (Geerse, 2013) wordt vooralsnog besloten om de afvoergolf niet als basisstochast mee te nemen in Hydra-Ring. Omdat het realistisch lijkt om in een later stadium (volgende WTI of andere toepassingen) over te stappen naar het meenemen van de golfvorm van de Maas bij Borgharen als basisstochast zullen al wel 5 verschillende afvoergolven beschouwd in de productieberekeningen.

Voor de regio's 3 en 4 speelt de golfvorm geen rol; de productieberekeningen worden met permanente afvoer gemaakt. De productieberekeningen voor de regio's 5 en 6 (Vecht- en IJsseldelta) worden deels stationair uitgevoerd en deels niet. Alleen afvoergolven bij Olst met een piekwaarde lager dan 2300 m³/s worden stationair doorgerekend. Bij afvoeren hoger dan 2300 m³/s wordt de golfvorm beschouwd omdat bij dergelijke hoge afvoeren de verbindende kering tussen Kampen en Ramspol overstroomt. Als hiervoor een stationaire afvoer zou worden aangenomen, zou er teveel water naar het Kampereiland stromen met waarschijnlijk hoge waterstanden langs het Zwarte Meer tot gevolg (Janssen en Van Ledden, 2005).

2.3.10 Seiches

Seiches zijn zogenoemde lange golven, opgewekt door meteorologische effecten rondom koufrontpassages en tijdens instabiele weercondities (de Jong, 2004). Dergelijke meteorologische condities kunnen leiden tot grootschalige circulatiepatronen

⁶ Waterstandsvoorspelling geldt niet als basisstochast in de zin dat er mee wordt gevarieerd in de productieberekeningen; de waterstandsvoorspelling wordt enkel gebruikt voor de beheertoestanden van de stormvloedkering en wordt statistisch verwerkt in Hydra-Ring.

(convectiecellen) die fluctuaties in de wind veroorzaken met tijdschalen van ca. 30 minuten en hoger die de slingeringen als gevolg hebben van orde decimeters.

In het huidige WTI wordt alleen in het Europoortgebied een seiche-toeslag toegepast. Ook in andere gebieden (IJmuiden, IJsselmeer, Dollard) kunnen in principe seiche-achtige verschijnselen optreden, maar deze worden in de huidige aanpak niet beschouwd. De amplitudes en de periodiciteit van het signaal is minder duidelijk en vereist daarom nader onderzoek. Ook zijn de seiche-opwekkende mechanismen in deze gebieden niet helder genoeg. In WTI-2017 zullen daarom vooralsnog alleen voor het Europoortgebied seiches toeslagen meegenomen worden.

Seiches worden in de huidige HR bepaling verdisconteerd als deterministische toeslagen voor $T = 4000$ en $T = 10.000$ jaar. Hierbij geldt de referentiestatistiek bij Rozenburgsesluis (ROZ) als basisinvoer; de referentiestatistiek wordt echter niet als basisstochast beschouwd, in de zin dat er mee gevarieerd wordt in de productieberekeningen. Het vertalen van de referentietoeslagen naar seichetoeslagen voor verschillende locaties in het Europoortgebied gebeurt door middel van het PHAROS (Program for HARbour Oscillations) model. Dit recept blijft in principe gehandhaafd in WTI-2017. Echter, de overstap op een meer geavanceerde veiligheidsfilosofie die gebaseerd is op overstromingskansen in plaats van overschrijdingskansen, maakt het noodzakelijk dat seichestoeslagen worden berekend voor het hele bereik van seiches (en bijbehorende terugkeertijden), waarbij rekening dient te worden gehouden met de nieuwe veiligheidsnormen. Daarnaast zal rekening worden met onzekerheden, zie paragraaf 5.5.5.

3 Statistiek basisstochasten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een beschrijving van de statistiek van de basisstochasten zoals genoemd in paragraaf 2.2. De statistiek van de basisstochasten in WTI-2017 komt overeen met de vigerende statistiek uit HR-2006 of WTI-2011 met uitzondering van de windstatistiek en de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith en van de Maas bij Borgharen. Binnen WTI-2017 wordt de nieuwe windstatistiek toegepast die in het kader van SBW is afgeleid (Caires, 2009) in plaats van het bestaande Rijkooort-Weibull windmodel (Rijkooort, 1983). De afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith en die van de Maas bij Borgharen worden bepaald met de Generator of Rainfall And Discharge Extremes, GRADE (Passchier et al, 2014), (Hegnauer et al, 2014) en (Prinsen et al, 2015).

3.2 Afvoerstatistiek

3.2.1 Statistiek Rijn bij Lobith

De afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith zoals berekend met GRADE is uitvoerig beschreven in (Hegnauer et al, 2014) en (Prinsen et al, 2015). Met GRADE kunnen verschillende varianten worden doorgerekend: de situatie waarbij wel/geen overstromingen in de bovenstroomse delen van het stroomgebied worden beschouwd al dan niet in combinatie met noodmaatregelen om die overstromingen te beperken. De variant waarbij geen rekening wordt gehouden met en noodmaatregelen in Duitsland zou een onderschatting van de waterstanden bij Lobith kunnen geven omdat verwacht wordt dat bij extreem hoogwater op de Rijn in Duitsland noodmaatregelen getroffen zullen worden. Dit wordt als onvoldoende conservatief beoordeeld. Voor toepassing binnen WTI-2017 is daarom, na overleg met Rijkswaterstaat en ENW, gekozen voor de variant met overstromingen en eventuele inzet van noodmaatregelen in Duitsland. Deze variant wordt als voldoende conservatief beschouwd (door ENW). Bij de berekeningen met GRADE voor deze variant is daarnaast rekening gehouden met onzekerheden in klimaat, hydrologie en hydraulica (SOBEK). Onzekerheden in het SOBEK-model omvatten het al dan niet treffen van noodmaatregelen om overstromingen in Duitsland, de dijkhoogtes, het bergend volume achter de dijken, het al dan niet bezwijken van de dijken en de bodemfrictie; voor meer details wordt verwezen naar (Prinsen et al, 2015).

Zoals hierboven gemeld kunnen met GRADE ook berekeningen worden gemaakt voor de situatie zonder overstromingen in bovenstroomse delen van het stroomgebied (aanneme van oneindig hoge dijken in SOBEK). De resultaten van deze berekening zijn echter te conservatief. Onder andere op advies van ENW worden de GRADE uitkomsten met deze variant niet gebruikt, en deze zijn daarom niet opgenomen in dit rapport.

De uitkomsten van GRADE met de variant met overstromingen in Duitsland in combinatie met noodmaatregelen zijn beschreven in Tabel 3.1 en Figuur 3.1. Ter vergelijking zijn in de laatste kolom van Tabel 3.1 de afvoeren⁷ zoals in het kader WTI-2011 berekend met de huidige extrapolatiemethode opgenomen. Voor een terugkeertijd van 1250 jaar wordt met GRADE een afvoer bij Lobith berekend van 14970 m³/s (niet afgerond). Hierbij geldt een spreiding van 640 m³/s en een 95%-betrouwbaarheidsinterval van [13720, 16230 m³/s]. Merk op dat op

⁷ Het betreft afvoeren berekend met de huidige extrapolatiemethode op basis van afvoermetingen bij Lobith vanaf 1901 t/m 2008 (bron (Tijssen, 2009)). Deze afvoeren zijn beschikbaar voor een beperkt aantal of andere terugkeertijden.

basis van huidige (Boertien) extrapolatiemethode een afvoer bij Lobith wordt berekend van 15700 m³/s bij Lobith en dat de huidige maatgevende afvoer 16.000 m³/s bedraagt (beleidskeuze). De 95% onzekerheid van deze waarde is geschat op 2500 m³/s (Van de Langemheen en Berger, 2002). De afvoer berekend met GRADE voor een herhalingstijd van 1250 jaar is aanzienlijk lager dan de huidige maatgevende afvoer van 16000 m³/s. Een afvoer van 16000 m³/s komt volgens de GRADE methode gemiddeld eens in ca. 7500 jaar voor (in plaats van 1250 jaar volgens de huidige extrapolatiemethode).

Figuur 3.1 laat zien dat vanaf afvoeren van ca. 12000 m³/s een afvlakking optreedt. Deze afvlakking is niet aanwezig in de 'werklijn' waarop de huidige maatgevende afvoer uit HR-2006 is gebaseerd. Verder valt op dat voor afvoeren met herhalingstijden tussen 50 en 100 jaar een knik te zien is in de onzekerheidsband. Dit heeft er zeer waarschijnlijk mee te maken dat rond dit afvoerniveau (i.e. rond de 12000 m³/s, zoals ook te zien in Figuur 3.1) de eerste overstromingen optreden in Duitsland. Hierdoor kunnen kleine aanpassingen van de modelparameters in GRADE er voor zorgen dat het net wel, of juist net niet gaat overstromen. Voor lagere afvoeren doen dergelijke aanpassingen er feitelijk niet toe, want dan overstroomt het in ieder geval niet in Duitsland. Voor hogere afvoeren kunnen kleine aanpassingen er wel voor zorgen dat het lokaal niet (of wel) gaat overstromen, maar doordat de afvoer zo hoog is kan een dergelijke aanpassing worden gecompenseerd door het volgende overstromingsbakje dat dan wel (of niet) gaat overstromen. Voor de afvoer bij Lobith maakt het in feite niet uit waar het water over de dijk loopt en dus leidt dit dan tot kleinere verschillen en dus een kleinere toename van de onzekerheid.

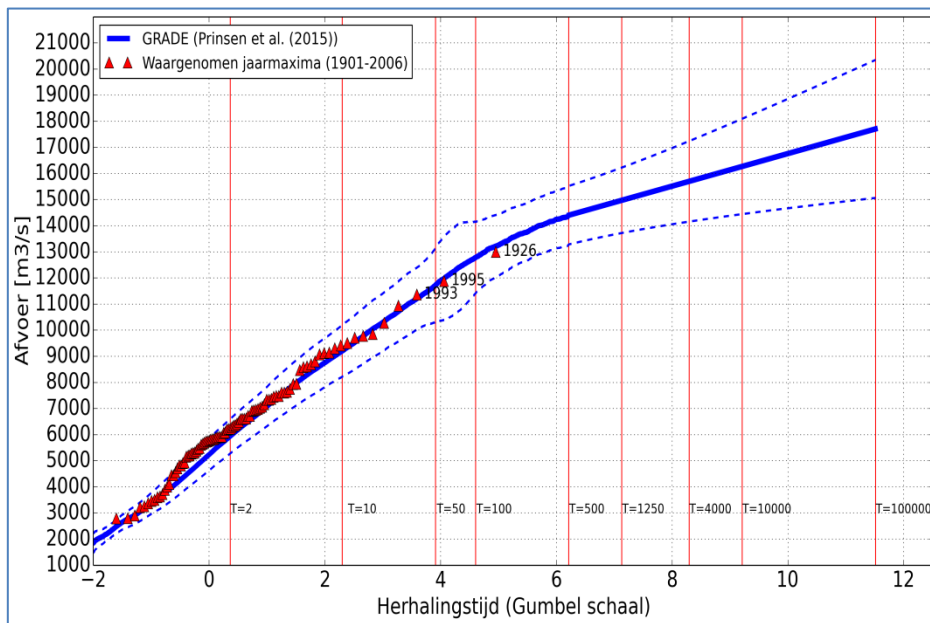
Tabel 3.1 Afvoeren van de Rijn bij Lobith inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie met overstromingen in Duitsland in combinatie met noodmaatregelen (Bron (Prinsen et al, 2015)).

Terugkeer-tijd	Afvoer GRADE (m ³ /s)	Spreiding (m ³ /s)	Onzekerheidsband GRADE		Afvoer ⁸ extrapolatie (WTI-2011)
			95%-ondergrens	95%-bovengrens	
2	5940	340	5280	6600	6980
5	7970	440	7110	8840	8380
10	9130	500	8160	10100	9390
30	10910	600	9730	12080	-
100	12770	700	11400	14150	12510
300	14000	560	12910	15100	-
1000	14840	620	13620	16050	15430
1250	14970	640	13720	16230	15700
3000	15520	750	14060	16980	-
10000	16270	930	14450	18100	18240
30000	16960	1120	14750	19160	-
100000	17710	1350	15060	20350	-

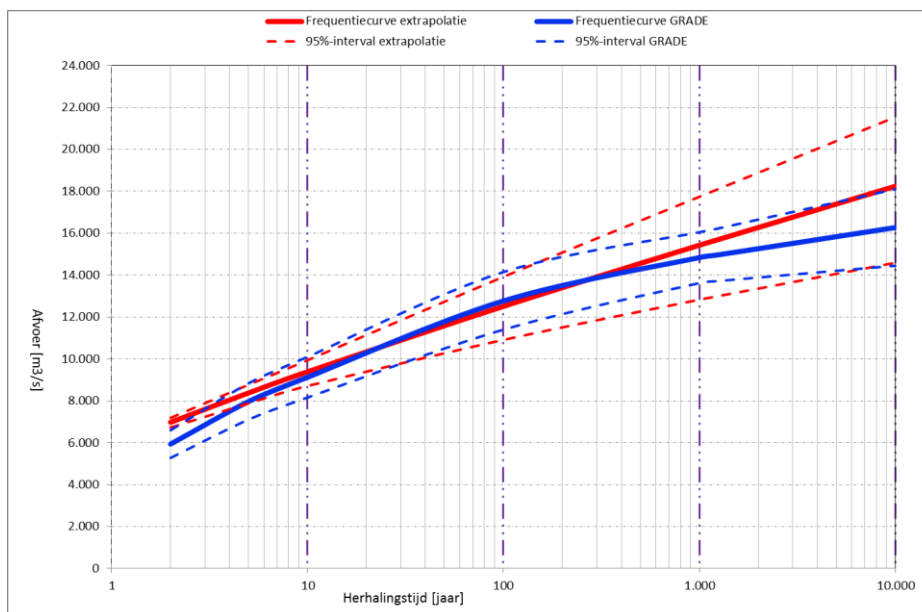
Vergeleken met de uitkomsten van de huidige extrapolatiemethode, berekent GRADE voor herhalingstijden kleiner dan 10 jaar relatief hogere afvoeren, ook is de onzekerheid van GRADE voor het lage bereik (1 – 10 jaar) relatief groot. Voor een herhalingstijd van 2 jaar bijvoorbeeld bedraagt het verschil tussen de extrapolatie en GRADE ruim 1.000 m³/s (ca. 15%). In gebieden waar relatief lage afvoeren (in combinatie met andere basisstochasten) de maatgevende hydraulische belasting bepalen, kan dit verschil een verhogend effect hebben. In het middenbereik (herhalingstijden tussen 25 en 250 jaar) berekent GRADE hogere

⁸ Het betreft hier om niet-afgeronde getallen die rechtstreeks uit de statistische analyse volgen en niet de formele werklijn (met 16.000 m³/s als maatgevende afvoer)

afvoeren. Voor het hoge en extreme bereik (herhalingstijd > 250 jaar) komt GRADE juist beduidend lager uit dan de huidige extrapolatiemethode. Het verschil loopt voor $T = 10000$ jaar op tot bijna $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor herhalingstijden groter dan 10000 jaar loopt het verschil nog gestaag op. De maatgevende hoge waterstanden zullen hierdoor dan ook aanzienlijk lager zijn in afvoer-gedomineerde gebieden (tot enkele decimeters). Dergelijke verlaging kan echter deels of volledig teniet worden gedaan door het meenemen van onzekerheden in GRADE, zie hoofdstuk 5. Uitgaande van de huidige normen (Waterwet, 2009) wordt verwacht dat de maatgevende waterstanden per saldo niet of weinig zullen veranderen in afvoer-gedomineerde gebieden.



Figuur 3.1 Resultaten GRADE voor de Rijn bij Lobith rekening houdend met overstromingen in bovenstroomse delen van het stroomgebied en eventuele inzet van noodmaatregelen (Bron (Prinsen et al, 2015)).



Figuur 3.2 Vergelijking van GRADE uitkomsten met die van de extrapolatiemethode, inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen.

Verder valt te zien dat de onzekerheidsband van GRADE voor het lage bereik (herhalingstijd kleiner dan ca. 25 jaar) breder is dan die van de extrapolatiemethode.

3.2.2 Afvoer IJssel bij Olst

Zoals beschreven in Tabel 2.3 gaat het belastingmodel voor regio 5 (en 6 vanwege de correlatie tussen afvoeren van de IJssel en die van de Vecht) uit van de afvoerstatistiek bij Olst. De vigerende statistiek van de IJssel bij Olst is gebaseerd op metingen bij Olst en de resultaten van WAQUA sommen waarbij zes afvoergolven bij Lobith vertaald zijn naar corresponderende afvoergolven bij Olst. De huidige werklijn bij Olst bestaat uit twee exponentiële trajecten: een traject voor afvoeren die kleiner dan of gelijk zijn aan $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (de afvoer met een gemiddelde terugkeertijd van 1 jaar) en een traject voor afvoeren die hoger zijn dan $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor dit tweede traject geldt de volgende relatie tussen afvoer Q en herhalingstijd T : $Q = 269,2 * \ln(T) + 800$. Een uitvoerige beschrijving van de bestaande statistiek van de IJssel bij Olst is te vinden in (Geerse, 2006).

De nieuwe statistiek van de IJssel bij Olst dient gebaseerd te worden op de nieuwe afvoerstatistiek van GRADE bij Lobith zoals beschreven in paragraaf 3.2.1, en afvoergolfvorm, eveneens bepaald met GRADE, zoals beschreven in paragraaf 3.3.1. N.B. de afvoer en de afvoergolfvorm bij Lobith vormen de bovenranden voor de productieberekeningen voor de Rijntakken.

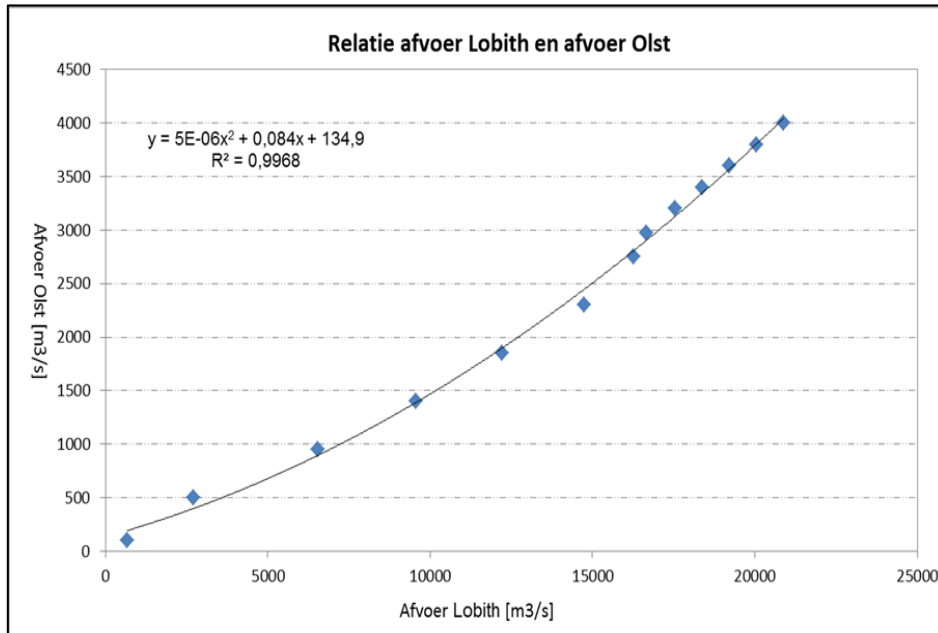
Ten behoeve van de productieberekeningen voor de Rijntakken worden 13 afvoergolven bij Lobith doorgerekend met WAQUA-Rijntakken schematisatie; deze doorberekening resulteert in 13 afvoergolven bij Olst. Voor nadere informatie met betrekking tot WAQUA schematisatie en gebruikte invoer wordt verwezen naar (Smale, 2014). De maxima (toppen) van 13 beschouwde afvoergolven bij Lobith, inclusief de resulterende maxima van de afvoergolven bij Olst, zijn weergegeven in Tabel 3.2. Figuur 3.3 en Figuur 3.4 beschrijven de grafische vorm van de relatie tussen afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst.

Tabel 3.2 Afvoer Lobith en bijbehorende afvoer bij Olst (productieberekeningen).

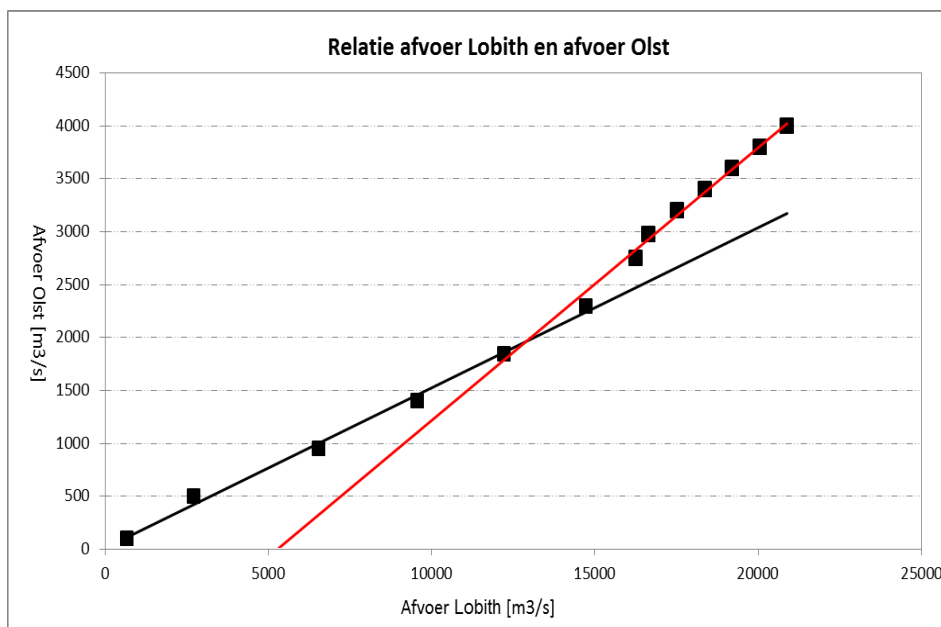
Afvoer Lobith [m ³ /s]	Afvoer Olst [m ³ /s]
675	100
2709	500
6536	950
9566	1400
12215	1850
14735	2300
16259	2750
16661	2975
17539	3200
18375	3400
19212	3600
20048	3800
20885	4000

Op basis van de relatie gegeven in Figuur 3.3 enerzijds en de werklijn van de Rijn bij Lobith en bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval anderzijds is de werklijn van de IJssel bij Olst

inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval geconstrueerd. Deze zijn weergegeven in Tabel 3.3 en Figuur 3.5.



Figuur 3.3 Relatie afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst.

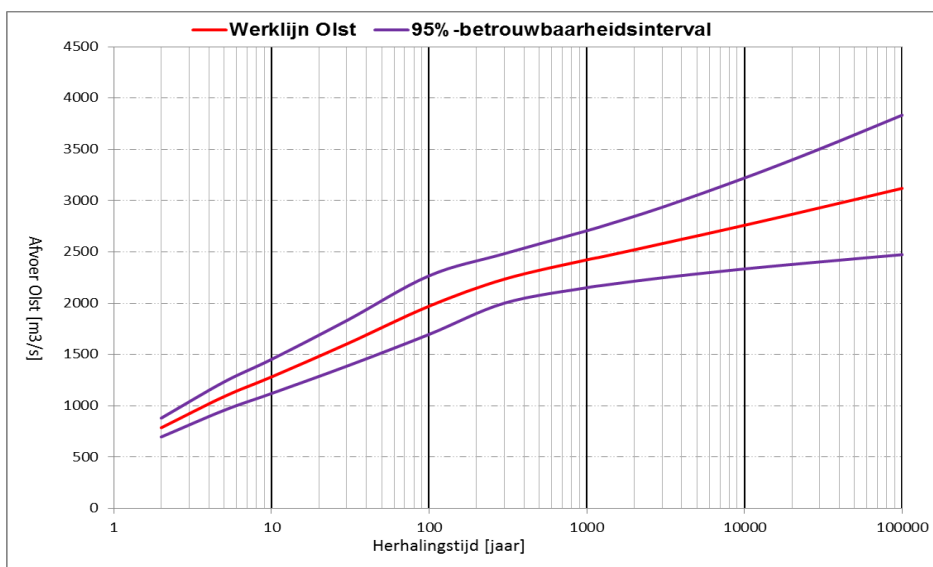


Figuur 3.4 Relatie afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst met relatie: een relatie behorende bij afvoeren bij Lobith kleiner dan 16.000 m3/s en een relatie voor afvoeren hoger dan 16.000 m3/s.

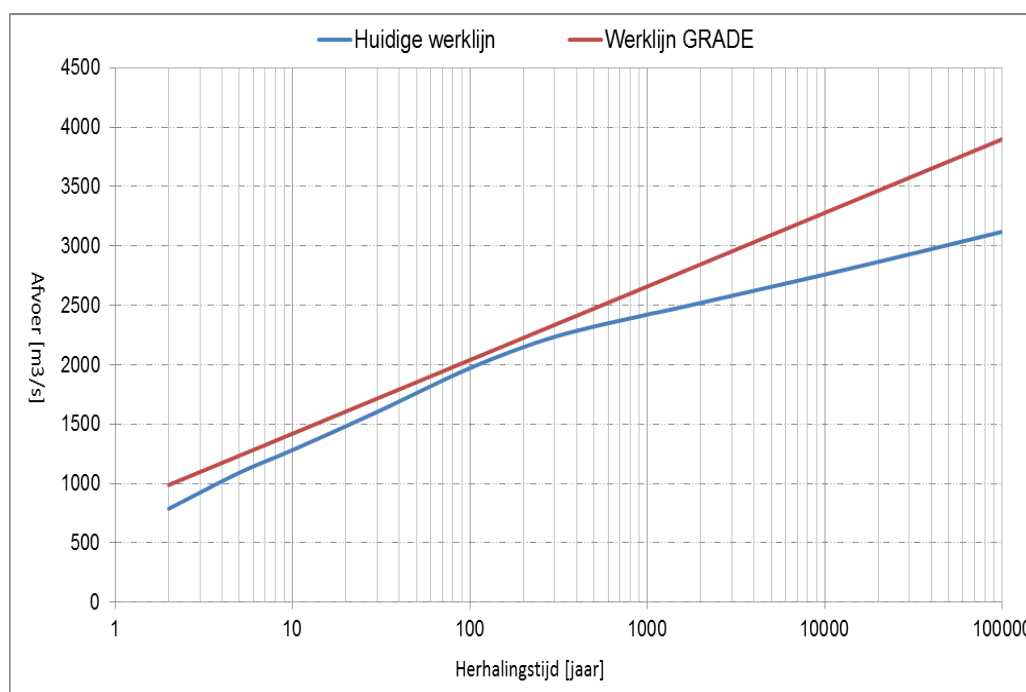
Tabel 3.3 Werklijn IJssel bij Olst inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval

Herhalingstijd [jaar]	Afvoer Lobith [m ³ /s]	Afvoer Olst [m ³ /s]	95%-ondergrens [m ³ /s]	95%-bovengrens [m ³ /s]
2	5940	787	697	881
5	7970	1090	956	1233
10	9130	1282	1121	1453
30	10910	1603	1387	1831
100	12770	1972	1697	2268
300	14000	2235	2001	2483
1000	14840	2423	2152	2707
1250	14970	2453	2174	2750
3000	15520	2581	2248	2935
10000	16270	2760	2335	3221
30000	16960	2930	2403	3503
100000	17710	3120	2474	3834

Ten opzichte van de vigerende werklijn van de IJssel bij Olst resulteert de werklijn van GRADE gegeven in Figuur 3.5 in lagere afvoeren. Voor een gemiddelde herhalingstijd van 1250 jaar geldt volgens Tabel 3.3 een afvoer van (afgerond) 2450 m³/s; dit is ruim 300 m³/s lager dan de huidige maatgevende afvoer bij Olst. N.B. de huidige maatgevende afvoer bij Olst bedraagt 2720 m³/s. De werklijnen en het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de IJssel bij Olst laten verder veel overeenkomsten zien met die van Lobith. Uitzondering hierop is de knik in de relatie tussen Lobith en Olst. Afvoeren hoger dan ca. 16000 m³/s bij Lobith resulteren namelijk in relatief hogere afvoeren bij Olst, zie Figuur 3.4. De relatie op basis van de laagste 6 afvoerniveaus bij Lobith loopt minder stijf dan de relatie op basis van de hoogste afvoerniveaus. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de Ruimte voor de Rivier maatregelen en regelwerken op de splitsingspunten bij Pannerdensche Kop; deze zijn ingeregeld tot 16000 m³/s. Een vergelijking van de huidige werklijn en de werklijn verkregen uit WAQUA berekeningen op basis van de resultaten van GRADE bij Lobith is weergegeven in Figuur 3.6. Het verschil tussen beide werklijnen is voor herhalingstijden van ca. 500 jaar klein: het varieert tussen 200 m³/s voor T = 2 jaar en 68 m³/s voor T = 100 jaar. Het verschil in afvoer voor T > 500 jaar loopt gestaag op en bedraagt voor T = 100000 jaar 780 m³/s.



Figuur 3.5 Werklijn IJssel bij Olst inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 3.6 Vergelijking van de werklijn van GRADE en de huidige werklijn van de IJssel bij Olst.

3.2.3 Afvoer Maas bij Borgharen

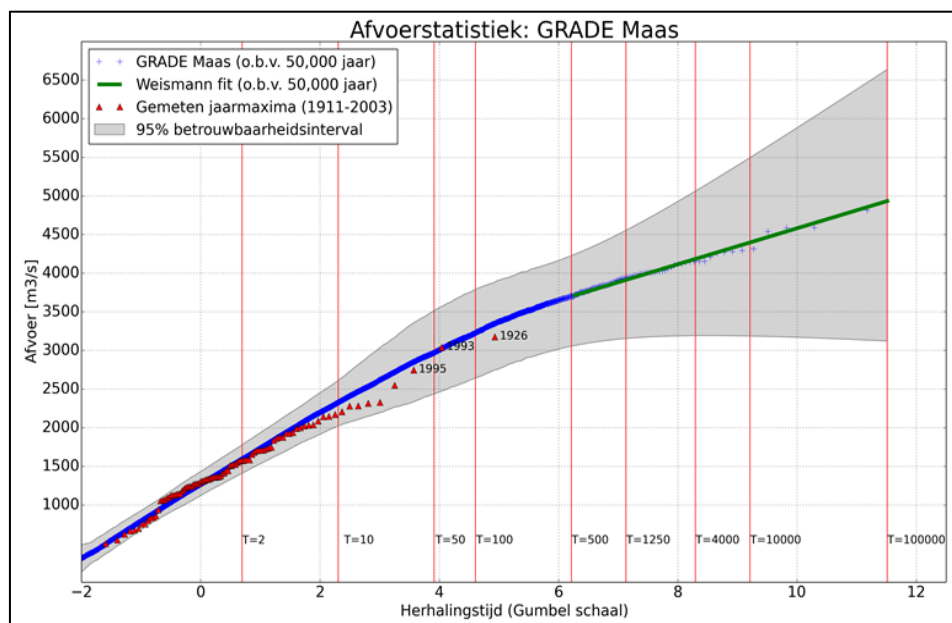
Net als voor de Rijn wordt de afvoerstatistiek voor de Maas geschat met GRADE. Voor de Maas wordt alleen de optie zonder dijkdoorbraken in bovenstroomse gebieden in België beschouwd. Deze optie is mogelijk conservatief. Details met betrekking tot de GRADE statistiek voor de Maas bij Borgharen zijn te vinden in (Passchier, 2014) en (Chbab, 2014).

Tabel 3.4 Afvoeren van de Maas bij Borgharen behorende bij verschillende herhalingstijden, inclusief de 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie zonder overstromingen bovenstrooms van Borgharen.

T [jaar]	Afvoer GRADE [m ³ /s]	Onzekerheidsinterval GRADE		Afvoer extrapolatie (WTI-2011)
		95%-ondergrens	95%-bovengrens	
2	1440	1270	1610	1570
5	1970	1740	2200	1920
10	2300	2010	2590	2180
20	2600	2190	3020	-
50	2970	2430	3510	2760
100	3220	2650	3800	3000
250	3520	2950	4090	3310
500	3700	3110	4290	3540
1250	3910	3210	4610	3840
2000	4020	3240	4810	-
4000	4180	3250	5120	-
10000	4400	3240	5550	4510
20000	4560	3230	5890	-
50000	4770	3200	6350	-
100000	4930	3180	6690	-

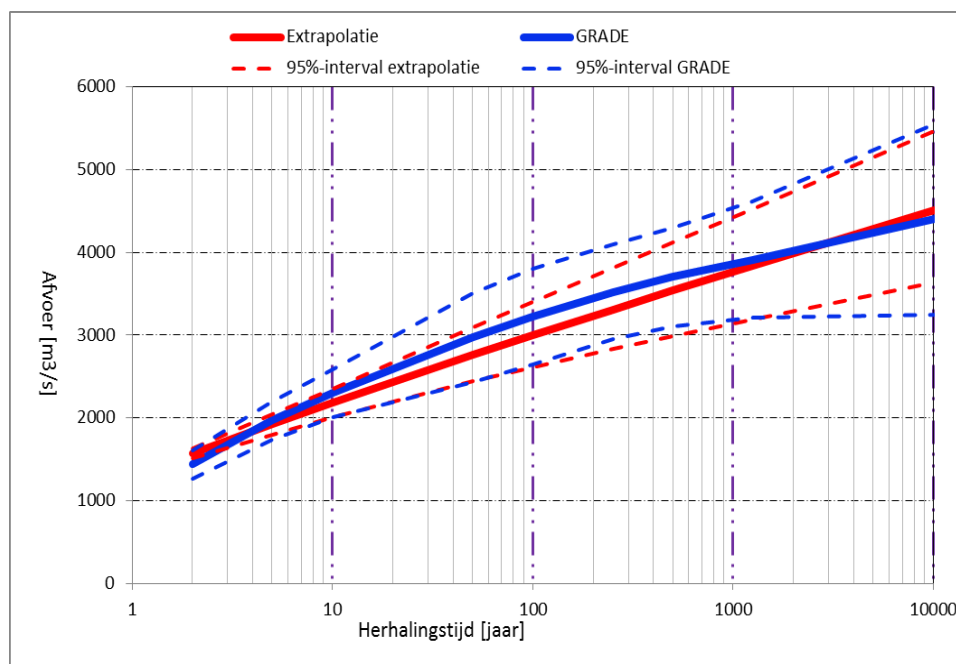
GRADE berekent voor de Maas bij Borgharen een afvoer van $3910 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar. De huidige maatgevende⁹ afvoer van de Maas bij Borgharen bedraagt $3850 \text{ m}^3/\text{s}$, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ (Van de Langemheen en Berger, 2002). Tabel 3.4 laat zien dat er voor herhalingstijden tot ca. 2500 jaar hogere afvoeren worden berekend met GRADE; het verschil met afvoeren berekend met de statistische extrapolatiemethode loopt op van $50 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 5$ jaar tot 220 voor $T = 100$ jaar en neemt daarna geleidelijk af tot $70 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 1250$ jaar. GRADE berekent voor herhalingstijden boven 2500 jaar lagere afvoeren, zie ook Figuur 3.8. Voor herhalingstijden korter dan 5 jaar berekent GRADE lagere afvoeren dan de extrapolatiemethode. Voor $T = 2$ jaar geldt een verschil van $130 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uit Figuur 3.8 blijkt verder dat voor herhalingstijden tot ca. 30 jaar het betrouwbaarheidsinterval van GRADE veel breder (ca. 2 keer zo breed) is dan dat van de extrapolatiemethode. Dit betekent dat de onzekerheid van GRADE voor zulke lage herhalingstijden twee bijna keer zo groot is als die behorende bij de statistische extrapolatiemethode. N.B. De hogere afvoeren berekend met GRADE in combinatie met de daarbij behorende grote onzekerheid zal een verhogend effect hebben op de MHW's in gebieden waar dergelijke afvoeren relevant zijn. Dit geldt specifiek voor de bovenstroomse delen van de Maas en de onbedijkte Maas.



Figuur 3.7 Resultaten van GRADE voor de Maas bij Borgharen inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval voor de situatie zonder overstromingen/noodmaatregelen in buitenland.

⁹ De huidige maatgevende afvoer van de Maas bij Borgharen is beleidsmatig gekozen, en is in principe niet identiek aan het getal in Tabel 3.4.



Figuur 3.8 Vergelijking resultaten van GRADE en extrapolatiemethode voor de Maas bij Borgharen, inclusief onzekerheidsbanden.

In opdracht van RWS-WVL is recentelijk door de Universiteit van Luik (ULG) onderzoek gedaan naar mogelijke demping, door overstromingen rond Luik, van extreme hoogwatergolven. In het onderzoek is een hoogwatergolf van 5.000 m³/s doorgerekend. In een eerder stadium zijn al afvoergolven tot 4.000 m³/s doorgerekend. Uit de berekeningen van ULG blijkt dat de demping, door overstromen in de regio Luik, zelfs iets lager is voor de extreme afvoer van 5.000 m³/s dan die voor een afvoergolf van 4.000 m³/s. De demping blijkt in de orde van 3 á 5 % te zijn. Hoewel er maar met één afvoergolfvorm is gerekend, mag aangenomen worden dat de golfvorm de mate van demping goed in beeld brengt. Het ligt in de bedoeling om deze kennis te verwerken in GRADE voor de Maas. Hiertoe is echter nader onderzoek nodig. Onder de aanname dat er voldoende neerslag kan vallen, lijkt er vooralsnog geen fysische maximum te zijn in de afvoercapaciteit van de Maas. Mede hierdoor is besloten om geen aftopping van de werklijn van GRADE voor de Maas bij Borgharen toe te passen.

3.2.4 Afvoer Maas bij Lith

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 gaan de belastingmodellen voor de regio's 3 en 4 en delen van de regio 2 uit van de afvoerstatistiek bij Lith. Deze statistiek dient gebaseerd te worden op de nieuwe afvoerstatistiek en golfvorm van GRADE voor de Maas bij Borgharen; deze zijn beschreven in paragraaf 3.2.3 en paragraaf 3.3.2. De afvoerstatistiek en de vorm van de afvoergolf bij Borgharen gelden als invoer voor de productieberekeningen van waterstanden langs de locaties van de Maas.

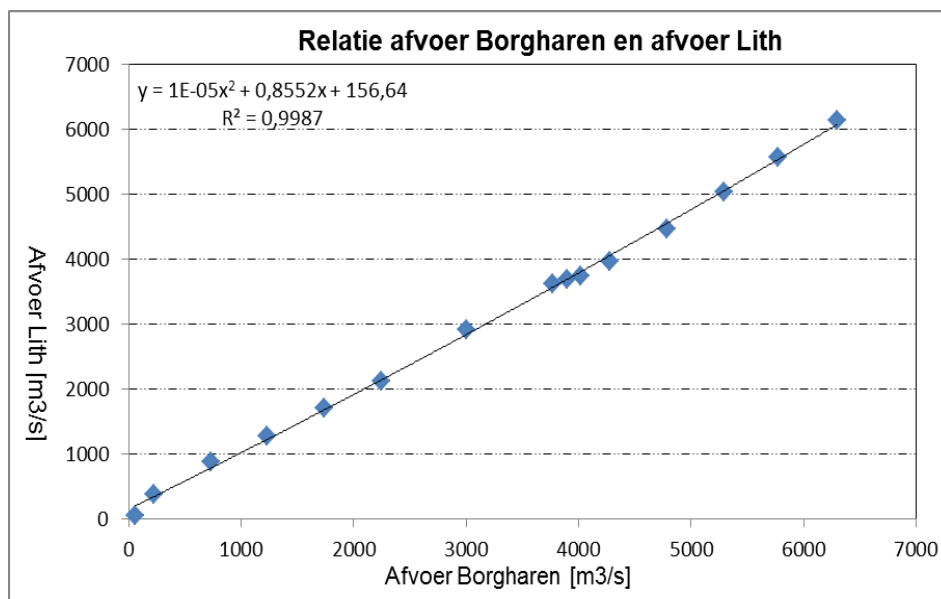
Ten behoeve van deze productieberekeningen zijn 15 afvoergolven bij Borgharen doorgerekend met de WAQUA-Maas schematisatie; deze berekeningen hebben geresulteerd in 15 afvoergolven bij Lith. Voor nadere informatie met betrekking tot de gebruikte WAQUA schematisatie en invoer wordt verwezen naar (De Waal et al, 2013). De maxima (toppen) van de 15 beschouwde afvoergolven bij Borgharen inclusief de resulterende maxima bij Lith zijn weergegeven in

Tabel 3.5. Een grafische vorm van de relatie tussen Maasafvoer en Lithafvoer is afgebeeld in Figuur 3.9.

Tabel 3.5 Afvoer Maas bij Borgharen en bijbehorende afvoer bij Lith (productieberekeningen)

Borgharen [m3/s]	Lith [m3/s]
55	55
222	377
729	884
1235	1284
1742	1708
2248	2134
3008	2918
3768	3620
3895	3693
4022	3755
4275	3978
4782	4469
5289	5041
5769	5570
6303	6145

Op basis van de relatie uit Tabel 3.5 enerzijds en de werklijn van de Maas bij Borgharen en bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval anderzijds is de werklijn van de Maas bij Lith inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval geconstrueerd. Hierbij is aangenomen dat een afvoer bij Borgharen dezelfde herhalingsstijd heeft als de bijbehorende afvoer bij Lith. De relatie tussen Maas- en Lithafvoer inclusief herhalingsstijden is weergegeven in Tabel 3.6 en Figuur 3.10

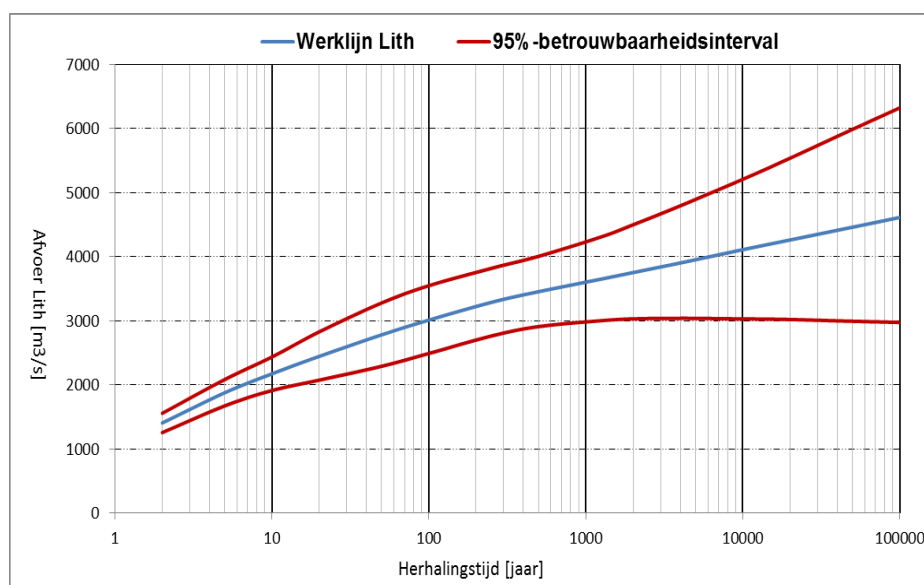


Figuur 3.9 Relatie afvoer van de Maas bij Borgharen en Lith (productieberekeningen).

Tabel 3.6 Werklijn Maas bij Lith inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval, afgeleid uit de werklijn bij Borgharen.

Herhalingstijd [jaar]	Afvoer Borgharen [m ³ /s]	Afvoer Lith [m ³ /s]	95%-ondergrens [m ³ /s]	95%-bovengrens [m ³ /s]
2	1440	1409	1259	1559
5	1970	1880	1675	2086
10	2300	2177	1916	2439
20	2600	2448	2077	2831
50	2970	2785	2294	3282
100	3220	3014	2493	3551
250	3520	3291	2767	3822
500	3700	3458	2913	4009
1250	3910	3653	3005	4312
2000	4020	3756	3032	4502
4000	4180	3906	3042	4797
10000	4400	4113	3032	5211
20000	4560	4264	3023	5541
50000	4770	4463	2996	5990
100000	4930	4616	2977	6325

Ten opzichte van de vigerende werklijn van de Maas bij Lith uit HR-2001/WTI-2011 resulteert de werklijn gegeven in Tabel 3.6 in afvoeren van dezelfde orde grootte. Voor een gemiddelde herhalingstijd van 1250 jaar geldt volgens Tabel 3.6 een afvoer van (afgerond) 3.650 m³/s; dit is identiek aan de maatgevende afvoer uit TMR-2006 en 30 m³/s hoger dan de officiële maatgevende afvoer uit HR-2001. Verder valt te constateren dat het verschil tussen Borgharen en Lith klein is voor afvoeren met hogere frequentie. Het verschil bedraagt 30 m³/s voor T = 2 jaar en loopt op tot ruim 300 m³/s voor T = 100000 jaar.

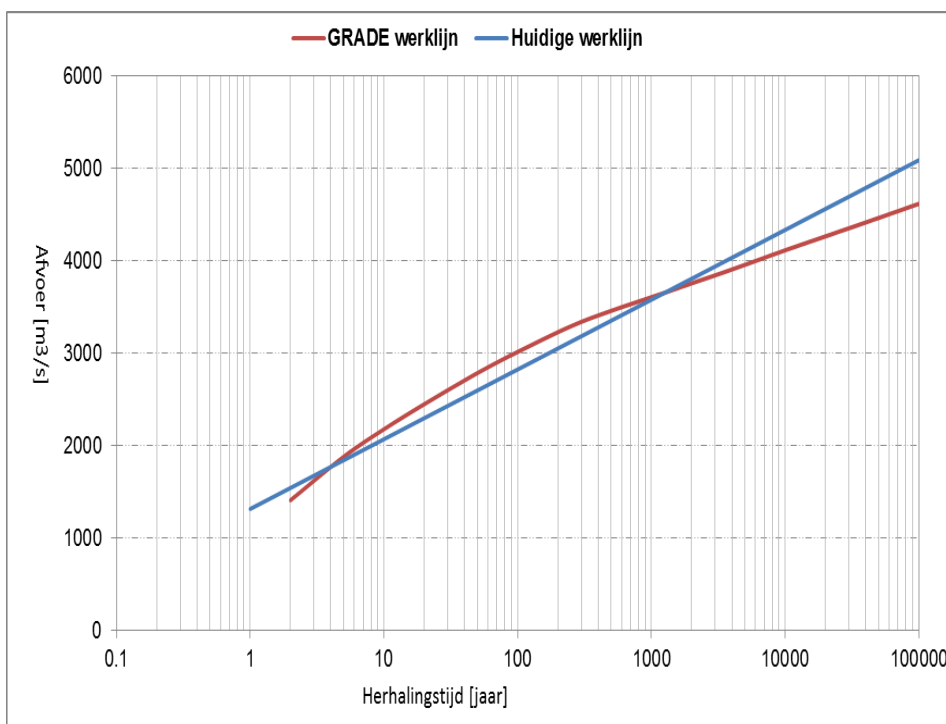


Figuur 3.10 Werklijn Lith op basis van GRADE bij Borgharen inclusief het 95%- betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 3.11 Werklijnen Maas bij Borgharen en bij Lith (volgend uit GRADE).

Figuur 3.12 laat een vergelijking zien tussen de huidige werklijn uit HR-2006 en de werklijn volgend uit GRADE voor station Lith. GRADE berekent voor herhalingstijden tussen 10 jaar en 1000 jaar hogere afvoeren dan de huidige werklijn; het verschil is het grootste voor $T = 100$ jaar en bedraagt ca. $190 \text{ m}^3/\text{s}$. Vooral langs de trajecten met relatief lagere herhalingstijden (1:300 en 1:1000) zal dit verschil leiden tot hogere waterstanden (ca. 1 dm). Voor herhalingstijden hoger dan 1000 jaar is de werklijn van GRADE lager dan de huidige werklijn. Voor $T = 100000$ jaar bedraagt het verschil tussen beide werklijnen $470 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 3.12 Huidige werklijn (HR-2006) en werklijn volgend uit GRADE voor Lith.

3.2.5 Afvoer Overijsselse Vecht bij Dalfsen

Voor de Vecht geldt dat de afvoerstatistiek in het verleden is vastgesteld door middel van een statistische extrapolatie van afvoerdata bij Dalfsen¹⁰ in combinatie met een neerslagafvoer model, zie (Klopstra et al, 2002). De afleiding van de afvoerstatistiek voor de Vecht bij is gerapporteerd in (Klopstra et al, 2002). Hierin wordt de afvoerstatistiek afgeleid, rekening houdend met overstromingen bovenstrooms van Dalfsen.

In het kader van de afleiding van de HR-2006 zijn aanvullende statistische analyses gemaakt van de afvoermetingen van de Vecht bij Dalfsen; hierbij is een Bayesiaanse analyse toegepast. De in 2002 afgeleide afvoerstatistiek is mede op basis van deze analyse met een beperkte wijziging overgenomen, zie (Geerse, 2006).

In het kader van WTI2017 is het effect van het verlengen van de tijdreeks in beeld gebracht, (Klerk, 2014). Daarnaast zijn ook de onzekerheidsbanden in beeld gebracht. Verlenging van de meetreeks met de laatste meetjaren resulteert in een afvoer met een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar van 536 m³/s. Dit komt redelijk goed overeen met de vigerende maatgevende¹¹ afvoer van 550 m³/s; het verschil bedraagt minder dan 15 m³/s. Omdat verlenging van de meetreeks geen aanleiding geeft tot aanpassing, wordt de huidige afvoerstatistiek van de Vecht bij Dalfsen gehandhaafd. Deze is weergegeven in Tabel 3.7 en Figuur 3.13.

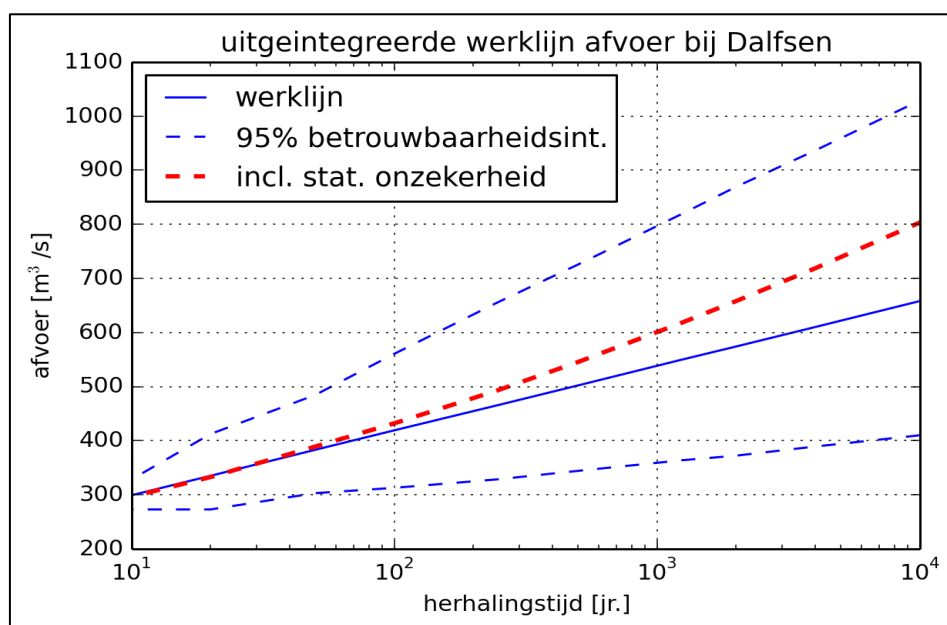
Tabel 3.7 Afvoeren WTI-2017 voor de Vecht bij Dalfsen inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen.

T [jaar]	Verwachtingswaarde [m ³ /s]	95%-ondergrens [m ³ /s]	95%-bovengrens [m ³ /s]
2	216	203	227
5	263	230	284
10	299	250	328
20	335	265	407
50	383	283	478
100	419	303	550
250	466	328	655
500	502	348	744
1.250	550	367	835
2.000	574	374	876
4.000	610	393	987
10.000	658	413	1090
20.000	694	432	1145
50.000	741	450	1235
100.000	777	472	1302

¹⁰ De afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht is afgeleid voor Dalfsen. Soms wordt ook de stuw bij Vechterweerd genoemd als representatieve locatie voor de afvoerstatistiek van de Vecht. Tussen Dalfsen (km 45) en Vechterweerd (km 49,3) is geen sprake van zijdelingse toevoer zodat beide namen door elkaar gebruikt kunnen worden.

¹¹ De huidige maatgevende afvoer van 550 m³/s is een afgerond getal dat gebaseerd is op enerzijds de resultaten van statistische analyses van verschillende (combinaties van) kansverdelingen en anderzijds beleidsmatige overwegingen.

Voor een herhalingstijd van 1.250 jaar geldt een maatgevende afvoer van 550 m³/s; het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval is niet symmetrisch en erg breed, ca. 470 m³/s. Ter vergelijking: het 95%-interval van de Vecht is bijna 2 keer breder dan het interval van de Maas. Dit komt omdat de meetperiode van de Overijsselse Vecht veel korter is dan die van de Maas, ca. 30 jaar versus bijna 100 jaar. Voor langere herhalingstijden gelden hogere afvoeren en bredere betrouwbaarheidsintervallen voor de Vecht bij Dalfsen. De vraag is of een afvoer van 550 m³/s of hoger nog fysisch mogelijk is op basis van de afvoer vanuit zijdelingse toestromen en vanuit Duitsland.



Figuur 3.13 Werklijn Overijsselse Vecht bij Dalfsen (blauw), rood gestippelde lijn is de nieuwe werklijn waarin de statistische onzekerheid (95%-betrouwbaarheidsintervallen) is uit-geïntegreerd.

Figuur 3.13 laat zien dat wanneer de statistische onzekerheid (zie hoofdstuk 5) uit-geïntegreerd wordt, er een nieuwe werklijn ontstaat die hoger ligt dan de werklijn zonder statistische onzekerheid. Het meenemen van de statistische onzekerheid resulteert voor een herhalingstijd van 10.000 jaar in een afvoer van ca. 800 m³/s (rood gestippelde lijn in Figuur 3.13). Zonder rekening te houden met statistische onzekerheid geldt voor dezelfde herhalingstijd een afvoer van 660 m³/s (afgerond). Voor T = 10.000 gaat de afvoer met 140 m³/s omhoog als gevolg van het meenemen van de statistische onzekerheid. Rekening houdend met statistische onzekerheid bedraagt een afvoer met een gemiddelde herhalingstijd van 1000 jaar ca. 600 m³/s zoals uit Figuur 3.13 blijkt.

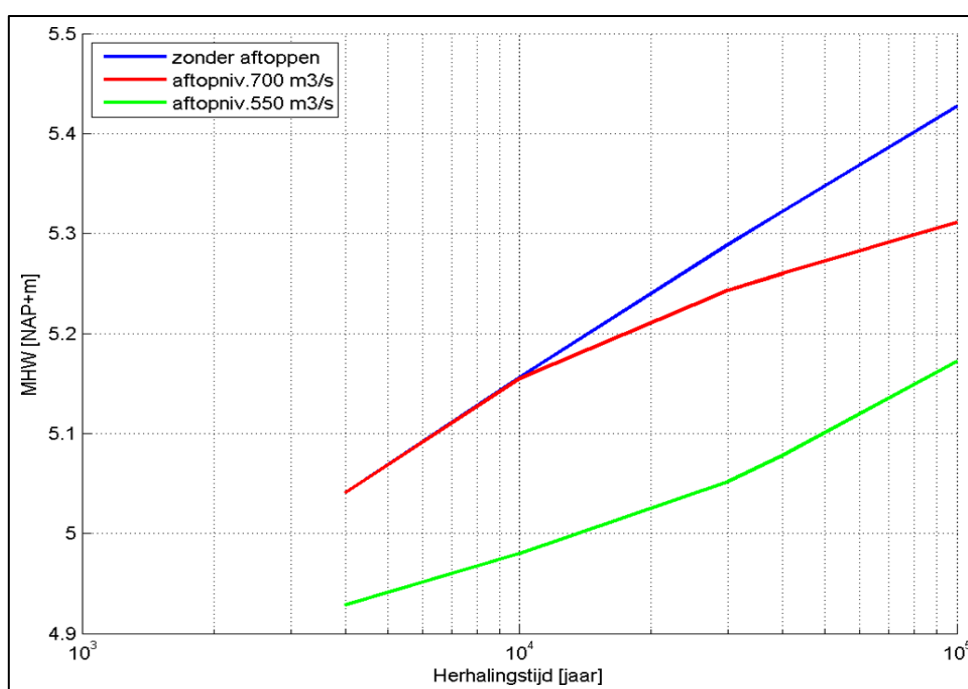
Er kan worden gesteld dat afvoer vanuit de zijdelingse toestromen van de Vecht fysisch beperkt is. De fysische beperking heeft meerdere oorzaken: zo kunnen inundaties in beekdal en de aanwezigheid van stuwen, sluizen en gemalen, de afvoer vanuit de deelstroomgebieden beperken. Daarnaast speelt de reactie van het stroomgebied op neerslag (en de spreiding hiervan in ruimte en tijd) een belangrijke rol in de afvoer vanuit de deelstroomgebieden. De maximale afvoer die vanuit Duitsland Nederland binnen kan stromen is ook beperkt. In (Lorenz et al, 2001) en (Klopstra et al, 2002) is onderzoek gedaan naar mogelijke fysische begrenzingen van de afvoeren in Duitsland en (belangrijke) zijdelingse toevoer vanuit Nederland. Beide studies hebben geresulteerd in fysische maxima van de zijdelingse toestroming en bijgevolg de afvoer bij Dalfsen. In (Van Vuren, et al, 2009) zijn deze maxima nader beschouwd op basis van een literatuuronderzoek en overleg met gebiedskundigen. De beschouwing heeft geresulteerd in fysische maxima van de afvoeren in Duitsland (Emlicheim) en zijdelingse toestromen in Nederland zoals weergegeven

in Tabel 3.8. De fysische maxima van het afwateringskanaal, Radewijkerbeek en Ommerkanaal zijn zoals aangegeven in Tabel 3.8 onzeker en zouden hoger kunnen zijn (Van Vuren, et al, 2009).

Tabel 3.8 Overzicht fysische maxima zijdelingse afvoer Vecht, bron (van Vuren et al, 2009)

Locatie/zijdelingse afvoer	Fysisch maximum [m ³ /s]	Opmerking
Emlicheim	350	
Afwateringskanaal	115	Maximum zou hoger kunnen zijn
Radewijkerbeek	20	Maximum zou hoger kunnen zijn
Ommerkanaal	28	Maximum zou hoger kunnen zijn
Regge	160	
Mariënberg/Vechtkanaal	30	

Wanneer aangenomen wordt dat de fysische maxima van de zijdelingse toestromen gelijktijdig optreden, wat een plausible aanname is voor de Vecht, resulteert een fysisch maximum bij Dalfsen van ca. 700 m³/s. Dit fysisch maximum is echter behept met enige onzekerheid. Deze onzekerheid is afkomstig van de onzekerheid in 1) fysische maxima van enkele zijdelingse toestromen, 2) neerslagspreiding in ruimte en tijd en 3) kwaliteit van afvoermetingen. Opgemerkt wordt dat afvoermetingen van de Vecht en zijdelingse toestromen beperkt is. Gelet op het bovenstaande zou een fysisch maximum van 750 m³/s of 800 m³/s een betere keuze zijn.

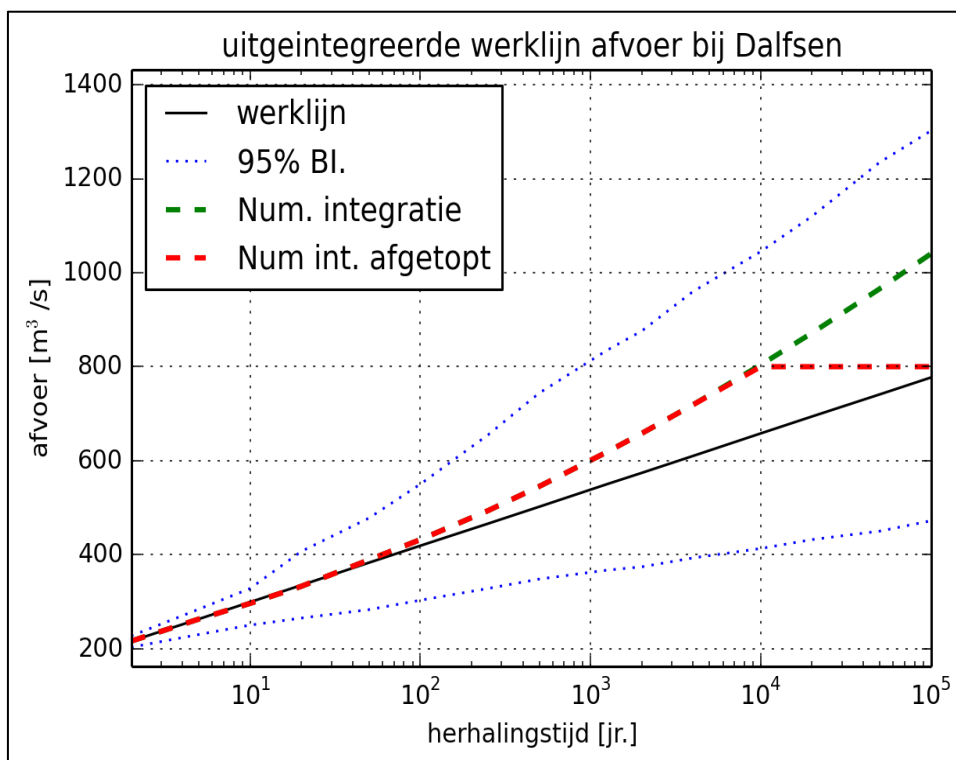


Figuur 3.14 Effect van aftoppen van de Vechtafvoer op de MHW (bron (van Haaren, 2015)).

Recentelijk is door HKV onderzoek gedaan naar mogelijke effecten op de maatgevende hoogwaterstanden en hydraulische belastingniveaus van aftoppen van de Vechtafvoer (Van Haaren, 2015). Daaruit blijkt dat het effect van aftoppen afhangt van het aftopniveau en herhalingstijd. Bij een aftopniveau van 700 m³/s is het effect tot herhalingstijden van 10.000 jaar nihil; voor herhalingstijden tussen 10.000 en 100.000 jaar wordt het effect zichtbaar en loopt geleidelijk op tot ca. 0,10 m, zie Figuur 3.14. Aan de andere kant blijkt uit Figuur 3.13 dat het meenemen van statistische onzekerheid en uit-integreren ervan tot verhoging van de afvoer leidt; voor 10.000 jaar bedraagt de verhoging 140 m³/s. Deze komt overeen met 0,2 á

0,3 m verhoging van de MHW's in delen van de Vecht waar de afvoer dominant is. Het is bekend dat de afvoer bijna overal een belangrijke of dominante rol speelt in de Vechtdelta, (Chbab, 2011).

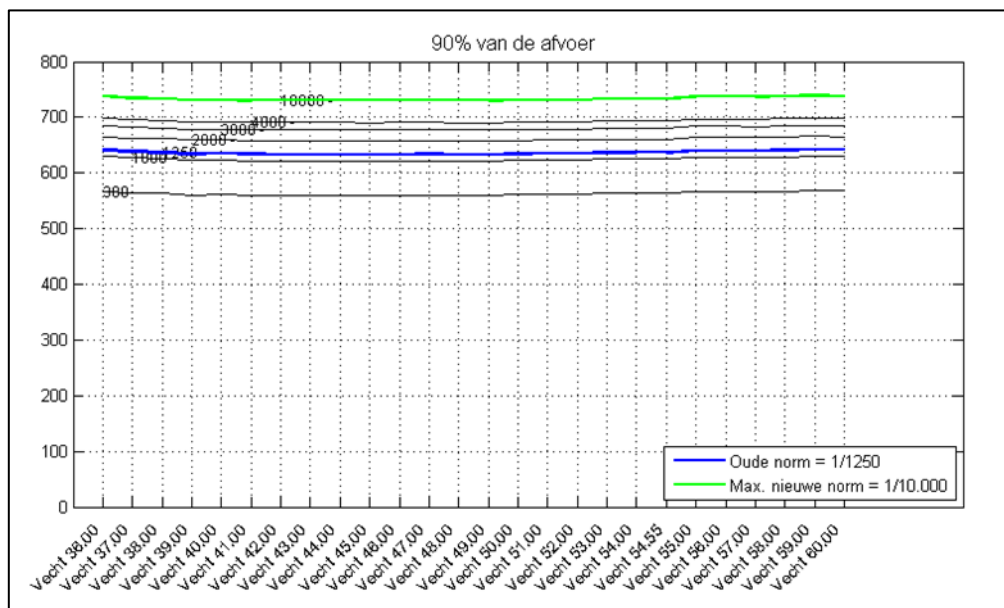
Gelet enerzijds op de mogelijke fysische maxima van de zijdelingse toestromen gegeven in Tabel 3.8 en anderzijds de effecten op de waterstanden van het meenemen van de statistische onzekerheid, is besloten om een bovengrens voor de afvoer van de Vecht in te stellen. Deze grens ligt op $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit geldt voor zowel de werklijn als de statistische onzekerheid. De 'afgetopte' werklijn van Vecht bij Dalfsen inclusief statistische onzekerheid is afgebeeld in Figuur 3.15.



Figuur 3.15 Uit-geïntegreerde werklijn van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen met aftopping op $800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Onlangs zijn ten behoeve van het afleiden van de waterstandsverlopen voor het gebied van de Vecht- en IJsseldelta berekeningen gemaakt van de 90%-percentielen¹² van o.a. de Vechtafvoer. Hierbij zijn verschillende herhalings-tijden beschouwd, variërend van 300 jaar tot 10000 jaar (de nieuwe normen voor het gebied van de Vechtdelta). De berekende 90%-percentielen van de afvoer voor bovenstroomse locaties van de Vecht zijn weergegeven in Figuur 3.16. Voor een herhalings-tijd van 10000 jaar bedraagt het 90%-percentiel van de Vechtafvoer ca. $750 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is lager dan het fysische maximum van $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Op basis van deze informatie is besloten om voor het afleiden van de HR de Vechtafvoer niet af te toppen.

¹² Het 90%-percentiel van de afvoer wordt gedefinieerd als de afvoer dat tijdens falen (het overschrijden van een bepaalde waterstand met herhalings-tijd T) met 90% kans wordt overschreden. Tijdens falen bestaat slechts 10% kans op een hogere afvoer dan het 90%-percentiel van de afvoer. Het 90%-percentiel ligt in principe hoger dan het illustratiepunt: het punt met de grootste kans bijdrage.



Figuur 3.16 90%-percentielen van de afvoer van de Vecht voor bovenstroomse locaties van de Vecht voor verschillende herhalings tijden.

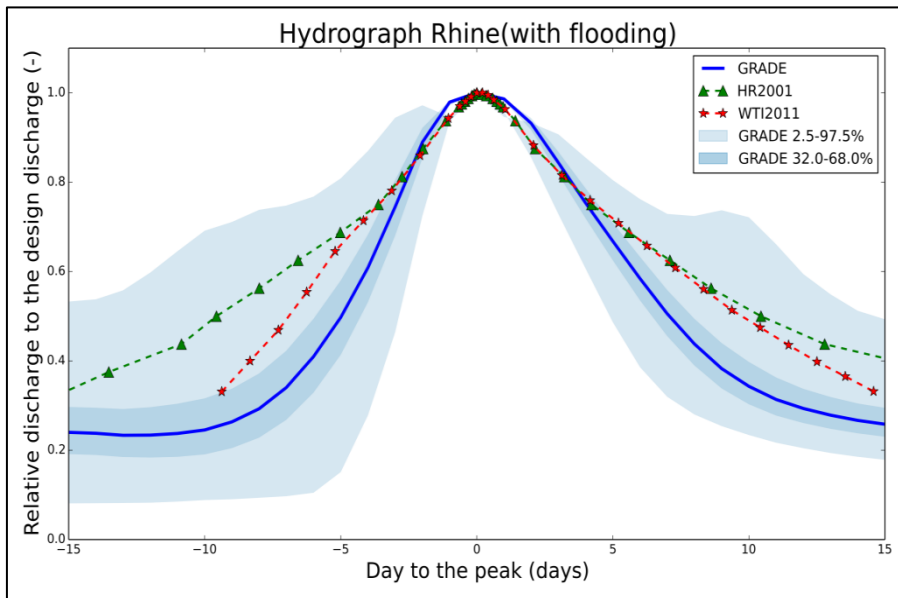
3.3 Afvoergolfvormen

3.3.1 Afvoergolfvorm Rijn bij Lobith

De afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith betreft de piekwaarden. Voor de vertaling van een piekafvoer naar waterstanden op benedenstroomse locaties wordt een standaard afvoergolfvorm aangenomen, die geschaald wordt zodanig dat de maximum afvoer overeenkomt met de gewenste waarde. De standaard golfvorm is geen basisstochast en wordt deterministisch beschouwd, zowel in de huidige Hydra's als in Hydra-Ring. De golfvorm is in het kader van WTI-2017 wel opnieuw afgeleid aan de hand van de met GRADE gegenereerde afvoertijdreeksen (Hegnauer et al, 2014).

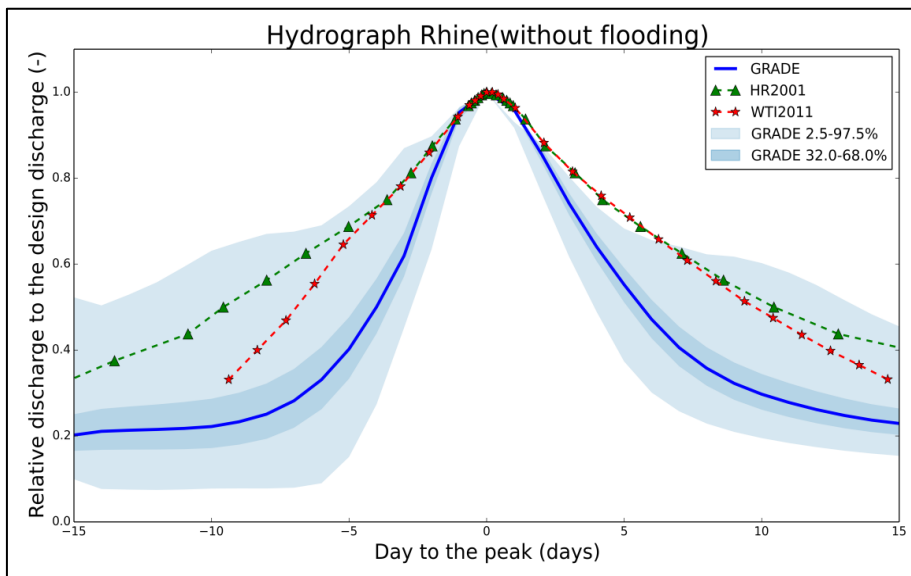
De met GRADE gegenereerde afvoerreeks is gebruikt om de golfvorm behorende bij piekafvoeren van zowel de Rijn bij Lobith als de Maas bij Borgharen te bepalen. Voor de Rijn bij Lobith zijn twee situaties beschouwd: de situatie met overstromingen in Duitsland in combinatie met noodmaatregelen om die overstromingen te beperken en de situatie zonder overstromingen. De resultaten van GRADE voor Lobith voor deze twee situaties zijn weergegeven in Figuur 3.17 t/m Figuur 3.19.

De golfvorm van de Rijn zoals afgebeeld in Figuur 3.17 wordt gebruikt voor de productieberekeningen voor regio 1 (Smale, 2014). Ten behoeve van de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring is een degelijk verloop in de tijd van de afvoer niet nodig. De vorm (tijdsverloop) van de trage stochast afvoer van de Rijn is in Hydra-Ring gemodelleerd door middel van trapezia van 30 dagen in de basis of het zogenoemd FBC (Ferry Borges Cantaneta) model. De topduren van de trapezia hangen af van het afvoerniveau; voor afvoeren hoger dan $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ is de topduur constant en bedraagt 12 uur. Een FBC model, bijvoorbeeld voor de afvoer, bestaat uit onafhankelijke afvoerblokken; binnen elk blok is de afvoer constant; zie voor details (Geerse, 2006) en (Diermanse et al, 2013).



Figuur 3.17 GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie met overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).

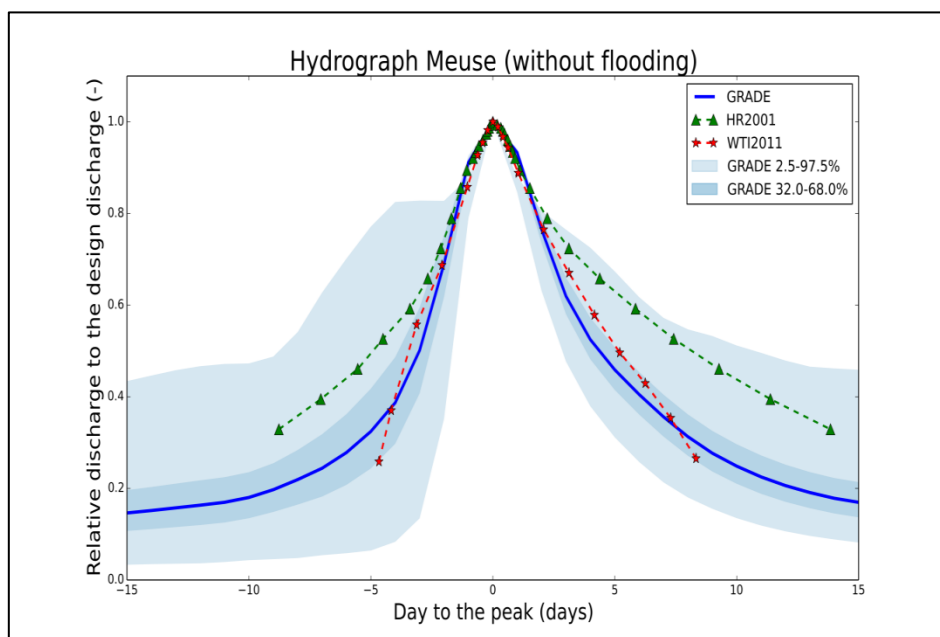
De golfvorm van GRADE voor de Rijn met overstromingen in bovenstroomse delen van het stroomgebied is breder dan zonder overstromingen, zoals ook verwacht kan worden. De met GRADE berekende golfvormen zijn voor beide situaties smaller dan de golfvorm uit WTI-2011. Verder valt op dat de gemiddelde golfvorm voor de situatie met overstromingen rondom de top enigszins breder is dan de golfvorm uit WTI-2011, en in de basis smaller.



Figuur 3.18 GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie zonder overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief uit golfvormen HR2001 en WTI-2011).

3.3.2 Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen

De golfvorm zoals met GRADE bepaald voor de Maas bij Borgharen is geïllustreerd in Figuur 3.19 (Deltares, 2013). Deze nieuwe golfvorm van GRADE komt goed overeen met de huidige golfvorm bepaald met het opschalen van opgetreden afvoergolven.



Figuur 3.19 GRADE golfvorm voor de Maas bij Borgharen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).

Evenals voor de Rijn, is het tijdsverloop van de Maasafvoer alleen nodig voor de productieberekeningen met WAQUA; bij de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring wordt uitgegaan van een trapeziumvorm van 30 dagen in de basis of een FBC model, zie paragraaf 3.3.1

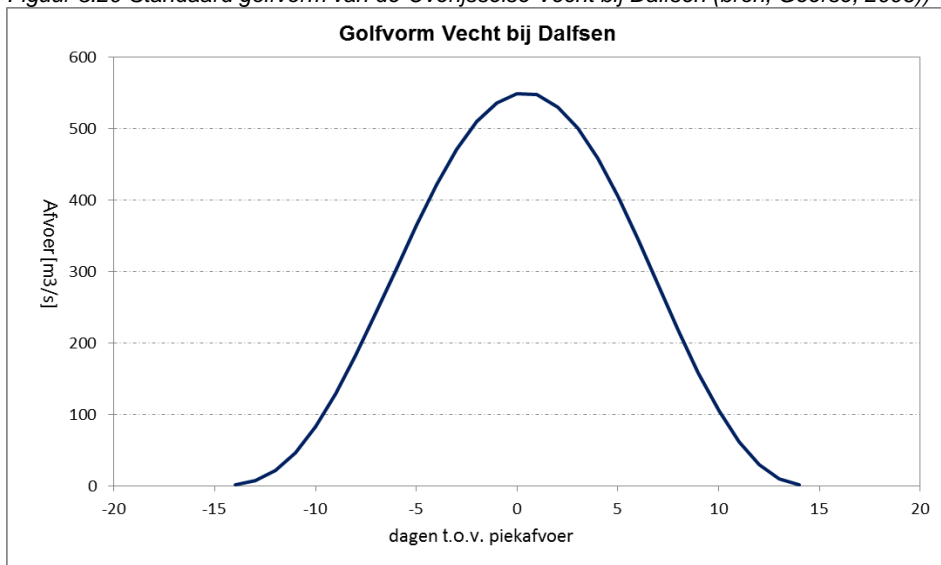
Voor de Maas worden mogelijke bovenstroomse dijkdoorbraken niet gemodelleerd en daardoor niet beschouwd.

3.3.3 Afvoergolfvorm Overijsselse Vecht bij Dalfsen

In Geerse (2006) zijn afvoergolven voor de Vecht bij Dalfsen afgeleid met behulp van de opschalingsmethode. Deze vorm is weergegeven in Figuur 3.20 en zal worden aangehouden in WTI-2017.

N.B. in de productieberekeningen voor het gebied van de Vecht- en IJsseldelta worden Vechtafvoeren stationair doorgerekend. De vorm van de afvoergolf speelt daarbij geen rol. Ten behoeve van de probabilistische berekeningen wordt het tijdsverloop van de Vechtafvoer beschreven door een trapeziumvorm van 30 dagen in de basis en FBC model. Details over trapezia van de Vecht zijn te vinden in (Geerse, 2006) en over FBC in (Diermanse et al, 2013).

Figuur 3.20 Standaard golfvorm van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen (bron, Geerse, 2006)



3.4 Meerpeilstatistiek

Het IJsselmeerpeil is een basisstochast voor de regio's IJsselmeer (regio 7), Vechtdelta (regio 6) en IJsseldelta (regio 5). Het Markermeerpeil geldt als basisstochast voor het belastingmodel voor Markermeer (regio 8).

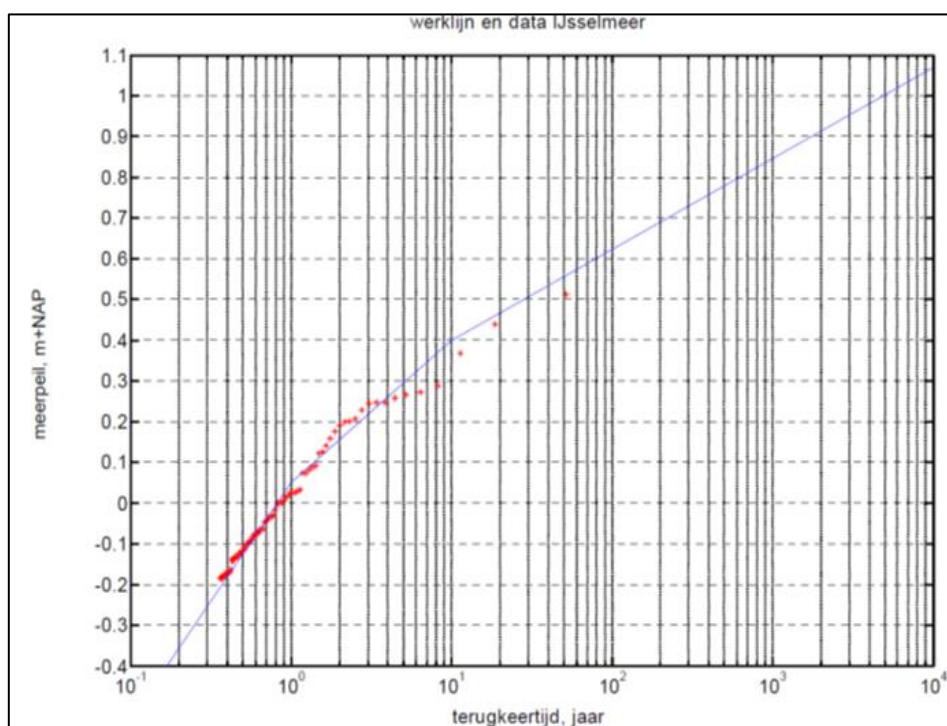
3.4.1 IJsselmeerpeil

Voor WTI-2017 is besloten om de meerpeilstatistiek zoals aanvankelijk afgeleid en geïmplementeerd in Hydra-VIJ, en later in Hydra-zoet, te handhaven. Dit betekent dat er geen hernieuwd onderzoek wordt uitgevoerd naar de meerpeilstatistiek. De meerpeilstatistiek van Hydra-VIJ is uitvoerig beschreven in (Geerse, 2006), en is gebaseerd op statistische extrapolatie van meet- en modelgegevens. De gehanteerde meetreeksen omvatten de periode 1932 tot en met 2002. Dit is met inbegrip van de laatste hoge meerpeilsituaties, waaronder die van 1998 en 2002. Merk op dat de meerpeilstatistiek van Hydra-VIJ verschilt van die van Hydra-M, dit betreft vooral de duurstatistiek.

De werklijn van het IJsselmeerpeil bestaat uit drie rechte lijnstukken en is weergegeven in Figuur 3.21. Deze werklijn is o.a. gebaseerd op een extreme-waarden analyse op basis van de zogenoemde Peaks Over Threshold (POT) series; dergelijke series bevatten onafhankelijke pieken die boven een bepaalde niveau uitsteken, de drempelwaarde. Daarnaast wordt voor de selectie van pieken een zichtduur toegepast om onafhankelijkheid te garanderen van opeenvolgende pieken. Voor het meerpeil geldt een drempelwaarde van $-0,20 \text{ m+NAP}$ met een zichtduur van 15 dagen, zie (Geerse, 2006). Tabel 3.9 bevat voor enkele relevante terugkeertijden de bijbehorende meerpeilen. De werklijn van het IJsselmeerpeil voor het hele bereik wordt gegeven door:

$$m = \begin{cases} 0,25 * \ln(T) + 0,05 & \text{voor } -0,40 \leq m < 0,05 \\ 0,152 * \ln(T) + 0,05 & \text{voor } 0,05 \leq m < 0,40 \\ 0,097 * \ln(T) + 0,177 & \text{voor } m \geq 0,40 \end{cases} \quad (3.1)$$

Hierin geldt: T is terugkeertijd in jaar en m meerpeil in m+NAP .



Figuur 3.21 Frequentielijn IJsselmeerpeil (Geerse, 2006). Deze werklijn blijft vigerend in WTI-2017.

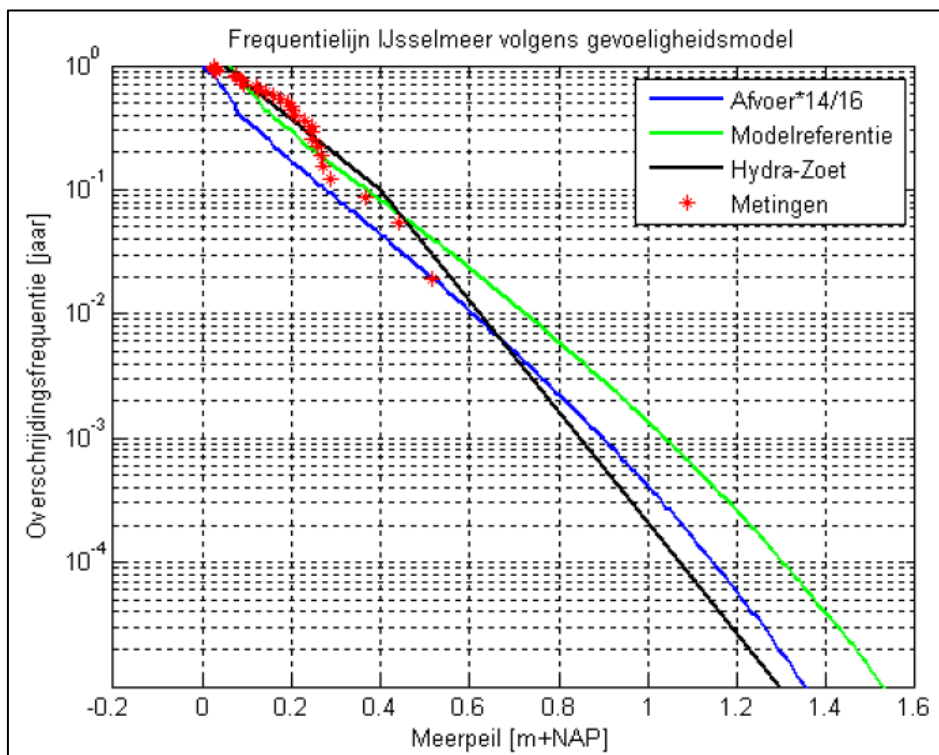
Van de vigerende werklijn voor het IJsselmeerpeil bestaan geen 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Deze zijn in het kader van dit rapport afgeleid; hierbij is de zogenoemde bootstraphmethode gebruikt; zie voor details over de toegepaste methode en afgeleide betrouwbaarheidsbanden (Geerse en Wojciechowska, 2014). Deze grenzen zijn nodig om de statistische onzekerheid in meerpeilstatistiek te kwantificeren, zie hoofdstuk 5 van dit rapport. Zoals in Figuur 3.21 is te zien, loopt de lijn voor het hoogste deel vlakker dan de lijnen voor de gemiddelde en lage waarden. Een meerpeil dat gemiddeld eens in 10,000 jaar wordt overschreden, bedraagt volgens de geldende statistiek 1,07 m+NAP; de bijbehorende 95%-bovengrens wordt geschat op 1,63 m+NAP, zie ook Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Relatie IJsselmeerpeil en herhalingsstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden

T [jaar]	Meerpeil [m+NAP]	95% ondergrens [m+NAP]	95% bovengrens [m+NAP]
10	0,40	0,33	0,45
100	0,62	0,50	0,77
1.000	0,85	0,62	1,16
10.000	1,07	0,71	1,63
100.000	1,29	0,78	2,19

Bij het bepalen van de frequentielijn en bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen voor het IJsselmeerpeil zijn geen fysieke beperkingen betrokken. Recent is een probabilistisch model ontwikkeld door HKV (Dulfer et al, 2014), waarbij de frequentielijn van het IJsselmeerpeil wordt uitgerekend op basis van de (belangrijke) stochasten aan de rand van het meer. Het meerpeil met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 10.000 jaar berekend met dat probabilistisch model, komt uit op 1,13 m+NAP. Dit meerpeil is iets hoger dan de waarde in Tabel 3.9. Het probabilistisch model laat bovendien zien dat de afvoer het meest bepalend is voor de statistiek van de IJsselmeerpeilen (Geerse, 2014). In dat rapport zijn enkele gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd, waarbij de huidige maatgevende afvoer bij Lobith

(16000 m³/s) en bijgevolg bij Olst gevarieerd werd. De hieruit voortvloeiende frequentielijnen zijn afgebeeld in Figuur 3.22; deze geven aanleiding voor aanpassing/aftoppen van de vigerende werklijn. Denkbaar is echter wel dat met name de 95%-bovengrens fysisch onrealistisch kan zijn. Toch is besloten om de 95%-bovengrens niet af te toppen omdat een groot aantal locaties in het IJsselmeer wind-gedomineerd is; het meerpeil speelt bij deze locaties een ondergeschikte rol. Alleen voor locaties langs de kust van Noord-Holland speelt het meerpeil een dominante rol. Gelet op de veiligheidsnorm voor dat deelgebied en het effect dat het meenemen van statistische onzekerheid (orde 0,10 m) heeft op de maatgevende waterstanden, is besloten om de 95%-bovengrens ook hier niet af te toppen.

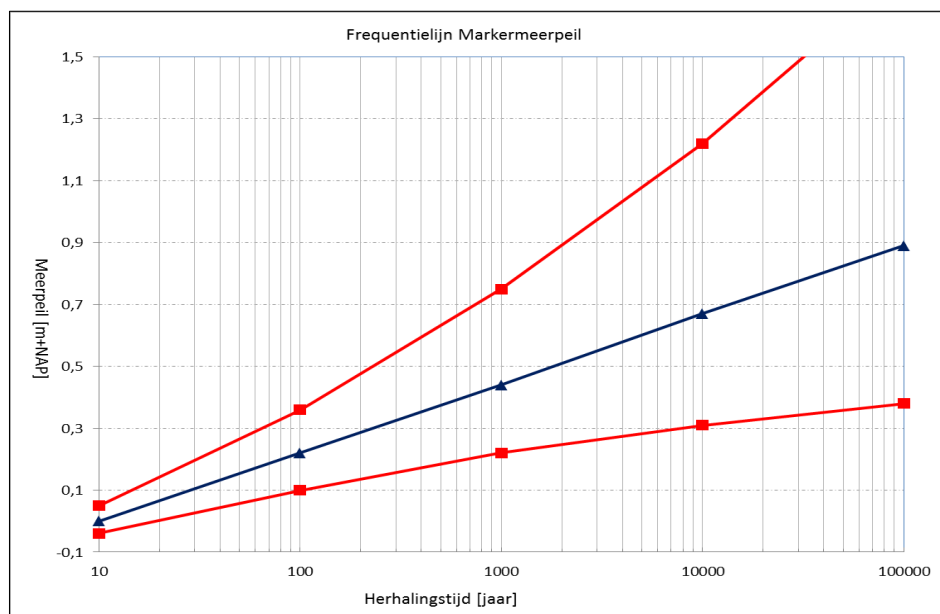


Figuur 3.22 Frequentielijn IJsselmeerpeil berekend met probabilistisch en verlaagde afvoeren. Olst en Vechtafvoer vermenigvuldigd met factor 14/16. Bron (Geerse, 2014). N.B. Zwarte lijn is vigerende meerpeilstatistiek.

3.4.2 Markermeerpeil

Voor WTI-2017 is besloten om de vigerende meerpeilstatistiek van het Markermeer te handhaven. Deze statistiek is afgeleid in 1996. Het Markermeer is ontstaan in 1976 door de aanleg van de dijk van Enkhuizen naar Lelystad. De tijdreeks van meetgegevens besloeg daarmee in 1996, toen de meerpeilstatistiek werd afgeleid, 20 jaar. De reeks is kunstmatig verlengd met gereconstrueerde meerpeilen voor de periode 1932-1976. Op basis van de samengestelde tijdreeks is een frequentielijn en een duurlijn gegenereerd. De frequentielijn en duurlijn zijn beschreven in (Lodder, 2007). Voor een nadere onderbouwing van de gebruikte statistiek wordt verwezen naar (WL | Delft Hydraulics, 1998) en (RWS-RIZA, 1999). Deze statistiek is gebruikt voor de Hydra-M berekeningen ten behoeve van HR-2006 (Lodder, 2007).

De frequentielijn van het Markermeerpeil en de 95%-betrouwbaarheidsintervallen zijn weergegeven in Figuur 3.23. De 95%-betrouwbaarheidsintervallen zijn evenals het IJsselmeer bepaald met de Bootstrapmethode (Geerse en Wojciechowska, 2014). In Tabel 3.10 zijn voor een aantal relevante terugkeertijden de bijbehorende meerpeilniveaus inclusief de 95% boven- en ondergrens gegeven.



Figuur 3.23 Frequentielijn Markermeerpeil zoals vastgesteld voor Hydra-M (WL/Delft Hydraulics 1998). De betrouwbaarheidsintervallen volgen uit (Geerse en Wojciechowska, 2014).

Tabel 3.10 Relatie Markermeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden

T [jaar]	Meerpeil [m+NAP]	95% ondergrens [m+NAP]	95% bovengrens [m+NAP]
10	0,00	-0,04	0,05
100	0,22	0,10	0,36
1.000	0,44	0,22	0,75
10.000	0,67	0,31	1,22
100.000	0,89	0,38	1,78

Tussen de statistiek van het IJsselmeer- en Markermeerpeil bestaat een sterke relatie. Mede om deze reden wordt evenals voor het IJsselmeer geen fysisch maximum aangehouden voor het Markermeer.

3.5 Zeewaterstandsstatistiek

3.5.1 Inleiding

In deze paragraaf komt de statistiek van zeewaterstanden op de hoofdstations zoals beschreven in het belastingmodel in paragraaf 2.2 aan de orde. Subparagraaf 3.5.2 beschrijft de (huidige) basispeilen zoals afgeleid in 1993. In het kader van HR-2006 is onderzocht of verlenging van de meetreeksen met de periode vanaf 1985 aanleiding gaf voor aanpassing van de huidige basispeilen. Dat was niet het geval. Deze exercitie is herhaald voor WTI-2017, waarbij de hoogwatermetingen (HW) van de laatste meetjaren (2007 t/m 2012) zijn meegenomen in de extreme-waarden analyse. Dit is beschreven in subparagraaf 3.5.3. Toeslagen voor hoogwaterstijgingen en trendcorrecties komen aan orde in subparagraaf 3.5.4. Subparagraaf 3.5.5 bevat tot slot de zeewaterstandsstatistiek zoals deze toegepast wordt binnen WTI-2017.

3.5.2 Basispeilen 1985

De basispeilen zijn maatgevende hoogwaterstanden met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van eens in 10.000 jaar. Uitgangspunt van WTI-2017 is dat de vigerende basispeilen gehandhaafd blijven en er geen actualisatie plaatsvindt. De vigerende basispeilen zijn in 1993 afgeleid voor de zogenaamde hoofdstations langs de Nederlandse kust (Dillingh, 1993). Hierbij is gebruik gemaakt van hoogwatermetingen (HW) tot en met 1985; de afgeleide basispeilen gelden dan ook voor de situatie in het jaar 1985. Bij het bepalen van de basispeilen is in eerste instantie een statistische onderzoek uitgevoerd op basis van individuele stations; hierbij zijn diverse statistische methoden onderzocht zoals het fitten van een Gegeneraliseerde Pareto Verdeling (GPV), de Gegeneraliseerde Extreme waarden Verdeling (GEV) of de zogenaamde VVM-0 (een niet parametrische methode ontwikkeld door Laurens de Haan van de Erasmus universiteit). Dit is een methode waarbij extremen behorende bij lage frequenties of kansen worden geschat zonder gebruik te maken van parametrische verdelingsfuncties. Uitgaande van de 5 hoofdstations kwam de VVM-0 als meest geschikte methode naar voren, zie (Dillingh, 1993) voor meer details. Naast het statistische onderzoek is ook onderzoek gedaan naar fysica waarbij voornamelijk de samenhang tussen verschillende hoofdstations is beschouwd.

In het eindverslag van de basispeilen langs de Nederlandse kust (Dillingh, 1993) worden de volgende hoofdstations genoemd, waarbij ook de lengtes van de beschikbare meetreeksen van HW-standen zijn gegeven:

- Vlissingen 1881....1985
- Hoek van Holland 1887....1985
- Den Helder 1932....1985
- Harlingen 1932....1985
- Delfzijl 1881....1985

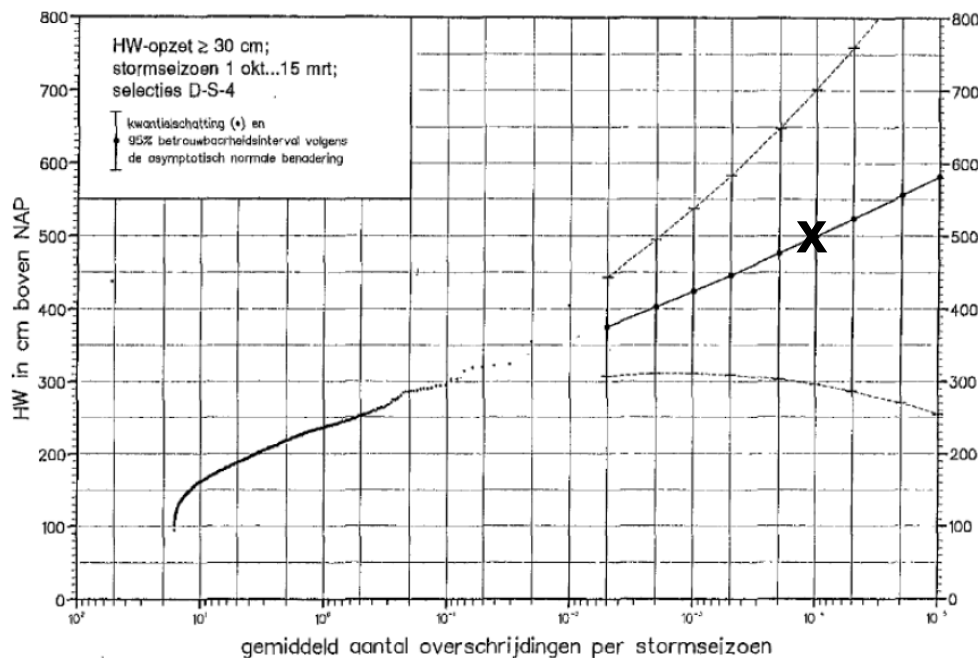
Tabel 3.11 Basispeilen hoofdstations langs de kust (Van Urk, 1993)

Station	Basispeil [m+NAP]
Vlissingen	5,45
Hoek van Holland	5,00
Den Helder	4,40
Harlingen	5,00
Delfzijl	6,15
West Terschelling	4,30

Merk op dat de reeksen voor Den Helder en Harlingen, vanwege de afsluiting van de Zuiderzee in juni 1932, korter zijn dan de overige reeksen: ruwweg 50 jaar versus 100 jaar voor de overige hoofdstations. De op basis van de VVM-0 methode afgeleide basispeilen zijn weergegeven in Tabel 3.11. Merk op dat de 95% betrouwbaarheidsbanden enkel zijn afgeleid voor de 1/10000-hoogwaterstan, ook kwantiel genoemd. In Figuur 3.24 voor Hoek van Holland is dat aangegeven met een kruisje x).

Naast de hoofdstations gegeven in Tabel 3.11 is er nog een set zeewaterstandsstations nodig voor het uitvoeren van de zogenoemde triangulaire interpolaties¹³. Van deze set zeewaterstandsstations is statistische informatie beschikbaar, zie (Roskam et al, 2000). Het betreft de volgende stations: Lauwersoog, Hansweert, Den Oever, IJmuiden en Huibertgat.

¹³ De vertaling van de waterstanden bij hoofdstations naar locaties bij de teen van de dijk geschiedt voor de kustgebieden niet middels modelberekeningen (WAQUA) maar middels de zogenoemde triangulaire interpolaties. Deze aanpak is onveranderd ten opzichte van HR2006/CR2011.



Figuur 3.24 95% betrouwbaarheidsinterval voor Hoek van Holland volgens VVM-0 methode, uit: Dillingh (1993).

3.5.3 Effect verlenging meetreeksen zeewaterstanden

In het kader van WTI-2011 is onderzocht of verlenging van de meetreeksen HW van de hoofdstations met data uit de periode 1986 t/m 2007 aanleiding zou geven voor bijstelling van de huidige basispeilen (Roscoe, 2009). De gevolgde procedure in 1993 om de basispeilen te bepalen is hierbij als uitgangspunt gebruikt. In tegenstelling tot (Dillingh, 1993) is er in (Roscoe, 2007) echter enkel gekeken naar de statistiek op de hoofdstations afzonderlijk; een fysisch onderzoek waarbij de samenhang tussen de hoofdstations wordt beschouwd, is achterwege gebleven. Dezelfde procedure is herhaald in WTI-2017 om te verkennen of de meetperiode 2007-2012 aanleiding zou geven voor het uitvoeren van een volledig en uitgebreid onderzoek naar de basispeilen (Eilander, 2014b). Benadrukt wordt dat de analyse in (Eilander, 2014b) niet bedoeld is om de basispeilen te actualiseren maar enkel om na te gaan wat het effect zou zijn van de verlenging van de meetreeksen; de resultaten zijn dan ook niet geschikt voor gebruik omdat voor een actualisatie van de basispeilen een fysisch onderzoek naar de samenhang tussen de stations noodzakelijk is.

In (Eilander, 2014b) is een GPV kansverdeling gefit op hoogwaterpieken boven een bepaalde drempelwaarde. De selectie van hoogwaterpieken is gebaseerd op de zogenoemde D-S-4 selectie (Dillingh, 1993). De drempelwaarden uit de vorige verkenning (Roscoe, 2009), zie ook Tabel 3.12, zijn opnieuw gebruikt in (Eilander, 2014b) om de consistentie tussen beide verkenningen te waarborgen. De parameters, schaal- en vormparameters van de GPV zijn geschat met behulp van de 'maximum likelihood' methode, dit is ook conform Roscoe (2009).

Tabel 3.12 Drempelwaarden gebruikt voor selecteren pieken; uit (Roscoe, 2009)

Delfzijl	Harlingen	Den Helder	Hoek van Holland	Vlissingen
260 cm	206 cm	175 cm	218 cm	308 cm

De D-S-4 selectie methode resulteert in nieuwe tijdreeksen hoogwaters (HW) die onafhankelijk en identiek verdeeld zijn. Verlenging van de meetreeksen met metingen uit de periode 1985 leidt tot extra HW data. De toename van het aantal HW's in de meetreeksen t/m

2012 ten opzichte van de meetreeks t/m 1985, respectievelijk t/m 2007 varieert van 28 bij Hoek van Holland tot 125 bij Harlingen, respectievelijk van 1 bij Vlissingen tot 21 bij Harlingen; zie Tabel 3.13. Ten opzichte van de meetreeks t/m 1985 treedt de grootste toename van het aantal HW's bij de meest noordelijk gelegen stations: Delfzijl en Harlingen.

Tabel 3.13 Aantal pieken boven de gekozen drempelwaarden uit Tabel 3.12.

Meetreeks	Delfzijl	Harlingen	Den Helder	Hoek van H.	Vlissingen
1985 pieken (basispeilen)	325	254	127	249	269
2007 pieken	400	358	189	275	317
2012 pieken	420	379	196	277	318
Extra pieken 1985-2012	95	125	69	28	49

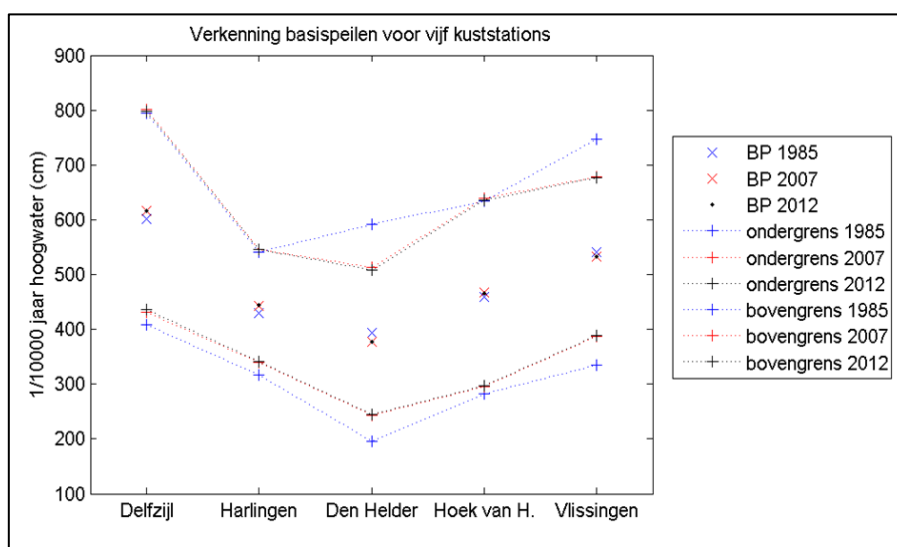
Hoge zeewaterstanden (HW) zijn berekend¹⁴ voor vijf stations langs de Nederlandse kust op basis van verlengde meetreeksen van hoogwaterpieken t/m 2012. In vergelijking met de resultaten in (Roscoe, 2009) laat Tabel 3.14 zien dat het effect van de verlenging van de meetreeks klein is en bedraagt maximaal 0,02 m. Voor Delfzijl is er geen verschil. Dit betekent dat de laatste 5 meetjaren de resultaten van de statistische analyse nauwelijks beïnvloeden. Ten opzichte van de vigerende basispeilen uit 1985 zijn er echter wel grote verschillen; deze lopen op tot (afgerond) 0,4 m voor station Den Helder, voor Vlissingen geldt een verschil van 0,23 m. Of en in hoeverre het analyseren van de samenhang tussen de hoofdstations soortgelijke effecten kan beïnvloeden, is niet onderzocht en derhalve onbekend. De geconstateerde verschillen rechtvaardigen ons inziens het uitvoeren van een volledig onderzoek, zowel statistisch als fysisch, naar de basispeilen.

Tabel 3.14 Veranderingen in 1/10.000-hoogwaterstanden (HW) uit drie studies: basispeilen (BP) 1985 (Dillingh, 1993), 1985 reproductie, 2007 actualisatie (Roscoe, 2009) en actualisatie 2012 (Eilander, 2014b)

1/10,000-year HW (cm)	Delfzijl	Harlingen	Den Helder	Hoek van H.	Vlissingen
1985 BP (statistisch onderzoek)	615	440	415	475	555
HW 2007 series	616	442	378	467	533
HW 2012 series	616	444	376	466	532
ΔHW (2012-2007)	0	+2	-2	-1	-1

Verlenging van de meetreeks leidt tot enigszins smallere betrouwbaarheidsintervallen. Dit betekent dat de onzekerheid kleiner wordt, zie Figuur 3.25.

¹⁴ De berekende zeewaterstanden zijn het resultaat van uitsluitend een statische analyse van de stations individueel; de samenhang en correlatie tussen de stations (fysica) is hier niet beschouwd.



Figuur 3.25 Vergelijking basispeilen (BP) afgeleid in drie studies: 1985 reproductie, 2007 actualisatie (Roscoe, 2009) en actualisatie 2012 met bijbehorende 95% betrouwbaarheidsintervallen (Eilander, 2014b)

3.5.4 Toeslagen hoogwaterstijging en trendcorrecties

De basispeilen uit (Dillingh, 1993) gelden zoals vermeld voor de situatie in het jaar 1985. In verband met een mogelijke stijging van de hoogwaters (zeespiegelrijzing en lokale effecten) na 1985 dienen de basispeilen wel te worden geactualiseerd voor het jaar waarin de toetsing van een waterkering betrekking heeft. Voor WTI2017 betreft dat het jaar 2023 (het einde van de toetsperiode).

Toeslagen voor hoogwaterstijging en trendcorrecties zijn onderzocht in (Eilander, 2014). Voor het bepalen van deze toeslagen is dezelfde werkwijze gehanteerd als in (Dillingh & de Lima Rego, 2010). De toeslagen zijn bepaald ten opzichte van de situatie in het jaar 1985. De trend is berekend op basis van de tijdseries van gemiddeld hoogwater volgens een lineaire (LR) en een niet-lineaire benadering; in dit laatste geval is de zogeheten Whittaker smoother gebruikt. Deze smoother minimaliseert de zogenoemde “Penalized Sum of Squares” (PSS), zie (Eilander, 2014c). Ter vergelijking is ook de trend in gemiddelde zeewaterstand berekend. Hierbij zijn data gebruikt van 23 stations langs de Nederlandse kust, zie (Eilander, 2014c).

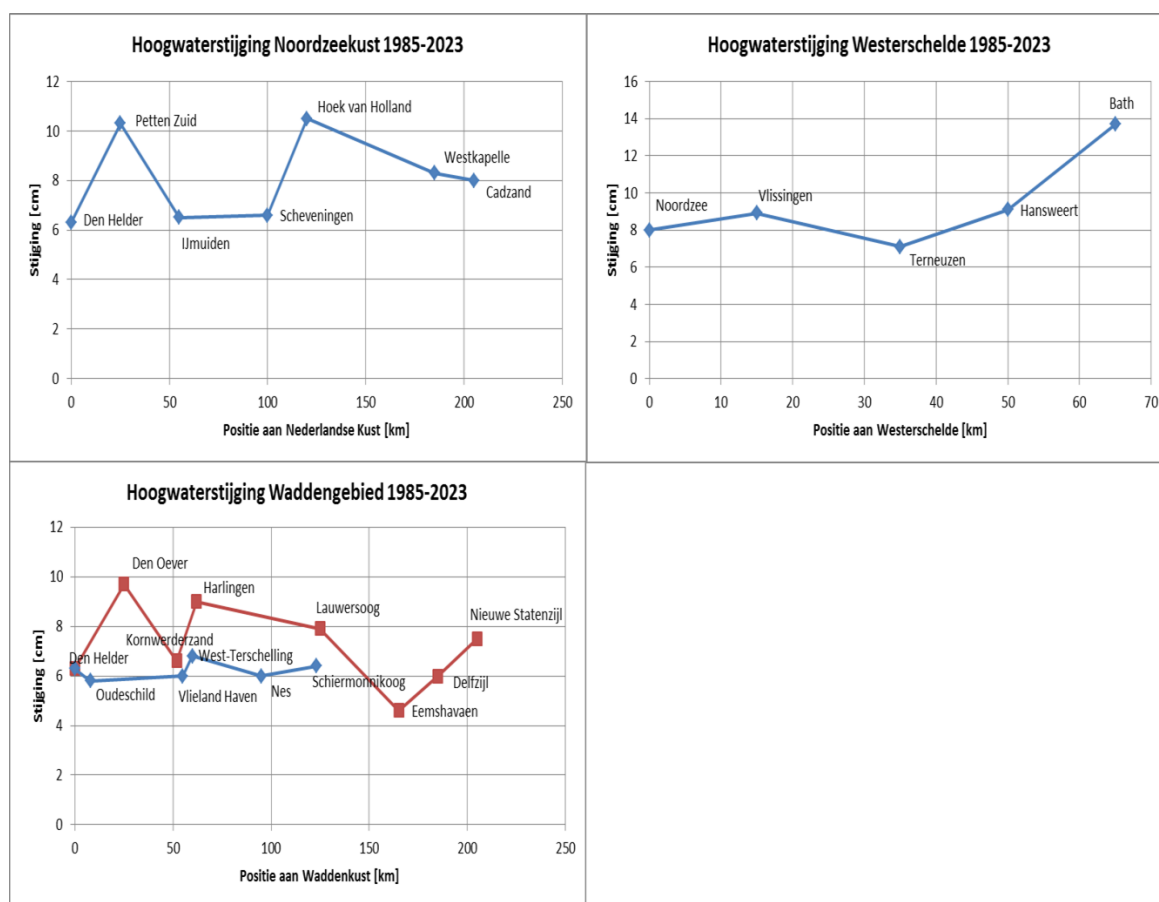
Op basis van de beschreven werkwijze zijn toeslagen voor hoogwaterstanden tussen 1985 en 2023 berekend op basis van tijdreeksen t/m 2012. De resultaten zijn gepresenteerd in Tabel 3.15.

De geschatte toeslagen zijn ruimtelijk uitgezet langs de kustlijn of as van een estuarium. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de volgende takken: De Noordzeekust, De Westerschelde en het Waddengebied. Hierbij wordt verwacht dat de toeslagen logisch op elkaar aansluiten, zie (Eilander, 2014c)

In Figuur 3.26 zijn de berekende toeslagen voor de Hollandse en Zeeuwse Noordzeekust, Waddenzee en Westerschelde uitgezet tegen hun positie gemeten vanaf Den Helder. Met betrekking tot de Noordzeekust kan door de relatief hoge toeslagen bij Petten Zuid en Hoek van Holland geen duidelijk trend worden waargenomen. Indien deze twee stations buiten beschouwing worden gelaten dan lijkt er een positieve trend te zijn van noord naar zuid van ca. 2 cm. In (Dillingh, 2010) is een gemiddelde toeslag voor 2017 van 8 cm voorgesteld voor de hele Noordzeekust. Aan de hand van de resultaten uit (Eilander, 2014c) zou ook voor 2023 zou de gemiddelde toeslag uitkomen op (afgerond) 8 cm.

Tabel 3.15 Toeslagen 1985-2023 per station voor gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddelde zeestand (GZS), berekend met de Penalized sum of squares (PSS) of met lineaire regressie (LR). Bron (Eilander, 2014c)

Station	Toeslag 1985-2023	Toeslag 1985-2023	Toeslag 1985-2023	Toeslag 1985-2023
	PSS op GHW	LR op GHW	PSS op GZS	GHW - gekozen
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Bath	13.7	19.9	6.1	13.7
Cadzand	2.7	8.0	5.7	8.0
Delfzijl	6.0	6.3	8.6	6.0
Den Helder	6.3	7.3	6.9	6.3
Den Oever	9.7	9.5	11.3	9.7
Eemshaven	4.6	4.9	6.3	4.6
Hansweert	9.1	15.4	12.1	9.1
Harlingen	6.6	9.0	7.0	9.0
Hoek van Holland	12.7	10.5	9.8	10.5
Ijmuiden	6.5	6.7	8.8	6.5
Kornwerderzand	6.6	6.8	6.7	6.6
Lauwersoog	7.9	9.7	10.6	7.9
Nes	6.0	8.7	9.2	6.0
Nieuwe Statenzijl	1.1	7.5	17.6	7.5
Oudeschild	5.8	7.0	6.7	5.8
Petten Zuid	10.3	10.4	12.2	10.3
Scheveningen	6.6	10.0	7.2	6.6
Schiernonnikoog	6.4	8.6	10.3	6.4
Terneuzen	7.1	13.7	8.7	7.1
Vlieland Haven	6.0	6.4	8.2	6.0
Vlissingen	8.9	12.2	10.3	8.9
West Terschelling	6.8	7.5	8.7	6.8
Westkapelle	8.3	10.3	9.7	8.3



Figuur 3.26 Ruimtelijke verdeling toeslagen kustgebieden

Ook van de stations langs de Westerschelde zijn de berekende toeslagen voor het peiljaar 2023 uitgezet tegen de afstand vanaf de Noordzee, zie (Eilander, 2014c). Figuur 3.26 laat zien dat er constante trend waar te nemen is voor de locaties tot aan Hansweert. Na Hansweert is er sprake van stijgende trend; de toeslagen nemen na Hansweert namelijk van 8 cm lineair toe tot bijna 14 cm bij Bath.

Voor het Waddengebied zijn de berekende toeslagen voor het peiljaar 2023 uitgezet tegen de afstand vanaf Den Helder. Er zijn twee series: De rode lijn geeft de toeslagen voor de stations aan de landzijde van de Waddenzee; de blauwe lijn die van de stations aan de eilandzijde, zie Figuur 3.26. Er bestaat een duidelijk verschil tussen beide lijnen en er is geen duidelijke ruimtelijke trend waarneembaar. De stations in de Eems-Dollard laten wel de laagste toeslagen zien. Echter, in vergelijking met (Dillingh, 2010) is met name de toeslag voor station Nieuw Statenzijl relatief hoog. In navolging van Dillingh (2010) wordt daarom een toeslag voor 2023 van 8 cm voor het Waddengebied en 7 cm voor de Eems-Dollard voorgesteld.

3.5.5 Zeewaterstandsstatistiek WTI-2017

De vigerende basispeilen uit 1993 op basis van HW metingen t/m 1985 blijven gehandhaafd in WTI-2017. In verband met de stijging van het hoogwater (zeespiegelrijzing en lokale effecten) na 1985 dienen de volgende correcties/toeslagen te worden doorgevoerd:

- Voor Nederlandse kust met uitzondering van Hoek van Holland en Petten Zuid, de Waddenzee en de Westerschelde tot Hansweert geldt een toeslag van 8 cm,
- Voor Hoek van Holland en Petten Zuid geldt een correctie van 10 cm,

- Voor de Westerschelde kust na Hansweert dient een lineaire toename van 8 tot 14 cm bij Bath aangehouden te worden,
- Voor de Eems-Dollard geldt een gemiddelde toeslag van 7 cm.

De gemiddelde toeslagen langs de Nederlandse kust, Westerschelde en Waddenkust voor de periode 1985-2023 zijn met uitzondering van Hoek van Holland en Petten Zuid gelijk gebleven aan de toeslagen voor 1985-2017.

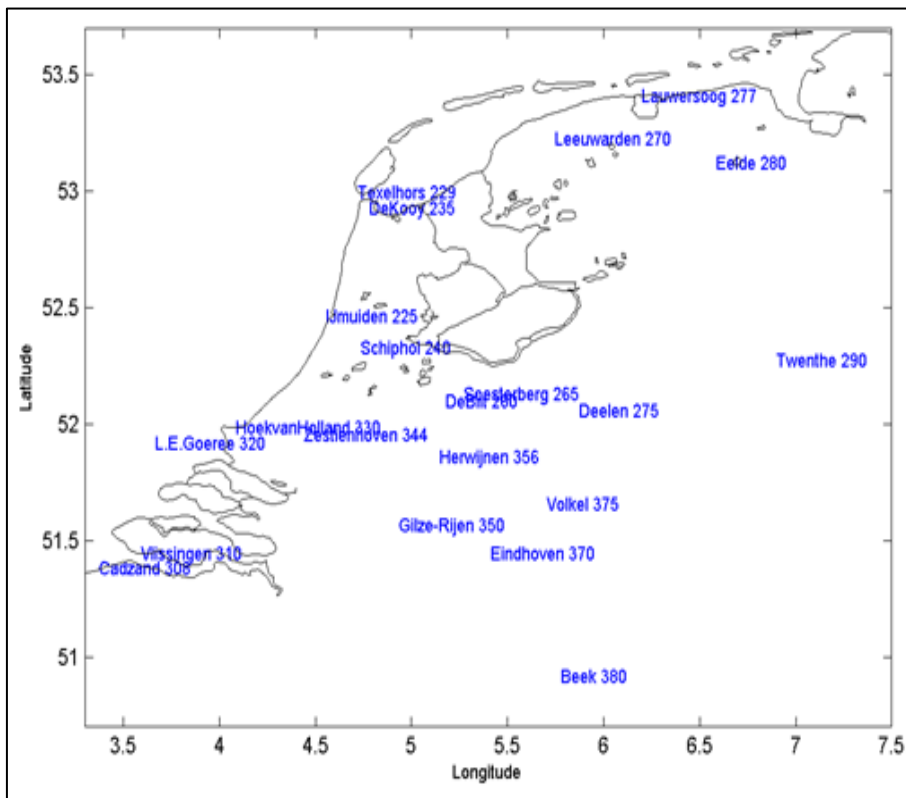
3.6 Windstatistiek

3.6.1 Inleiding

Wind heeft betrekking op twee onderdelen: windsnelheid (m/s) en windrichting (graden t.o.v. noord). In deze paragraaf komen beide onderdelen aan de orde. De statistiek van beide onderdelen is nieuw in WTI-2017. In paragraaf 3.6.2 komt de nieuwe extreme waardenstatistiek van de windsnelheid aan de orde. Deze is geschikt voor het hoge en extreme bereik: windsnelheden boven een bepaalde drempelwaarde. Zowel de omnidirectionele als de richtingsafhankelijke statistiek komt hierbij aan de orde. De statistiek van de windrichting wordt behandeld in paragraaf 3.6.3. Paragraaf 3.6.4 behandelt de windstatistiek voor het lage bereik. Paragraaf 3.6.5 adresseert de effecten van de nieuwe windstatistiek op de MHW en HBN's.

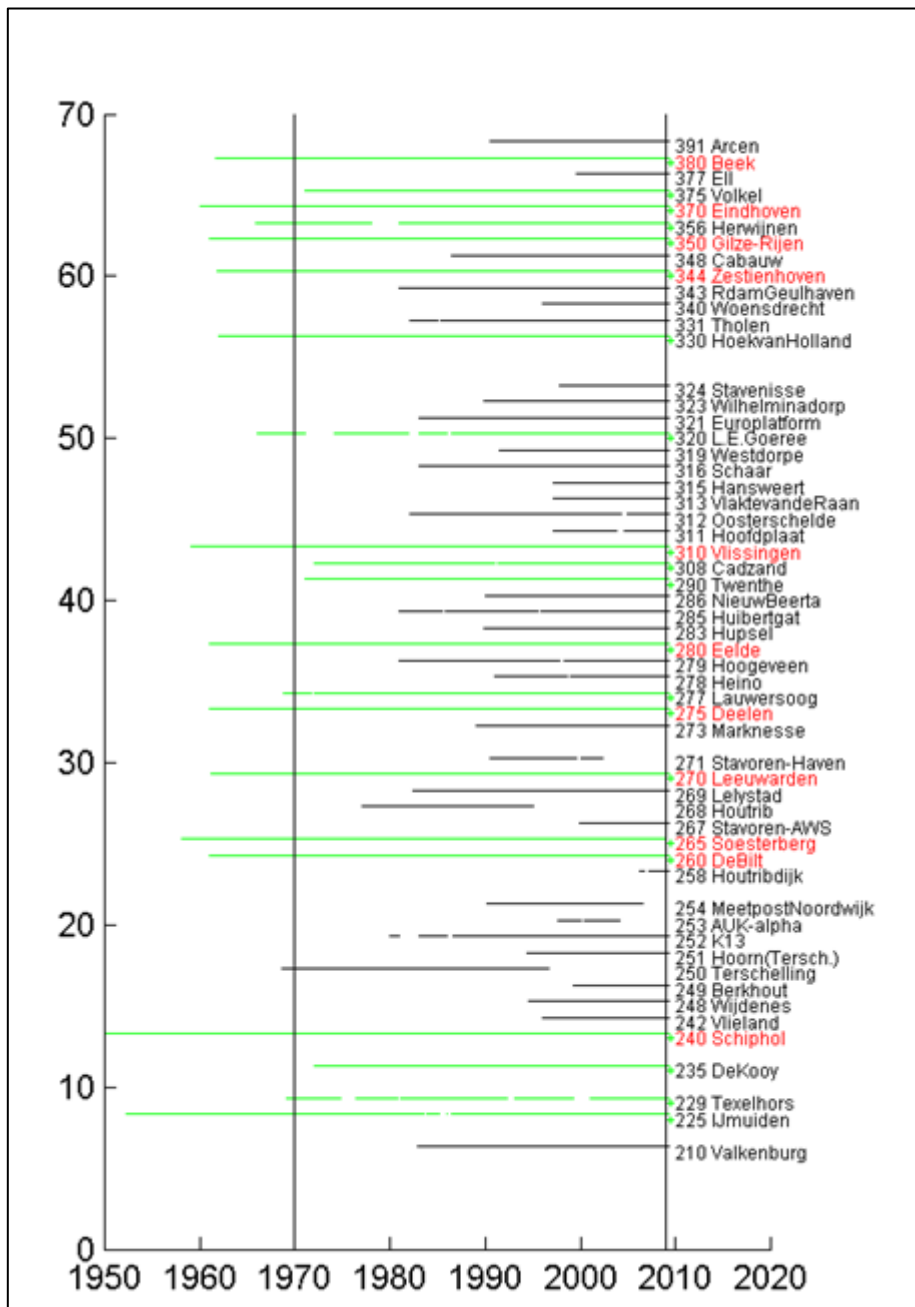
3.6.2 Windsnelheid hoog bereik

De vigerende (en concept) hydraulische randvoorwaarden (HR2006 en WTI-2011) zijn gebaseerd op de windstatistiek van het KNMI uit 1983 (Wieringa en Rijkoort, 1993). Deze statistiek is gebaseerd op windmetingen uit de periode 1962-1976 en is beschikbaar per windrichting voor verschillende windstations in Nederland, zie Figuur 3.27.



Figuur 3.27 Grafische weergave van de windstations gebruikt voor de nieuwe de windstatistiek (Caires, 2009).

In het kader van WTI-SBW is recentelijk in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek gedaan naar de windstatistiek waarbij o.a. windmetingen uit de periode vanaf 1970 zijn gebruikt. Op basis van deze langere en betrouwbaardere meetreeksen is door Deltares in samenwerking met het KNMI nieuwe windstatistiek voor potentiële windsnelheden afgeleid voor een groot aantal windstations verspreid over heel Nederland (Caires, 2009). Een geografische weergave van de gebruikte windstations is gegeven in Figuur 3.27. Deze statistiek geeft per windrichting van 30 graden overschrijdingsfrequenties van hoge/extreme windsnelheden vanaf overschrijdingsfrequenties van circa 2 keer per jaar.



Figuur 3.28 Gebruikte windstations in windonderzoek inclusief meetperiode. Rood (KNMI, 1983) en Groen (Caires, 2009)

De nieuwe statistische analyse is gebaseerd op windmetingen van 21 windstations verspreid over heel Nederland uit de periode 1970-2008 (39 jaar). Deze periode bevat weinig hiaten en is voldoende betrouwbaar bevonden. De volgende stations zijn gebruikt: IJmuiden, Texelhors, De Kooy, Schiphol, De Bilt, Soesterberg, Leeuwarden, Deelen, Lauwersoog, Eelde, Twenthe, Cadzand, Vlissingen, LE Goeree, Hoek van Holland, Zestienhoven, Gilze-Rijen, Herwijnen, Eindhoven, Volkel en Beek. Een overzicht van deze gebruikte windstations is geografisch weergegeven in Figuur 3.27. De beschouwde meetperiode omvat betrouwbare en volledige windgegevens, zie ook Figuur 3.28.

Beschouwd is de potentiële windsnelheid. Dat is de uurgemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte boven homogeen open terrein met een ruwheidslengte van $z_0 = 0.03$ m, zie (de Waal, 2003). Uit de series potentiële windsnelheden zijn verder 2 sets geselecteerd voor de statistische analyse. Een serie jaarmaxima en een serie pieken van windsnelheden boven een bepaalde drempelwaarde, de zogenoemde Peaks over Threshold (POT-series). Zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke series zijn beschouwd. Hierbij zijn windsectoren van 30 graden beschouwd.

Zonder nader in te gaan op details vermelden we hier dat de analyse van de jaarmaxima uitgevoerd is met behulp van de Gegeneraliseerde Extreemwaarden verdeling (GEV) en van de POT-series met de Gegeneraliseerde Pareto Verdeling (GPV). Zowel de GEV als de GPV kansverdelingen worden standaard gebruikt voor de analyse van jaarmaxima en beide kansverdelingen omvatten, afhankelijk van de vormparameter die als het ware de vorm van de kromming van de kansverdeling in extreme situaties (de staart van de verdeling) beschrijft, drie typen kansverdelingen, zie voor details (Coles, 2001).

De GEV kansverdeling worden gegeven door:

$$G(z) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}, & \text{for } \xi \neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]\right\}, & \text{for } \xi = 0, \end{cases} \quad (3.1)$$

De GEV kansverdeling wordt bepaald door 3 parameters: de parameter ξ bepaalt de vorm van de kansverdeling (de vormparameter), σ is een schaalfactor (schaalparameter) en μ is een locatieparameter; de parameters van de GEV kansverdeling voldoen aan $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$ en $-\infty < \xi < \infty$. De vormparameter ξ bepaalt het type extreme waardenverdeling. Voor $\xi = 0$ ontstaat de Gumbel kansverdeling; zie voor meer details over GEV kansverdeling (Coles, 2001).

Kwantielschattingen Z_m , waarin m herhalingstijd voorstelt, worden gegeven door:

$$z_m = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left(1 - \left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{m}\right)\right\}^{-\xi}\right), & \text{for } \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \log\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{m}\right)\right\}, & \text{for } \xi = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

De GPV kansverdeling wordt gegeven door:

$$F_u(y) = \begin{cases} 1 - \left(1 + \xi \frac{y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-1/\xi}, & \text{for } \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{y}{\tilde{\sigma}}\right), & \text{for } \xi = 0, \end{cases} \quad (3.3)$$

Met $y > 0$, $\tilde{\sigma} > 0$ en $(1 + \xi(y/\tilde{\sigma})) > 0$. De GPV kansverdeling heeft een vormparameter (ξ) en een schaalparameter ($\tilde{\sigma}$). De parameter u is de drempelwaarde.

Kwantielen Z_m , waarin m herhalingstijd voorstelt, worden gegeven door:

$$z_m = \begin{cases} u + \frac{\tilde{\sigma}}{\xi} \{ (\lambda_u m)^\xi - 1 \}, & \text{for } \xi \neq 0 \\ u + \tilde{\sigma} \ln(\lambda_u m), & \text{for } \xi = 0. \end{cases} \quad (3.4)$$

Ten aanzien van de series jaarmaxima blijkt na uitgebreide statistische analyse dat GEV kansverdeling Type I (de Gumbel verdeling) te resulteren in de beste fit; de POT series blijken volgens GPV Type I (exponentiële verdeling) te zijn verdeeld. Dit geldt voor zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke series. De exponentiële kansverdeling op basis van POT series blijkt verder beter te fitten dan de Gumbel kansverdeling op basis van jaarmaxima. Er is daarom besloten om de nieuwe windstatistiek te baseren op de exponentiële kansverdeling gefit op POT series, zie (Caires, 2009).

De geschatte/gebruikte drempelwaardes evenals de parameterschattingen van de exponentiële kansverdeling op basis van POT series zijn weergegeven in Tabel 3.16 t/m Tabel 3.18. Het betreft schattingen van zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke situaties.

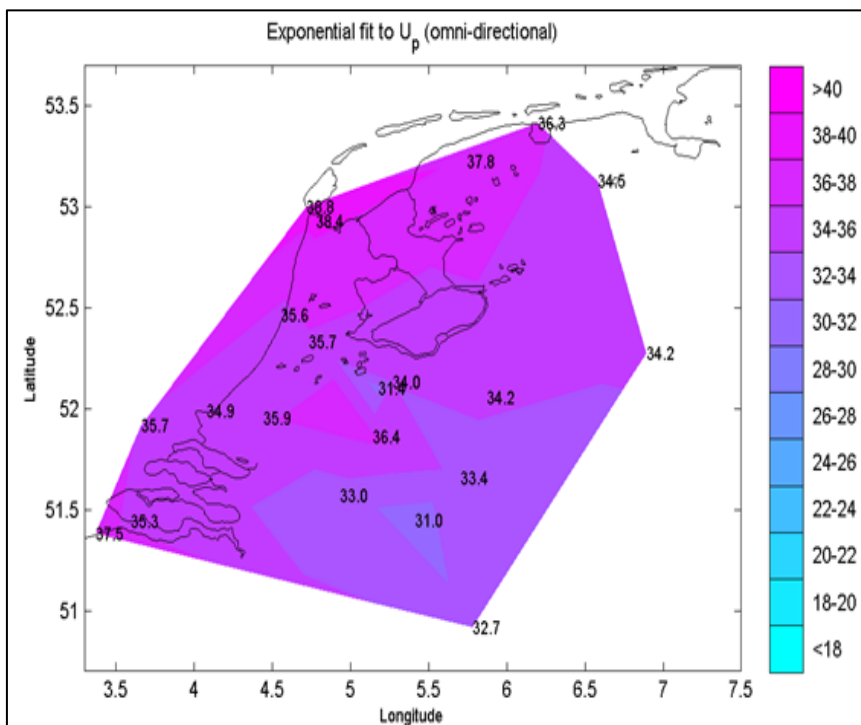
Tabel 3.16 Gebruikte drempelwaardes POT series, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron (Caires, 2009)).

Station \ Sector	omni-directional	345°N -	15°N -	45°N -	75°N -	105°N -	135°N -	165°N -	195°N -	225°N -	255°N -	285°N -	315°N -
		15°N	45°N	75°N	105°N	135°N	165°N	195°N	225°N	255°N	285°N	315°N	345°N
IJmuiden	18.3	12.9	10.6	11.9	10.6	8.3	9.5	14.4	16.3	16.2	17.0	15.7	13.9
Texelhors	18.0	15.3	9.7	11.5	10.4	10.4	10.8	14.8	15.1	14.8	15.3	17.1	14.8
De Kooy	16.9	10.7	10.3	9.5	8.9	9.5	10.9	13.8	17.8	17.5	16.8	14.8	11.7
Schiphol	16.6	8.4	9.7	9.2	8.3	6.9	9.4	11.2	12.9	17.2	14.0	14.0	11.3
De Bilt	11.6	8.6	7.4	7.9	6.8	7.5	8.0	9.0	11.5	11.0	9.4	9.5	7.5
Soesterberg	11.5	7.4	7.4	8.5	8.5	8.1	7.5	9.1	9.9	12.2	10.5	9.6	8.3
Leeuwarden	15.0	9.9	9.0	10.3	9.1	9.0	8.2	11.6	13.5	14.6	14.0	14.6	12.1
Deelen	13.4	8.7	8.3	9.1	8.2	9.0	9.0	10.0	11.2	12.5	10.3	9.8	9.9
Lauwersoog	15.9	11.9	11.8	12.0	12.5	10.8	10.4	12.5	14.1	15.9	15.5	14.8	14.9
Felde	15.3	7.3	8.3	8.4	8.0	7.8	7.5	10.0	12.6	13.2	12.2	10.6	9.7
Twente	12.1	6.5	6.3	6.7	6.8	5.6	7.2	10.0	10.9	11.0	9.8	9.4	7.4
Cadzand	16.9	13.4	11.6	11.3	10.3	7.0	7.8	11.6	15.3	17.9	15.5	12.8	12.7
Vlissingen	17.0	9.2	10.3	9.2	7.9	8.8	9.7	13.1	14.3	16.9	15.4	13.5	10.4
L.E. Goeree	16.3	11.7	11.8	8.8	9.9	8.9	10.7	14.4	13.5	15.4	14.5	14.6	12.4
Hoek van Holland	17.3	14.4	12.9	11.0	9.1	9.3	10.0	13.8	16.0	17.0	17.0	15.3	16.7
Zestienhoven	14.5	9.2	8.2	9.4	8.1	7.4	8.4	11.1	13.7	13.5	13.1	13.1	10.2
Gilze-Rijen	12.1	7.6	7.9	9.2	7.3	7.1	7.1	9.9	10.7	12.9	11.1	10.9	7.8
Herwiinen	15.0	8.2	7.3	6.9	8.0	7.3	8.4	9.3	13.6	15.1	14.6	11.4	8.1
Eindhoven	13.3	7.4	7.1	8.1	7.1	8.1	7.0	9.2	11.2	12.2	13.4	11.0	8.6
Volkel	13.0	6.6	6.8	9.0	8.0	8.3	6.4	8.3	11.9	11.1	11.5	8.5	6.7
Beek	14.4	6.9	7.2	8.6	7.5	6.6	6.0	10.0	13.1	15.7	10.0	9.1	7.8

Tabel 3.17 Schattingen van de parameter λ_u van de exponentiële verdeling (bron (Caires, 2009)).

Station \ Sector	omni-directional	345°N -	15°N -	45°N -	75°N -	105°N -	135°N -	165°N -	195°N -	225°N -	255°N -	285°N -	315°N -
		15°N	45°N	75°N	105°N	135°N	165°N	195°N	225°N	255°N	285°N	315°N	345°N
IJmuiden	3.45	3.05	5.15	2.10	3.61	4.77	5.02	2.56	4.83	3.96	2.51	2.86	3.32
Texelhors	4.31	1.84	6.77	3.10	5.81	5.03	4.31	3.88	6.44	7.04	5.39	2.35	4.06
De Kooy	4.04	2.54	2.48	4.80	5.21	2.59	2.05	1.99	1.39	1.45	1.91	2.73	3.76
Schiphol	2.99	6.24	2.65	4.59	3.20	6.80	3.23	3.17	4.30	1.78	2.94	1.89	2.73
De Bilt	6.04	1.67	4.61	3.13	4.93	3.05	2.62	3.68	3.02	4.93	5.75	2.44	4.45
Soesterberg	6.60	5.74	4.58	2.13	2.26	2.32	5.42	2.48	5.66	2.96	6.06	4.63	5.33
Leeuwarden	4.52	3.82	3.77	2.03	3.22	2.60	5.51	2.75	2.52	2.83	3.09	1.71	3.09
Deelen	4.01	2.64	3.80	2.66	3.98	1.18	2.85	3.71	5.11	4.04	7.00	5.46	2.48
Lauwersoog	7.24	4.76	2.92	2.94	1.67	1.95	1.98	3.54	4.68	2.78	3.77	3.38	2.63
Eelde	2.54	7.50	3.88	3.20	3.57	2.69	4.78	4.97	3.33	4.84	4.60	4.49	4.23
Twentv	3.99	6.08	5.81	6.27	4.68	7.15	2.72	2.97	3.82	3.41	5.61	4.60	6.74
Cadzand	5.14	2.13	3.85	2.78	2.16	4.97	6.34	4.91	2.72	2.27	3.48	7.33	4.80
Vlissingen	3.43	4.17	1.39	3.38	5.46	3.14	3.38	3.07	3.38	2.71	2.60	2.06	3.38
L.E. Goeree	5.89	5.34	3.40	8.36	3.11	5.54	3.56	2.20	8.87	5.08	5.25	3.76	5.76
Hoek van Holland	4.09	2.08	2.45	3.25	4.14	3.44	4.50	2.60	2.24	2.16	1.90	3.62	1.09
Zestienhoven	5.72	4.34	5.67	1.86	3.59	4.92	4.60	4.79	3.22	6.20	4.12	2.55	4.95
Gilze-Rijen	6.66	5.32	4.50	2.27	5.08	4.14	5.48	4.37	5.85	2.21	4.98	3.11	6.85
Herwijnen	3.40	3.92	5.46	5.58	4.04	4.15	2.64	5.58	2.09	2.41	1.92	3.81	7.50
Eindhoven	4.43	5.30	6.54	3.74	4.74	1.71	4.74	4.66	5.88	4.32	2.16	2.98	4.85
Volkel	3.88	5.52	5.46	2.43	3.33	1.48	6.99	6.83	3.96	6.72	3.25	4.48	6.23
Beek	3.18	5.66	6.18	1.89	4.63	2.03	6.16	4.10	4.47	1.29	5.76	3.76	3.50

De kwantiel-schattingen van U_p met een herhalingstijd van gemiddeld eens in 10.000 jaar zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.29 en in tabelvorm in Tabel 3.19.



Figuur 3.29 Resultaat van 1/10.000 kwantielen, exponentiële verdeling op basis van POT (bron (Caires, 2009)).

De windstatistiek van U_p zoals afgeleid door (Caires, 2009) geldt voor 12 richtingssectoren van 30 graden. Het belastingmodel voor enkele regio's, zie Tabel 2.1, gaat echter uit van 16 windrichtingen van 22,5 graden. Dit geldt voor de regio's 1 t/m 8 en regio 17. Al deze regio's maken gebruik van de windstatistiek bij Schiphol. Dit betekent dat de kansverdeling van de windrichting voor 12 sectoren bij Schiphol omgerekend moet worden naar een kansverdeling voor 16 sectoren. Het recept om van 30°-sectoren over te gaan op smallere sectoren wordt in [Roskam et al, 2000] gegeven.

De richtingsafhankelijke windstatistiek voor 16 richtingssectoren voor station Schiphol is afgeleid door (Geerse en Verkaik, 2010).

Een vergelijking tussen de oude windstatistiek (volgens het Rijkooort-Weibull model) en de nieuwe windstatistiek voor de meest relevante¹⁵ windstations en windrichtingen is weergegeven in Figuur 3.30. In toepassingen zijn vaak de richtingen 210° t/m 330° van belang, in combinatie met de hogere terugkeertijden 1.000 en 10.000 jaar. Hier zijn overigens enkele uitzonderingen op, met name voor de regio's 3 en 4 (Benedenrivieren) en 5 en 6 (Vecht- en IJsseldelta). Maar om globaal conclusies te kunnen trekken over de veranderingen in windstatistiek, beperken we ons hier tot de richtingen 210° t/m 330°, voor $T = 1.000$ en 10.000 jaar. In dat geval zijn de globale conclusies als volgt (zie ook Figuur 3.30):

- West Terschelling
 - 330° gaat omhoog (t.o.v. de oude statistiek)
 - 210° t/m 300° worden lager (t.o.v. de oude statistiek)
- Texelhors
 - 270° en 300° worden iets lager
 - de overige richtingen blijven min of meer gelijk
- IJmuiden
 - 210°, 240° en 330° worden hoger
 - 270° en 300° worden lager
- Schiphol
 - 210° en 330° worden hoger
 - 240° blijft gelijk
 - 270° en 300° worden lager
- Hoek van Holland
 - 210°, 240° en 270° worden (iets) lager
 - 300° blijft gelijk
 - 330° gaat iets omhoog
- Vlissingen
 - 210°, 270° en 330° blijven min of meer gelijk
 - 240° gaat omhoog
 - 300° gaat omlaag

¹⁵ Dit zijn de windstations die gebruikt worden in Hydra-Ring.

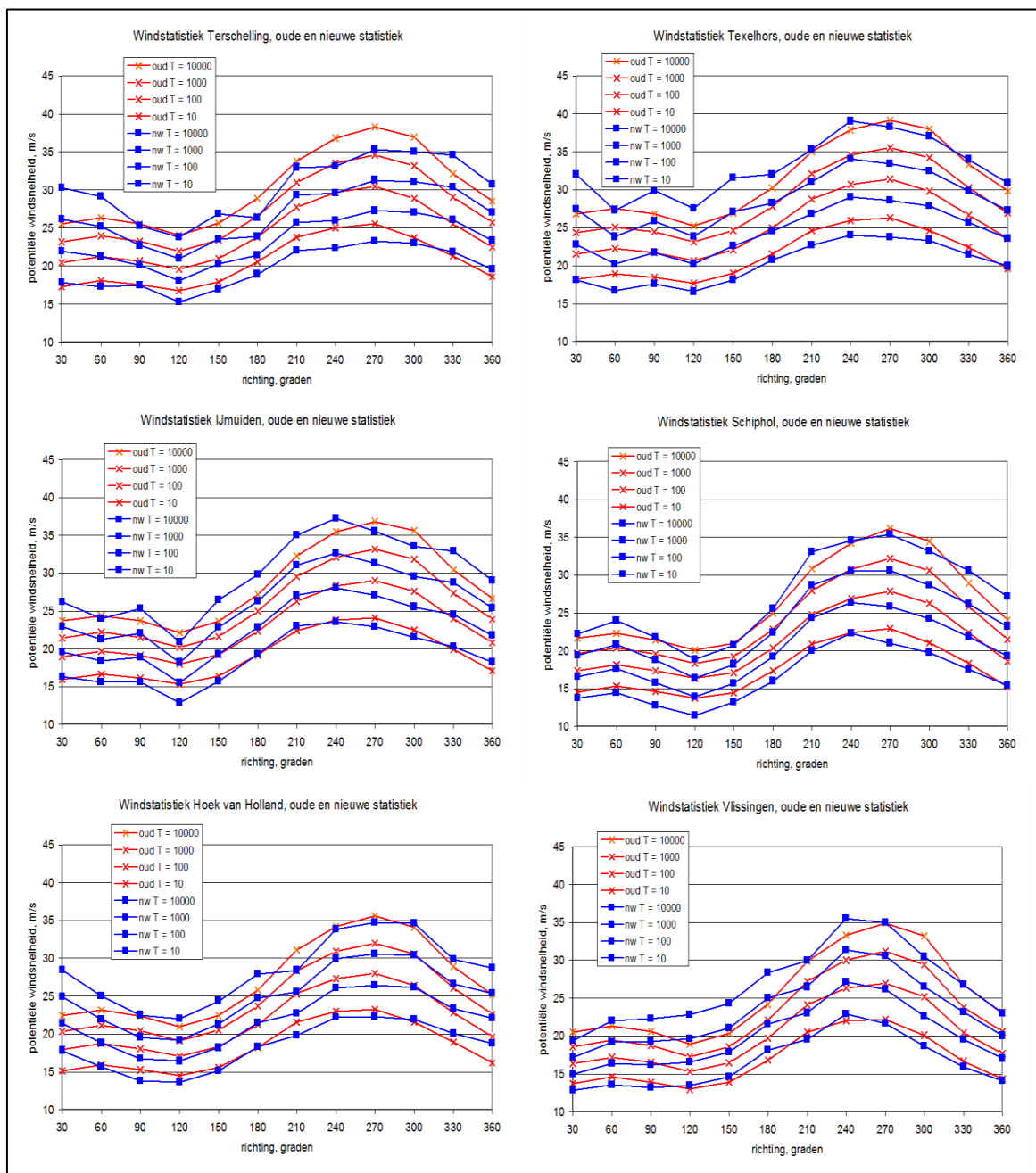
Tabel 3.18 Schattingen van de parameter σ van de exponentiele verdeling, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron Caires, 2009).

Station \ Sector	omni-directional					
Ijmuiden	1.65 (1.40, 1.93)					
Texelhors	1.95 (1.63, 2.30)					
De Kooy	2.03 (1.72, 2.36)					
Schiphol	1.86 (1.53, 2.20)					
De Bilt	1.80 (1.57, 2.04)					
Soesterberg	2.03 (1.78, 2.28)					
Leeuwarden	2.13 (1.81, 2.46)					
Deelen	1.97 (1.68, 2.29)					
Lauwersoog	1.82 (1.61, 2.03)					
Eelde	1.90 (1.54, 2.29)					
Twenthe	2.09 (1.76, 2.43)					
Cadzand	1.90 (1.63, 2.19)					
Vlissingen	1.76 (1.47, 2.05)					
L.E. Goeree	1.76 (1.55, 2.00)					
Hoek van Holland	1.65 (1.43, 1.90)					
Zestienhoven	1.96 (1.71, 2.22)					
Gilze-Rijen	1.88 (1.66, 2.11)					
Herwijnen	2.05 (1.71, 2.44)					
Eindhoven	1.65 (1.41, 1.90)					
Volkel	1.93 (1.61, 2.26)					
Beek	1.77 (1.49, 2.08)					
Station \ Sector	345°N -15°N	15°N -45°N	45°N -75°N	75°N -105°N	105°N -135°N	135°N -165°N
Ijmuiden	1.56 (1.32, 1.87)	1.44 (1.23, 1.66)	1.22 (0.96, 1.50)	1.40 (1.19, 1.62)	1.17 (1.01, 1.35)	1.57 (1.36, 1.80)
Texelhors	1.59 (1.24, 1.97)	2.01 (1.77, 2.28)	1.53 (1.24, 1.81)	1.78 (1.55, 2.01)	1.58 (1.36, 1.81)	1.95 (1.65, 2.26)
De Kooy	1.90 (1.53, 2.31)	1.92 (1.57, 2.30)	2.00 (1.71, 2.32)	1.71 (1.48, 1.94)	1.18 (0.95, 1.45)	1.36 (1.07, 1.65)
Schiphol	1.70 (1.50, 1.91)	1.23 (1.01, 1.48)	1.38 (1.19, 1.57)	1.30 (1.11, 1.52)	1.08 (0.95, 1.20)	1.09 (0.92, 1.29)
De Bilt	0.97 (0.76, 1.22)	1.19 (1.02, 1.37)	1.28 (1.07, 1.49)	1.26 (1.10, 1.43)	1.04 (0.87, 1.22)	0.94 (0.77, 1.14)
Soesterberg	1.12 (0.99, 1.27)	1.00 (0.86, 1.15)	0.76 (0.60, 0.92)	0.95 (0.78, 1.14)	0.69 (0.57, 0.83)	0.86 (0.76, 0.97)
Leeuwarden	1.72 (1.48, 1.99)	1.40 (1.18, 1.60)	1.85 (1.43, 2.34)	1.45 (1.22, 1.70)	0.98 (0.81, 1.16)	1.37 (1.20, 1.55)
Deelen	1.10 (0.89, 1.29)	1.10 (0.95, 1.27)	1.17 (0.96, 1.39)	1.14 (0.98, 1.33)	0.96 (0.70, 1.24)	1.05 (0.87, 1.24)
Lauwersoog	1.80 (1.56, 2.02)	1.39 (1.15, 1.65)	1.42 (1.18, 1.67)	1.26 (1.00, 1.54)	0.99 (0.78, 1.22)	1.26 (1.00, 1.55)
Eelde	1.35 (1.21, 1.49)	1.03 (0.87, 1.19)	1.26 (1.06, 1.48)	1.09 (0.93, 1.27)	0.96 (0.77, 1.15)	1.32 (1.14, 1.51)
Twenthe	1.08 (0.95, 1.22)	1.13 (0.98, 1.31)	0.99 (0.88, 1.12)	0.91 (0.79, 1.04)	0.93 (0.83, 1.03)	1.13 (0.93, 1.34)
Cadzand	1.93 (1.53, 2.36)	1.23 (1.03, 1.43)	1.41 (1.15, 1.67)	1.42 (1.13, 1.76)	1.21 (1.04, 1.39)	1.58 (1.38, 1.78)
Vlissingen	1.30 (1.11, 1.50)	0.95 (0.74, 1.17)	1.23 (1.05, 1.43)	1.32 (1.16, 1.49)	1.35 (1.14, 1.55)	1.40 (1.20, 1.62)
L.E. Goeree	1.74 (1.50, 1.98)	1.45 (1.18, 1.72)	1.78 (1.58, 1.98)	1.53 (1.19, 1.94)	1.47 (1.28, 1.68)	1.28 (1.07, 1.48)
Hoek van Holland	1.44 (1.14, 1.74)	1.54 (1.25, 1.87)	1.35 (1.13, 1.59)	1.26 (1.09, 1.44)	1.22 (1.03, 1.42)	1.34 (1.15, 1.53)
Zestienhoven	1.59 (1.36, 1.80)	1.45 (1.27, 1.64)	0.89 (0.71, 1.08)	1.10 (0.93, 1.29)	1.02 (0.87, 1.19)	1.22 (1.06, 1.40)
Gilze-Rijen	1.31 (1.15, 1.49)	1.19 (1.01, 1.36)	1.09 (0.89, 1.31)	1.30 (1.14, 1.47)	1.02 (0.87, 1.16)	1.03 (0.90, 1.17)
Herwijnen	1.28 (1.08, 1.47)	1.35 (1.18, 1.53)	1.46 (1.27, 1.66)	1.31 (1.09, 1.55)	1.21 (1.03, 1.42)	1.11 (0.90, 1.32)
Eindhoven	1.26 (1.11, 1.43)	1.11 (0.99, 1.24)	1.16 (1.00, 1.33)	1.06 (0.93, 1.20)	0.94 (0.72, 1.16)	1.00 (0.86, 1.13)
Volkel	0.99 (0.86, 1.12)	1.02 (0.90, 1.15)	1.00 (0.82, 1.22)	1.11 (0.92, 1.29)	0.81 (0.62, 1.03)	1.13 (1.00, 1.26)
Beek	1.20 (1.06, 1.35)	1.15 (1.02, 1.28)	0.86 (0.68, 1.07)	1.19 (1.03, 1.36)	1.21 (0.95, 1.51)	1.38 (1.22, 1.55)
Station \ Sector	165°N -195°N	195°N -225°N	225°N -255°N	255°N -285°N	285°N -315°N	315°N -345°N
Ijmuiden	1.52 (1.23, 1.82)	1.74 (1.51, 1.97)	1.99 (1.72, 2.31)	1.83 (1.51, 2.20)	1.74 (1.43, 2.06)	1.83 (1.56, 2.12)
Texelhors	1.63 (1.36, 1.92)	1.82 (1.60, 2.06)	2.17 (1.91, 2.45)	2.11 (1.80, 2.44)	1.98 (1.55, 2.48)	1.81 (1.49, 2.16)
De Kooy	1.65 (1.31, 2.01)	1.34 (0.99, 1.74)	1.58 (1.21, 1.97)	2.06 (1.65, 2.55)	1.88 (1.54, 2.27)	2.21 (1.86, 2.58)
Schiphol	1.39 (1.16, 1.64)	1.89 (1.62, 2.19)	1.78 (1.37, 2.24)	2.08 (1.72, 2.45)	1.95 (1.56, 2.37)	1.89 (1.54, 2.26)
De Bilt	1.21 (1.02, 1.40)	1.50 (1.27, 1.77)	2.00 (1.71, 2.26)	2.08 (1.83, 2.34)	1.70 (1.36, 2.07)	1.52 (1.30, 1.77)
Soesterberg	1.09 (0.90, 1.30)	1.46 (1.29, 1.66)	2.03 (1.68, 2.41)	2.02 (1.76, 2.30)	1.75 (1.50, 2.00)	1.43 (1.23, 1.64)
Leeuwarden	1.45 (1.21, 1.71)	2.04 (1.67, 2.45)	1.98 (1.64, 2.33)	2.12 (1.78, 2.51)	1.84 (1.41, 2.37)	2.01 (1.67, 2.39)
Deelen	1.21 (1.02, 1.40)	1.41 (1.24, 1.59)	2.02 (1.74, 2.33)	2.10 (1.84, 2.37)	1.89 (1.64, 2.17)	1.30 (1.07, 1.56)
Lauwersoog	1.58 (1.35, 1.81)	1.94 (1.68, 2.21)	1.89 (1.59, 2.24)	1.89 (1.59, 2.20)	1.90 (1.60, 2.21)	1.66 (1.36, 1.99)
Eelde	1.35 (1.17, 1.54)	1.70 (1.42, 1.98)	1.93 (1.66, 2.19)	1.92 (1.65, 2.21)	1.85 (1.59, 2.13)	1.44 (1.23, 1.68)
Twenthe	1.17 (0.96, 1.39)	1.27 (1.08, 1.48)	2.02 (1.66, 2.37)	2.06 (1.79, 2.36)	1.96 (1.68, 2.25)	1.30 (1.14, 1.47)
Cadzand	1.62 (1.43, 1.84)	1.63 (1.32, 1.94)	1.70 (1.35, 2.09)	2.04 (1.74, 2.39)	2.13 (1.89, 2.37)	1.89 (1.63, 2.16)
Vlissingen	1.48 (1.23, 1.75)	1.50 (1.27, 1.76)	1.83 (1.49, 2.19)	1.93 (1.58, 2.30)	1.71 (1.37, 2.07)	1.57 (1.31, 1.83)
L.E. Goeree	1.13 (0.88, 1.38)	1.72 (1.51, 1.92)	1.81 (1.53, 2.10)	1.96 (1.68, 2.24)	1.90 (1.61, 2.20)	2.06 (1.78, 2.34)
Hoek van Holland	1.39 (1.15, 1.65)	1.24 (1.01, 1.48)	1.69 (1.38, 2.04)	1.80 (1.43, 2.21)	1.84 (1.56, 2.14)	1.42 (1.03, 1.86)
Zestienhoven	1.30 (1.14, 1.48)	1.39 (1.16, 1.63)	1.96 (1.72, 2.20)	2.14 (1.83, 2.47)	2.15 (1.70, 2.63)	2.00 (1.73, 2.28)
Gilze-Rijen	1.45 (1.23, 1.69)	1.61 (1.42, 1.80)	2.02 (1.64, 2.46)	2.02 (1.76, 2.29)	1.94 (1.63, 2.27)	1.32 (1.17, 1.49)
Herwijnen	1.42 (1.25, 1.62)	1.34 (1.04, 1.64)	1.96 (1.56, 2.36)	2.19 (1.71, 2.67)	2.14 (1.77, 2.52)	1.69 (1.51, 1.89)
Eindhoven	1.17 (1.01, 1.35)	1.52 (1.34, 1.68)	1.74 (1.50, 1.99)	1.68 (1.35, 2.04)	1.79 (1.47, 2.15)	1.40 (1.21, 1.59)
Volkel	1.36 (1.21, 1.53)	1.49 (1.26, 1.74)	1.96 (1.73, 2.20)	2.08 (1.70, 2.48)	1.93 (1.65, 2.24)	1.24 (1.07, 1.40)
Beek	1.43 (1.22, 1.64)	1.34 (1.17, 1.52)	1.56 (1.18, 1.94)	2.10 (1.84, 2.38)	1.70 (1.43, 1.98)	1.28 (1.09, 1.50)

Tabel 3.19 Resultaat 1/10.000 kwantielen U_p , inclusief betrouwbaarheidsintervallen, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (Bron (Caires, 2009).

Station \ Sector	omni-directional						
Ijmuiden	35.6 (32.9, 38.5)						
Texelhors	38.8 (35.4, 42.6)						
De Kooy	38.4 (35.1, 41.9)						
Schiphol	35.7 (32.4, 39.3)						
De Bilt	31.4 (28.8, 34.1)						
Soesterberg	34.0 (31.3, 36.9)						
Leeuwarden	37.8 (34.4, 41.3)						
Deelen	34.2 (31.2, 37.7)						
Lauwersoog	36.3 (33.9, 38.6)						
Eelde	34.5 (30.9, 38.5)						
Twenthe	34.2 (30.8, 37.9)						
Cadzand	37.5 (34.6, 40.6)						
Vlissingen	35.3 (32.4, 38.4)						
L.E. Goeree	35.7 (33.3, 38.3)						
Hoek van Holland	34.9 (32.5, 37.4)						
Zestienhoven	35.9 (33.3, 38.8)						
Gilze-Rijen	33.0 (30.6, 35.5)						
Herwijnen	36.4 (32.9, 40.5)						
Eindhoven	31.0 (28.4, 33.6)						
Volkel	33.4 (30.0, 36.8)						
Beek	32.7 (29.8, 35.9)						
Station \ Sector	345°N -15°N	15°N -45°N	45°N -75°N	75°N -105°N	105°N -135°N	135°N -165°N	
Ijmuiden	29.0 (26.5, 32.2)	26.2 (23.9, 28.6)	24.1 (21.5, 26.8)	25.2 (23.1, 27.7)	20.9 (19.2, 22.8)	26.5 (24.2, 29.0)	
Texelhors	30.9 (27.5, 34.6)	32.1 (29.4, 35.0)	27.3 (24.4, 30.2)	29.9 (27.4, 32.5)	27.5 (25.1, 30.0)	31.6 (28.5, 34.9)	
De Kooy	30.0 (26.2, 34.1)	29.8 (26.2, 33.6)	31.0 (27.9, 34.5)	27.4 (25.0, 30.0)	21.5 (19.2, 24.3)	24.4 (21.5, 27.3)	
Schiphol	27.1 (25.0, 29.5)	22.2 (19.9, 24.7)	24.0 (22.0, 26.0)	21.8 (19.8, 24.0)	18.9 (17.5, 20.3)	20.7 (19.0, 22.8)	
De Bilt	18.0 (15.9, 20.4)	20.2 (18.4, 22.1)	21.1 (19.0, 23.4)	20.4 (18.7, 22.2)	18.2 (16.5, 20.1)	17.6 (15.8, 19.6)	
Soesterberg	19.7 (18.2, 21.3)	18.2 (16.6, 19.8)	16.1 (14.5, 17.7)	18.1 (16.3, 19.9)	15.1 (13.8, 16.4)	16.8 (15.7, 18.1)	
Leeuwarden	28.1 (25.5, 30.9)	23.8 (21.5, 25.9)	28.7 (24.5, 33.5)	24.1 (21.7, 26.7)	19.0 (17.3, 20.8)	23.1 (21.3, 25.1)	
Deelen	19.8 (17.8, 21.8)	19.9 (18.3, 21.7)	21.0 (18.9, 23.3)	20.3 (18.5, 22.2)	18.0 (15.6, 20.7)	19.7 (17.9, 21.8)	
Lauwersoog	31.2 (28.7, 33.6)	26.1 (23.6, 28.8)	26.7 (24.1, 29.2)	24.8 (22.2, 27.5)	20.6 (18.5, 22.8)	22.9 (20.3, 25.7)	
Eelde	22.4 (20.8, 24.0)	19.2 (17.5, 20.9)	21.5 (19.4, 23.8)	19.4 (17.7, 21.3)	17.6 (15.6, 19.5)	21.7 (19.8, 23.7)	
Twenthe	18.4 (17.0, 20.0)	18.7 (17.1, 20.6)	17.7 (16.4, 19.0)	16.6 (15.3, 18.0)	16.0 (14.9, 17.1)	18.7 (16.7, 20.9)	
Cadzand	32.7 (28.6, 36.9)	24.5 (22.5, 26.7)	25.7 (23.1, 28.4)	24.5 (21.6, 27.9)	20.1 (18.2, 22.1)	25.2 (23.0, 27.5)	
Vlissingen	23.0 (21.0, 25.1)	19.3 (17.4, 21.5)	22.0 (20.1, 24.1)	22.3 (20.6, 24.1)	22.7 (20.6, 24.8)	24.3 (22.2, 26.6)	
L.E. Goeree	30.6 (28.1, 33.2)	26.9 (24.1, 29.7)	29.0 (26.7, 31.2)	25.7 (22.3, 29.9)	25.0 (22.9, 27.3)	24.1 (21.9, 26.2)	
Hoek van Holland	28.7 (25.8, 31.7)	28.4 (25.5, 31.8)	25.1 (22.8, 27.5)	22.5 (20.6, 24.4)	22.1 (20.1, 24.2)	24.4 (22.3, 26.4)	
Zestienhoven	26.2 (23.7, 28.4)	24.1 (22.1, 26.1)	18.2 (16.4, 20.0)	19.6 (17.9, 21.6)	18.5 (16.8, 20.2)	21.5 (19.8, 23.4)	
Gilze-Rijen	21.9 (20.1, 23.8)	20.6 (18.7, 22.5)	20.2 (18.1, 22.3)	21.4 (19.7, 23.2)	17.9 (16.4, 19.5)	18.3 (16.9, 19.8)	
Herwijnen	21.7 (19.6, 23.7)	22.1 (20.2, 23.9)	22.9 (20.8, 25.0)	21.9 (19.6, 24.4)	20.2 (18.3, 22.4)	19.7 (17.5, 21.8)	
Eindhoven	21.2 (19.4, 22.9)	19.4 (18.1, 20.8)	20.3 (18.6, 22.2)	18.5 (17.1, 20.0)	17.2 (15.1, 19.4)	17.8 (16.3, 19.2)	
Volkel	17.4 (16.0, 18.8)	18.0 (16.6, 19.4)	19.1 (17.3, 21.3)	19.5 (17.6, 21.4)	16.1 (14.2, 18.2)	19.0 (17.6, 20.5)	
Beek	20.0 (18.5, 21.6)	19.9 (18.5, 21.3)	17.1 (15.3, 19.1)	20.3 (18.6, 22.1)	18.6 (16.1, 21.5)	21.2 (19.4, 23.1)	
Station \ Sector	165°N -195°N	195°N -225°N	225°N -255°N	255°N -285°N	285°N -315°N	315°N -345°N	
Ijmuiden	29.8 (26.9, 32.9)	35.0 (32.6, 37.6)	37.3 (34.4, 40.7)	35.6 (32.3, 39.3)	33.5 (30.3, 36.8)	33.0 (30.1, 36.0)	
Texelhors	32.0 (29.2, 35.1)	35.3 (32.8, 37.9)	39.1 (36.1, 42.2)	38.3 (34.9, 41.9)	37.0 (32.7, 42.1)	34.0 (30.7, 37.7)	
De Kooy	30.2 (26.8, 33.7)	30.6 (27.2, 34.4)	32.6 (29.1, 36.4)	37.1 (33.1, 42.0)	34.0 (30.6, 38.0)	35.0 (31.3, 38.9)	
Schiphol	25.6 (23.2, 28.2)	33.1 (30.2, 36.2)	34.6 (30.6, 39.1)	35.4 (31.7, 39.2)	33.2 (29.3, 37.3)	30.6 (27.0, 34.4)	
De Bilt	21.7 (19.7, 23.8)	27.0 (24.6, 29.8)	32.6 (29.4, 35.5)	32.2 (29.4, 35.1)	26.6 (23.3, 30.4)	23.7 (21.5, 26.4)	
Soesterberg	20.1 (18.2, 22.3)	25.9 (24.0, 28.0)	33.2 (29.5, 37.0)	32.8 (29.9, 35.9)	28.4 (25.7, 31.1)	23.8 (21.7, 26.2)	
Leeuwarden	26.4 (23.9, 29.1)	34.2 (30.4, 38.4)	34.9 (31.4, 38.4)	35.9 (32.4, 39.9)	32.6 (28.3, 37.7)	32.9 (29.4, 36.8)	
Deelen	22.7 (20.7, 24.7)	26.5 (24.7, 28.5)	34.0 (31.0, 37.2)	33.7 (30.8, 36.8)	30.5 (27.7, 33.4)	23.0 (20.7, 25.7)	
Lauwersoog	29.0 (26.7, 31.5)	35.0 (32.1, 37.8)	35.3 (32.1, 38.8)	35.4 (32.2, 38.7)	34.6 (31.5, 37.9)	31.8 (28.8, 35.1)	
Eelde	24.6 (22.6, 26.7)	30.3 (27.3, 33.2)	34.0 (31.1, 36.8)	32.8 (29.9, 35.9)	30.5 (27.7, 33.4)	25.0 (22.8, 27.5)	
Twenthe	22.0 (19.9, 24.3)	24.3 (22.3, 26.5)	32.0 (28.3, 35.7)	32.4 (29.3, 35.6)	30.4 (27.5, 33.5)	21.8 (20.0, 23.7)	
Cadzand	29.1 (27.1, 31.5)	31.9 (28.7, 35.1)	34.9 (31.5, 38.9)	36.9 (33.7, 40.5)	36.7 (34.0, 39.4)	33.1 (30.3, 36.0)	
Vlissingen	28.4 (25.8, 31.2)	29.9 (27.5, 32.6)	35.5 (32.1, 39.2)	35.0 (31.5, 38.7)	30.5 (27.2, 34.1)	26.8 (24.1, 29.5)	
L.E. Goeree	25.7 (23.2, 28.2)	33.1 (30.8, 35.4)	35.0 (32.0, 38.2)	35.8 (32.7, 38.8)	34.6 (31.5, 37.8)	35.0 (31.9, 38.1)	
Hoek van Holland	27.9 (25.5, 30.6)	28.4 (26.1, 30.8)	33.9 (30.7, 37.4)	34.8 (31.1, 38.7)	34.6 (31.7, 37.8)	29.9 (26.3, 34.0)	
Zestienhoven	25.1 (23.4, 27.1)	28.1 (25.7, 30.6)	35.2 (32.5, 37.8)	35.8 (32.6, 39.3)	34.9 (30.4, 39.8)	31.8 (28.9, 34.8)	
Gilze-Rijen	25.4 (23.0, 27.9)	28.3 (26.3, 30.5)	33.1 (29.3, 37.5)	33.0 (30.1, 35.9)	30.9 (27.7, 34.4)	22.5 (20.9, 24.4)	
Herwijnen	24.9 (22.9, 27.0)	27.0 (23.9, 30.0)	34.9 (30.8, 38.9)	36.2 (31.5, 40.9)	34.0 (30.1, 38.0)	27.1 (25.0, 29.3)	
Eindhoven	21.8 (20.0, 23.7)	27.8 (26.0, 29.7)	30.8 (28.2, 33.5)	30.1 (26.8, 33.7)	29.4 (26.1, 33.2)	23.7 (21.7, 25.8)	
Volkel	23.4 (21.7, 25.3)	27.7 (25.2, 30.4)	32.9 (30.3, 35.5)	33.1 (29.2, 37.3)	29.2 (26.2, 32.4)	20.4 (18.5, 22.1)	
Beek	25.1 (23.0, 27.4)	27.4 (25.6, 29.4)	30.5 (26.9, 34.1)	33.0 (30.1, 36.1)	27.0 (24.2, 30.0)	21.2 (19.2, 23.5)	

De nieuwe windstatistiek zoals hierboven beschreven heeft betrekking op de relatief hoge windsnelheden; dit zijn windsnelheden hoger dan de gekozen drempelwaarden gegeven in Tabel 3.16. Voor probabilistische berekeningen is naast de statistiek van hoge windsnelheden ook de statistiek van het lage bereik nodig. Deze statistiek dient afgeleid te worden door middel van turven op basis van uurlijkse winddata (Geerse en Verkaik, 2009). Daarnaast is transformatie van de (half)jaarlijkse windstatistiek naar de statistiek voor kortere periodes per windrichting. In Hydra-Ring betreft het per windrichting periodes van een getij of 12 uur. Dit wordt behandeld in paragraaf 3.6.4, we behandelen eerst in paragraaf 3.6.3 de kansverdeling van de windrichting.



Figuur 3.30 Vergelijking oude (Rijkoort Weibull) en nieuwe (Exponentieel) windstatistiek voor relevante windstations en herhalingsstijden.

3.6.3 Statistiek/kansverdeling windrichting

De windrichting is sterk van invloed op de kans op hoge windsnelheid, waterstand en golven. Langs de Nederlandse kust maar ook voor de meest zoete watersystemen zijn met name de westelijk en noordwestelijk georiënteerde windrichtingen relevant met het oog op extreme waterstanden langs de kust en opstuwing op de meren. Voor golven zijn in principe alle windrichtingen relevant. De statistieken van wind en zeewaterstand worden afgeleid als functie van de windrichting en ook als zodanig toegepast bij het berekenen van de hydraulische randvoorwaarden.

Hydra-Ring maakt gebruik van de windstatistiek van meerdere stations. Een overzicht van deze stations is gegeven in Tabel 3.20. Hydra-Ring maakt verder gebruik van windrichtingen van 30 of 22,5 graden (12 of 16 windrichtingen). Deze aanpak komt overeen met die van de huidige Hydra's (Hydra-K met 12 richtingen en Hydra-zoet met 16 windrichtingen) en wordt aangehouden omdat er in veel gevallen de vigerende databases van deze Hydra's als basis fungeren voor WTI-2017. Merk op dat alleen voor het rivierengebied en Ketelmeer/Vossemeer nieuwe productiesommen worden gemaakt in WTI-2017. Voor regio 17, het Europoortgebied, worden geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd.

Tabel 3.20 Windstations Hydra- Ring

Windstation	Regio's
Schiphol	1 t/m 8 en 17
Deelen	1, 2 en 18
West Terschelling	9 en 10
De Kooy/Texelhors	11
IJmuiden	12
Hoek van Holland	13
Vlissingen	14 en 15

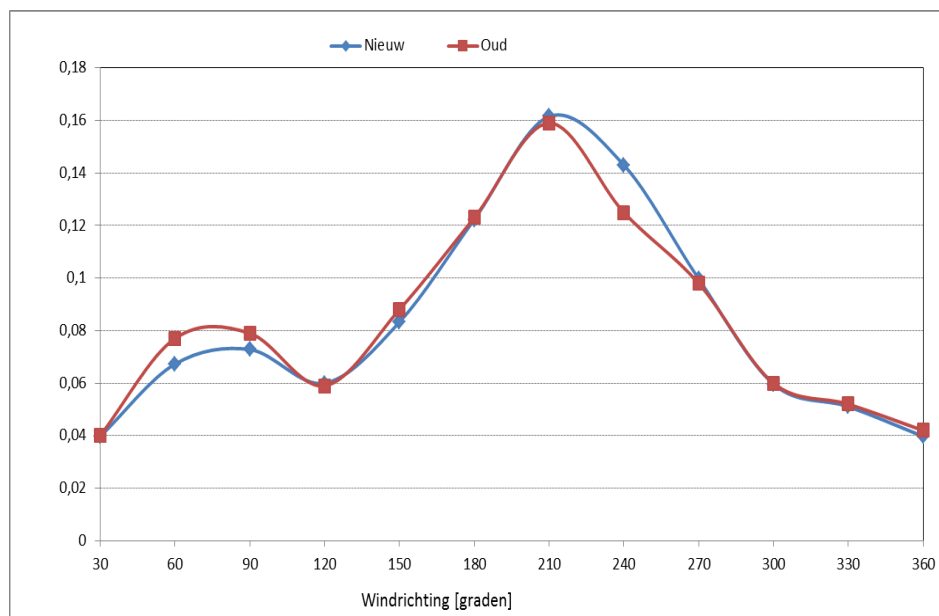
Merk op dat duinen geen regio is maar wordt als zodanig gedefinieerd in Hydra-Ring omdat hiervoor een aparte belastingmodel geldt dan de harde keringen.

De windmetingen zoals beschreven en gebruikt in paragraaf 3.6.2 voor het afleiden van de nieuwe windstatistiek, zijn gebruikt voor het schatten van de kansverdeling van de windrichting. De nieuwe kansverdelingen van de windrichting (sectoren van 30 graden) van de relevante windstations is weergegeven in Tabel 3.21. Opgemerkt wordt dat voor de kustgebieden enkel de kansverdeling voor station Hoek van Holland wordt gebruikt. Het blijkt namelijk noodzakelijk te zijn eenzelfde kansverdeling te gebruiken vanwege reproduceerbaarheid van en consistentie met de onni-directionele statistiek. Deze aanpak is identiek aan HR-2006.

Tabel 3.21 Kansverdelingen windrichting relevante windstations, sectoren van 30 graden.

Windrichting [grad]	Kans op windrichting, P(r)						
	Vlissingen	Hoek van holland	Ijmuiden	Texel	Terschelling	Lauwersoog	Schiphol
30	0,05712	0,04228	0,04391	0,03158	0,03278	0,02699	0,03968
60	0,09349	0,06455	0,05641	0,05753	0,04484	0,04577	0,06725
90	0,05571	0,08662	0,10492	0,08600	0,09253	0,08354	0,07281
120	0,04607	0,06137	0,06298	0,07473	0,07974	0,08996	0,06001
150	0,05754	0,06392	0,08344	0,07837	0,07625	0,07690	0,08322
180	0,11825	0,11730	0,11567	0,11558	0,11453	0,11552	0,12227
210	0,18043	0,16206	0,16477	0,14146	0,13473	0,17514	0,16152
240	0,15300	0,14389	0,12334	0,13649	0,13304	0,14994	0,14302
270	0,09215	0,09864	0,09988	0,11002	0,11601	0,09996	0,09975
300	0,06338	0,07014	0,05889	0,07636	0,07699	0,05755	0,05966
330	0,04706	0,04829	0,04954	0,05531	0,06187	0,05012	0,05107
360	0,03580	0,04094	0,03624	0,03655	0,03670	0,02863	0,03975

Figuur 3.31 laat voor station Schiphol het verschil zien tussen de oude en nieuwe kansverdeling van de windrichting (sectoren van 30 graden). Het verschil is zoals te zien met uitzondering van de sector 240 graden marginaal.



Figuur 3.31 Vergelijking van de kansverdeling op windrichting (30 graden) voor Schiphol.

Zoals hierboven al vermeld gelden in Hydra-Ring windrichtingen van 30 of 22,5 graden; dit komt overeen met 12 of 16 windrichtingen. Tabel 3.22 bevat per watersysteem/regio het aantal windrichtingen dat gebruikt wordt binnen Hydra-Ring. Het verschil in aantal windrichtingen wordt aangehouden om aan sluiten bij de vigerende databases. Merk op dat alleen voor de rivieren en Ketelmeer/Vossemeer nieuwe productieberekeningen en derhalve nieuwe databases gelden; voor de overige watersystemen worden in WTI-2017 de databases van HR-2006 of CR-2011 gehanteerd. De kansverdeling van windsectoren van 22,5 graden wordt verkregen uit die van windsectoren van 30 graden. Een recept om de kansverdeling van 12 windrichtingen om te rekenen naar een kansverdeling voor 16 windrichtingen is te vinden in (Geerse, 2003).

Tabel 3.22 Aantal windrichtingen per watersysteem en regio

Belastingmodel	Afkorting	Regio's	Aantal windrichtingen
Bovenrivieren	BOR	1, 2 en 18	16
Benedenrivieren	RMM/BER	3, 4 en 17	16
Vechtdelta/IJsseldelta	VIJD	5 en 6	16
Oosterschelde	O	14	12
Kust (dijken)	Kust	9, 10, 11, 12, 13 en 15	12
IJsselmeer	IJM	7	16
Markermeer	MM	8	12
Duinen	D	16	12

Samengevat kan worden gesteld dat 16 windrichtingen gebruikt worden voor zoete regio's (rivieren en meren) en 12 windrichtingen voor de zoute regio's. Voor zoete regio's worden de stations Schiphol en Deelen gebruikt; voor alle kustgebieden wordt Hoek van Holland gebruikt. De kansverdelingen van de windrichting bij Schiphol en Deelen zijn gegeven in Figuur 3.27.

Tabel 3.23 Kansverdeling windrichtingen van 22,5 graden voor Schiphol en Deelen.

Windrichting [grad]	Kans op windrichting P(r)	
	Schiphol	Deelen
22,5	0,02547	0,02962
45	0,03700	0,03976
67,5	0,06078	0,05868
90	0,05269	0,06122
112,5	0,04530	0,05284
135	0,05171	0,06495
157,5	0,06669	0,06178
180	0,09159	0,07705
202,5	0,12332	0,12314
225	0,11277	0,13615
247,5	0,10011	0,11307
270	0,07520	0,05967
292,5	0,05009	0,04137
315	0,03961	0,03244
337,5	0,03693	0,02688
360	0,03074	0,02139

3.6.4 Windstatistiek laag bereik

De overschrijdingsfrequenties van de windsnelheid zoals afgeleid in (Caires, 2009) geldt uitsluitend voor de hoge/extreme waarden. Ten behoeve van de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring, dient deze statistiek vertaald en aangevuld te worden tot overschrijdingskansen van het 12-uur blokmaximum van het volledige bereik van de potentiële windsnelheid U_p , conditioneel op de windrichting r .

De statistiek voor het lage bereik is afgeleid voor de 7 windstations die nodig zijn voor implementatie binnen Hydra-Ring; zie Tabel 3.24. Voor elk windstation zijn twee kolommen over de gebruikte data gegeven: de gebruikte meetreeks en een referentie naar de kansverdeling van windsnelheden in het extreme bereik. Deze zijn beschikbaar als jaarlijkse

exponentiële overschrijdingsfrequentie-verdelingen voor 30° windsectoren¹⁶. Verder zijn, gegeven de regio in het probabilistische model ten behoeve waarvan de statistiek is afgeleid, het windstation dat gebruikt is voor de kans op windrichting r , de blok-duur (12 uur of getij) en het aantal windsectoren nodig.

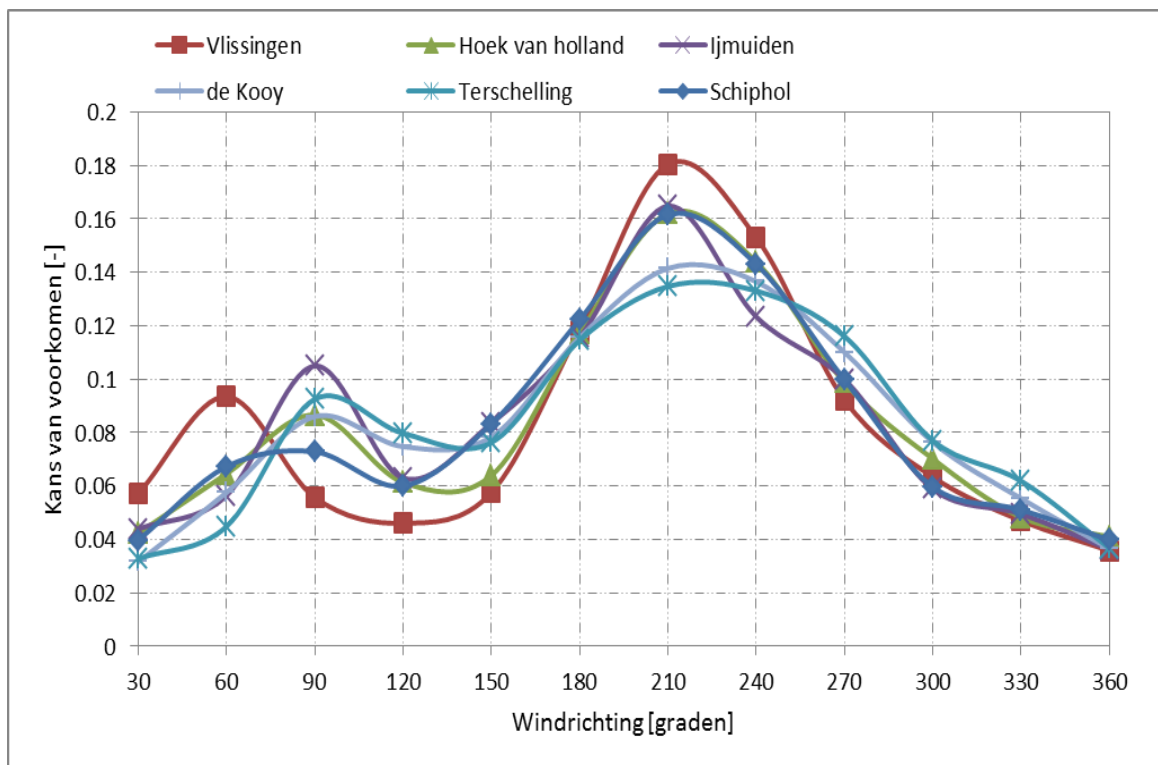
Tabel 3.24 Overzicht gebruikte data afleiding windstatistiek laag bereik

Station	meetreeks	Exp. verdeling afgeleid in	t.b.v. regio	Station voor $P(r)$	Blok-duur	Aantal sectoren
Schiphol	1970-2008	Caires (2009)	3, 4, 5, 6, 7 en 17	Schiphol	12 uur	16 (22.5°)
Schiphol	1970-2008	Caires (2009)	8		12 uur	12 (30°)
West Terschelling	1970-1995	WTI-2011	9, 10 en 16	Hoek van Holland	12 uur	12 (30°)
de Kooy	1970-2008	Caires (2009)	11 en 16	Hoek van Holland	12 uur	12 (30°)
IJmuiden	1970-2008	Caires (2009)	12 en 16	Hoek van Holland	12 uur	12 (30°)
Hoek van Holland	1970-2008	Caires (2009)	13 en 16	Hoek van Holland	12 uur	12 (30°)
Vlissingen	1970-2008	Caires (2009)	14, 15 en 16	Hoek van Holland	12 uur	12 (30°)
Deelen	1970-2008	Caires (2009)	1, 2 en 18	Deelen	12 uur	16 (22.5°)

In het probabilistisch model Hydra-K wordt enkel één kansverdeling voor de windrichting gehanteerd voor alle kustgebieden. Dit is nodig voor de triangulaire interpolaties, waarbij eenzelfde¹⁷ zeewaterstandsstation wordt gebruikt voor twee of meer regio's. Daar de richtingsafhankelijke kansverdeling van de zeewaterstand niet verandert t.o.v. WTI-2011, wordt deze aanpak gehandhaafd in WTI-2017. Dit betekent dat voor alle kustgebieden enkel één kansverdeling voor de windrichting wordt gebruikt in Hydra-Ring. Figuur 3.32 geeft een overzicht van de kans op voorkomen per windsector voor vijf windstations aan de kust die gehanteerd zijn voor de windsnelheid. Windsnelheden uit de 210 graden windsector heeft voor alle stations de grootste kans van voorkomen, deze kans neemt echter af van zuid naar noord langs de Hollandse kust. Station Hoek van Holland vertoont een gemiddeld verloop van de kansverdeling en is daarom gekozen voor gebruik in Hydra-Ring voor alle kustgebieden. Dit betekent dat er drie windstations worden gebruikt voor de kans op een windrichting $P(r)$ in Hydra-Ring, zie ook Tabel 3.24, kolom 5. Het betreft de windstations Hoek van Holland voor de kustgebieden, Schiphol voor de meren, Vecht-, IJsseldelta en Benedenrivieren en windstation Deelen voor de Bovenrivieren. Het windstation Hoek van Holland, en bijbehorende kansverdeling voor de windrichting, is vervolgens toegepast voor alle vijf windstations bij het omrekenen van een overschrijdingsfrequentie naar een conditionele overschrijdingskans voor het volledige bereik van de wind. Dit vindt plaats in drie stappen:

¹⁶ Ten aanzien van de verdeling op basis van 16 richtingen dient een omrekening plaats te vinden van 12 naar 16 richtingen en vervolgens omrekening van een (winter)halfjaar naar een kortere periode (bijvoorbeeld 12 uur of getijperiode).

¹⁷ De richtingsafhankelijke zeewaterstandsstatistiek is beschikbaar per windrichting.



Figuur 3.32 Kansverdeling op de windrichting voor 5 windstations.

Stap 1: in deze eerste stap zijn kansen voor $P(r)$ op richting r bepaald voor de windstations Schiphol, Hoek van Holland en Deelen. De tijdreeks met uur-waarnemingen van de winterhalfjaren uit de periode 1970-2008 zijn opgedeeld in 12-uursblokken. Per blok is het circulair gemiddelde van de windrichtingen bepaald. Voor elke sector r is geturfd hoe vaak deze voorkomt, waaruit de kans $P(r)$ is bepaald.

Stap 2: voor twee stations, Schiphol en Deelen, dient de overschrijdingsfrequentie voor een 22.5° windsector te worden afgeleid. Deze is steeds bepaald op basis van de “naar evenredigheid” samengestelde herhalingswaarden U_{30} uit de dichtstbijzijnde 30° -sectoren. Er geldt bijvoorbeeld voor $r = W, WNW$ en NW :

$$\begin{aligned}
 U_{22.5}(r = W) &= U_{30}(w = 270^\circ) \\
 U_{22.5}(r = WNW) &= \frac{1}{6} U_{30}(w = 270^\circ) + \frac{5}{6} U_{30}(w = 300^\circ) \\
 U_{22.5}(r = NW) &= \frac{3}{6} U_{30}(w = 300^\circ) + \frac{3}{6} U_{30}(w = 330^\circ)
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Deze nieuw herhalingswaarden $U_{22.5}$ zijn gefit aan de exponentiële verdeling $F_{22.5}(u, w)$, zie vergelijking (3.6), die de overschrijdingsfrequentie van windsnelheid in een 22.5° -sector beschrijft. De schaalparameter σ (m/s), en de overschrijdingsfrequentie p_c (keren/jaar) van de drempelwaarde zijn berekend op basis van de berekende herhalingswaarden, bijbehorende overschrijdingsfrequentie en gekozen drempelwaarde u_d (m/s) gelijk aan de laagste drempelwaarde van de dichtstbijzijnde 30° -sectoren.

$$F_{22,5}(u, w) = p_c \exp\left\{-\frac{u-u_d}{\sigma}\right\}, \quad u > u_d \quad (3.6)$$

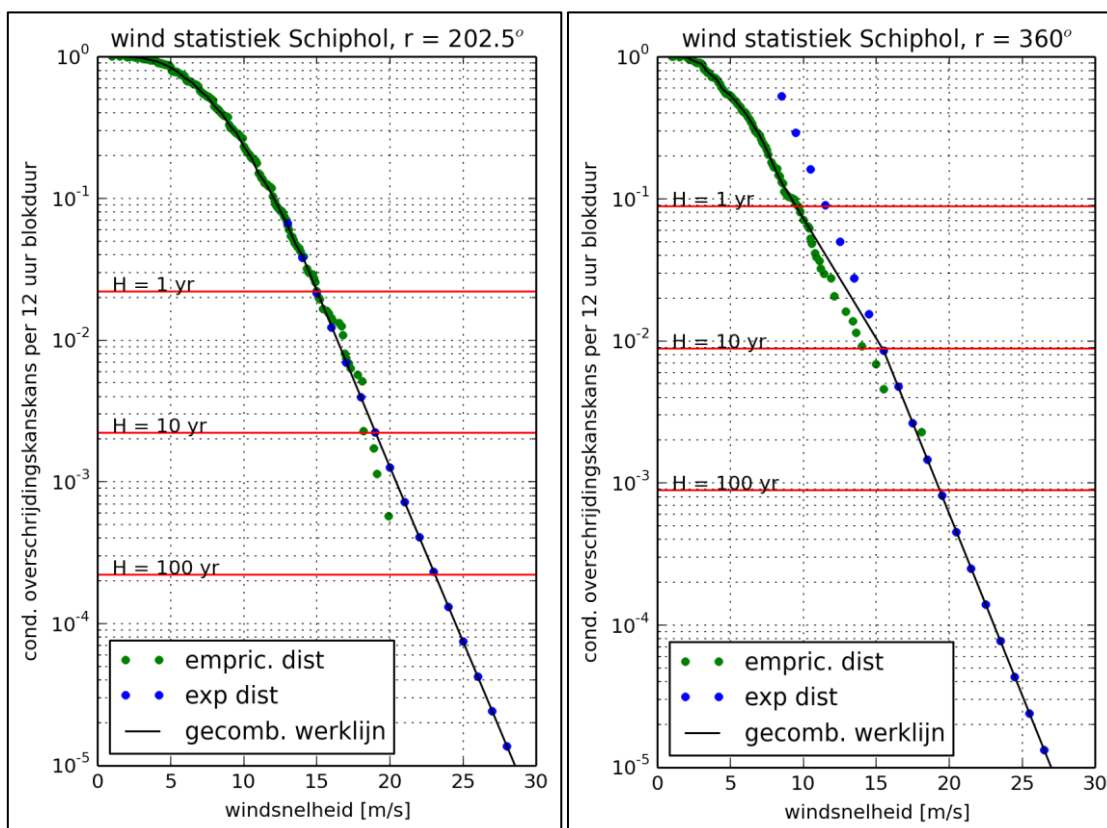
Uiteindelijk dient voor alle stations de overschrijdingskansen van het 12-uur blokmaximum van de windsnelheid u , conditioneel op de richting r te worden bepaald. Deze kansen worden hier aangeduid als $P(U_{12} > u|r)$. Een uitgebreide beschrijving voor het bepalen van deze overschrijdingskansen staat in Geerse (2002, 2009). Beknopt beschreven gaat de bepaling als volgt:

1. Empirische verdeling lage windsnelheden (bereik lagere windsnelheden)
De tijdreeks met uurwaarnemingen van de winterhalfjaren uit de periode 1970-2008 (1970-1995 voor West Terschelling) zijn opgedeeld in 12-uursblokken. Per blok is de maximum windsnelheid bepaald. De conditionele overschrijdingskansen (empirische verdeling) $P(U_{12} > u|r)$ zijn vervolgens door turven bepaald.
2. Van exponentiële verdelingen naar conditionele 12-uurskansen (bereik hogere windsnelheden)
Er zijn exponentiële overschrijdingsfrequentie-verdelingen $F(u, w)$ toegeleverd. Deze worden beschreven volgens vergelijking 3.6. Deze kunnen per richting worden omgerekend naar conditionele overschrijdingskansen $P(U_{12} > u|r)$. Geef met $N = 365.25$ [dagen] / 2 * 24 [uur/dag] / 12 [uur] = 365.25 het aantal 12-uursblokken in het winterhalfjaar aan. Omdat $NP(r) * P(U_{12} > u|r)$ het aantal blokken per winterhalfjaar geeft waarin richting r voorkomt in combinatie met een overschrijding van u , volgt dan (dit betreft feitelijk een benadering):

$$P(U_{12} > u | r) = \frac{F(u, r)}{NP(r)} \quad (3.7)$$

3. Aansluiten van conditionele overschrijdingskansen van beide wind-bereiken
De kansen $P(U_{12} > u|r)$ zijn nu bepaald voor het bereik van lage windsnelheden (betrouwbaar tot circa $T = 5$ jaar) en voor het bereik van hoge windsnelheden (geldig vanaf circa $T = 1$ jaar). Door (onder andere) "statistische ruis" zullen beide bereiken niet exact op elkaar aansluiten. Hiervoor is lineair geïnterpoleerd tussen de herhalingswaarde in het lage bereik bij circa $T = 1$ jaar en herhalingswaarde volgens de extreme waarde verdeling bij circa $T = 10$ jaar.

Een voorbeeld van de resulterende conditionele overschrijdingskansen van de windsnelheid voor station Schiphol is gegeven in Figuur 3.33. De linker figuur laat een perfecte overgang van het lage naar het hoge windbereik zien. Rond de noordelijke windrichtingen, zie rechter figuur, is de overgang niet perfect. Dit komt onder andere door "statistische ruis", maar ook omdat de exponentiële frequentie verdelingen voor het volledige kalenderjaar in plaats van winterhalfjaar zijn afgeleid. Toch kan met behulp van lineaire interpolatie een vloeiende overgang worden bewerkstelligd. De gekozen methode zorgt ervoor dat overschrijdingskansen in zowel het hoge als het lage bereik correct beschreven worden. In het overgangsbereik (voor herhalingstijden van circa 1 tot 10 jaar) is de kwaliteit van de beschrijving wisselend, afhankelijk van "statistische ruis" tussen de data en de exponentiële verdeling.



Figuur 3.33 Windstatistiek Schiphol voor het hele bereik voor 2 windrichtingen op basis van de exponentiele verdeling (blauwe punten voor hoog bereik) en via turven (laag bereik, groene punten): windrichting 22,5 graden (links) en 360 graden (rechts).

3.6.5 Effect nieuwe windstatistiek op HR

Mogelijke effecten van de nieuwe windstatistiek op de hydraulische belastingen zijn onderzocht en in beeld gebracht (Geerse en Verkaik, 2011). De effecten zijn bepaald met de vigerende Hydra's: Hydra-K (kustgebieden), Hydra-B (Benedenrivieren) en Hydra-VIJ (meren, Vecht- en IJsseldelta). Voor een groot aantal locaties (307 stuks), verspreid over verschillende watersystemen, zijn voor de toetspeilen zowel als de benodigde kruinhoogten steeds twee berekeningen gemaakt: 1) een referentieberekening met de huidige windstatistiek en 2) een berekening met de nieuwe windstatistiek. Het verschil tussen beide berekeningen is dan het effect van de overgang op de nieuwe windstatistiek. (N.B.: de berekeningen met Hydra-K zijn niet gemaakt voor de toetspeilen, omdat deze (toetspeilen) een invoerparameter is in Hydra-K, en daarmee niet afhankelijk zijn van de gebruikte windstatistiek). Voor de benodigde kruinhoogten is steeds gerekend met een toelaatbaar overslagdebiet van 1 l/s/m. Voor Hydra-K zijn daarbij standaardprofielen en dijknormalen gebruikt die in het programma Hydra-K zelf beschikbaar zijn. Voor Hydra-VIJ en Hydra-B zijn standaardprofielen van 1 op 4 gebruikt, waarbij op het oog de dijknormaal is geschat. Meer details over de uitgevoerde berekeningen zijn te vinden in (Geerse en Verkaik, 2010).

De effecten van de nieuwe windstatistiek op de toetspeilen en kruinhoogten verschillen per watersysteem. Voor de toetspeilen (dus niet berekend met Hydra-K) geldt dat een overgang op de nieuwe windstatistiek slechts tot kleine verschillen leidt: 2 à 3 cm verlaging in toetspeil. Voor de Vecht- en IJsseldelta en de Benedenrivieren is de spreiding in de resultaten gering: de standaard deviatie σ is slechts 0,01 à 0,02 m. Voor de meren is de spreiding met een $\sigma = 0,07$ wat groter. Dat is plausibel, omdat zoals bekend de toetspeilen op de meren, vooral op

het Ketelmeer/Vossemeer, voor nogal wat locaties sterk bepaald worden door de wind. Voor de meren zijn de verschillen iets groter, maar nog steeds beperkt (Geerse en Verkaik, 2010).

De resultaten van de berekeningen ten behoeve van de benodigde kruinhoogten zijn weergegeven in Tabel 3.25.

Tabel 3.25 Resultaten effect nieuwe windstatistiek op benodigde kruinhoogten, bron (Geerse en Verkaik, 2010)

Gebied	Aantal Locaties	Gemiddelde verhoging [m]	Standaard deviatie verhoging [m]
Waddenzee Oost	30	-0,01	0,04
Waddenzee West	29	-0,08	0,04
Kust Noord	06	-0,03	0,02
Kust Midden	06	-0,01	0,05
Kust Zuid	18	0,08	0,11
Oosterschelde	42	-0,04	0,08
Westerschelde	47	-0,07	0,07
Meren	37	-0,01	0,16
Vecht- en Ijsseldelta	51	-0,06	0,04
Benedenrivieren	41	-0,05	0,04

Zoals is te zien in Tabel 3.25, blijven de verschillen voor de benodigde kruinhoogten gemiddeld gezien ook redelijk beperkt, maar komen incidenteel wel duidelijke verhogingen en verlagingen voor, in het bijzonder voor de meren waar golven een belangrijke rol spelen.

3.7 Statistiek Duinen

Duinen vormen één regio in Hydra-Ring, regio 16. Onlangs zijn de hydraulische randvoorwaarden voor duinafslagberekeningen afgeleid, zie (Boers et al, 2014). Deze randvoorwaarden zijn vigerend voor WTI-2017. De benodigde hydraulische randvoorwaarden komen hieronder kort aan de orde, voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar (Boers et al, 2014). Onderstaande tekst is grotendeels overgenomen uit deze referentie.

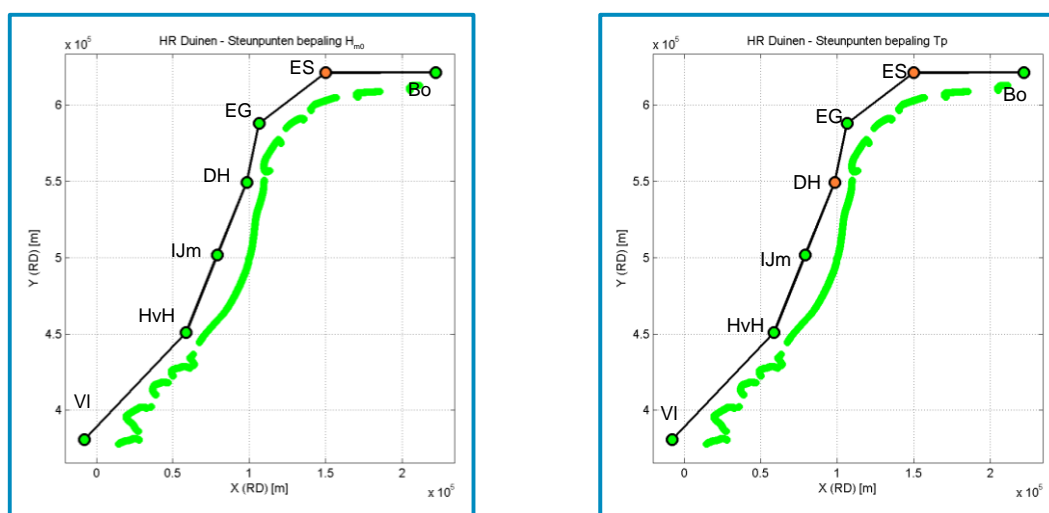
Het duinafslagmodel DUROS+ maakt gebruik van hoge zeewaterstanden op verschillende hoofdstations. Naast de zeewaterstanden zijn golfrandvoorwaarden nodig. Een overzicht van de zeewaterstandsstations in weergegeven in Tabel 2.3. Hoge zeewaterstanden op tussenliggende stations worden verkregen door middel van interpolaties; de ruimtelijke verdeling van de zeewaterstanden voor verschillende overschrijdingsfrequenties is beschreven in (RWS, 1995).

Ten behoeve van de probabilistische berekeningen zijn duinafslagsommen nodig voor een hele range aan herhalingstijden. Hiertoe is invoer nodig van zeewaterstanden behorende bij verschillende herhalingstijden. De zeewaterstandsstatistiek voor duinen is identiek aan die voor de harde keringen; deze statistiek is behandeld in 3.5 van onderhavig rapport. Naast de zeewaterstand bestaat de invoer voor het model DUROS+ uit golfcondities, te weten de

golfhoogte H_s en de golfpiekperiode¹⁸ T_p . Deze worden bepaald op diep water op de doorgaande -20 m + NAP dieptelijn. Voor de berekening van golfhoogten en golfperioden zijn op diep water zes zogenaamde steunpunten gedefinieerd waarvoor de golfstatistiek is afgeleid. De golfhoogte ter plaatse van een steunpunt hangt af van de zeewaterstand volgens formule (3.8); zie (Boers et al, 2014). Om ervoor te zorgen dat in het noorden de golfbrandvoorwaarden bij benadering de -20 m + NAP dieptelijn volgen, zijn extra steunpunten gedefinieerd bij Den Helder en tussen Steunpunt Eierlandse Gat en Borkum (RWS, 2007). De golfhoogte op deze steunpunten wordt verkregen door middel van interpolaties. De ligging van alle steunpunten zijn weergegeven in Tabel 3.26 en Figuur 3.34.

Tabel 3.26 Steunpunten golfbrandvoorwaarden diep water (In italic zijn de steunpunten weergegeven die gebruik maken van interpolatie van twee nabijgelegen meetstations. Bron (Boers et al, 2014).

Steunpunt golven	Code	JARKUS-raai	RD_x [m]	RD_y [m]
Vlissingen	VI	Kustvak 17 raai 1419	29571	384893
Hoek van Holland	HvH	Kustvak 9 raai 11825	58748	450830
IJmuiden	IJm	Kustvak 8 raai 5750	79249	501800
Den Helder	DH	Kustvak 7 raai 308 (voor Noord – Holland) Kustvak 6 raai 880 (voor Texel)	98372	549340
Eierlandse Gat	EG	Kustvak 6 raai 2901 (voor Texel) Kustvak 5 raai 4000 (voor Vlieland)	106514	587985
Extra Steunpunt	ES	Kustvak 4 raai 1800	150000	621230
Borkum	BO	Kustvak 2 raai 1000	221990	621330



Figuur 3.34 Steunpunten golfstatistiek. De oranje symbolen duiden dat voor dit steunpunt een interpolatie van de waarden van de twee nabijgelegen steunpunten plaatsvindt.

$$H_s = a + b h - c \max(0; d - h)^e \quad (3.8)$$

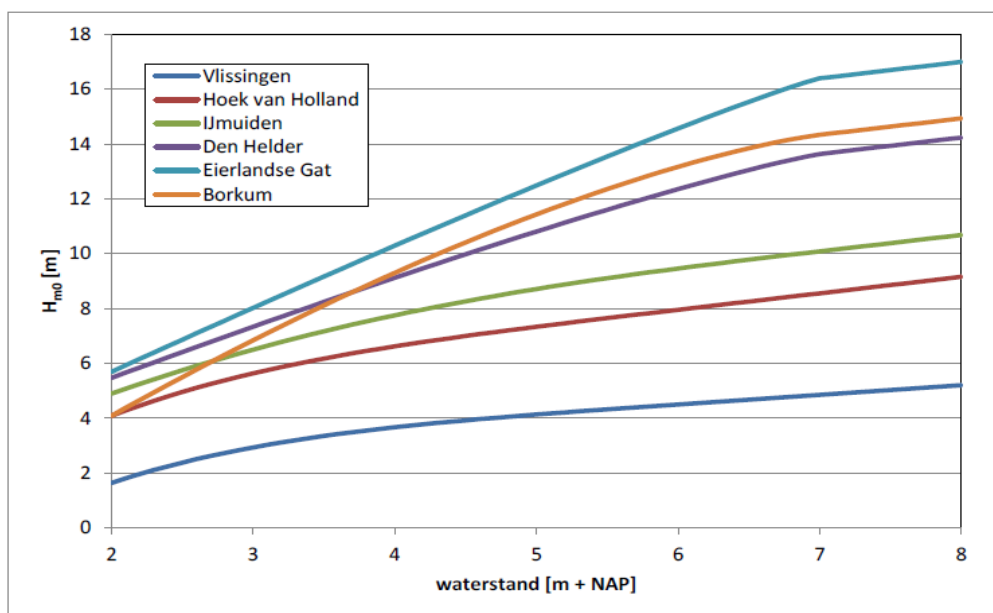
Hierin is H_s de spectrale golfhoogte en h de hoogwaterstand ten opzichte van NAP ter plaatse van het steunpunt. De laatste term in deze vergelijking vertraagt de toename van extreme

¹⁸ Evenals de HR-2006 wordt in WTI-2017 gebruik gemaakt van de piekperiode T_p . Het is echter ook mogelijk om met DUROS+ berekeningen uit te voeren met de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$. Dit laatste is relevant voor condities met een golfspectrum dat geen standaardvorm heeft.

golfhoogten door het effect van dieptelimitatie. Deze vertraging treedt op bij waterstanden hoger dan 7 m + NAP. De waarden voor de parameters a tot en met e zijn weergegeven in Tabel 3.27. De relaties tussen waterstand en golfhoogte voor de zes steunpunten zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.35.

Tabel 3.27 Parameters voor de statistische relatie golfhoogte en zeewaterstand. Bron (Boers et al, 2014).

Steunpunt golven	a	b	c	d	e
Vlissingen	2.40	0.35	0.0008	7.00	4.67
Hoek van Holland	4.35	0.60	0.0008	7.00	4.67
IJmuiden	5.88	0.60	0.0254	7.00	2.77
Den Helder	9.43	0.60	0.68	7.00	1.26
Eierlandse Gat	12.19	0.60	1.23	7.00	1.14
Borkum	10.13	0.60	0.57	7.00	1.58



Figuur 3.35 Relaties tussen zeewaterstand en golfhoogte voor 6 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).

De golfperiode is gekoppeld aan de golfhoogte. Deze relatie is in WTI-2017 onveranderd ten opzichte van de HR-2006. Met uitzondering van Den Helder en het extra steunpunt ES is per steunpunt een relatie met golfhoogte gelegd in de vorm van een tabel (HKV, 2005). De afgeleide relaties zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.36. Om de golfperiode bij Den Helder en het extra steunpunt af te leiden is gebruik gemaakt van de volgende vergelijking:

$$T_p = \lambda T_{p;1} + (1 - \lambda) T_{p;2} \tag{3.9}$$

Hierbij zijn de volgende waarden aangehouden voor de betreffende 2 steunpunten:

Den Helder:

- $T_{p;1} = T_p$ zoals berekend voor steunpunt IJmuiden
- $T_{p;2} = T_p$ zoals berekend voor steunpunt Eierlandse Gat
- $\lambda = 0,35$

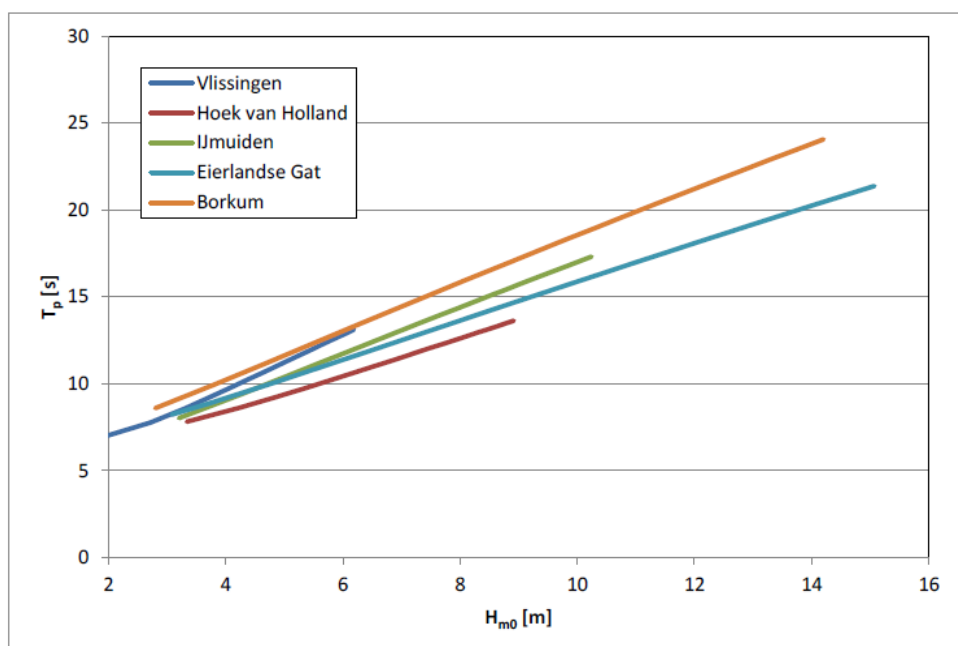
Extra steunpunt

$T_{p;1} = T_p$ zoals berekend voor steunpunt Eierlandse Gat

$T_{p;2} = T_p$ zoals berekend voor steunpunt Borkum

$\lambda = 0,57$

Om voor alle locaties langs de kustduinen golfbrandvoorwaarden vast te stellen, dient er te worden geïnterpoleerd tussen de steunpunten. Zie voor details (Boers et al, 2014).



Figuur 3.36 Relaties golfhoogte en golfperiode voor 5 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).

3.8 Waterstandsvoorspellingen tbv sluiting stormvloedkeringen

In deze paragraaf beperken we ons tot sluitcriteria van vier stormvloedkeringen: de Europoortkeringen (Maeslant- en Hartelkering), De Hollandse IJsselkering, de Oosterscheldekering en de balgstuw bij Ramspol. Dit zijn stormvloedkeringen waarvoor een kans op falen wordt beschouwd in de probabilistische berekeningen. Voor sluitcriteria van andere keringen, waarvoor geen faalkans geldt, wordt verwezen naar (RWS, 2006, 2007).

Het sluiten van de Europoortkeringen (Maeslant- en Hartelkering) en de Oosterscheldekering geschiedt op basis van waterstandsvoorspellingen bij Hoek van Holland. De Ramspolkering sluit op basis van opgetreden waterstanden ter hoogte van de kering.

3.8.1 Voorspelling zeewaterstand Hoek van Holland (Europoortkering)

De voorspelling van de zeewaterstand op basis waarvan de beslissing genomen wordt om stormvloedkeringen te sluiten gaat gepaard met onzekerheid. Deze onzekerheid wordt momenteel al meegenomen in de HR en deze aanpak blijft onveranderd in WTI-2017.

De waterstandsvoorspellingen voor Hoek van Holland worden gegeven door de Stormvloedwaarschuwingsdienst (SVSD). Het (gezamenlijke) sluitcommando voor de Europoortkeringen wordt gegeven zodra de verwachte waterstanden te Rotterdam en Dordrecht zogenoemde sluitcriteria overschrijden. Het sluitcriterium voor Rotterdam is vastgesteld op 3,00 m+NAP en dat voor Dordrecht op 2,90 m+NAP. Deze twee plaatsen worden dus representatief geacht voor het gehele gebied achter de keringen. Zie voor details

over de manier waarop de keringen gesloten worden (RWS, 2007). Om te bepalen of de sluitcriteria voor Rotterdam en Dordrecht gehaald zullen worden, wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde Beslis- en Ondersteunend Systeem (BOS). Eén van de invoeren van het BOS is de voorspelde zeewaterstand te Hoek van Holland. De nauwkeurigheid van de voorspelling bij Hoek van Holland wordt gemodelleerd door een normale verdeling. Op deze manier wordt de onzekerheid met betrekking tot de voorspelnauwkeurigheid van stormvloedvloed in rekening gebracht. In (Kroos, 2006) is op basis van een analyse van de waterstandsreeks van 1990-2004 bepaald dat de gemiddelde afwijking in de stormvloedvoorspelling bij Hoek van Holland $\mu = -0,067$ m bedraagt met een standaardafwijking van $\sigma = 0,12$ m. Op basis van RIKZ-gegevens wordt in Hydra-zoet aangenomen dat $\mu = -0,09$ m en $\sigma = 0,18$ m (Kroos, 1999) en (Geerse, 2003). Dat komt gemiddeld neer op systematisch 9 cm te lage voorspellingen. Deze aanpak is aangehouden in WTI-2011. In de Systeemanalyse Rijn-Maasmonding (De Deugd, 2007) is gevarieerd met de nauwkeurigheid van de verwachting van de zeewaterstand bij Hoek van Holland. Deze heeft een klein effect op de toetspeilen, maximaal 0,04 m, het effect hangt verder sterk af van de faalkans van de Europoortkering en van het gebruikte klimaatscenario, (De Deugd, 2007).

De waterstandsvoorspellingen uit de periode vanaf 2004 tot heden geven geen aanleiding voor aanpassing van bovengenoemde kansverdeling en bijbehorende parameters (persoonlijke communicatie met dhr. Kroos). Mede hierom wordt geadviseerd om ten aanzien van de voorspelnauwkeurigheid van de zeewaterstand bij Hoek van Holland de huidige aanpak te handhaven. Dit houdt concreet in dat voorspelfout van de zeewaterstand bij Hoek van Holland normaal verdeeld is met $\mu = -0,09$ m en $\sigma = 0,18$ m.

De faalkans van de Maeslantkering wordt in WTI-2017 gelijk gesteld aan 1/100 per sluitvraag. Ten opzichte van WTI-2011 is dit onveranderd. Voor de Hartelkering geldt een maximale toelaatbare faalkans van 1/10 dat betekent dat de kering in 9 van de sluitvragen goed functioneert. Echter, de faalkans van de Hartelkering heeft bijna geen invloed op de MHW's van achterliggende keringen, orde cm's (De Deugd, 2007). Om rekentechnische redenen is de faalkans de Hartelkering mede daarom altijd gelijk gesteld aan de faalkans van de Maeslantkering, en die is gelijk gesteld aan 1/100 per sluitvraag in de Hydra-berekeningen.

3.8.2 De Oosterscheldekering

De Oosterscheldekering gaat dicht bij een verwachte zeewaterstand bij de kering van 3,00 m+NAP of hoger. Als een waterstand van 2,75 m+NAP wordt verwacht, wordt het Beslisteam Sluiting Oosterscheldekering bijeengeroepen. Op basis van de weersvoorspellingen, in combinatie met lokale gegevens en het te verwachten getij, beslist dit team of de Oosterscheldekering gesloten wordt. Als bij hoge waterstanden iets mis gaat met de alarmering of bediening, is er het noodsluitsysteem, dat bij 3,00 m+NAP de schuiven automatisch sluit. Er is een kans van 1% per sluiting van de stormvloedkering dat de gewenste sluitstrategie faalt en dat de kering automatisch sluit.

De daadwerkelijke optredende waterstand kan afwijken waterstandsvoorspellingen. Analoog aan de Europoortkeringen wordt de onnauwkeurigheid van deze waterstandsvoorspellingen meegenomen door rondom de voorspelde waterstand een band/spreiding te zetten. De onnauwkeurigheid van waterstandsvoorspellingen ten behoeve van de sluiting van de Oosterschelde kering is normaal verdeeld met een standaardafwijking van 0,25 m. Zie voor details (RWS, 2006).

3.8.3 De Ramspolkering

Het sluitcriterium van de Ramspolkering is opgenomen in de integrale IJVD WAQUA modelschematisatie (Deltares, 2010). In tegenstelling tot de Europoortkeringen sluit de

Ramspolkering niet op basis van waterstandsvoorspellingen maar op basis van opgetreden waterstanden; de keringen gaat dicht indien de waterstand op het Ketelmeer 0,5 m+NAP overschrijdt én een stroming in oostelijke richting ter plaatse van de kering. De kering opent weer wanneer de waterstand aan de buitenzijde lager wordt dan de waterstand aan de binnenzijde.

De Ramspolkering kan falen. Er is sprake van falen indien de kering niet sluit als dit volgens de geldende sluitcriteria wel zou moeten. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen niet sluiten, niet tijdig sluiten of constructief falen na sluiten. De huidige faalkans, gebaseerd op basis van de MER Ramspol (Kors et al, 1994), is gesteld op 0,0035 per sluitvraag. In WTI-2017 zal worden uitgegaan van de wettelijke normering die uitgaat van een maximaal toelaatbare faalkans in 2050 en die bedraagt 1/100 per sluitvraag (mail WV, d.d. 26 mei 2015). Het effect op de MHW's van de aanpassing van de faalkans van de Ramspolkering van 0,0035 naar 0,01 per sluitvraag speelt voornamelijk op het Zwarte Meer en is minder dan 0,10 m (overschatting).

3.8.4 De Hollandse IJsselkering

De stormvloedkering Hollandse IJssel ligt bij Krimpen aan de IJssel, nabij de monding van de Hollandse IJssel. De kering bestaat uit een stuw met twee deuren en een sluis. De kering sluit wanneer de waterstand ter plaatse van de kering hoger komt dan 2,25 m+NAP. De kering gaat weer open op het moment dat de waterstanden aan de binnen- en buitenzijde weer nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. In feite betekent dit dat de kering opengaat als er water van de Hollandse IJssel naar de Nieuwe Maas geloosd kan worden. Voor nadere details met betrekking tot de sluitprocedure voor de Hollandse IJssel wordt verwezen naar het Waterakkoord Hollandse IJssel (RWS, directie Zuid-Holland, 1999). Verder wordt opgemerkt dat de Hollandse IJssel impact heeft op de waterstanden in het achterland (C-keringen) en beïnvloedt nauwelijks de waterstanden langs de A-keringen in het gebied.

De Hollandse IJsselkering is opgenomen in de WAQUA modelschematisatie; nadere details zijn te vinden in (Zijl et al, 2010). Deze aanpak is gehandhaafd in WTI-2017. Verder is WTI-2011 aangenomen dat de Hollandse IJsselkering niet faalt (faalkans = 0). In WTI-2017 zal uitgegaan worden van de wettelijke normering die uitgaat van een maximaal toelaatbare faalkans in 2050; deze faalkans is gesteld aan 1/200 per sluitvraag. Dit betekent dat de kering in 199 gevallen goed functioneert.

3.8.5 Haringvlietsluizen

De Haringvlietsluizen liggen in de mond van het Haringvliet en vormen met de Haringvlietdam een (verbindende) waterkering. Het beheer van de Haringvlietsluizen is vastgesteld in het Lozingsprogramma Haringvlietsluizen 1984 (kortweg LPH-'84); zie voor details (RWS, 2007)

De Haringvlietsluizen zijn in de WAQUA modelschematisatie gemodelleerd als een dubbele barriër, om ervoor te zorgen dat er gelijktijdig een lekopening aan de onderzijde en overslag aan de bovenzijde van de kering plaats kan vinden. Nadere details met betrekking tot de implementatie van de Haringvlietsluizen in WAQUA zijn te vinden in (Zijl et al, 2010).

In de huidige aanpak is aangenomen dat de Haringvlietsluizen niet falen, de faalkans is gelijk aan nul gesteld. In WTI-2017 zal uitgegaan worden van de wettelijke normering die uitgaat van een maximaal toelaatbare faalkans; deze is afhankelijk van de faalsituatie (mail WV, d.d. 26 mei 2015).

4 Correlaties

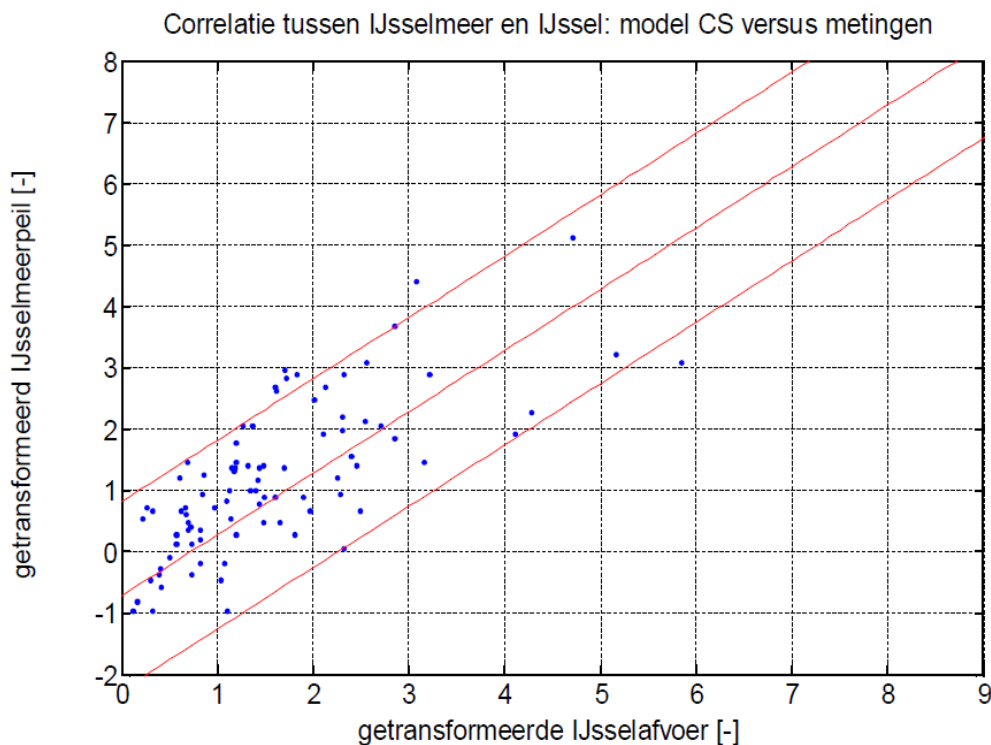
4.1 Inleiding

Bekend is dat hoge meerpeilen vaak samen gaan met verhoogde afvoeren op de IJssel en de Vecht: afvoer en meerpeil zijn derhalve (positief) gecorreleerd. Ook afvoeren onderling zijn gecorreleerd. Hoge en extreme zeewaterstanden gaan gepaard met extreme windsnelheden uit zuidwestelijk tot noordelijke windrichtingen. In de probabilistische en productieberekeningen dient rekening te worden gehouden met correlaties tussen verschillende basisstochasten. In dit hoofdstuk komen relevante correlaties tussen verschillende basisstochasten aan de orde.

4.2 Correlatie meerpeil-afvoer

De correlatie tussen het meerpeil van het IJsselmeer en de afvoer van de IJssel bij Olst blijft onveranderd ten opzichte van HR2006 en WTI-2011. Het gebruikte correlatiemodel staat bekend als model CS (Constance Spreiding) en is afkomstig uit Hydra-VIJ (en Hydra-zoet). Dit model is uitgebreid beschreven in (Beijk en Geerse, 2006) en (Geerse, 2006). De basis van het correlatiemodel met CS is om een gezamenlijke kansdichtheidsfunctie van meerpeil en afvoer te bepalen die voldoet aan 2 voorwaarden; deze zijn:

1. De marginale kansdichtheidsfuncties van de gezamenlijke dichtheidsfunctie stemmen overeen met de vooraf vastgestelde en gegeven kansdichtheidsfuncties van meerpeil en afvoer,
2. De correlatie volgens de gezamenlijke kansdichtheidsfunctie dient in overeenstemming met de simultane metingen van afvoeren en meerpeilen) te zijn.



Figuur 4.1 Illustratie correlatiemodel meerpeil en IJsselafvoer, met het getransformeerde meerpeil y tegen de getransformeerde afvoer x ; $\sigma = 1,2$ (bron (Geerse, 2006)).

Het correlatiemodel is zó opgesteld dat na een zekere transformatie de spreiding bij conditionering op de getransformeerde afvoer constant is. Figuur 4.1 illustreert de correlatie tussen het meerpeil van het IJsselmeer en de afvoer van de IJssel bij Olst. In dit geval wordt in model CS, conditioneel op een waarde x op de horizontale as, een normale verdeling aangenomen als kansdichtheid voor de waarde y op de verticale as. De spreiding is gelijk aan 1,2. Voor meer details wordt verwezen naar (Geerse, 2006).

4.3 Correlatie IJssel- en Vechtafvoer

De correlatie tussen de IJssel- en Vechtafvoer is ten opzichte van WTI-2011 onveranderd gebleven. Hiervoor geldt, evenals voor de correlatie tussen IJsselafvoer en meerpeil, een correlatieparameter van 1,2; zie ook paragraaf 4.2. Echter, voor de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring is deze correlatie niet relevant en wordt dan ook niet beschouwd. Voor locaties langs de Vechtdelta geldt namelijk de Vechtafvoer als stochast en voor locaties langs de IJssedelta is dat de IJsselafvoer.

N.B. Ten behoeve van de productieberekeningen met WAQUA dient wel rekening te worden gehouden met de correlatie tussen de Vecht- en de IJsselafvoer. Deze correlatie is in WTI-2017 onveranderd; zie voor details (Smale, 2014).

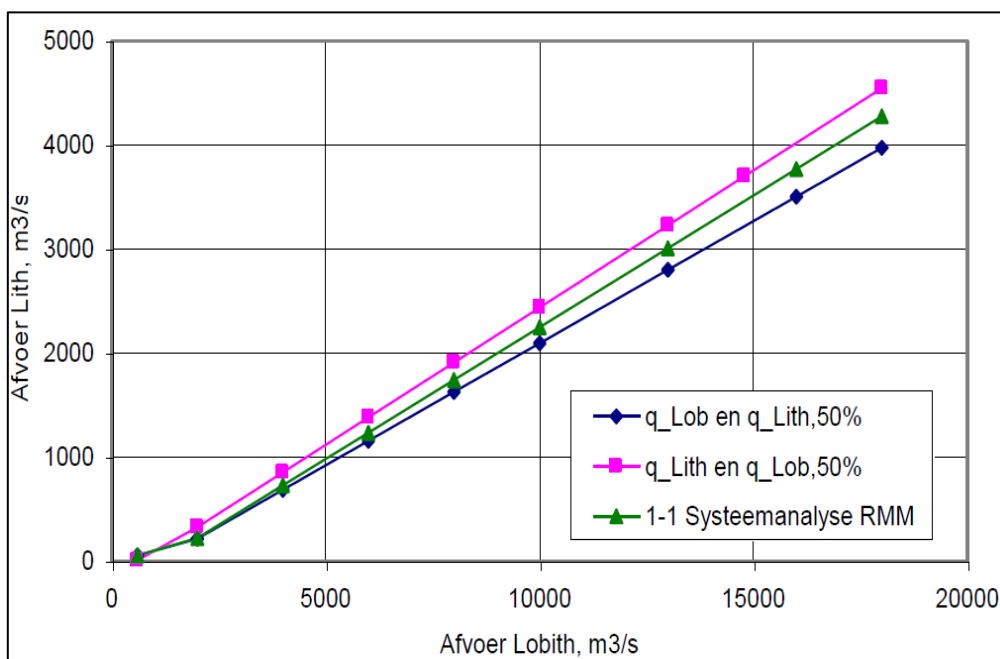
4.4 Correlatie Rijn en Maas

De correlatie tussen de afvoer van de Rijn bij Lobith en die van de Maas bij Lith speelt een rol bij zowel de productieberekeningen met WAQUA als bij de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring.

Werd er in WTI-2011 nog uitgegaan van de zogenaamde 50%-relaties¹⁹ of lijnen tussen de afvoeren van de Rijn bij Lobith en die van de Maas bij Lith, deze 50%-lijnen zijn in WTI-2017 verlaten. De 50%-lijnen zijn gebaseerd op opgetreden dagafvoeren van de Rijn en de Maas (Fioole, 1999). Zoals Figuur 4.2 laat zien ligt de 50%-lijn van de Maas (bij gegeven Rijnafvoer) onder de 50%-lijn van de Rijn. N.B. In het geval dat de dagafvoeren van de Rijn en de Maas volledig gecorreleerd zouden zijn, zouden beide lijnen samenvallen. De aldus resulterende lijn geeft de maximale correlatie weer tussen de Rijnafvoer en de Maasafvoer en zou liggen tussen de 50%-lijnen in, zie Figuur 4.2. De lijn die de maximale correlatie tussen Rijn en maas weergeeft wordt ook de 1-1 relatie²⁰ genoemd. Ten behoeve van de productieberekeningen van WTI-2017 is uitgegaan van deze 1-1 relatie; zie voor motivatie (Geerse, 2013). De belangrijke consequentie van het vervangen van de 50%-lijnen door één lijn is dat het aantal benodigde productieberekeningen met WAQUA wordt gehalveerd. In WTI-2017 is verder enkel de Rijndominante situatie doorgerekend. De Maasdominante situatie is achterwege gelaten. Het gevolg hiervan is dat vooral langs de Bergsche Maas de toetspeilen mogelijk onderschat worden; de onderschatting is echter klein en bedraagt enkele centimeters (De Waal et al, 2013).

¹⁹ *Simpel gezegd geeft de 50%-lijn van de Rijn de mediane Rijnafvoer die bij een beschouwde Maasafvoer optreedt, terwijl de 50%-lijn van de Maas de mediane van de Maasafvoer die bij een gegeven Rijnafvoer optreedt.*

²⁰ *De 1-1 relatie tussen Rijn en Maas is, evenals de 50%-lijnen, bepaald op basis van dagwaarden van de Rijn- en de Maasafvoer (Fioole, 1999). N.B. De 1-1 lijn is dus niet afgeleid door de werklijnen van Lobith en Lith aan elkaar te koppelen.*



Figuur 4.2 De 50%-lijnen uit WTI-2011 en de 1-1 lijn zoals gebruikt voor WTI-2017.

Daarnaast is ten behoeve van de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring een correlatiemodel nodig die de afhankelijkheid tussen Lobith en Lith beschrijft. Dit model is echter alleen nodig ingeval de Rijn- en Maasafvoer volledig probabilistisch worden verwerkt. De wijze waarop de productieberekeningen van WTI-2017 zijn uitgevoerd, maakt het correlatiemodel voor Hydra-Ring berekeningen overbodig. Daar het correlatiemodel geïmplementeerd is in Hydra-Ring, wordt in dit rapport een korte beschrijving van dat model gegeven.

In (Diermanse et al, 2013) zijn een aantal modellen beschreven, waaronder het HES (HEteroScedastic) model en PRC (PC-Ring) model. Beide modellen hebben veel overeenkomsten. De correlatie tussen de afvoer van de Rijn bij Lobith en die van de Maas bij Lith is in Hydra-Ring gemodelleerd met het PCR model. Zonder nader details te vermelden wordt in dit rapport het correlatiemodel beschreven, die de afhankelijkheid van de Rijn bij Lobith en die van de Maas bij Borgharen beschrijft; voor meer details zie ((Diermanse et al, 2013).

$$w = v - \frac{\sigma^2}{2} + \sigma u \quad (4.1)$$

Waarin:

- w = de gereduceerde waarde van de afvoer van de Rijn bij Lobith (in u-domein),
- v = de gereduceerde waarde van de afvoer van de Maas bij Lith (in u-domein),
- u = een standaard normaal verdeelde variabele,
- σ = een variabele die de mate van correlatie tussen w en v weergeeft,

Voor de parameter σ geldt een waarde van 1 in Hydra-Ring. Meer details over dit correlatiemodel is te vinden in paragraaf 3.4.2.3 van (Diermanse et al, 2013).

N.B. station Lith wordt gebruikt voor het Benedenriviereengebied en benedenstroomse delen van de Maas. Voor bovenstroomse delen van de Maas geldt station Borgharen als bovenrand. De stations Borgharen en Lith zijn volledig gecorreleerd.

4.5 Wind-waterstandstatistiek kustgebieden

Wind en zeewaterstand zijn gecorreleerd. De vigerende HR voor de kustgebieden zijn bepaald met het probabilistische model Hydra-K. Hydra-K maakt gebruik van simultane waarnemingen van wind en zeewaterstand boven de aangehouden drempelwaarden. De in Hydra-K gevolgde methode de Haan maakt rechtstreeks gebruik van deze simultane waarnemingen (RWS-RIKZ, 2006). Echter, ten behoeve van berekeningen met Hydra-Ring is een geparametriseerd model nodig die de correlatie tussen de potentiële windsnelheden en de zeewaterstanden beschrijft. Hiertoe dienen de simultane waarnemingen van wind en zeewaterstand bewerkt te worden volgens het volgende model²¹, zie ook (Vrouwenvelder et al, 2003):

$$y = x + us_r - \frac{s_r^2}{2} \quad (4.2)$$

Waarin

y = gereduceerde waarde van de windsnelheid

x = gereduceerde waarde van de zeewaterstand

u = standaard normaal verdeelde variabele

s_r = de parameter die de mate van correlatie/spreiding tussen y en x weergeeft, voor windsector r .

Een lagere waarde van s betekent een hogere mate van correlatie.

Gereduceerd betekent in dit verband dat de betrokken stochasten, in dit geval wind en zeewaterstand, zijn getransformeerd tot standaard exponentiële variabelen. Het weergeven van waargenomen gebeurtenissen in het standaard exponentiële vlak wordt gerealiseerd door een transformatie. Stel dat de windsnelheid, U , tijdens een gebeurtenis de waarde a bereikt heeft. In het standaard exponentiële vlak wordt de waarde van a weergegeven door:

$$a^* = -\ln[P(U > a)] \quad (4.2)$$

waarbij a^* de gereduceerde van a is. De waarde van overschrijdingskans P wordt vastgesteld met de marginale kansverdeling van de windsnelheid. De marginale 12-uurs kansverdelingen van de windsnelheid zijn via omrekening van een jaar naar een periode van 12 uur bepaald op basis van de nieuwe wind statistiek (Caires, 2009). De statistiek van de zeewaterstand is echter beschikbaar in de vorm van frequentieverdelingen. Deze zijn eerst vertaald naar 12-uurs overschrijdingsfrequenties en vervolgens vertaald naar overschrijdingskansen onder de aanname van een Poisson-proces (RWS-RIKZ, 2006). Dan bestaat de volgende relatie tussen overschrijdingskans, P , en overschrijdingsfrequentie F :

$$P(U > a) = 1 - \exp\{-F(U > a)\} \quad (4.3)$$

Met bovenstaande transformatie worden simultane waarnemingen van wind en waterstand gereduceerd tot standaard exponentiële waarden. De simultane waarnemingen zijn afkomstig uit de in Tabel 4.1 beschreven zogenoemde mv-bestanden (Weerts & Diermanse, 2004). Deze bestanden geven simultane uur-waarnemingen van stormen waarbij één of meer drempelwaarden voor golfhoogte, windsnelheid of waterstandsopzet wordt overschreden. De

²¹ Dit model is identiek aan het model beschreven in formule (4.1).

drempelwaarden zijn gebaseerd op 2.5% overschrijdingskansen (van de tijd) (Weerts & Diermanse, 2004). Voor het afleiden van de s-waarden is per storm de simultane waarneming van zeewaterstand en windopzet gekozen waarbij de maximale zeewaterstand optreedt.

Doel is nu om de s_r waarde van af te leiden uit de data voor elke windrichtingssector r . Daartoe wordt s , gelijk gesteld aan de standaardafwijking van de getransformeerde waarnemingen rondom de lijn $y = x$. De waarde van s_r , kan derhalve bepaald worden uit:

$$s_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (x_i - y_i)^2} \quad (4.4)$$

Er bestaan al s-waarden die de correlatie tussen wind en zeewaterstand beschrijven (Diermanse et al, 2003). Daar de windstatistiek aangepast is en er bovendien extra simultane waarnemingen van wind en zeewaterstand beschikbaar zijn, is actualisatie van deze s-waarden noodzakelijk.

De wind-waterstandsstatistiek is geactualiseerd voor alle kustgebieden; hierbij zijn 6 hoofdstations van wind en zeewaterstand beschouwd; een overzicht van de gebruikte gegevens is weergegeven in Tabel 4.1. Voor elke regio is het windstation en zeewaterstandsstation aangegeven met een referentie naar het rapport of bestandnaam waar de data is verkregen. Deze nieuwe s-waarden zijn bepaald op basis van simultane waarnemingen boven een drempelwaarde, zoals beschreven in de mv-bestanden (Weerts & Diermanse, 2004).

Tabel 4.1 Overzicht mv-bestanden en stations voor de afleiding van de wind-waterstandscorrelaties

Regio Hydra-Ring	Wind station	Zeewater-stand station	Exp. verdeling wind referentie	Weibull verdeling zeewaterstand referentie	mv-bestanden: Tijdreeks simultane metingen
Waddenzee Oost	West Terschelling	Lauwersoog	WTI-2011	lwo.e30	1979-2008
Waddenzee West	West Terschelling	Harlingen	WTI-2011	hrl.e30	1979-2008
Hollandse Kust Noord	de Kooy	Den Helder	Caires (2009)	hld.e30	1979-2008
Hollandse Kust Midden	IJmuiden	IJmuiden	Caires (2009)	ymb.e30	1979-2002
Hollandse Kust Zuid	Hoek van Holland	Hoek van Holland	Caires (2009)	hvl.e30	1979-2002
Westerschelde	Vlissingen	Vlissingen	Caires (2009)	vls.e30	1979-2008

De s-waarden uit de analyse van (Diermanse et al. 2003) en s-waarden afgeleid met dezelfde simultane metingen als in deze studie, maar 'oude' windstatistiek zijn vergeleken met resulterende s-waarden uit deze studie op basis van de 'nieuwe' windstatistiek. De 'oude' windstatistiek werd beschreven aan de hand van de conditionele Weibull-verdeling (Diermanse et al., 2013), welke alleen geldig is voor windsnelheden boven een drempelwaarde. De 'nieuwe' windstatistiek wordt beschreven aan de hand van de empirische verdeling voor lage windsnelheden zoals beschreven in paragraaf 3.6.4 en een exponentiële verdeling voor windsnelheden boven een drempelwaarde. In Figuur 4.3 is per regio een vergelijking gemaakt tussen de oude s-waarden (donkerblauwe lijn), s-waarden op basis van

de 'oude' windstatistiek (lichtblauwe lijn) en s-waarden op basis van de nieuwe windstatistiek (rode lijn). Tevens zijn de nieuwe s-waarden gepresenteerd in Tabel 4.2.

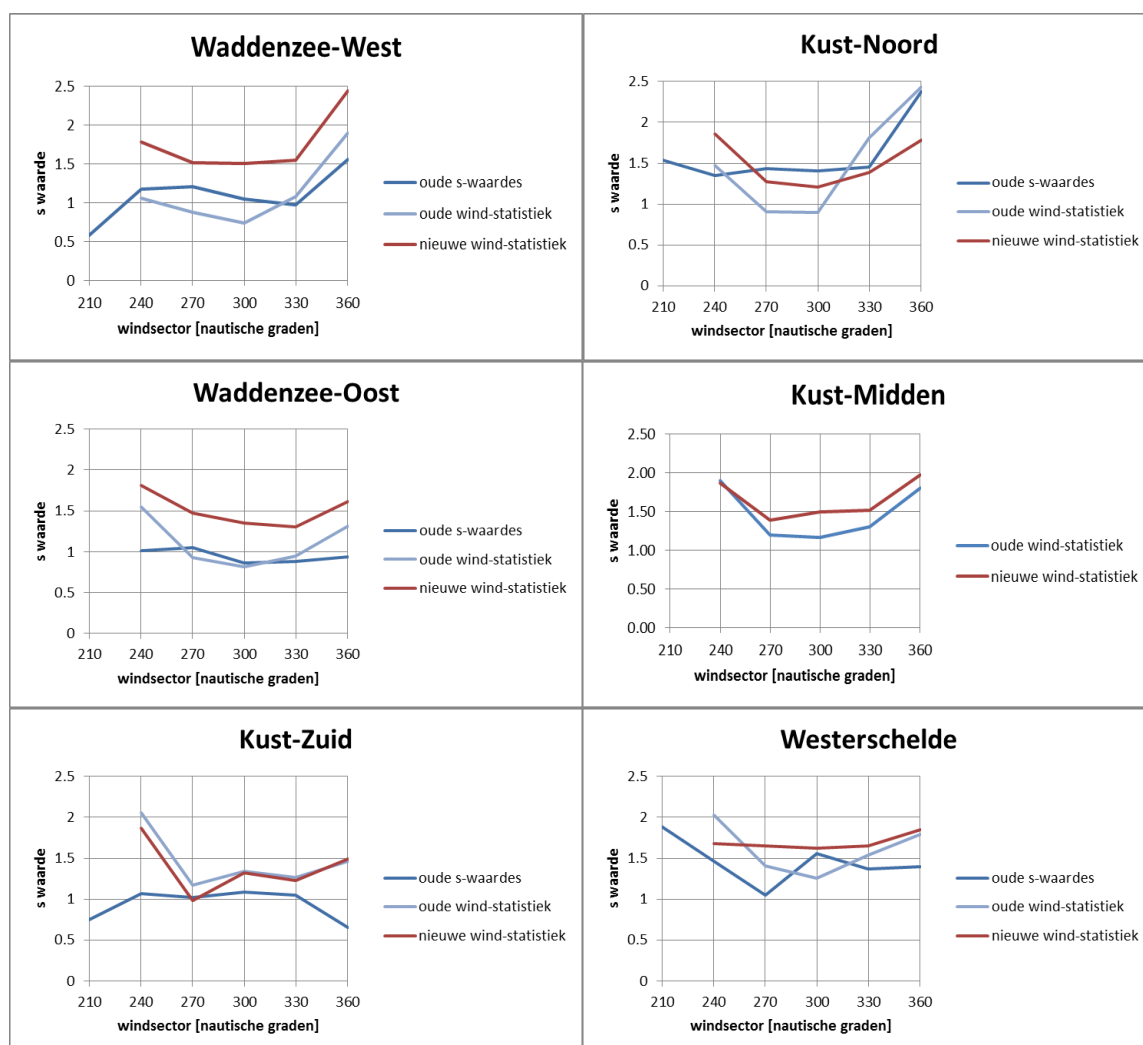
Verwacht wordt dat de mate van correlatie het sterkst is, dus de s-waarde het laagst, voor de windsectoren van 270 of 300 graden. Dit beeld vinden we redelijk terug in de nieuwe s-waarden en s-waarden op basis van de 'oude' windstatistiek, maar niet in de oude s-waarden. Door het gebruik van nieuwe simultane metingen is het verloop van de mate van correlatie over de windsectoren dus veranderd. Het nieuw verloop van de s-waarden stemt beter overeen met het verwachte beeld.

Verder valt op dat door het toepassen van de nieuwe windstatistiek de mate van correlatie over het algemeen afneemt, met ander woorden, de s-waarde is groter. Deel van de verklaring hiervoor is te vinden in het feit dat in de nieuwe windstatistiek een empirische verdeling voor het lage bereik wordt gebruikt, terwijl in de 'oude' windstatistiek, evenals in de statistiek voor de zeewaterstand, de conditionele Weibull verdeling voor het hele bereik wordt toegepast. Deze verdeling is feitelijk niet geldig voor het lage bereik onder een drempelwaarde en overschat voor dit bereik de gereduceerde waarden voor de wind of zeewaterstand. Doordat met de nieuwe windstatistiek de gereduceerde waarden van de wind niet overschatten worden, terwijl deze voor de zeewaterstand wel worden overschat, leidt dit tot een lagere mate van correlatie in het lage bereik van de windsnelheid.

Het afleiden en toepassen van een empirische verdeling voor het lage bereik van de zeewaterstanden zou tot een betrouwbaarder beeld van de correlatie kunnen leiden.

Tabel 4.2 Resultaten berekende s-waarden als maat voor de correlatie wind-zeewaterstand voor 6 regio's

Regio	Wind	Zeewaterstand	240 ^o	270 ^o	300 ^o	330 ^o	360 ^o
Kust-Noord	De Kooy	Den Helder	1,85	1,27	1,21	1,39	1,78
Kust-Midden	IJmuiden	IJmuiden Buiten	1,87	1,39	1,50	1,51	1,98
Kust-Zuid	Hoek van Holland	Hoek van Holland	1,87	0,98	1,32	1,22	1,49
Waddenzee-Oost	Terschelling	Lauwersoog	1,81	1,47	1,35	1,30	1,61
Waddenzee-West	Terschelling	Harlingen	1,78	1,51	1,51	1,54	2,44
Westerschelde	Vlissingen	Vlissingen	1,68	1,66	1,62	1,65	1,85



Figuur 4.3 Afgeleide en oude s-waarden, als maat voor de correlatie tussen wind en zeewaterstand voor 6 regio's van de kust.

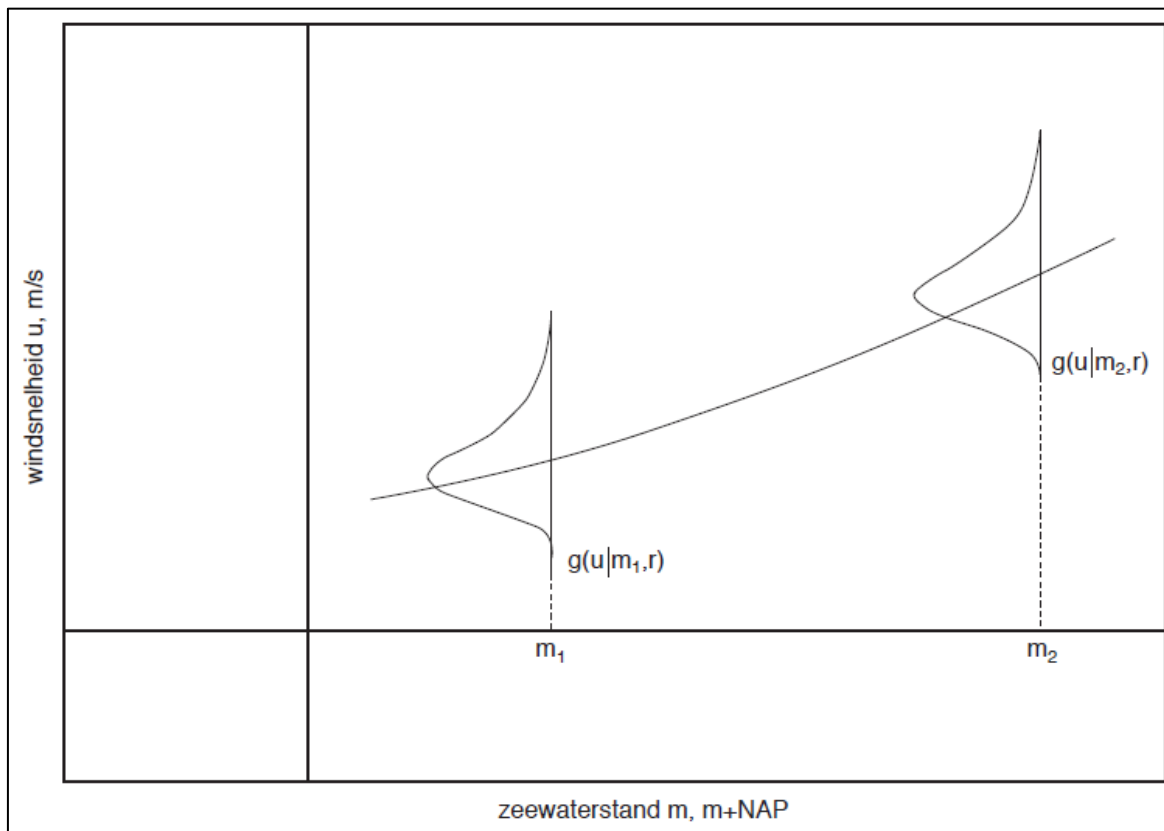
4.6 Wind-watertandstatistiek Maasmond (Benedenrivieren)

De zeewaterstand te Maasmond en de windsnelheid en windrichting boven het gebied zijn gecorreleerd. Tijdens een stormvloed, die hoofdzakelijk zal optreden bij één van de 'westelijke' richtingen ZW, WZW,..., N, moet rekening worden gehouden met (sterk) verhoogde windsnelheden. Daarom wordt in Hydra-Ring, conform Hydra-Zoet, voor de westelijke richtingen gebruik gemaakt van de wind-waterstandstatistiek, waarin de kansen op het gelijktijdig optreden van windsnelheid, zeewaterstand en windrichting worden beschouwd. Voor de (overige) oostelijke²² richtingen wordt geen correlatie tussen zeewaterstand en windsnelheid aangenomen.

Figuur 4.4. beschrijft het principe van de wind-waterstandstatistiek in grafische vorm. Het laat de kansverdeling van de windsnelheid, bij gegeven zeewaterstand (en windrichting) zien. De vorm van de kansverdeling van de windsnelheid blijft gelijk, alleen de ligging van de

²² Deze richtingen kunnen slechts bedreigend zijn voor locaties in de buurt van de bovenrand van het gebied, waar de extreme afvoer bepalend is voor de kruinhoogte. Op dergelijke locaties is de invloed van de zeewaterstand, vanwege de grote afstand tot zee, verwaarloosbaar.

kansverdeling hangt af van de zeewaterstand. En dit verband is uiteraard voor iedere windrichting iets anders. De wind-waterstandstatistiek bestaat feitelijk uit niets anders dan een gezamenlijke kansverdeling van wind, zeewaterstand en windrichting bij Maasmond.



Figuur 4.4 Het principe achter de beschrijving van de wind-waterstandstatistiek in grafische vorm

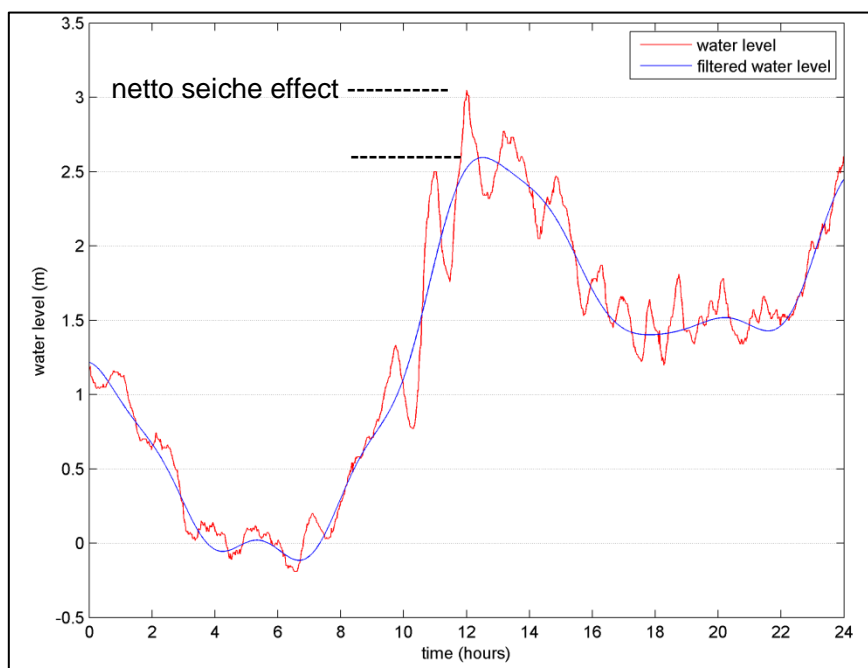
Voor de afleiding van de wind-waterstandstatistiek wordt dikwijls het model van Volker gebruikt (Volker, 1987). Volker heeft destijds de wind-waterstandstatistiek voor Hoek van Holland afgeleid, die betrekking heeft op het gelijktijdig optreden van de windsnelheid, de zeewaterstand en de windrichting. Deze statistiek betreft een kansverdeling die aangeeft met welke kansen gedurende een getijperiode combinaties van windsnelheden, windrichtingen en zeewaterstanden kunnen optreden. In 2002 is de wind-waterstandstatistiek herzien en opnieuw afgeleid (Geerse et al, 2002). Zoals in paragraaf al vermeld is de windstatistiek in 2009 geactualiseerd; deze nieuwe windstatistiek maakt het noodzakelijk dat de wind-waterstandstatistiek ook geactualiseerd moet worden in WTI-2017. Deze actualisatie is al uitgevoerd en uitvoerig beschreven in (Geerse & Verkaik, 2010) en zal niet nog een keer beschreven worden maar volstaan met het opnemen van de resultaten (tabellen) in dit rapport. Voor meer details verwijzen naar (Geerse & Verkaik, 2010).

Een belangrijk element in de wind-waterstandsstatistiek is de zogenoemde Volker-factor. Dit houdt in dat de kansverdeling van de windsnelheid bij een gegeven zeewaterstand afgeknot wordt. Reeds is uit onderzoek gebleken dat het noodzakelijk is om deze afknotting in de statistiek te handhaven omdat anders fouten in de windsnelheid in de orde van 5 à 10 m/s kunnen ontstaan. Dit geldt voornamelijk voor het faalmechanisme overloop/overslag. Voor geo-technische faalmechanismen is zo'n afknotting niet nodig. Voor het faalmechanisme overloop/overslag geldt in WTI-2017 daarom de wind-waterstandstatistiek bij Maasmond inclusief Volker-factor. Voor de overige faalmechanismen geldt de wind-waterstandstatistiek zonder Volker-factor. Beide statistieken, met en zonder Volker-factor zijn geïmplementeerd in

Hydra-Ring. Ten opzichte van WTI-2011 is de wind-waterstandstatistiek geactualiseerd gebruik makend van de nieuwe windstatistiek en de nieuwe kansverdeling van de windrichtingen. De parameters van wind-waterstandsstatistiek met en zonder Volker-factor is te vinden in Bijlage A.

4.7 Correlatie seiches en zeewaterstand bij Maasmond

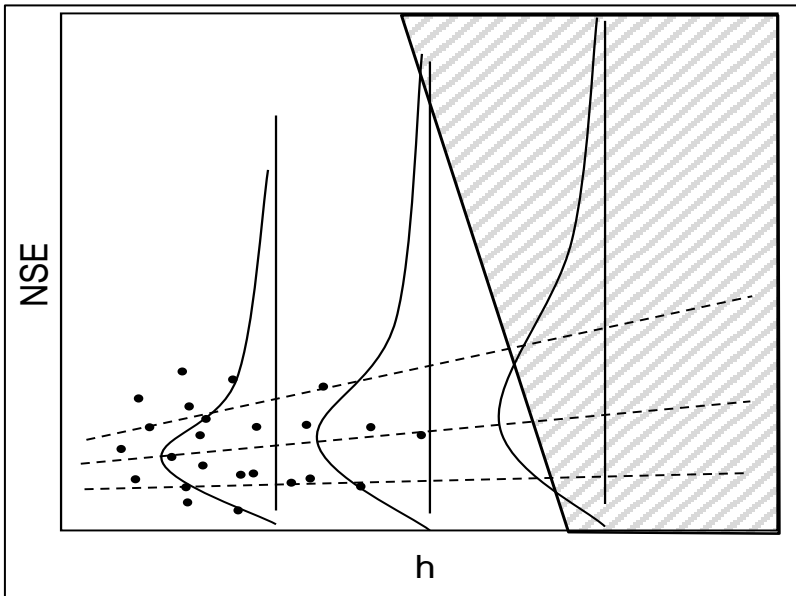
De seiches statistiek, ook de referentiestatistiek seiches genoemd, heeft betrekking op de locatie Rozenburgsesluis²³ (ROZ). In het kader van WTI-2011 is deze statistiek opnieuw afgeleid (de Jong, 2010). Hierbij is uitgegaan van een correlatie tussen het netto seiches effect, NSE²⁴ (Figuur 4.5) en de waterstand bij Hoek van Holland. Voor de zeewaterstand bij Hoek van Holland geldt de statistiek/verdeling zoals beschreven in paragraaf 3.5. Deze verdeling is verhoogd met 0,20 m om het verschil in (extreme) waterstand tussen Hoek van Holland en ROZ te verdisconteren. Voor de conditionele kansverdeling van het NSE voor een gegeven waterstand is een Gamma verdeling aangenomen (Vrouwenvelder, 1994). Verder is aangenomen dat de spreiding lineair toeneemt voor toenemende waterstanden, zie Figuur 4.6.



Figuur 4.5 Voorbeeld van waterstand inclusief seiches en definitie netto seiches effect.

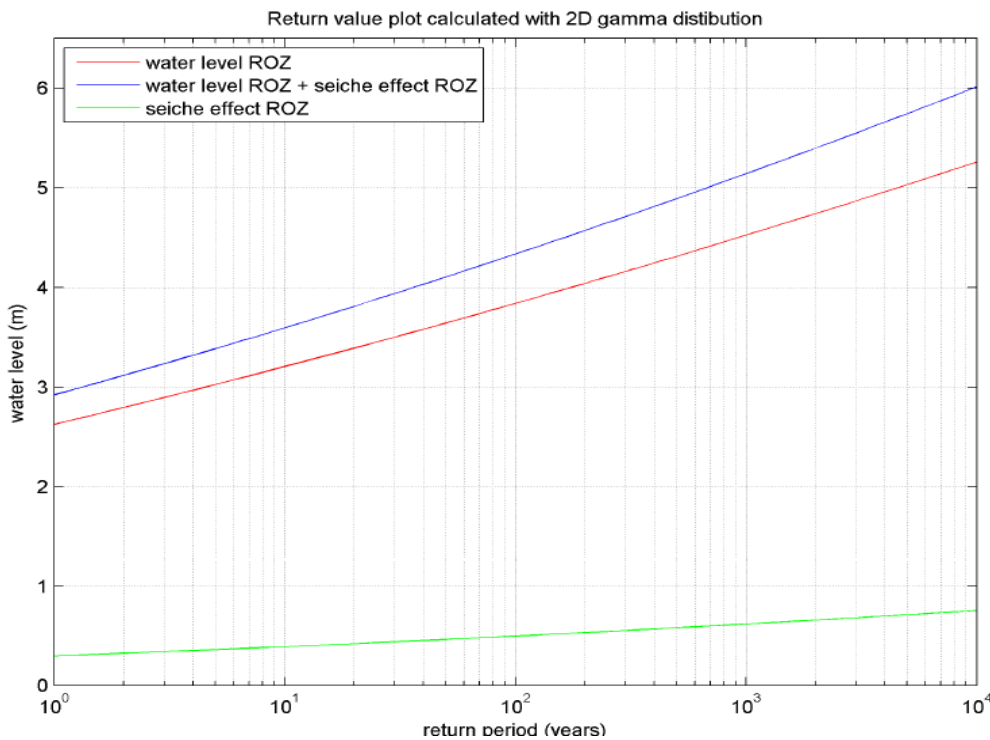
²³ Dit is het station waar een lange en betrouwbare meetreeks voor beschikbaar is.

²⁴ Het netto seiche effect is de netto bijdrage aan het hoge water door de seiche-slingering, dit wil zeggen inclusief het effect van het verschil in timing van de seiche ten opzichte het getij en de opzet. Het netto seiche effect is anders dan de seiche amplitude. Deze is de maximale uitwijking van de seiche ten opzichte van de waterstand. De maximale uitwijking hoeft niet rondom het hoogwater plaats te vinden.



Figuur 4.6 Schematische weergave van de conditionele kansverdeling van NSE gegeven de waterstand h .

De overschrijdingskans van de waterstand inclusief het NSE wordt verkregen door de gezamenlijke kansverdeling van h en NSE te integreren over alle combinaties; zie voor details (Chbab, 2010).



Figuur 4.7 Waterstand (met en zonder NSE) en NSE bij ROZ als functie van terugkeertijd.

Tabel 4.3 bevat de berekende waarden van het NSE bij ROZ die behoren bij herhalingsstijden 1, 4000 en 10000 jaar.

Tabel 4.3 Netto seiche effect voor enkele terugkeertijden.

1	0.30
4.000	0.70
10.000	0.75

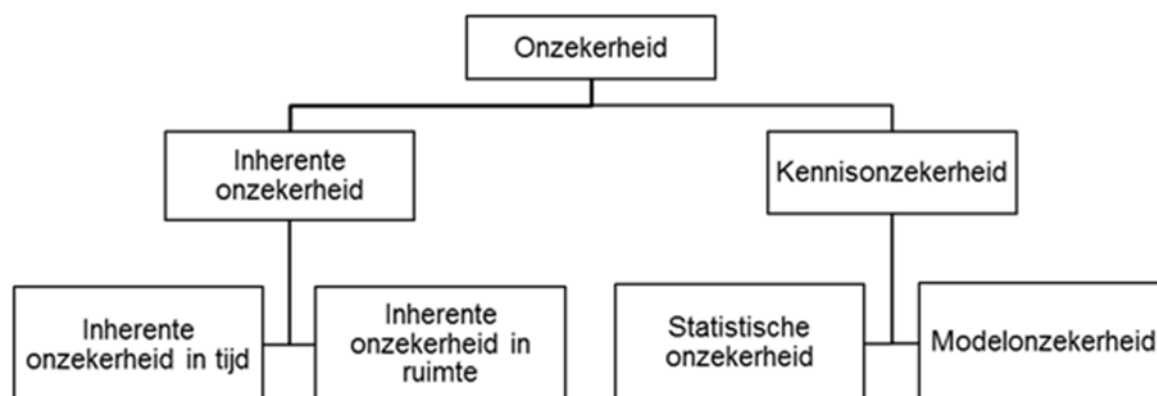
Voor het meenemen van seiche-effecten in de belastingmodellen van Hydra-Ring zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd door Reijmerink en de Jong (2014). Met behulp van PHAROS zijn, voor 41 waterstanden tussen NAP +2,40 m en NAP +6,40 m de netto seiche-effecten berekend voor 449 oeverlocaties en 42 as-locaties in het Europoortgebied. Hierbij is rekening gehouden met het effect van demping door onderlopen van kades en overstromen van golfbrekers. Ook zijn hierbij veranderingen in de layout van het gebied meegenomen. Deze berekende seiches toeslagen dienen als invoer voor Hydra-Ring. Bij deze berekende toeslagen is uitgegaan van een functionerende Hartel- en Maeslantkering. In deze toeslagen zijn onzekerheden in bijvoorbeeld PHAROS echter nog niet meegenomen. Onzekerheden in seiches komen in paragraaf 5.5.5 aan de orde.

5 Statistische onzekerheid basisstochasten

5.1 Inleiding

In de huidige HR bepaling wordt enkel rekening gehouden met inherente onzekerheid: onzekerheden die veroorzaakt worden door de natuurlijke variabiliteit in de basisvariabelen (afvoer, meerpeil, zeewaterstand en wind). Het is de bedoeling dat in WTI-2017 ook kennisonzekerheden worden verdisconteerd. In de afgelopen jaren is het besef gegroeid dat deze onzekerheden meegenomen zouden moeten worden in de periodieke toetsing van de primaire waterkeringen. De overstap op een meer geavanceerde veiligheidsfilosofie, die gebaseerd is op overstromingskansen in plaats van overschrijdingskansen, biedt de gelegenheid om ook deze verbetering door te voeren.

Onzekerheden²⁵ zijn onder te verdelen in een aantal klassen, zie Figuur 5.1 (Vrouwenvelder et al, 2001). Inherente onzekerheid, ook wel natuurlijke variabiliteit genoemd, is het gevolg van de natuurlijke fluctuaties in tijd en/of ruimte van een bepaald fysisch proces zoals hydraulische ruwheid en de rivierafvoer. Deze van nature aanwezige onzekerheid kan niet worden gereduceerd maar wel worden gemodelleerd door middel van kansverdelingen.



Figuur 5.1 Belangrijke typen onzekerheden

Kennisonzekerheid binnen WTI komt hoofdzakelijk terug in model- en statistische onzekerheid. Modelonzekerheid ontstaat door het gebruik van wiskundige recepten (formules) die worden gehanteerd om bepaalde fysische verschijnselen te modelleren, zoals waterbeweging, golfopwekking en golfvoortplanting. In het bijzonder zijn de uitkomsten van de productieberekeningen die nodig zijn voor het maken van probabilistische berekeningen (gegenereerd door modellen als WAQUA, IMPLIC, PHAROS, SWAN, HISWA en Bretschneider) onzeker door de aannames en uitgangspunten die ten grondslag liggen aan bijvoorbeeld gebiedsschematisaties, modellering van fysische processen en invoerparameters van de modellen. Vooral de uitkomsten van extreme gebeurtenissen bevatten extra onzekerheid, omdat dergelijke gebeurtenissen in de meetseries niet of nauwelijks voorkomen, en modellen daarom op deze gebeurtenissen moeilijk af te regelen zijn.

²⁵ Het gaat hier alleen om de belangrijke onzekerheden in de HR bepaling. Onzekerheden in bijvoorbeeld metingen, beleid, etc. zijn niet beschouwd in dit rapport.

Statistische onzekerheden zijn onzekerheden die gerelateerd zijn aan de statistische betrouwbaarheid van de schatting/keuze van de kansverdelingen die de basisstochasten moeten beschrijven, inclusief de verdelingsparameters. Dit type onzekerheid is het gevolg van een beperkt aantal gegevens of metingen. De kansverdeling en bijbehorende parameters van de zeewaterstand te Hoek van Holland is bijvoorbeeld afgeleid op basis van een beperkte set van ongeveer 130 beschikbare jaarmaxima uit de periode 1880 – 2013. De kansverdelingen die zijn gefit op deze data, worden vervolgens gebruikt voor extrapolatie naar gebeurtenissen met terugkeertijden van 10.000 jaar of meer, wat gepaard gaat met aanzienlijke onzekerheid.

In de huidige aanpak wordt bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden alleen rekening gehouden met onzekerheden die het gevolg zijn van de natuurlijke variabiliteit. Voor een aantal variabelen (de basisstochasten) wordt dit expliciet gedaan, door middel van een kansverdeling. Voor een aantal andere variabelen (bijv. stormduur) wordt de variabiliteit vanuit praktisch oogpunt niet expliciet beschouwd maar verdisconteerd in een verwachtingswaarde. Kennisonzekerheid wordt tot nu toe buiten beschouwing gelaten in de huidige methoden. Voor WTI-2017 is besloten om, naast de natuurlijke variabiliteit (inherente onzekerheid), ook de kennisonzekerheid expliciet mee te nemen en te implementeren in Hydra-Ring, zie voor details en argumentatie (Chbab, 2014). Dit hoofdstuk gaat in op de statistische onzekerheid die betrekking heeft op de statistiek van de basisstochasten.

5.2 Statistische onzekerheid Hydra-Ring

In een studie van HKV/Deltares (Nicolai et al, 2014) is onderzocht van welke basisstochasten de statistische onzekerheden relevant zijn en meegenomen zouden moeten worden in Hydra-Ring. De studie resulteerde in de volgende lijst basisstochasten waarvan de statistische onzekerheid bepaald en geïmplementeerd dient te worden in Hydra-Ring, zie Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Basisstochasten waarvoor statistische onzekerheid bepaald/geïmplementeerd is in Hydra-Ring

Basisstochast	Station	Relevant voor regio
Afvoer Rijn	Lobith	1, 3 en 4
Afvoer Maas	Borgharen	2 en 18
Afvoer Maas	Lith	2, 3 en 4
Afvoer IJssel	Olst	5 en 6
Afvoer Vecht	Dalfsen	5 en 6
Windsnelheid	Deelen	1, 2 en 18
Windsnelheid	Schiphol	3 t/m 8 en 17
Windsnelheid	Terschelling West	9 en 10
Windsnelheid	De Kooy	11
Windsnelheid	Ijmuiden	12
Windsnelheid	Hoek van Holland	13
Windsnelheid	Vlissingen	14 en 15
Zeewaterstand	Hoek van Holland/Maasmond	3, 4, 13, 16 en 17
Zeewaterstand	Lauwersoog	9 en 16
Zeewaterstand	Harlingen	10 en 16
Zeewaterstand	Den Helder	11 en 16
Zeewaterstand	Ijmuiden	12 en 16
Zeewaterstand	OS11	14 en 16
Zeewaterstand	Vlissingen	15 en 16
Zeewaterstand	Delfzijl	
IJsselmeerpeil	-	7
Markermeerpeil	-	8

Naast statistische onzekerheid van de basistochasten zoals weergegeven in Tabel 5.1 is besloten om in WTI2017 tevens rekening te houden met onzekerheden in de seiches toeslagen voor locaties in het Europoort gebied (het gebied waar seiches een rol spelen), zie argumentatie (Nicolai et al, 2014). N.B. seiches toeslagen gelden niet als basisstochast, daarom zijn ze niet opgenomen in Tabel 5.1.

5.3 Betrouwbaarheidsintervallen zeewaterstands- en meerpeilstatistiek

Betrouwbaarheidsintervallen dienen als uitgangspunt voor het modelleren en inbouwen van statistische onzekerheden in Hydra-Ring. Van de basisstochasten uit Tabel 2.3 bestaan al de 95%-betrouwbaarheidsintervallen, behalve voor de meerpeilen en zeewaterstanden. Voor de meerpeilen (IJsselmeerpeil en Markermeerpeil) ontbreken de betrouwbaarheidsintervallen namelijk volledig en voor de zeewaterstanden zijn deze slechts beschikbaar voor de vigerende normfrequentie. Dit is niet voldoende om voldoende nauwkeurige schattingen te maken van statistische onzekerheden.

In een recente studie van HKV in opdracht van Deltares (Geerse en Wojciechowska, 2014) zijn 95%-betrouwbaarheidsintervallen bepaald voor de meerpeilen en de zeewaterstanden. Hierbij is de zogenoemde bootstrapmethode toegepast. De kern van de gebruikte Bootstrapmethode is dat eerst met de bootstrapmethode betrouwbaarheidsintervallen worden bepaald voor een exponentiële moederverdeling, door daaraan een klasse van GPV's te fitten. Daarna wordt een transformatie (TR) gebruikt om deze intervallen – die horen bij een exponentiële verdeling – om te vormen tot betrouwbaarheidsintervallen die horen bij de

Weibullverdelingen (zie zeewaterstandsstatistiek in paragraaf 3.4) voor de kust of de (stuksgewijs) exponentiële frequentieverdelingen voor het IJssel- en Markermeer (zie meerpeilstatistiek in paragraaf 3.5). Dit is gedaan door voor een exponentieel verdeelde moederverdeling een hele range aan GPV verdelingen te beschouwen met een vaste locatie- en schaalparameter en een variabele vormparameter. Deze vormparameter is normaal verdeeld (met parameters μ en σ). Met behulp van deze normale verdeling kunnen uiteindelijk betrouwbaarheidsintervallen worden afgeleid voor elk kwantiel uit de moederverdeling. De moederverdeling bepaalt dan ook mede het resultaat. Mede hierom en vanwege consistentieoverwegingen is zoveel mogelijk aangesloten bij de geldende statistiek en kansverdelingen voor de meerpeilen en zeewaterstanden. Zonder nader in te gaan op details van de toegepaste bootstrapmethode en gevolgde procedure om betrouwbaarheidsintervallen te bepalen, vermelden we hieronder enkel de resultaten; voor meer details verwijzen we naar (Geerse en Wojciechowska, 2014).

Met behulp van de Bootstraphmethode zoals hierboven beschreven zijn voor verschillende stations langs de kust betrouwbaarheidsintervallen afgeleid voor verschillende terugkeertijden en percentielen van de waterstand (2,5%, 5%, 10%, 20%, ..., 90%, 95% en 97,5%). Hierbij zijn naast de omni-directionele ook de relevante windrichtingsafhankelijke situaties beschouwd. De volgende stations zijn onderzocht:

- Hansweert
- Vlissingen
- OS11 (ook vaak aangeduid als OS buiten)
- Hoek van Holland
- IJmuiden Buitenhaven
- Den Helder
- Den Oever
- Den Oever A
- Harlingen
- Terschelling
- Terschelling A
- Lauwersoog
- Huibertgat
- Delfzijl

Per station zijn de omni-directionele situatie verder 6 windrichtingen²⁶ beschouwd; het zijn alle richtingen uit de hoek zuidwest tot noord, ofwel 210°, 240°, 270°, 300°, 330° en 360°.

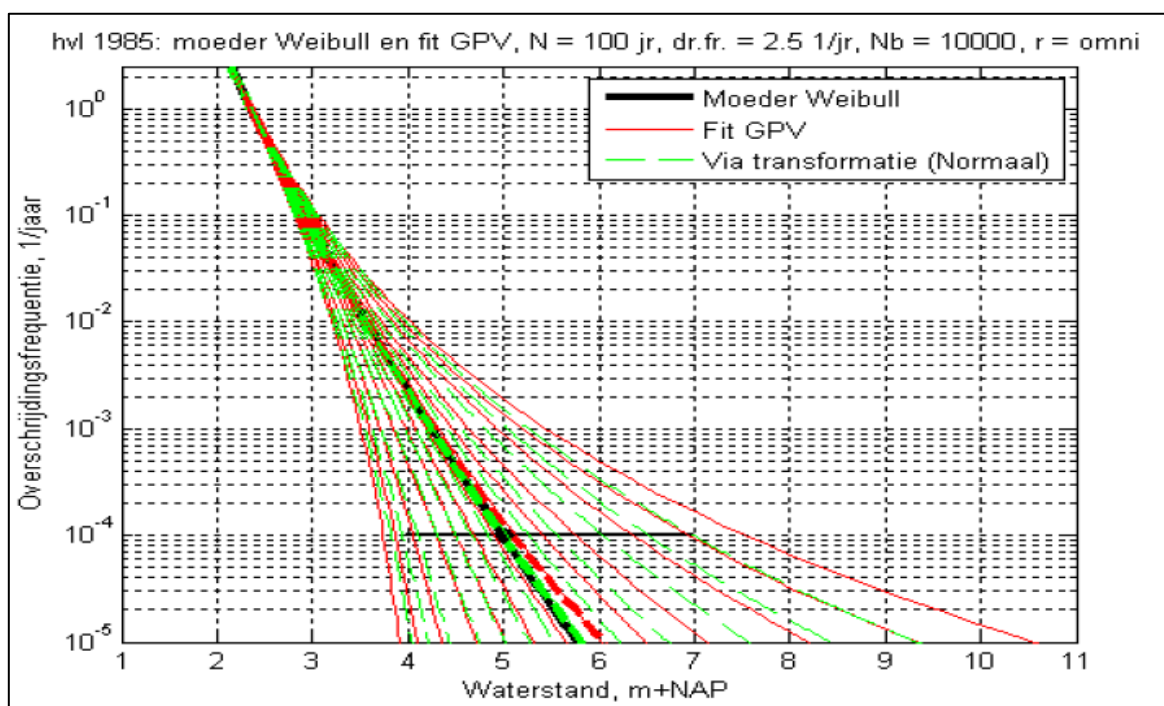
Aanvankelijk zijn betrouwbaarheidsintervallen bepaald voor de zeewaterstand op basis van statistische extrapolatie, zonder daarbij fysische overwegingen te betrekken. De zo verkregen betrouwbaarheidsintervallen blijken echter erg breed te zijn. Voor bijvoorbeeld het 95%-betrouwbaarheidsinterval is het verschil tussen de boven- en ondergrens erg breed; dit resultaat geldt voor alle beschouwde kuststations. Het verschil ligt in de range van ca. 2,3 – 3,4 m. Na uit-integreren leveren dergelijke brede betrouwbaarheidsintervallen een flinke verhoging van de waterstand, vooral in extreme situaties. Ter illustratie is in Figuur 5.2 de afgeleide betrouwbaarheidsintervallen voor station Hoek van Holland. De breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval interval van het 10⁻⁴-kwantiel bedraagt 3,16 m. Een dergelijk betrouwbaarheidsinterval leidt na uit-integratie tot een bijna 1 m hoger 10⁻⁴-kwantiel, zie paragraaf 5.4. De vraag is of dergelijke brede betrouwbaarheidsintervallen, die uitsluitend

²⁶ Het zijn windrichtingen die relevant zijn voor de hydraulische belastingen langs de kust. Oostelijke windrichtingen zijn beschouwd omdat bij deze richtingen afwaaiing optreedt en zijn dus niet relevant.

gebaseerd zijn op statistische extrapolaties, wel fysisch reëel zijn en zouden ze op fysische gronden niet smaller moeten zijn.

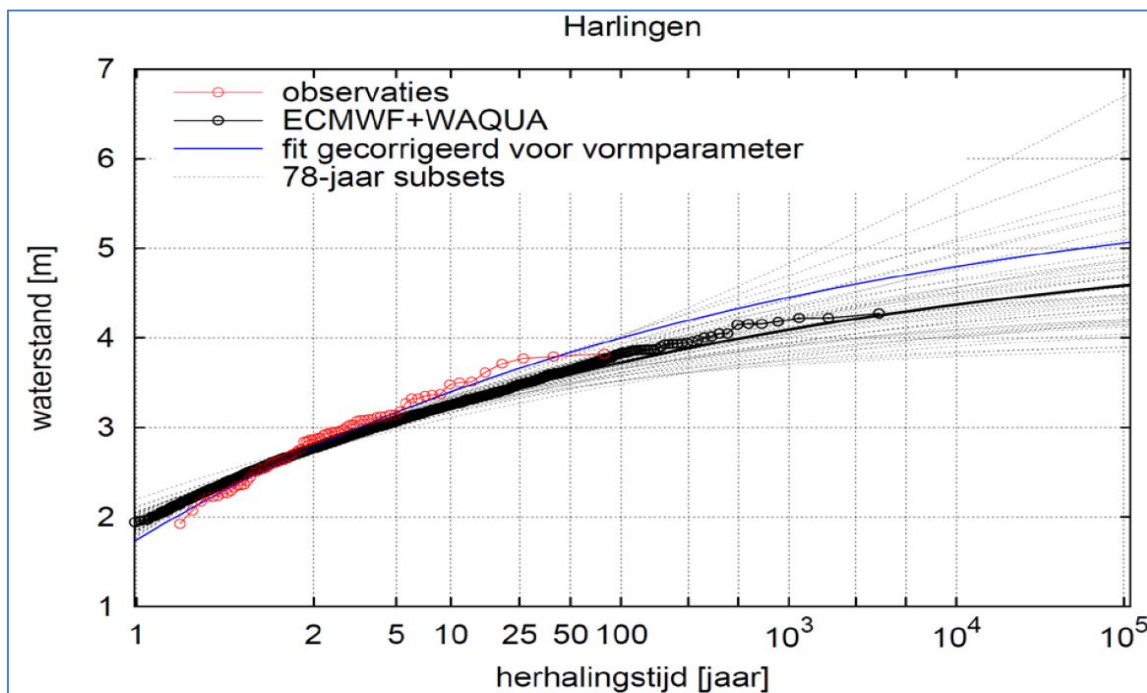
Uit een recente studie van het KNMI zijn simulaties van windgegevens beschikbaar gekomen voor langere synthetische reeksen dan de meetperiode die ten grondslag ligt aan de statistische extrapolaties. De windgegevens beslaan een periode van 3439 jaren en ze zijn afgeleid van seizoensverwachtingen van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF (Van den Brink, 2015). Deze windgegevens zijn vervolgens als invoer gebruikt voor berekeningen met WAQUA, om opzetten langs de Nederlandse kust te bepalen. De verkregen opzetten zijn vervolgens gebruikt om de extreme waarden statistiek van de zeewaterstand te bepalen. Zonder nader in te gaan op details vermelden we in dit rapport enkel de resultaten van de uitgevoerde statistische analyse; voor een uitgebreide beschrijving van de studie van KNMI verwijzen naar de bij dit rapport gevoegde Bijlage B. Zoals al gezegd zijn op basis van windgegevens 3439 WAQUA berekeningen uitgevoerd. Deze resulteerden in 3439 jaarmaxima van de waterstand, waarna een GEV verdeling is gefit. De resultaten van de fit zijn weergegeven in Figuur 5.3. De figuur laat voor station Harlingen de Gumbelplot (GEV Type I) zien op basis van gemeten jaarmaxima (rood) en de GEV op basis van 3439 jaarmaxima volgend uit ECMWF en WAQUA berekeningen (zwart). Ter vergelijking is een blauwe lijn geplott en die beschrijft een GEV fit aan de gemeten jaarmaxima met de vormparameter volgend uit model. Opgemerkt wordt dat de vormparameter van de GEV verdeling de mate van de kromming (in de data) weergeeft.

N.B. de resultaten van het KNMI, zie ook Bijlage B, zijn enkel gebruikt om de betrouwbaarheidsbanden en derhalve de statistische onzekerheid in zeewaterstanden te schatten. De werklijn van de zeewaterstand is gebaseerd op de vigerende basispeilen zoals beschreven in paragraaf 3.5.2 en toeslagen voor de zeespiegelstijging en trendcorrecties in 3.5.4.

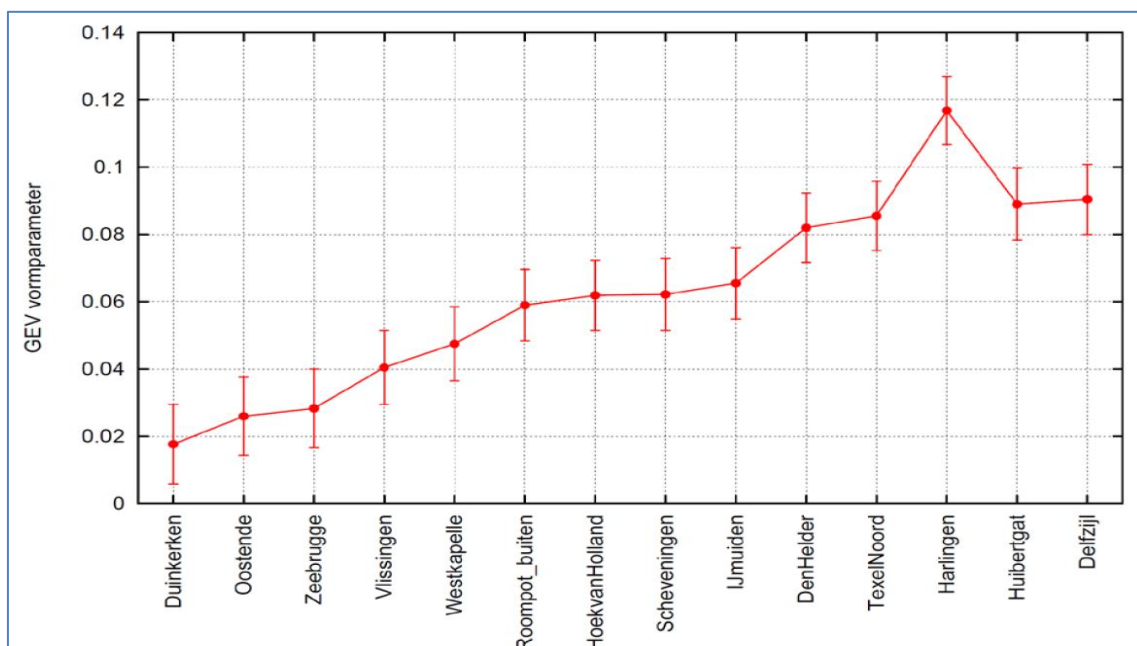


Figuur 5.2 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen voor station Hoek van Holland, omni-directioneel. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

Een schatting van de vormparameter op basis van 3439 jaarmaxima voortvloeiend uit modelberekeningen voor verschillende stations langs de kust is weergegeven in Figuur 5.4. De figuur laat zien dat voor alle stations langs de kust sprake is van neerwaartse kromming in de extreme waarden statistiek, die toeneemt van zuid naar noord en het grootste is in het Waddengebied. Voor dit gebied is deze neerwaartse kromming overigens ook aanwezig in de statistiek die ten grondslag ligt aan de vigerende maar ook voor WTI-2017 geldende basispeilen, zie paragraaf 3.5.

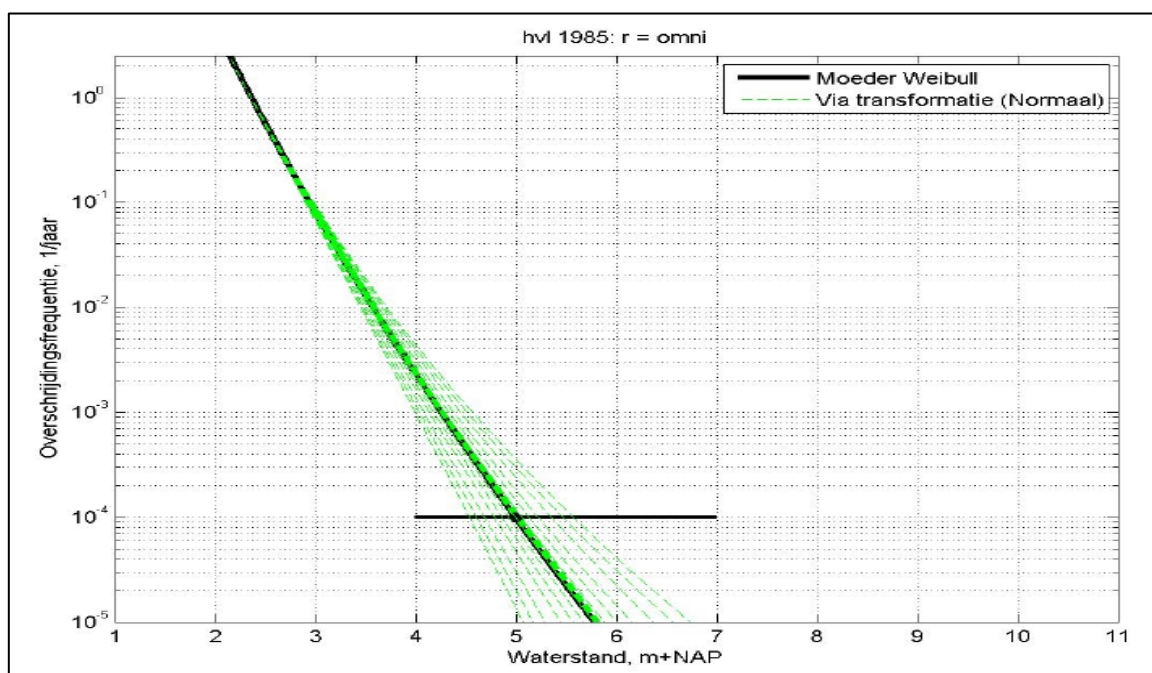


Figuur 5.3 GEV plot van de jaarmaxima bij Harlingen; metingen (rood), model (zwart).



Figuur 5.4 GEV vormparameter (kromming) van de waterstand voor verschillende stations langs de kust. De verticale lijnen geven de standaard fout weer.

Mede op basis van de resultaten van het KNMI heeft HKV, aanvullend op (Geerse en Wojciechowska, 2014), een studie uitgevoerd waarin de betrouwbaarheidsintervallen voor bovengenoemde stations opnieuw zijn afgeleid, zie (Geerse en Wojciechowska, 2015). Het resultaat voor Hoek van Holland is afgebeeld in Figuur 5.5. Het resultaat van de andere stations is te vinden in Bijlage C. De parameters van de normale verdeling die gebruikt is voor het schatten van de betrouwbaarheidsintervallen van de kwantilen van de exponentiële moederverdeling, evenals de breedte van de afgeleide betrouwbaarheidsintervallen zijn weergegeven in Tabel 5.2.



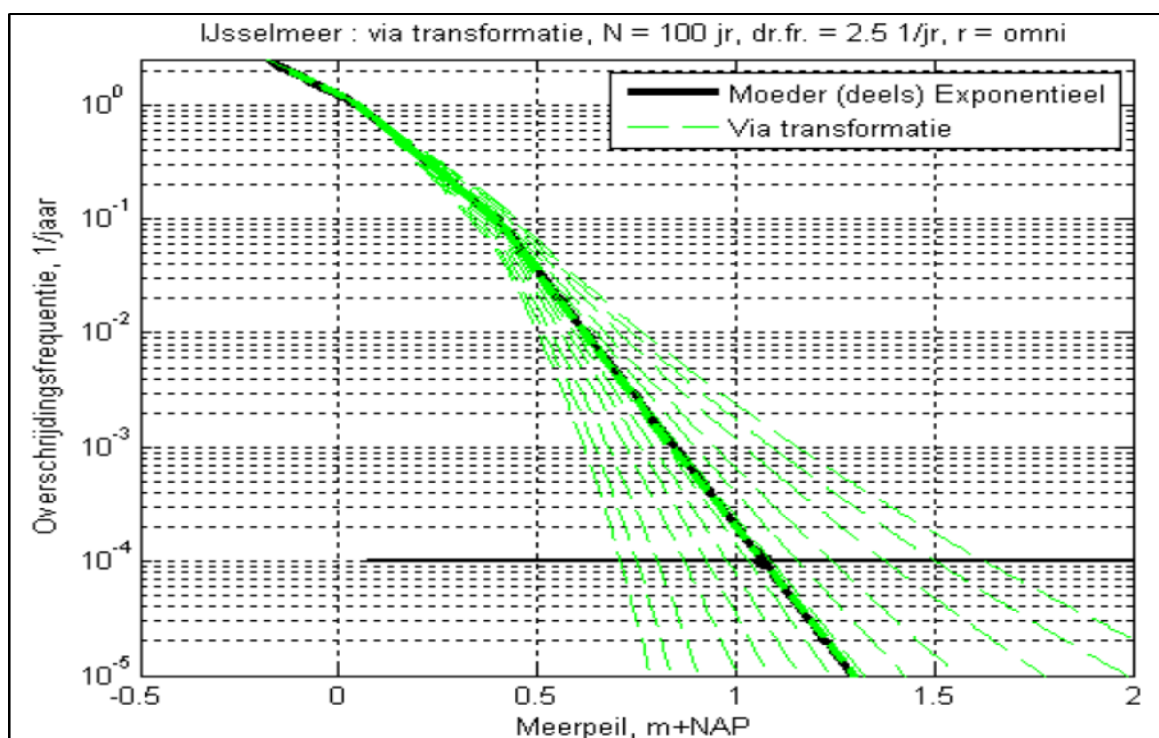
Figuur 5.5 Betrouwbaarheidsintervallen station Hoek van Holland voor de omni-directionele situatie, bepaald op basis van de vormparameter verkregen uit de studie van KNMI. Horizontale zwarte lijn is het interval van de basispeil bij Hoek van Holland (Geerse en Wojciechowska, 2015).

Tabel 5.2 Parameterschattingen van de normale verdeling gebruikt voor het afleiden van de betrouwbaarheidsintervallen met bootstrap methode inclusief breedte afgeleide intervallen (Geerse en Wojciechowska, 2015).

Stations	normale verdeling		breedte 10^{-4} -kwantiel
	μ [-]	σ [-]	95%-BI [m]
Hansweert	0	0.017867	1.05
Vlissingen	0	0.02	0.97
OS11	0	0.02	1.00
Hoek van Holland	0	0.01538	1.03
IJmuiden Buitenhaven	0	0.01538	1.12
Den Helder	0	0.017867	0.78
Den Oever	0	0.0205	0.89
Den Oever A	0	0.0205	0.89
Terschelling	0	0.023333	0.74
Terschelling A	0	0.023333	0.74
Harlingen	0	0.0205	0.76
Lauwersoog	0	0.017867	0.75
Huibertgat	0	0.02	0.95
Delfzijl	0	0.117867	0.92

De breedte van de nieuwe afgeleide betrouwbaarheidsintervallen varieert tussen ca. 0,75 m en 1,0 m. de intervallen voor de stations langs de Zeeuwse en Hollandse kust zijn relatief breder en die voor de stations langs de Waddenzee smaller. Dit is in lijn van de krommingsparameter.

Met de bootstrapmethode zoals beschreven in (Geerse en Wojciechowska, 2014) zijn voor het IJsselmeer- en het Markermeerpeil betrouwbaarheidsintervallen afgeleid voor verschillende terugkeertijden en percentielen (2,5%, 5%, 10%, 20%, ..., 90%, 95% en 97,5%). De aldus verkregen betrouwbaarheidsintervallen voor het IJsselmeerpeil en het Markermeerpeil zijn in grafische vorm afgebeeld in Figuur 5.6 en Figuur 5.7 respectievelijk. Tabel 5.3 en Tabel 5.4 omvatten de betrouwbaarheidsintervallen in tabelvorm.



Figuur 5.6 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

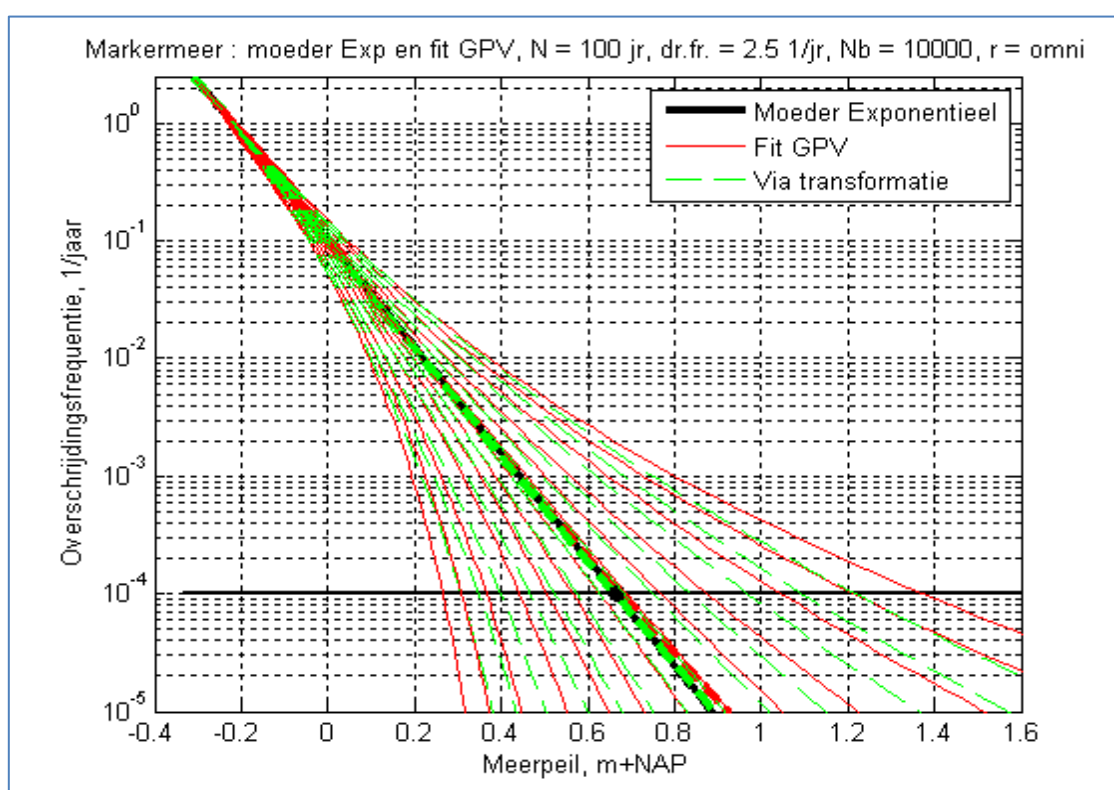
Tabel 5.3 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen [m+NAP] bij gegeven percentages [%]													
T [jaar]	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	0.40	0.39	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45
100	0.62	0.62	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.63	0.65	0.67	0.71	0.74	0.77
1000	0.85	0.84	0.62	0.65	0.68	0.72	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	1.02	1.09	1.16
10000	1.07	1.07	0.71	0.75	0.80	0.87	0.93	0.98	1.03	1.09	1.16	1.24	1.38	1.50	1.63
100000	1.29	1.30	0.78	0.84	0.91	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32	1.43	1.56	1.78	1.99	2.19

Tabel 5.4 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantilen en percentielen van het Markermeerpeil.

Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

T [jaar]	$\mu = -0.0077351$	$\sigma = 0.04614$	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
					2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10			0.00	0.00	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
100			0.22	0.22	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.31	0.34	0.36
1000			0.44	0.44	0.22	0.24	0.28	0.32	0.36	0.39	0.42	0.46	0.49	0.54	0.62	0.69	0.75
10000			0.67	0.66	0.31	0.35	0.40	0.47	0.52	0.58	0.63	0.69	0.75	0.84	0.97	1.09	1.22
100000			0.89	0.89	0.38	0.43	0.50	0.60	0.68	0.75	0.83	0.92	1.02	1.15	1.36	1.57	1.78



Figuur 5.7 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantilen van het Markermeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

Tabel 5.5 Parameterschattingen van de normale verdeling gebruikt voor het afleiden van de betrouwbaarheidsintervallen met bootstrap methode inclusief breedte afgeleide intervallen (Geerse en Wojciechowska, 2014).

Peil	normale verdeling		breedte 10^{-4} -kwantiel 95%-BI [m]
	μ [-]	σ [-]	
IJsselmeer	-0.0077351	0.04614	0.92
Markermeer	-0.0077351	0.04614	0.91

De parameterschattingen van de normale verdeling van de vormparameter voor het schatten van de betrouwbaarheidsintervallen voor de meren zijn weergegeven in Tabel 5.5. Het betrouwbaarheidsinterval behorende bij het 10^{-4} -kwantiel is ca. 0,9 m breed; dit geldt voor zowel het IJsselmeer als het Markermeer.

5.4 Modelling en uit-integreren van statistische onzekerheid in Hydra-Ring

Voor het meenemen van de statistische onzekerheid in het probabilistische model Hydra-Ring is een volledige beschrijving van de statistische onzekerheid nodig voor meerdere overschrijdingsfrequenties. Afhankelijk van de eigenschappen van de betreffende basisstochast kan de statistische onzekerheid in Hydra-Ring worden beschreven als een constante of als een kansverdeling van de (gemiddelde) waarde van de basisstochast en additief of relatief/multiplicatief al dan niet afgetopt op een bepaalde waarde.

Statistische onzekerheid behorende bij een basisstochast wordt in feite als extra²⁷ stochast toegevoegd aan Hydra-Ring. In Hydra-Ring wordt de keuze van het model voor de statistische onzekerheid gerelateerd aan de betreffende basisstochast en de aard van de onzekerheid. Waarden van basisstochasten als zeewaterstanden en meerpeilen worden gekwantificeerd in relatie tot het referentieniveau m+NAP. Het referentieniveau m+NAP heeft echter geen eenduidige fysieke betekenis. Dit niveau is de laagste fysieke waarde die zo'n basisstochast kan aannemen. Voor andere basisstochasten zoals de windsnelheid is er wel een eenduidige fysieke betekenis van het nul-niveau (0 m/s). Er is geen windsnelheid lager dan 0 m/s. Bij het modelleren van de statistische onzekerheid van de windsnelheidsstatistiek dient dan ook hier rekening mee te worden gehouden. Immers, de windsnelheid is altijd positief en het model voor de statistische onzekerheid in windsnelheid mag dan ook geen negatieve waarden aannemen en dient daarom afgetopt te worden op het niveau van 0 m/s. Voor dit type basisstochasten wordt een relatief (multiplicatief) model toegepast voor het modelleren van de statistische onzekerheid, terwijl voor het vorige type (zeewaterstanden, meerpeilen, e.d.) een additief model voor de hand ligt. Afvoeren vormen in dit opzicht een uitzondering. Het nul-niveau (0 m³/s) is weliswaar de laagst mogelijke waarde maar dit niveau wordt in de praktijk nooit bereikt. Voor de basisstochast afvoer wordt daarom ook een additief model gebruikt, zie voor details Scientific Documentation (Diermanse et al, 2013).

De volgende vier modellen²⁸ zijn geïmplementeerd in Hydra-Ring:

Model 1: additief

$$S_{incl} = S_{excl} + S_{onzekerheid}$$

Model 2: multiplicatief

$$S_{incl} = S_{excl} * S_{onzekerheid}$$

Model 3: begrensd additief

$$S_{incl} = \max(0, S_{excl} + S_{onzekerheid})$$

²⁷ Het is een extra stochast voor de probabilistische berekeningen maar dient niet als basisstochast te worden gezien.

Een basisstochast wordt naast probabilistische berekeningen ook beschouwd in de productieberekeningen in de zin dat er meerdere stochastwaarden worden doorgerekend met modellen (WAQUA en/of SWAN).

²⁸ Deze modellen zijn tevens geschikt en worden gebruikt voor het modelleren van modelonzekerheid in lokale waterstand en golfparameters.

Model 4: begrensd multiplicatief

$$S_{incl} = \max(0, S_{excl} * S_{onzekerheid})$$

Hierin geldt:

- S_{incl} = realisatie basisstochast inclusief statistische onzekerheid
- S_{excl} = realisatie basisstochast zonder statistische onzekerheid
- $S_{onzekerheid}$ = een 'random' variabele die de statistische onzekerheid behorende bij de basisstochast S beschrijft. Deze variabele kan in principe elke willekeurige kansverdeling hebben.

De kansverdeling van $S_{onzekerheid}$ wordt geschat met behulp van de beschikbare informatie met betrekking tot de betrouwbaarheidsintervallen en/of percentielen van de basisstochasten. Dit komt erop neer dat een geschikte kansverdeling die de statistische onzekerheid beschrijft, gekozen dient te worden, waarna de bijbehorende parameters geschat dienen te worden; zie ook paragraaf 5.5. De parameters van de onzekerheids-kansverdeling zijn afhankelijk van de herhalingstijd.

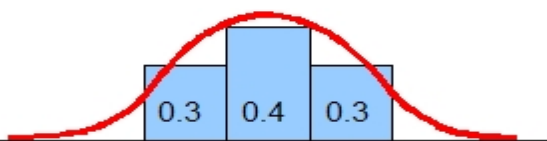
Bij het schatten van de kansverdeling die de statistische onzekerheid moet representeren gelden de volgende criteria:

- De waarden van de stochast S_{excl} (beste schattingen of huidige werklijnen) moeten exact kunnen worden beschreven door de kansverdeling $S_{onzekerheid}$. Deze voorwaarde is nodig voor o.a:
 - verschilanalyse en vergelijking met de vigerende HR-2006 waarin geen statistische onzekerheid is verdisconteerd,
 - als terugvaloptie in het geval dat er later door DGRW besloten wordt om alsnog geen rekening te houden met kennisonzekerheid bij de vaststelling van de HR,
- De vorm van de onzekerheid, meestal beschreven door betrouwbaarheidsbanden, dient beschreven te worden door de kansverdeling van $S_{onzekerheid}$. Bij het schatten van de kansverdeling van $S_{onzekerheid}$ dient rekening te worden gehouden met de symmetrie of de asymmetrie van de 95% betrouwbaarheidsintervallen. Bij niet symmetrische betrouwbaarheidsintervallen hoort in principe een niet symmetrische kansverdeling; een symmetrische kansverdeling zoals de normale verdeling is in dergelijke situaties minder geschikt,
- De kansverdeling van $S_{onzekerheid}$ dient alle kwantielen (2,5%, 10%, 25%,..., 75%, 97,5%), indien beschikbaar, voldoende nauwkeurig te beschreven,
- Bij minder nauwkeurige fits van verschillende percentielen, dienen de percentielen rondom de mediane waarde (50%), zwaarder te wegen bij het schatten van de kansverdeling van de onzekerheid.

Zoals hierboven al vermeld worden bovengenoemde 4 modellen geïmplementeerd in Hydra-Ring; hiermee kunnen kennisonzekerheden in het algemeen en statistische onzekerheden in het bijzonder expliciet worden meegenomen in een probabilistische berekening, ook bekend als uit-integreren van onzekerheden. Het uit-integreren van de onzekerheid in een bepaalde stochastwaarde houdt in dat de verschillen tussen de 'werkelijke waarde' en de 'berekende waarde' op de juiste wijze met hun kansen van optreden worden verwerkt, zie kader hieronder.

Kader uit-integreren onzekerheid

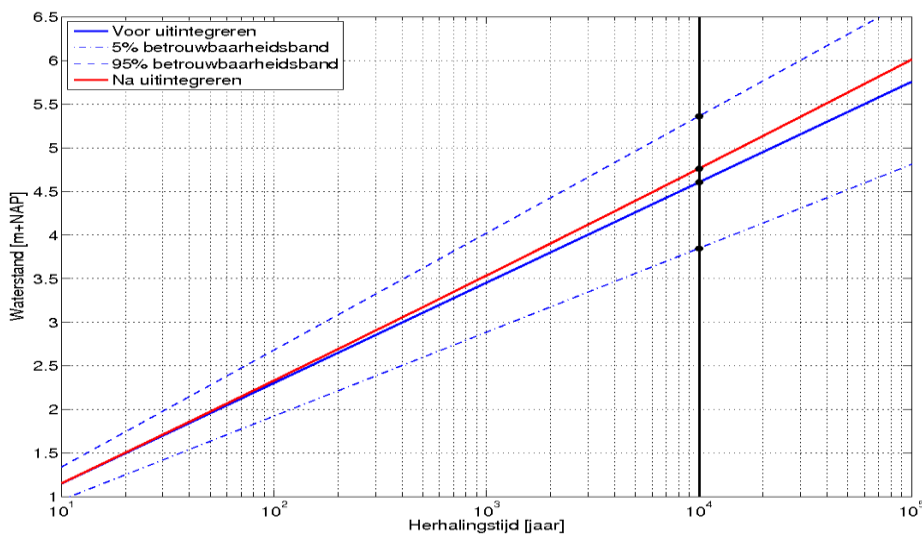
Stel dat we onzeker zijn over een (toekomstige) peilstijging van het IJsselmeer. We kunnen aannemen dat het 0,50 m stijgt, en de onzekerheid negeren, maar we kunnen ook rekening houden met een stijging van 0,25 m of 0,75 m. Elk van de 3 waarden voor de peilstijging is representatief voor een bepaalde klasse. Neem aan dat er 30% kans is dat de peilstijging in de laagste klasse terecht komt en een 30% kans dat de stijging in de hoogste klasse terecht komt. De overige 40% komt overeen met de middelste klasse (gerepresenteerd door de verwachtingswaarde); dit fictieve voorbeeld is verder geïllustreerd in Figuur 5.8.



Figuur 5.8 Voorbeeld van een eenvoudige discretisatie van een onzekerheidsbron

Elk van de 3 peilstijgingen van het IJsselmeerpeil correspondeert met een lokale stijging van de waterstand op een willekeurige locatie, zeg respectievelijk 0,15, 0,30 en 0,50 m. De resulterende waterstandsstijgingen kunnen vervolgens gewogen worden met gewichten van respectievelijk 0,3, 0,4 en 0,3: $0,3 \times 0,15 + 0,4 \times 0,30 + 0,3 \times 0,50 = 0,32$ meter. Deze laatste waarde is in feite een uitgeïntegreerde waarde, welke in dit geval weinig verschilt van de verwachtingswaarde van 0,3 meter. Afhankelijk van de keuze van de percentages en de waarden van de 3 parameters kan dit natuurlijk anders uitpakken.

In Figuur 5.9 is een ander voorbeeld uitgewerkt op basis van een voorbeeld van prof. Vrouwenvelder (Beckers et al, 2009). De blauwe lijn is een overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand op een locatie langs de kust. Er bestaat statistische onzekerheid over (de helling van) deze lijn. De gestippelde blauwe lijnen rond de blauwe doorgetrokken lijn zijn 90%-betrouwbaarheidsbanden voor zowel de herhalingsstijd (horizontale as) als de waterstand (verticale as). De intervallen zeggen iets over de totale variatie in de waterstand c.q. herhalingsstijd. Door de statistische onzekerheid in de blauwe lijn expliciet mee te nemen (uit te integreren) wordt de rode lijn gevonden. Deze uit-geïntegreerde lijn ligt hoger dan de oorspronkelijke blauwe lijn. Dit is in de regel het geval. De mate waarin de uit-geïntegreerde werklijn hoger ligt dan de oorspronkelijke lijn wordt bepaald door de verhouding tussen 1) de grootte van de onzekerheid en 2) de steilheid van de oorspronkelijke lijn; zie voor meer uitleg (Diermanse, 2015).

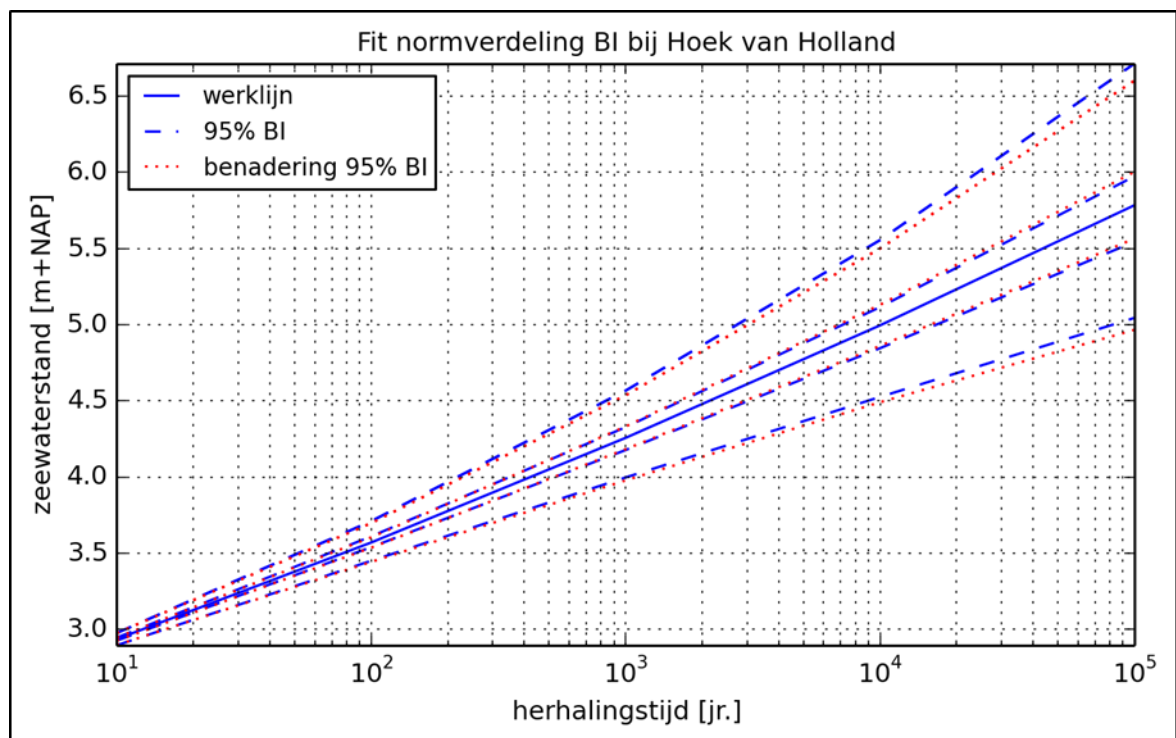


Figuur 5.9 Voorbeeld van werklijn voor (blauw) en na volledig uit-integreren van onzekerheidsbron (rood). Het 95% betrouwbaarheidsinterval is als gestippelde lijnen weergegeven rond de blauwe doorgetrokken lijn.

Hieronder wordt het uit-integreren van statistische onzekerheid geïllustreerd aan de hand van 2 voorbeelden.

Voorbeeld 1: zeewaterstandsstatistiek bij Hoek van Holland

In Figuur 5.10 representeert de doorgetrokken blauwe lijn de frequentielijnen van de omni-directionele zeewaterstand bij Hoek van Holland. De onderbroken blauwe lijnen representeren de betrouwbaarheidsgrenzen van, van boven naar beneden, het 97.5%, 70%, 30% en 2.5% percentielen zoals beschreven in paragraaf 5.3. Er zijn 4 kansverdelingen beschouwd om deze intervallen te benaderen door een kansverdeling: de normale, Beta, Gamma en de lognormale verdeling. De laatste 3 verdelingen zijn scheef (niet symmetrisch). Een benadering van de betrouwbaarheidsintervallen door een normale verdeling is eveneens afgebeeld in Figuur 5.10: de onderbroken rode lijnen. De parameters van de normale verdeling zijn zodanig gekozen dat alle percentielen, inclusief het 50% percentiel (de werklijn of de gemiddelde lijn), zo goed mogelijk worden benaderd. Om dit te bewerkstelligen en de statistische onzekerheid als additief model toe te voegen is het gemiddelde (μ) vooraf vastgesteld, terwijl de sigma (σ) gefit wordt met behulp van de zogenoemde 'maximum likelihood' methode. De parameter μ is gelijk aan nul gesteld. De schattingen voor de parameter σ voor station Hoek van Holland, zijn weergegeven in Tabel 5.6.

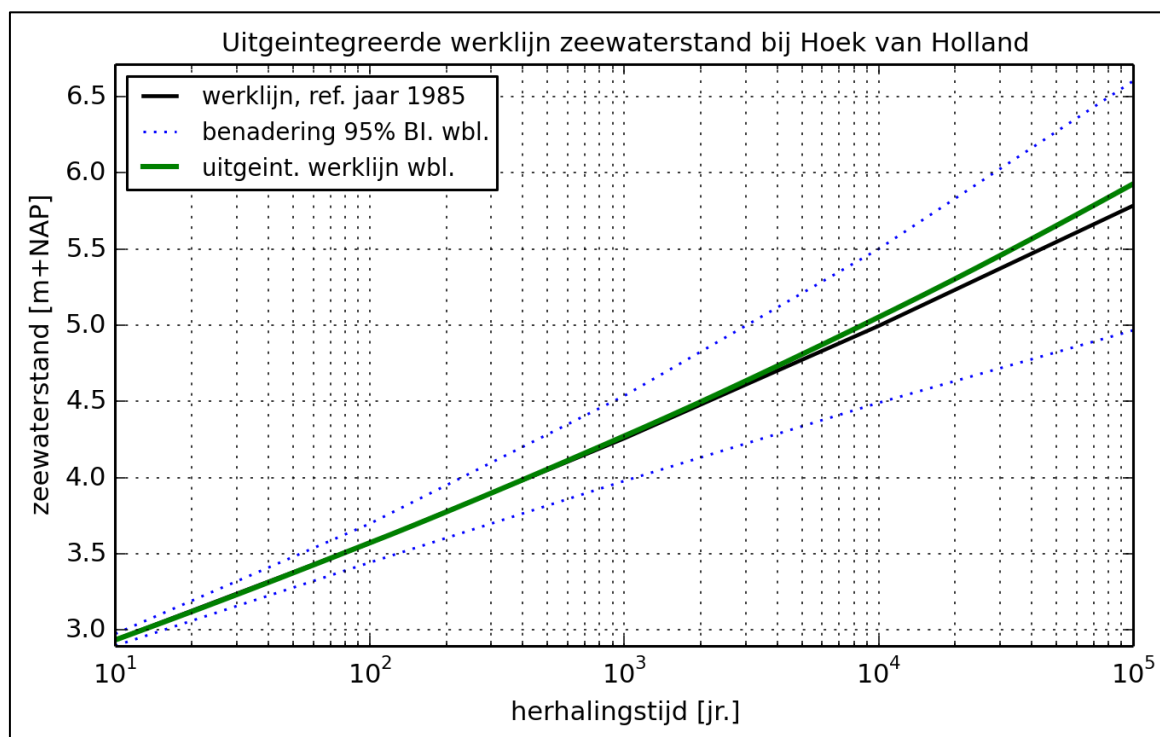


Figuur 5.10 De omni-directionele statistiek van zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door normale verdeling (rood).

Tabel 5.6 Parameters statistische onzekerheid (vigerende) zeewaterstandsstatistiek bij Hoek van Holland

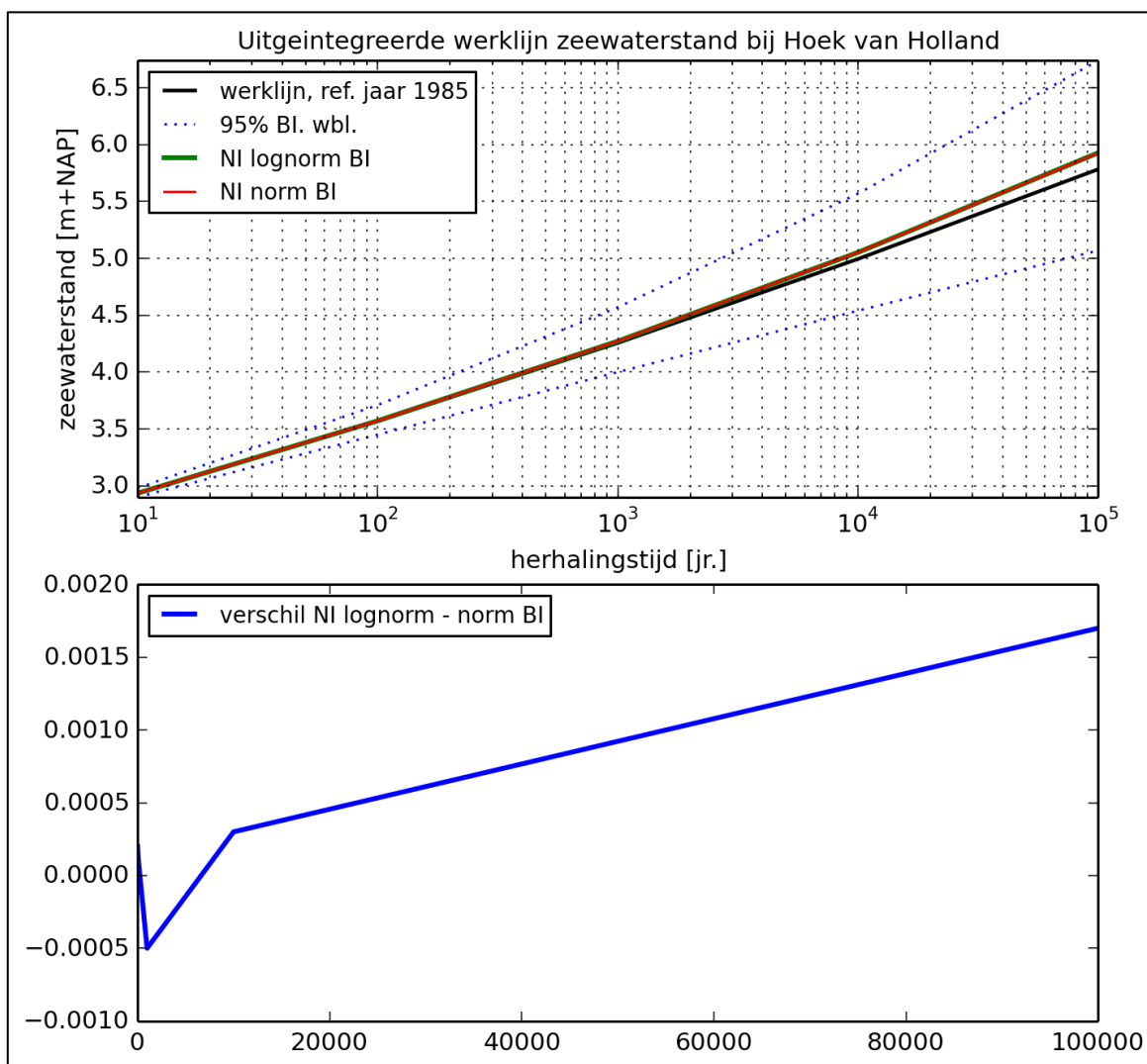
Herhalings-tijd [jaar]	Werklijn [m+NAP]	2.5% BI [m+NAP]	97.5% BI [m+NAP]	μ [-]	σ [-]	Uitgeïntegreerde werklijn [m+NAP]
10	2.9348	2.90	2.98	0	0.0200	2.9341
100	3.5694	3.45	3.71	0	0.0650	3.5712
1000	4.2567	4.00	4.57	0	0.1425	4.2723
10000	4.9953	4.54	5.57	0	0.2575	5.0525
100000	5.7843	5.07	6.74	0	0.4175	5.9271

Wanneer de statistische onzekerheid, beschreven door een normale verdeling met parameters zoals beschreven in Tabel 5.6, uit-geïntegreerd wordt, resulteert dit in een uit-geïntegreerde werklijn van de zeewaterstand bij Hoek van Holland. De aldus verkregen (nieuwe) werklijn is afgebeeld in Figuur 5.11. Het lijkt dat het uit-integreren van de statistische onzekerheid tot hogere waarden van de zeewaterstand leidt. Voor een herhalingstijd van 100.000 jaar leidt het uit-integreren van de statistische onzekerheid tot ca. 0.15 m hogere waterstand (dan zonder statistische onzekerheid). Vergelijk de werklijn en de uit-geïntegreerde werklijn uit Tabel 5.6.



Figuur 5.11 Uit-geïntegreerde werklijn (groene lijn) van de zeewaterstand bij Hoek van Holland.

Naast de normale is o.a. ook de lognormale beschouwd. Een vergelijking tussen de uit-geïntegreerde werklijnen op basis van de normale en lognormale verdeling is weergegeven in Figuur 5.12. Het verschil tussen de resulterende uit-geïntegreerde werklijnen is verwaarloosbaar klein en bedraagt slechts enkele millimeters. Dit geldt voor alle stations, zie Bijlage D. Het modelleren van de statistische onzekerheid in zeewaterstanden is om deze reden gebaseerd op de normale verdeling, zie paragraaf 5.5.



Figuur 5.12 Uit-geïntegreerde werklijnen waterstand Hoek van Holland op basis van normale en lognormale schattingen.

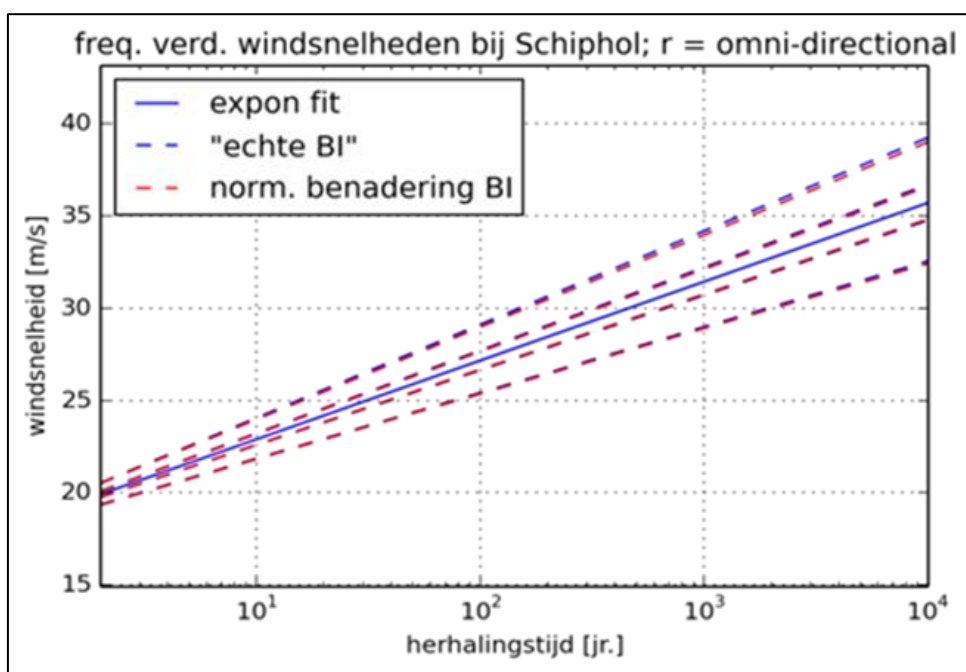
Voorbeeld 2: windstatistiek bij Schiphol

De betrouwbaarheidsintervallen behorende bij de omni-directionele windstatistiek bij Schiphol zijn nagenoeg symmetrisch, zie Figuur 5.13. Bij het modelleren van de statistische onzekerheid is daarom gekozen voor de (symmetrische) normale verdeling. Daar de wind een fysische ondergrens heeft, namelijk 0 m/s, wordt de statistische onzekerheid in windstatistiek bij Schiphol als relatief ten opzichte van de werklijn meegenomen; om die reden dient de mediaan (gemiddelde) van de normale verdeling gelijk aan 1 worden gesteld. De standaard deviatie, ofwel de sigma (σ), is geschat met behulp van de 'maximum likelihood' methode. De gevonden parameters van de normaalverdeling voor de omni-directionele windsnelheids-statistiek bij Schiphol is gegeven in Tabel 5.7. De normale verdeling laat een perfecte fit zien van de betrouwbaarheidsintervallen van de wind bij Schiphol.

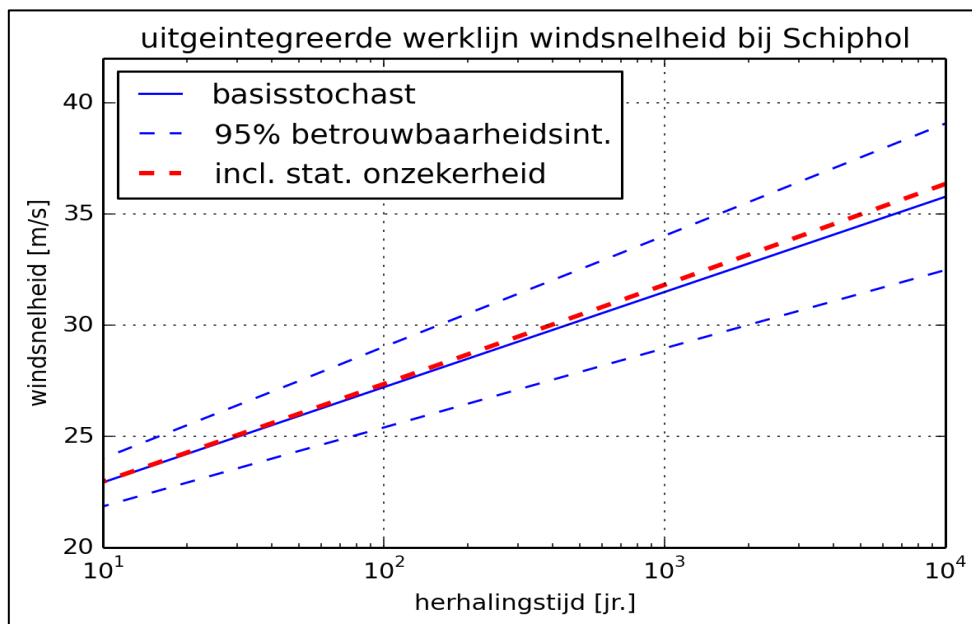
De statistische onzekerheid van de windsnelheid bij Schiphol is in vergelijking met de statistische onzekerheid in zeewaterstandsstatistiek klein; het effect van het uit-integreren van de statistische onzekerheid in windsnelheid is dan ook klein, zie Figuur 5.14.

Tabel 5.7 Parameters statistische onzekerheid windsnelheid voor station Schiphol

Herhalingstijd [jaren]	Windsnelheid [m/s]	mu	Sigma
2	19,9	1	0,015
10	22,9	1	0,024
50	25,9	1	0,031
100	27,2	1	0,034
500	30,1	1	0,039
1000	31,4	1	0,041
10000	35,7	1	0,047



Figuur 5.13 De omni-directionele statistiek van de wind Schiphol, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door de normale verdeling (rood).



Figuur 5.14 De uit-geïntegreerde omni-directionele windstatistiek (rood gestippeld) bij Schiphol.

5.5 Kwantificering statistische onzekerheid basisstochasten

De methode en modellen beschreven in vorige paragraaf zijn gebruikt om de statistische onzekerheid van de basisstochasten zoals beschreven in Tabel 5.1 te bepalen. Achtereenvolgens komen in de volgende sub-paragrafen afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden aan bod. Met betrekking tot zeewaterstanden en windsnelheden is naast de omni-directionele ook de richtingsafhankelijke situatie beschouwd.

5.5.1 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek

5.5.1.1 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith

De afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith zoals afgeleid met GRADE is beschreven in paragraaf 3.2.1. De bijbehorende statistische onzekerheid in termen van betrouwbaarheidsintervallen wordt gemodelleerd door een normale verdeling en in Hydra-Ring als (extra) additief modelstochast toegevoegd aan de basisstochast Rijnafvoer.

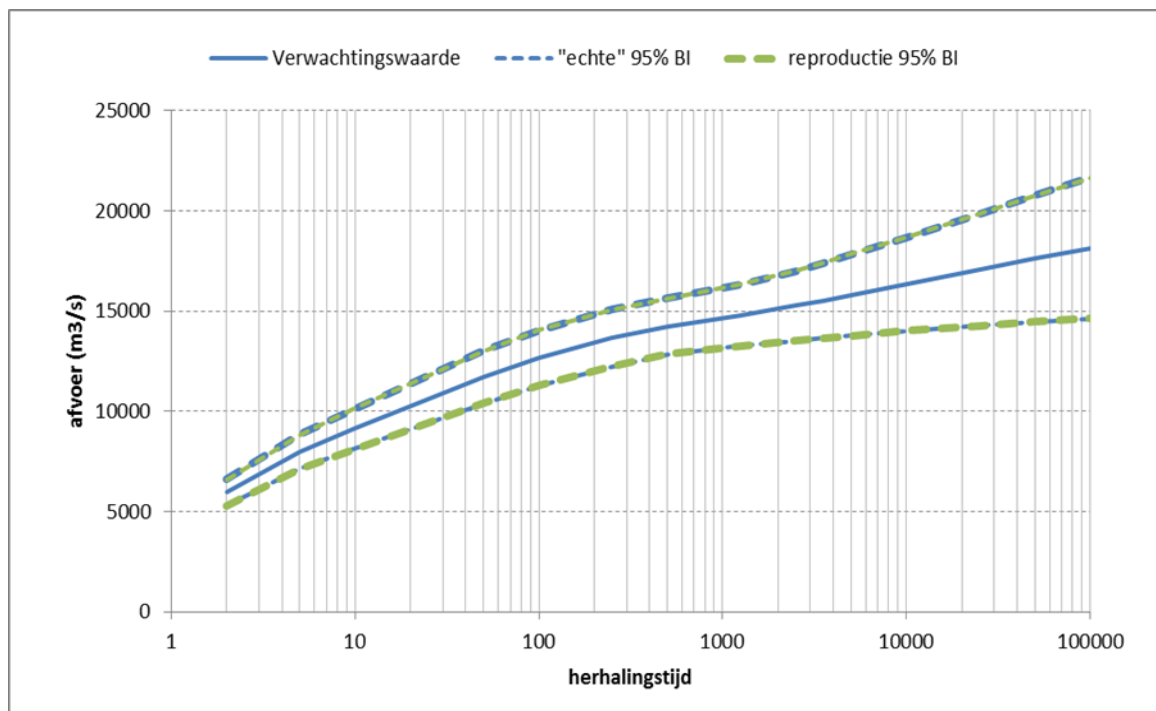
Op basis van de betrouwbaarheidsintervallen van GRADE is een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid. Op de betrouwsintervallen is een normale verdeling gefit; de parameterschattingen van de weergegeven in Tabel 5.8. Er geldt een gemiddelde van $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en een standaardafwijking die afhangt van de herhalings-tijd. De fit van de normale verdeling is afgebeeld in Figuur 5.15. De blauwe lijn representeert de werklijn van GRADE, de gestippelde blauwe lijnen beschrijven de 95% betrouwbaarheidsgrenzen van GRADE en de gestippelde groene lijnen de fit van de normale verdeling.

Na uitintegratie van de statistische onzekerheid ontstaat een nieuwe werklijn, de werklijn inclusief statistische onzekerheid. Deze is afgebeeld in Figuur 5.16. Deze laat zien dat het verwerken van de statistische onzekerheid tot hogere afvoeren leidt, vooral in het extreme bereik. Ter illustratie. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar bedraagt de afvoer berekend met GRADE $14970 \text{ m}^3/\text{s}$; indien de statistische onzekerheid uit-geïntegreerd wordt, resulteert voor dezelfde terugkeertijd een afvoer is dat $15191 \text{ m}^3/\text{s}$, een verhoging van $231 \text{ m}^3/\text{s}$, zie Tabel 5.8. Dit komt overeen met een verhoging van ca. 1,6%. Voor langere

herhalingstijden is de verhoging nog groter. Voor een terugkeertijd van 100000 jaar bedraagt de verhoging ruim 800 m³/s, ofwel 4.35% verhoging.

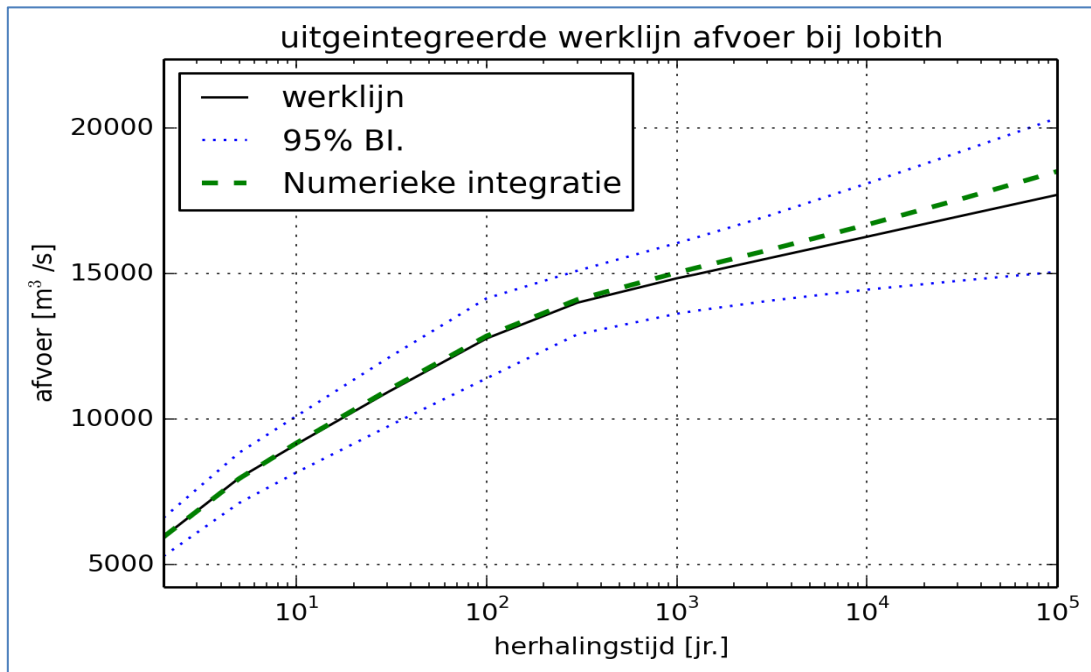
Tabel 5.8 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalingstijd (kolom 6).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	2,5% grens [m ³ /s]	97,5% grens [m ³ /s]	Mean [m ³ /s]	St. dev [m ³ /s]	Afvoer incl stat. onzekerheid [m ³ /s]
2	5940	5280	6600	0	340	5941
5	7970	7110	8840	0	440	7949
10	9130	8160	10100	0	500	9172
30	10910	9730	12080	0	600	10978
100	12770	11400	14150	0	700	12854
300	14000	12910	15100	0	560	14107
1000	14840	13620	16050	0	620	15035
1250	14970	13720	16230	0	640	15191
3000	15520	14060	16980	0	750	15802
10000	16270	14450	18100	0	930	16682
30000	16960	14750	19160	0	1120	17535
100000	17710	15060	20350	0	1350	18516

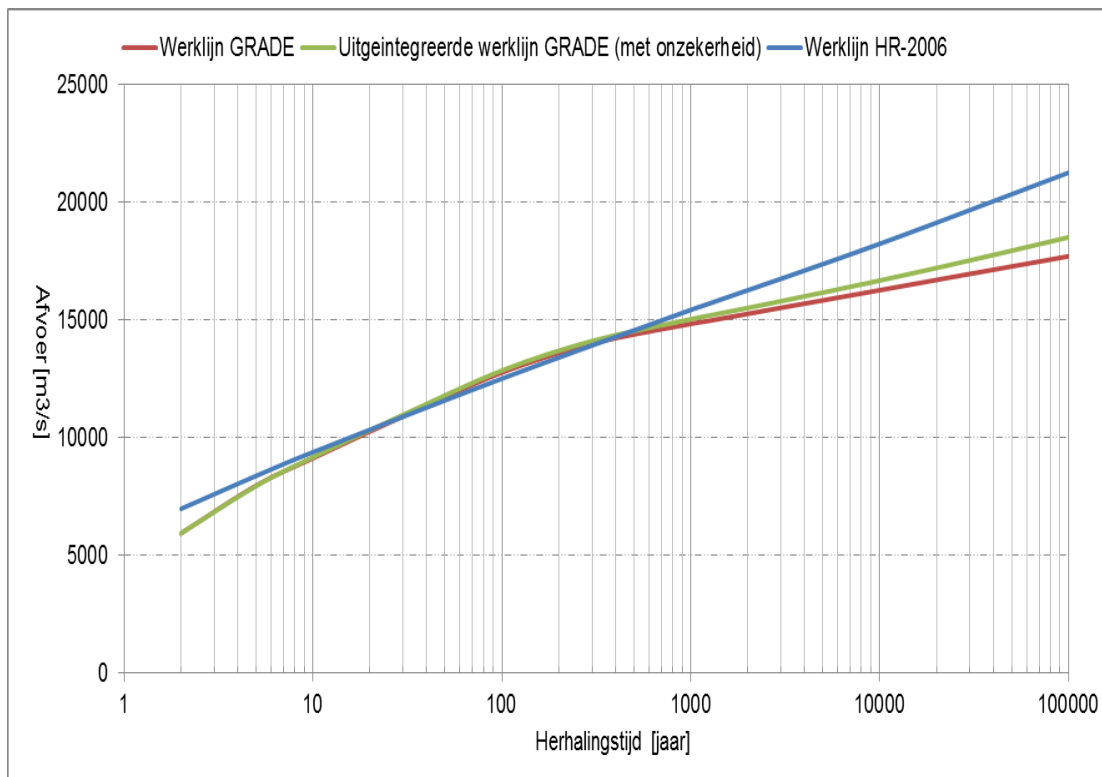


Figuur 5.15 Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith.

Zoals hierboven al vermeld gaat de afvoer berekend met GRADE omhoog indien statistische onzekerheid wordt verdisconteerd. De uit-geïntegreerde werklijn van GRADE ligt hoger dan de werklijn zonder onzekerheid maar nog steeds lager dan de vigerende werklijn uit HR-2006. Een vergelijking tussen de werklijnen is weergegeven in Figuur 5.17.



Figuur 5.16 De werklijn en uit-geïntegreerde werklijn van de Rijn bij Lobith.



Figuur 5.17 Vergelijking huidige werklijn HR-2006 met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid voor station Lobith

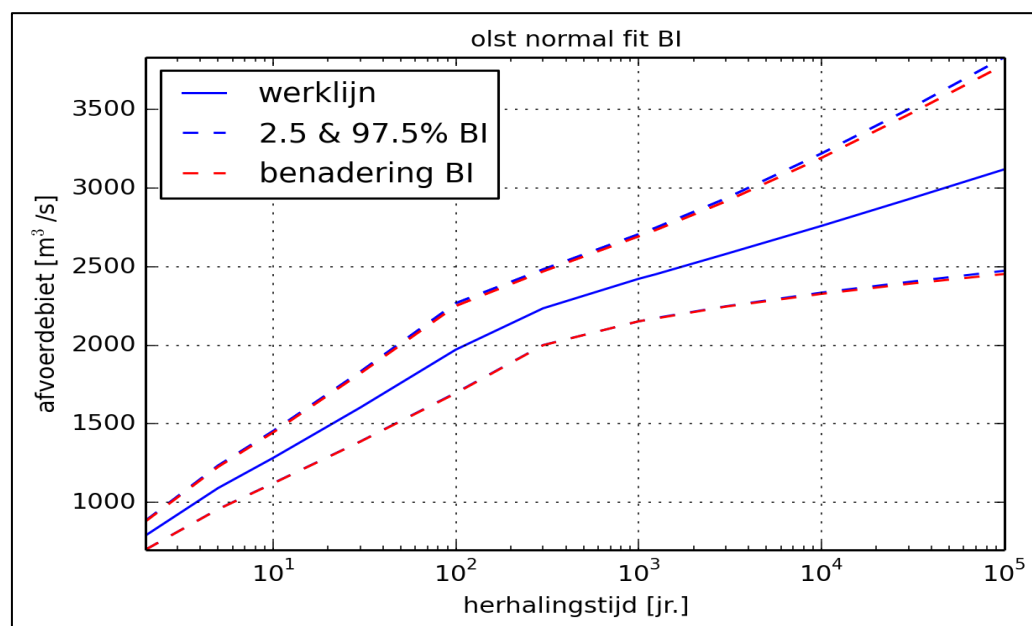
5.5.1.2 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst

De afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst is beschreven in paragraaf 3.2.2. De bijbehorende statistische onzekerheid wordt geschat (zie paragraaf 5.4) en in Hydra-Ring als (extra) additief modelstochast toegevoegd aan de basisstochast IJsselafvoer.

Op basis van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen behorende bij de afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst gegeven in Tabel 3.3 is een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid. Er is een normale verdeling gefit op de betrouwbaarheidsintervallen; de parameterschattingen van deze verdeling zijn weergegeven in Tabel 5.9. Er geldt een gemiddelde van 0 en een standaardafwijking die afhankelijk is van de herhalings-tijd.

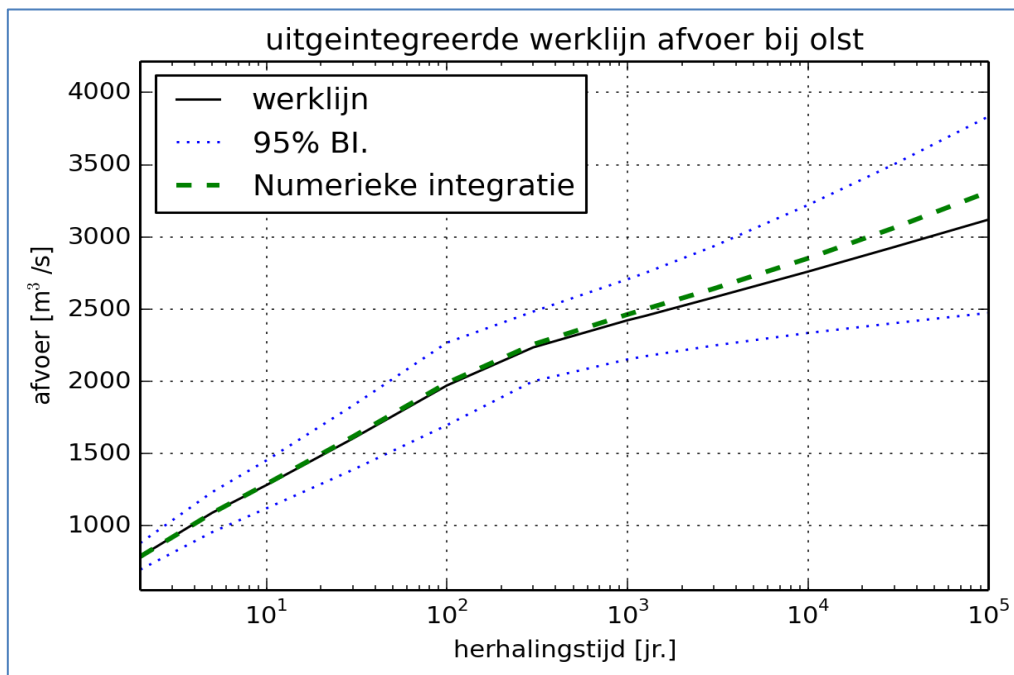
Tabel 5.9 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalings-tijd (kolom 6).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer Olst [m^3/s]	2,5% grens [m^3/s]	97,5 % grens [m^3/s]	Schatting onzekerheid		Afvoer incl. stat. onzek. [m^3/s]
				μ [-]	σ [-]	
2	787	697	881	0	46	787
5	1090	956	1233	0	69	1088
10	1282	1121	1453	0	83	1289
30	1603	1387	1831	0	111	1616
100	1972	1697	2268	0	142	1989
300	2235	2001	2483	0	120	2256
1000	2423	2152	2707	0	138	2463
1250	2453	2174	2750	0	144	2499
3000	2581	2248	2935	0	171	2642
10000	2760	2335	3221	0	221	2852
30000	2930	2403	3503	0	275	3063
100000	3120	2474	3834	0	340	3312

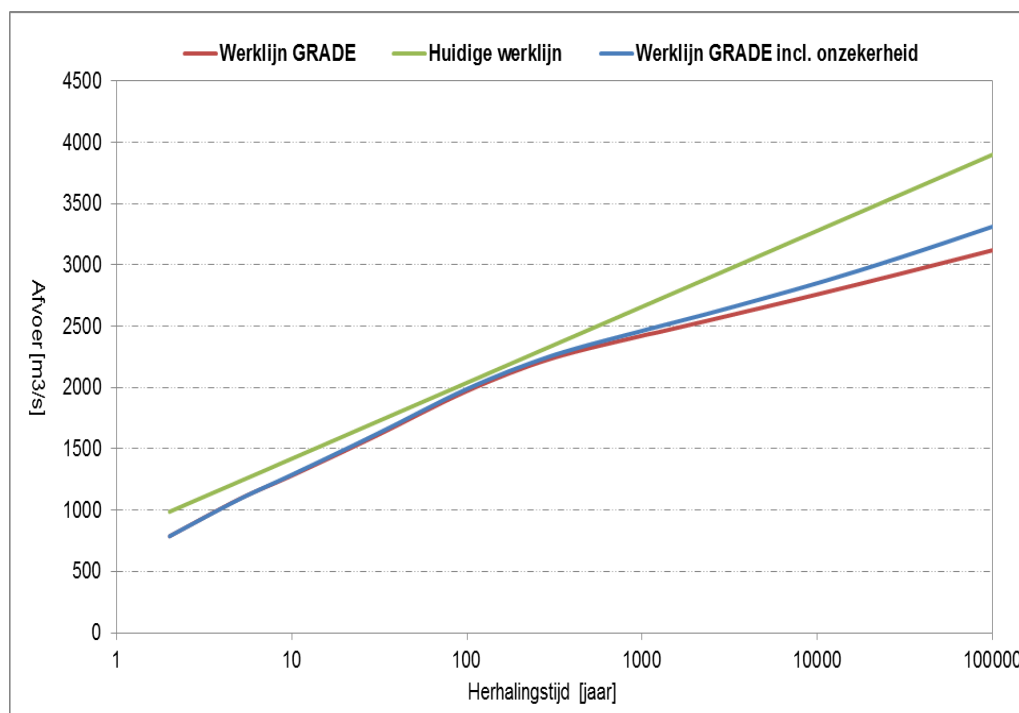


Figuur 5.18 Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst. (blauw gestippeld = 95%-interval) en rood gestippeld = schatting door normale verdeling met parameters zoals weergegeven in Tabel 5.9.

De schatting van de statistische onzekerheid van de IJsselafvoer bij Olst door middel van een normale verdeling is grafisch weergegeven in Figuur 5.18. De uitgeïntegreerde werklijn is weergegeven in Figuur 5.19. Na uit-integreren van de statistische onzekerheid gaat de afvoer met een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar naar 2499 m³/s van 2453 m³/s; een verhoging van ca. 1.9%. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 100000 jaar gaat de afvoer met 190 m³/s omhoog; dit is ruim 6%.



Figuur 5.19 De uit-geïntegreerde werklijn van de IJssel bij Olst.



Figuur 5.20 Huidige werklijn en werklijnen van GRADE (met en zonder statistische onzekerheid) bij Olst.

Figuur 5.20 laat een vergelijking zien tussen enerzijds de huidige werklijn en anderzijds de werklijnen van GRADE, met en zonder statistische onzekerheid, voor station Olst. Beide werklijnen van GRADE liggen onder de huidige werklijn. Het verschil tussen de drie werklijnen is het kleinste rond herhalingsstijden van 100 jaar. Tussen de huidige werklijn en de uitgeïntegreerde werklijn van GRADE bedraagt het verschil voor $T = 2$ jaar ca. $200 \text{ m}^3/\text{s}$; het verschil loopt af tot ca. $50 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 100$ jaar, en loopt vervolgens op tot ca. $580 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 100000$ jaar.

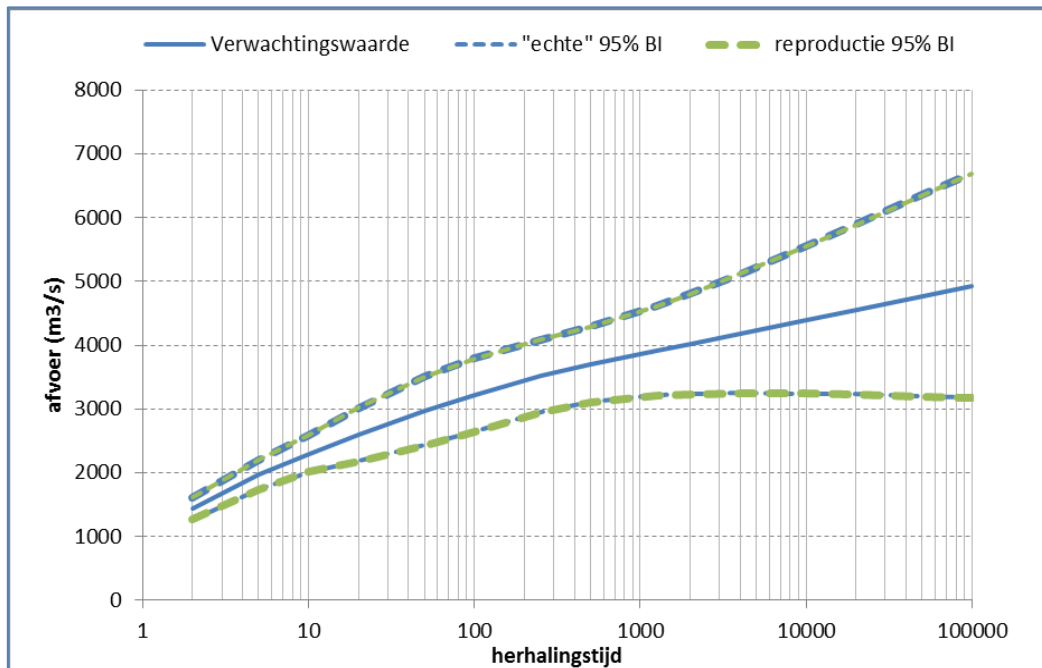
5.5.1.3 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen

De afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen is beschreven in paragraaf 3.2.3. De bijbehorende statistische onzekerheid wordt gemodelleerd door een normale verdeling en in Hydra-Ring als (extra) additief modelstochast toegevoegd aan de basisstochast Maasafvoer.

Op basis van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van GRADE gegeven in Tabel 3.4 is de statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Maas gemodelleerd door een normale verdeling. Tabel 5.10 omvat de parameterschattingen van deze verdeling. Een grafische weergave van de schatting is weergegeven in Figuur 5.21. De uit-geïntegreerde werklijn is weergegeven in Figuur 5.22. Na uit-integreren van de statistische onzekerheid gaat de afvoer bij Borgharen met een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar met $163 \text{ m}^3/\text{s}$ omhoog, naar $4073 \text{ m}^3/\text{s}$ van $3910 \text{ m}^3/\text{s}$; een verhoging van ruim 4%. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 100000 jaar bedraagt de verhoging nog groter en bedraagt 14%. De afvoer gaat namelijk omhoog naar $5616 \text{ m}^3/\text{s}$ van $4930 \text{ m}^3/\text{s}$, zie Tabel 5.10. Het effect van het meenemen van de statistische onzekerheid is voor de Maas bij Borgharen relatief groter dan voor de Rijn bij Lobith. De betrouwbaarheidsintervallen behorende bij de statistiek van de Maas zijn immers breder dan die van de Rijn, waarbij rekening wordt gehouden met overstromingen en maatregelen om deze te beperken.

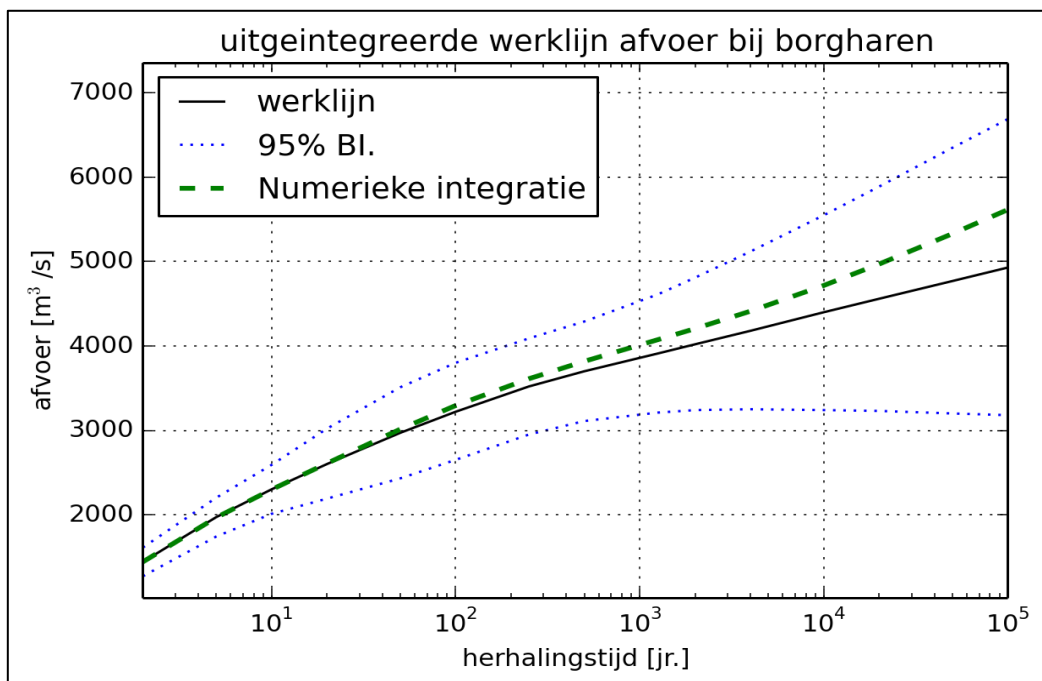
Tabel 5.10 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalingsstijd (kolom 6).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	2,5% grens [m ³ /s]	97,5% grens [m ³ /s]	Mean [m ³ /s]	st. dev [m ³ /s]	afvoer incl. st. onzek. [m ³ /s]
2	1440	1270	1610	0	85	1440
5	1970	1740	2200	0	115	1965
10	2300	2010	2590	0	145	2297
20	2600	2190	3020	0	208	2608
50	2970	2430	3510	0	270	3013
100	3220	2650	3800	0	288	3294
250	3520	2950	4090	0	285	3611
500	3700	3110	4290	0	295	3818
1250	3910	3210	4610	0	350	4073
2000	4020	3240	4810	0	393	4206
4000	4180	3250	5120	0	468	4413
10000	4400	3240	5550	0	578	4717
20000	4560	3230	5890	0	665	4971
50000	4770	3200	6350	0	788	5331
100000	4930	3180	6690	0	878	5616

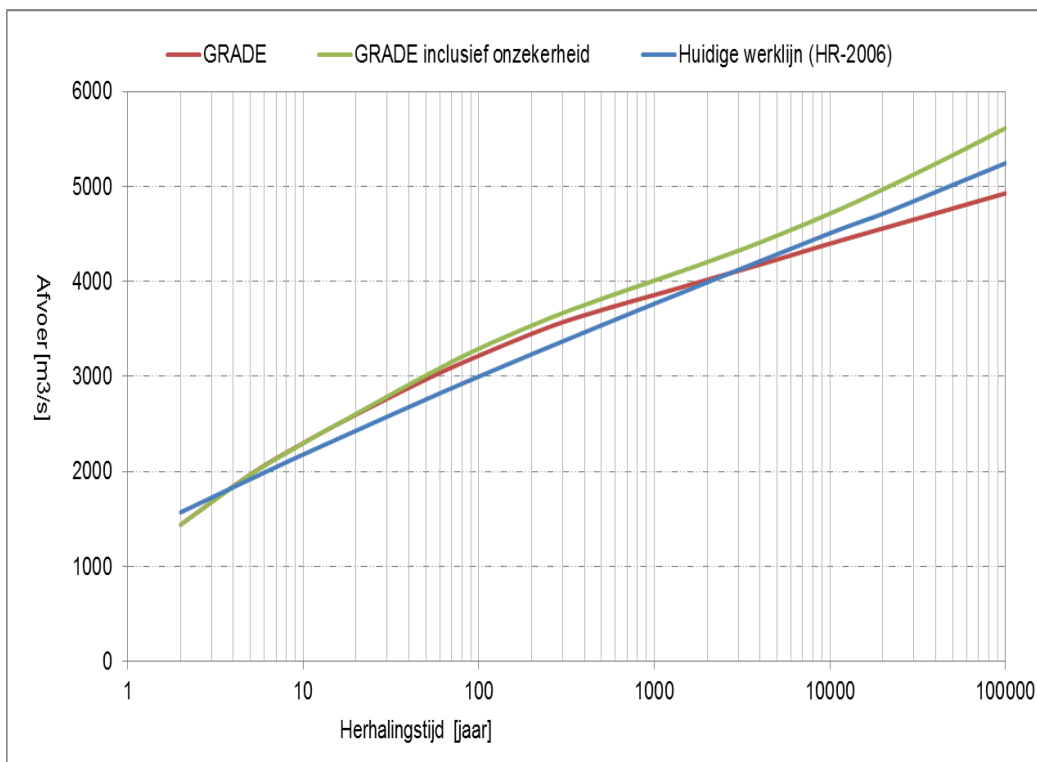


Figuur 5.21 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen.

Ter vergelijking zijn in Figuur 5.23 de huidige werklijn (HR-2006), de werklijn en de uit-geïntegreerde werklijn van GRADE bij Borgharen afgebeeld. De uit-geïntegreerde werklijn van GRADE ligt hoger dan de werklijn van GRADE, de huidige werklijn ligt daar tussenin. De consequentie van de overstap op GRADE in combinatie met het meenemen van de statistische onzekerheid zal leiden tot hogere waterstanden langs de Maas over het hele bereik.



Figuur 5.22 De uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Borgharen.



Figuur 5.23 Vergelijking huidige werklijn HR-2006 met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid voor station Borgharen.

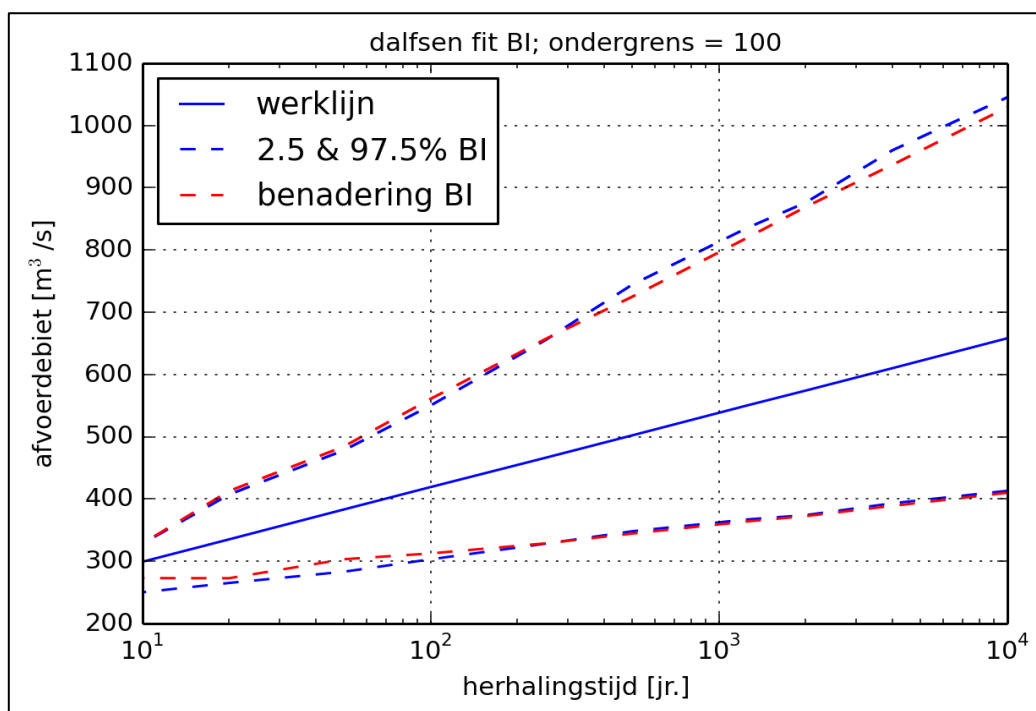
5.5.1.4 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen

De statistiek van de Vecht bij Dalfsen is beschreven in 3.2.5. De bijbehorende statistische onzekerheid wordt additief gemodelleerd (zie paragraaf 5.4) en in Hydra-Ring als (extra) additief modelstochast toegevoegd aan de basisstochast Vechtafvoer.

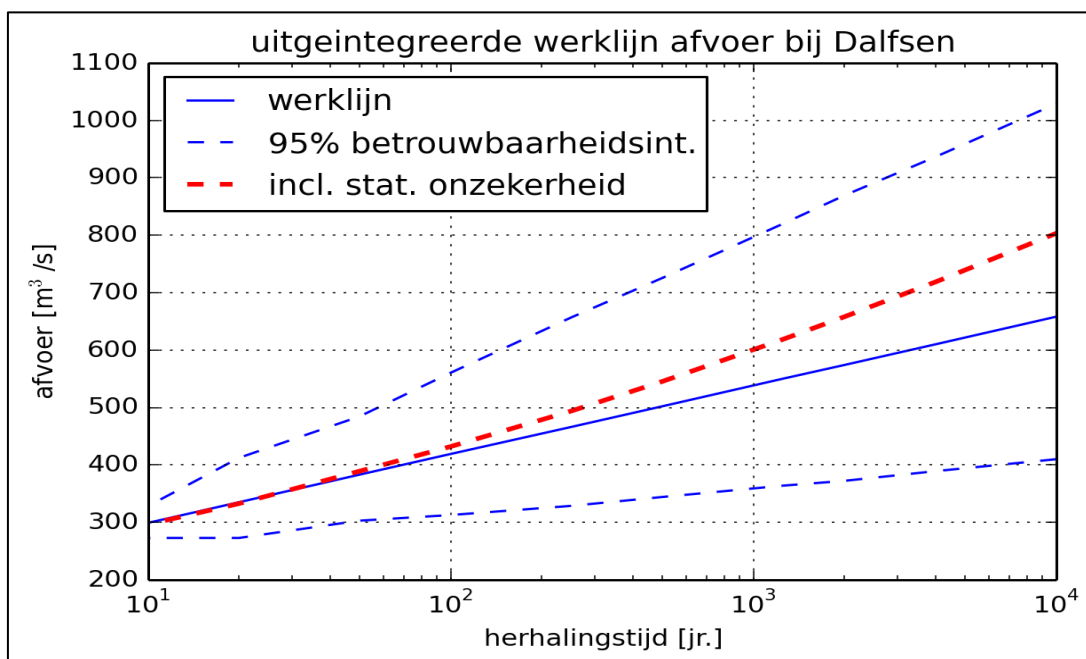
Analoog aan de Rijn is op basis van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen uit Tabel 3.7 een lognormale verdeling gefit; de parameterschattingen zijn weergegeven in Tabel 5.11. N.B. Er is gekozen voor een lognormale verdeling boven de normale verdeling omdat de betrouwbaarheidsintervallen van de Vecht niet symmetrisch zijn. Voor een herhalingstijd van 1250 jaar (de vigerende norm) geldt een afvoer van $550 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is zonder statistische onzekerheid, inclusief statistische onzekerheid geldt voor dezelfde herhalingstijd een afvoer van $619 \text{ m}^3/\text{s}$. Als gevolg van het meenemen van de statistische onzekerheid gaat de afvoer dus omhoog met $69 \text{ m}^3/\text{s}$; dit komt neer op een verhoging met ruim 12%. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 100000 jaar is het effect van het uit-integreren van de statistische onzekerheid groot; de afvoer gaat omhoog van $777 \text{ m}^3/\text{s}$ naar $1040 \text{ m}^3/\text{s}$; wat overeenkomt met een verhoging met ruim 33%. De statistische onzekerheid in de afvoer van de Vecht is groot door beperktheid van het aantal metingen; de lengte van de meetperiode is immers amper 40 jaar.

Tabel 5.11 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen: additief model, lognormale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalings-tijd (kolom 4).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m^3/s]	Mean [-]	St. dev [-]	eps [m^3/s]	locatiepar. [m^3/s]	vormpar.	Afvoer incl stat. onz. [m^3/s]
2	216	0	5.77	-116	4752	0.05	216
5	263	0	10.30	-163	5092	0.063	263
10	299	0	14.10	-199	5291	0.071	296
20	335	0	35.80	-235	5448	0.151	333
50	383	0	46.32	-283	5632	0.163	389
100	419	0	63.58	-319	5746	0.197	432
250	466	0	84.18	-366	5877	0.227	494
500	502	0	97.68	-402	5968	0.24	545
1250	550	0	117.04	-450	6077	0.256	619
2000	574	0	127.76	-474	6126	0.265	658
4000	610	0	140.97	-510	6198	0.271	719
10000	658	0	159.43	-558	6285	0.28	804
20000	694	0	171.70	-594	6347	0.283	872
50000	741	0	193.47	-641	6419	0.295	966
100000	777	0	202.84	-677	6475	0.293	1040



Figuur 5.24 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen.



Figuur 5.25 Uit-geïntegreerde werklijn van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen.

5.5.1.5 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Lith

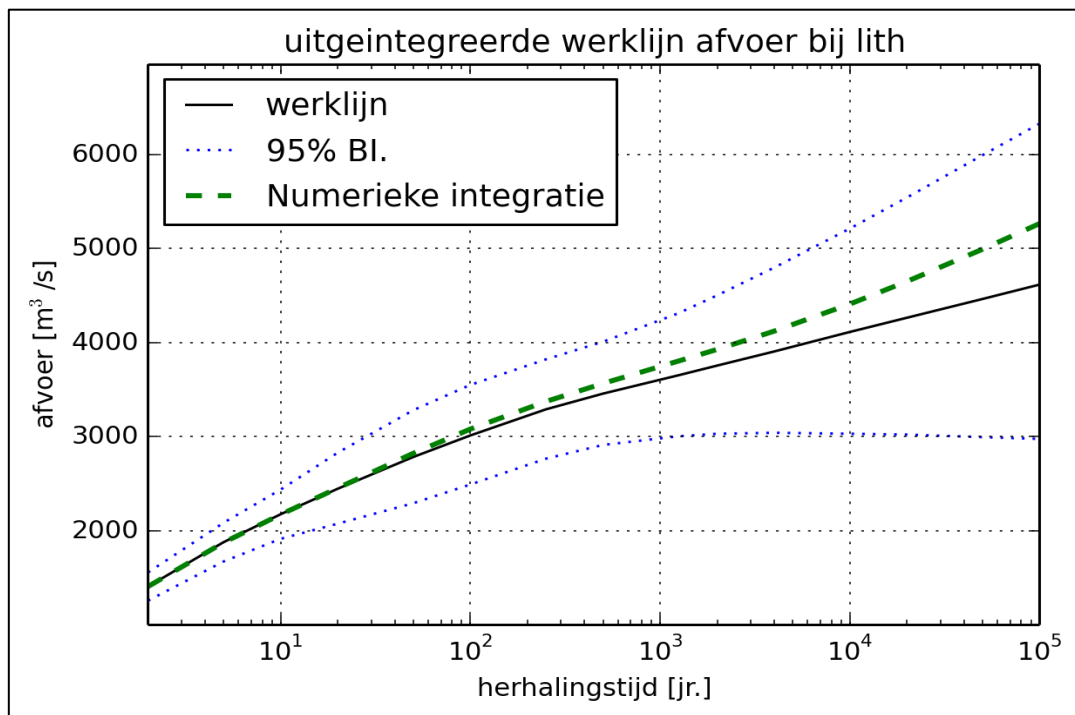
De statistiek van de Maas bij Lith is behandeld in paragraaf 3.2.4. De statistiek evenals de bijbehorende statistische onzekerheid in termen van 95%-betrouwbaarheidsintervallen volgen uit de GRADE statistiek van de Maas bij Borgharen. Op dezelfde wijze als hierboven wordt de statistische onzekerheid van de Maas bij Lith gemodelleerd en in Hydra-Ring als additief modelstochast toegevoegd aan de basisstochast Maasafvoer Lith.

Tabel 5.12 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Lith: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalings-tijd (kolom 6).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	2,5% grens [m ³ /s]	97,5% grens [m ³ /s]	Mean [-]	St. dev [-]	Afvoer incl. stat. onz. [m ³ /s]
2	1409	1259	1559	0	75	1409
5	1880	1675	2086	0	102	1876
10	2177	1916	2439	0	130	2174
20	2448	2077	2831	0	188	2455
50	2785	2294	3282	0	247	2824
100	3014	2493	3551	0	264	3082
250	3291	2767	3822	0	263	3374
500	3458	2913	4009	0	274	3566
1250	3653	3005	4312	0	326	3804
2000	3756	3032	4502	0	367	3928
4000	3906	3042	4797	0	438	4122
10000	4113	3032	5211	0	544	4409
20000	4264	3023	5541	0	629	4650
50000	4463	2996	5990	0	748	4991
100000	4616	2977	6325	0	837	5264

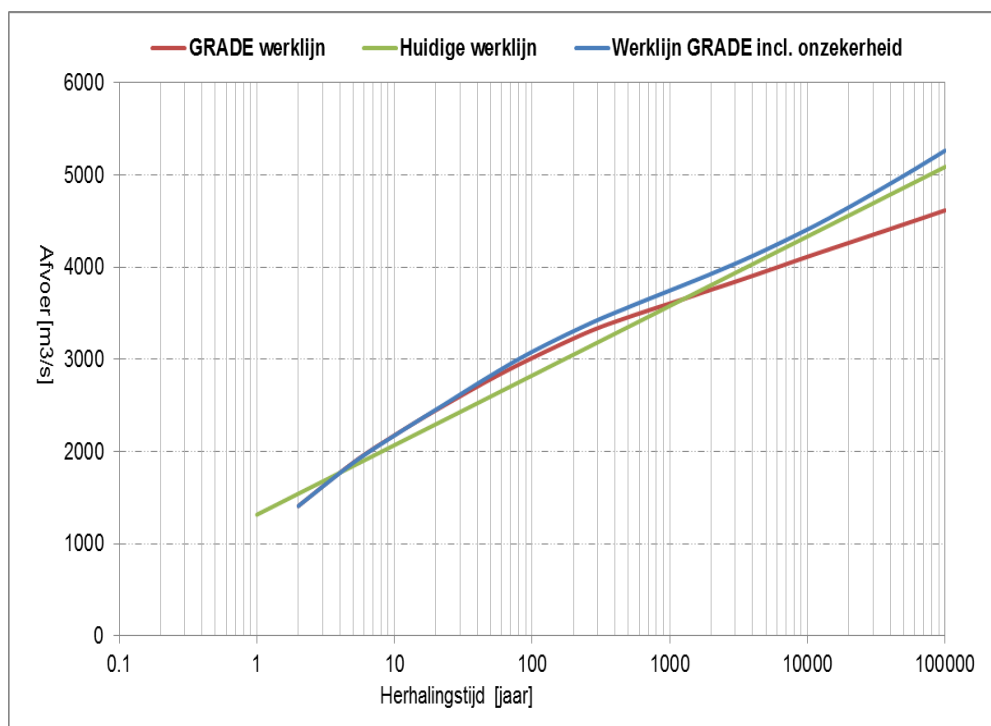
Analoog aan de Maas bij Borgharen zijn de betrouwbaarheidsintervallen van de afvoer bij Lith benaderd door een normale verdeling met parameters zoals weergegeven in Tabel 5.12. Het gemiddelde van de normale verdeling is gelijk $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en de standaardafwijking hangt af van de herhalings-tijd. De werklijn van Maas bij Lith, na verdisconteren van de statistische

onzekerheid is weergegeven in Figuur 5.26. Het uit-integreren en verwerken van de statistische onzekerheid resulteert in hogere afvoeren. Een afvoer met een gemiddelde terugkeertijd gaat met ca. $150 \text{ m}^3/\text{s}$ omhoog, van $3653 \text{ m}^3/\text{s}$ naar $3804 \text{ m}^3/\text{s}$; dit komt overeen met ruim 4%. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 100000 jaar bedraagt de verhoging ten opzichte van de gemiddelde waarde uit de werklijn ca. $650 \text{ m}^3/\text{s}$ ofwel 14%, zie Tabel 5.12.



Figuur 5.26 Uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Lith.

Figuur 5.27 laat een vergelijking zien van de huidige werklijn en de werklijnen van GRADE, met en zonder statistische onzekerheid. Het verschil tussen de huidige werklijn en de werklijn van GRADE inclusief statistische onzekerheid is het grootste voor het midden-bereik (herhalingstijd 100 jaar); rond herhalingstijden van ca. 10000 jaar is het verschil het kleinste en bedraagt ca. $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Vanaf herhalingstijden hoger dan $T = 10000$ jaar loopt het verschil weer op tot ca. $175 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 100000$ jaar.



Figuur 5.27 Huidige werklijn en werklijn van GRADE met en zonder statistische onzekerheid voor station Lith.

5.5.2 Meerpeilstatistiek

5.5.2.1 Statistische onzekerheid statistiek IJsselmeerpeil

De meerpeilstatistiek van het IJsselmeer is beschreven in paragraaf 3.4.1. Er zijn ook percentielen beschikbaar voor verschillende kwantielen van het IJsselmeerpeil, zie paragraaf 5.3. Voor de volledigheid zijn deze percentielen hieronder herhaald, zie Tabel 5.13. Op basis van de percentielen van het IJsselmeerpeil is een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid en in Hydra-Ring als begrensd additief model toegevoegd aan de basisstochast IJsselmeerpeil.

Tabel 5.13 Betrouwbaarheidsintervallen percentielen IJsselmeerpeil.

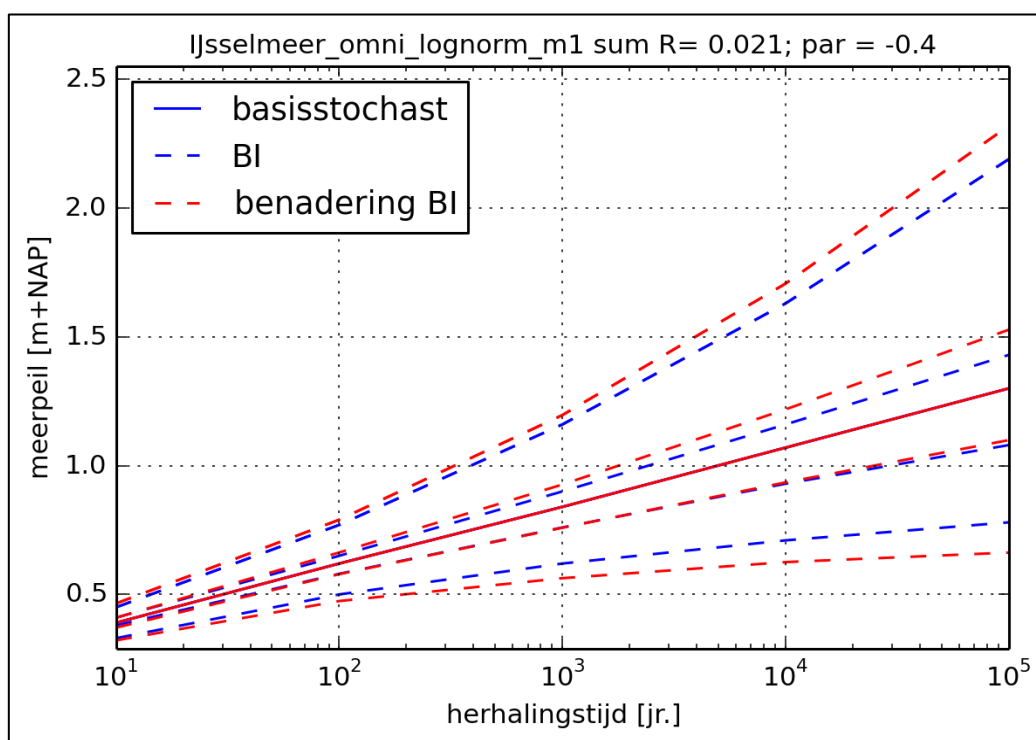
$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen [m+NAP] bij gegeven percentages [%]														
T [jaar]	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	2,5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97,5%	
10	0,40	0,39	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	
100	0,62	0,62	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,61	0,63	0,65	0,67	0,71	0,74	0,77	
1000	0,85	0,84	0,62	0,65	0,68	0,72	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	1,02	1,09	1,16	
10000	1,07	1,07	0,71	0,75	0,80	0,87	0,93	0,98	1,03	1,09	1,16	1,24	1,38	1,50	1,63	
100000	1,29	1,30	0,78	0,84	0,91	1,00	1,08	1,16	1,24	1,32	1,43	1,56	1,78	1,99	2,19	

Analoog aan de basisstochast afvoer is een geparametriseerde schatting gemaakt van de statistische onzekerheid van de basisstochast IJsselmeerpeil; hierbij is gebruik gemaakt van een lognormale verdeling. N.B. de betrouwbaarheidsintervallen zijn niet symmetrisch. Vanwege dit niet-symmetrische verloop is daarom gekozen voor een niet-symmetrische verdeling. De percentielen uit Tabel 5.13 zijn gebruikt om de verdelingsparameters te schatten. Aanvankelijk zijn 3 verdelingen beschouwd en geanalyseerd: de Beta, de Gamma en de lognormale verdeling. Uiteindelijk is gekozen voor de lognormale kansverdeling omdat deze visueel de beste fit geeft voor alle percentielen, zie Figuur 5.28. De aldus verkregen parameterschattingen zijn weergegeven in Tabel 5.14. Om o.a. te kunnen voldoen aan de voorwaarden van een begrensd additief model zoals beschreven in paragraaf 5.4 zijn het

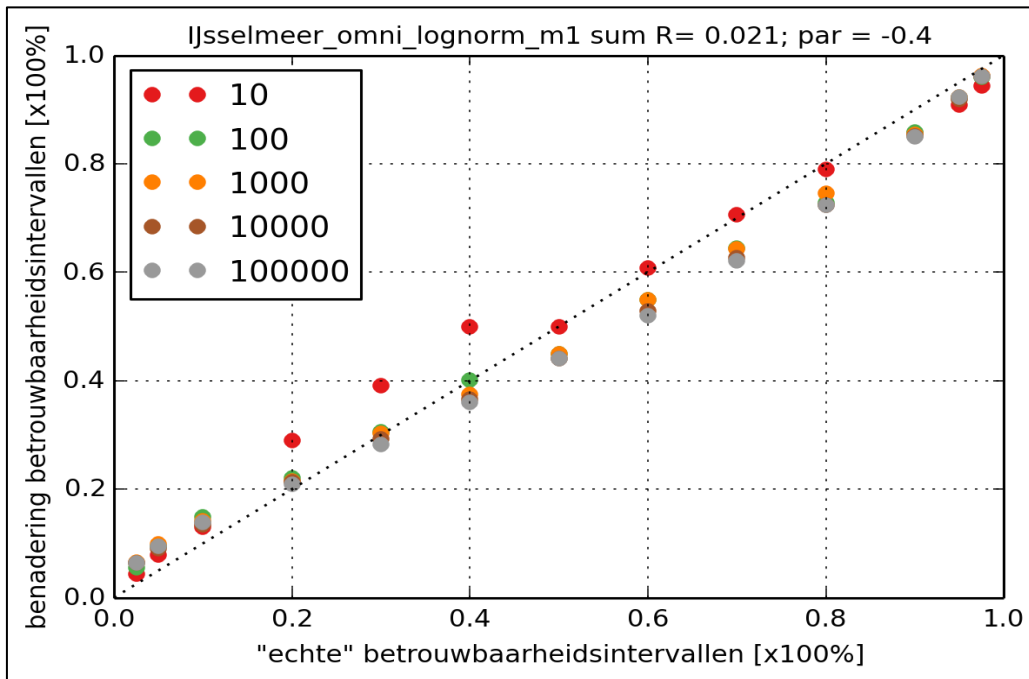
gemiddelde (μ) en de locatieparameter van de lognormaalverdeling vooraf vastgesteld, terwijl de standaardafwijking, de parameter σ , is gefit met behulp van de 'maximum likelihood' methode. De parameter μ is gelijk aan nul gekozen zodat de mediaan van de onzekerheid overeenkomt met nul. De locatieparameter bepaalt de ondergrens van de lognormale verdeling en is gelijk gesteld aan de negatieve waarde van het peil minus 0.40 m+NAP (het streefpeil). De ondergrens van de basisstochast inclusief statistische onzekerheid is daarmee -0.4 m+NAP. De parameter σ is zodanig gekozen dat het verschil tussen echte percentielen en hun schattingen minimaal is; de volgende herhalingsstijden zijn hierbij beschouwd: 10, 100, 1.000, 10.000 en 100.000 jaar; zie Figuur 5.29.

Tabel 5.14 Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid

Herhalings tijd [jaar]	Peil [m+NAP]	Mean μ [-]	St. dev σ [-]	Eps [m+NAP]	Location [m+NAP]	Shape [-]	Peil incl. stat onz [m+NAP]
10	0.39	0	0.031	-0.79	-0.236	0.039	0.39
100	0.62	0	0.067	-1.02	0.018	0.066	0.63
1000	0.84	0	0.136	-1.24	0.209	0.110	0.89
10000	1.07	0	0.231	-1.47	0.373	0.156	1.20
100000	1.30	0	0.350	-1.70	0.510	0.204	1.59

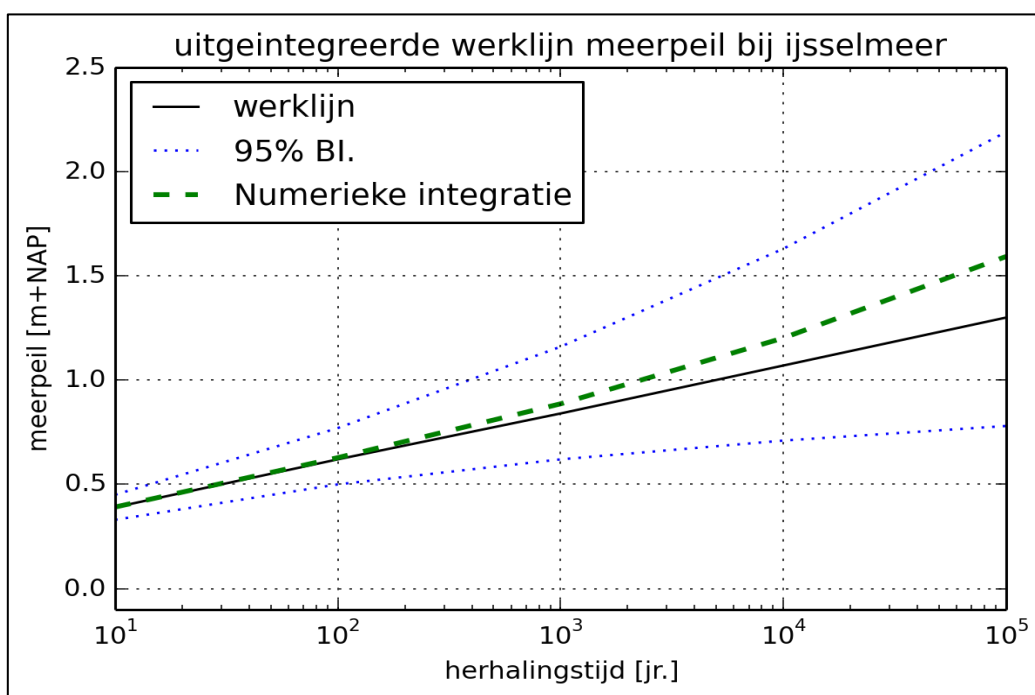


Figuur 5.28 Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.



Figuur 5.29 Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het IJsselmeer voor verschillende terugkeertijden.

Figuur 5.30 bevat de uit-geïntegreerde werklijn van het IJsselmeerpeil. De figuur laat zien dat het effect van het meenemen van de statistische onzekerheid groot is, vooral voor extreme hoge peilen. Voor een herhalingstijd van 1000 jaar gaat het IJsselmeerpeil omhoog van 0.84 m+NAP naar 0.89 m+NAP; de verhoging ten opzichte van de gemiddelde waarde uit de werklijn als gevolg van het meenemen van de statistische onzekerheid bedraagt daarmee ca. 5%. Voor een herhalingstijd van 100000 jaar leidt het uit-integreren van de statistische onzekerheid tot een verhoging van ruim 22%. Het IJsselmeerpeil gaat namelijk naar 1.59 m+NAP van 1.30 m+NAP. Vooral in gebieden waar het IJsselmeerpeil een dominante rol speelt boven de wind, zullen de maatgevende waterstanden soortgelijke verhogingen ondervinden.



Figuur 5.30 Uitgeïntegreerde werklijn van het IJsselmeerpeil

5.5.2.2 Statistische onzekerheid Markermeerpeil

De meerpeilstatistiek van het Markermeer is beschreven in 3.4.2. Relevante percentielen zijn gegeven in Tabel 5.15, zie paragraaf 5.3. Analoog aan het IJsselmeer zijn op basis van de percentielen uit Tabel 5.15 een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid en in Hydra-Ring als begrensd additiefmodel toegevoegd aan de basisstochast Markermeerpeil.

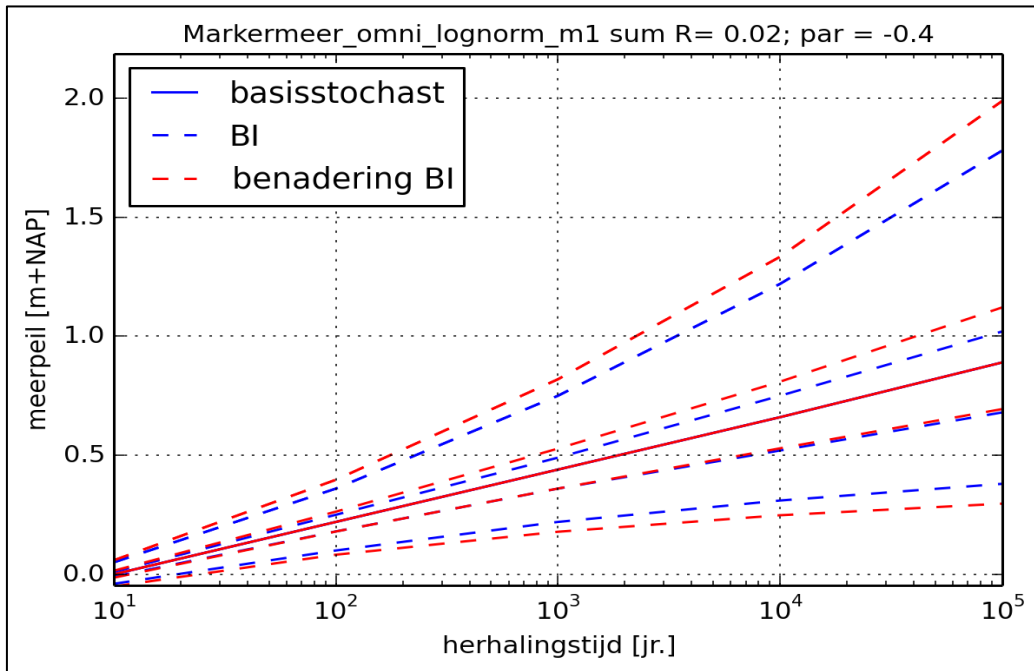
Tabel 5.15 Betrouwbaarheidsintervallen meerpeilstatistiek Markermeer, verschillende kwantielen

$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen [m+NAP] bij gegeven percentages [%]														
T [jaar]	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	2,5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97,5%	
10	0,00	0,00	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	
100	0,22	0,22	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31	0,34	0,36	
1000	0,44	0,44	0,22	0,24	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,46	0,49	0,54	0,62	0,69	0,75	
10000	0,67	0,66	0,31	0,35	0,40	0,47	0,52	0,58	0,63	0,69	0,75	0,84	0,97	1,09	1,22	
100000	0,89	0,89	0,38	0,43	0,50	0,60	0,68	0,75	0,83	0,92	1,02	1,15	1,36	1,57	1,78	

Evenals voor het IJsselmeer is voor het Markermeer uitgegaan van een lognormale verdeling voor het schatten van de statistische onzekerheid. De parameterschattingen zijn op basis van gegevens van de percentielen uit Tabel 5.15 tot stand gekomen; de verkregen parameterschattingen zijn weergegeven in Tabel 5.16. Een grafische weergave van de schattingen van de lognormale verdeling is afgebeeld in Figuur 5.31. De residuschattingen zijn weergegeven in Figuur 5.32 en de uitgeïntegreerde werklijn in Figuur 5.33.

Tabel 5.16 laat zien dat het effect van het meenemen van de statistische onzekerheid groot is, vooral voor extreme hoge Markermeerpeilen. Voor een herhalings-tijd van 1000 jaar gaat het Markermeerpeil omhoog van 0.44 m+NAP naar 0.49 m+NAP; de verhoging ten opzichte van de gemiddelde waarde als gevolg van het meenemen van de statistische onzekerheid bedraagt ca. 11%. Voor een herhalings-tijd van 100000 jaar leidt het uit-integreren van de statistische onzekerheid tot een verhoging van ruim 33%. Het Markermeerpeil gaat namelijk

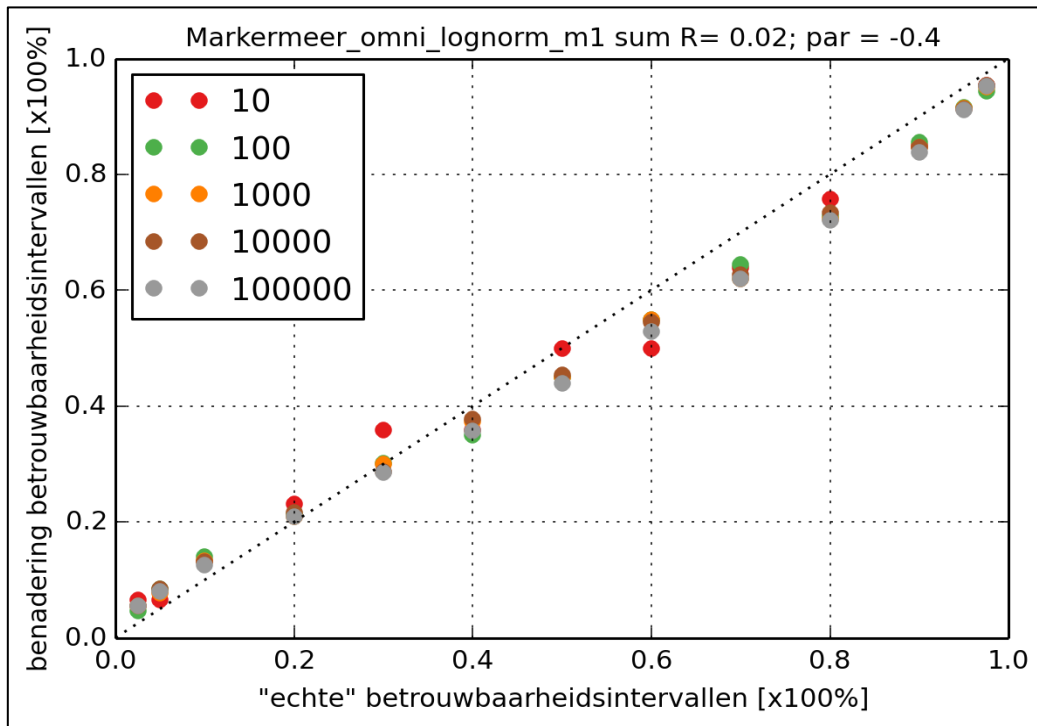
naar 1.19 m+NAP van 0.89 m+NAP. Vooral in gebieden waar het Markermeerpeil een dominante rol speelt boven de wind, zullen de maatgevende waterstanden soortgelijke verhogingen ondervinden.



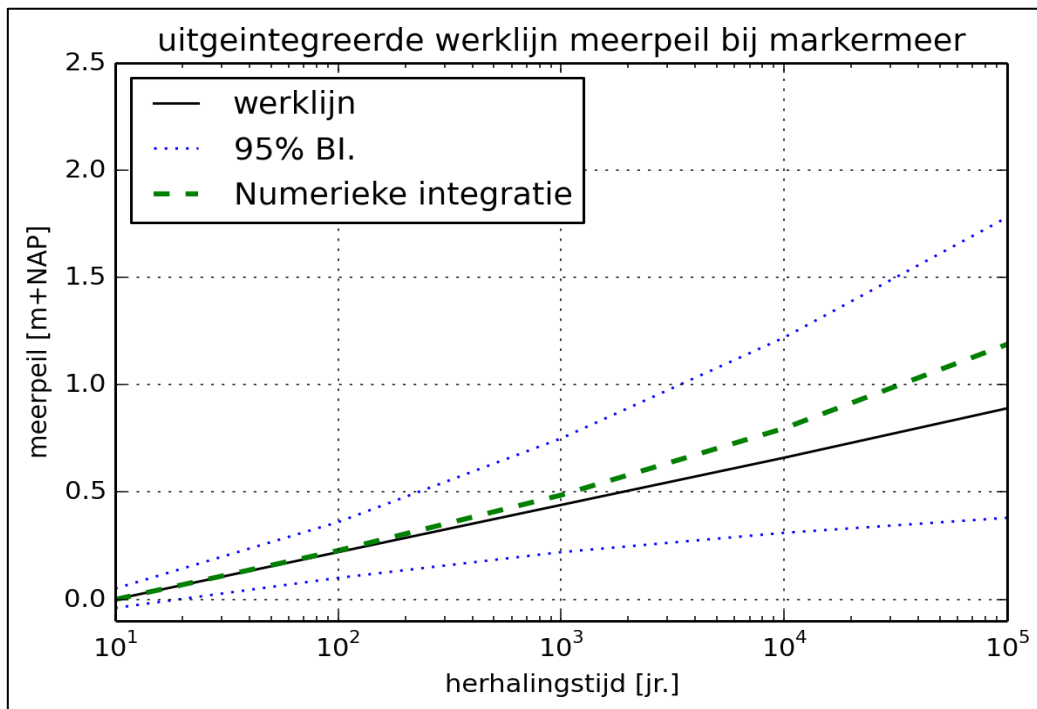
Figuur 5.31 Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.

Tabel 5.16 Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid

Herhalings tijd [jaar]	Peil [m+NAP]	Mean μ [-]	St. dev σ [-]	Eps [m+NAP]	Location [m+NAP]	Shape [-]	Peil incl. stat onz [m+NAP]
10	0.00	0	0.024	-0.40	-0.918	0.059	0.00
100	0.22	0	0.069	-0.62	-0.484	0.111	0.23
1000	0.44	0	0.136	-0.84	-0.187	0.161	0.49
10000	0.66	0	0.226	-1.06	0.036	0.211	0.80
100000	0.89	0	0.348	-1.29	0.220	0.265	1.19



Figuur 5.32 .Verskil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het Markermeer voor verschillende terugkeertijden.



Figuur 5.33 Uit-geïntegreerde werklijn van het Markermeerpeil.

5.5.3 Statistische onzekerheid zee­water­stands­statistiek

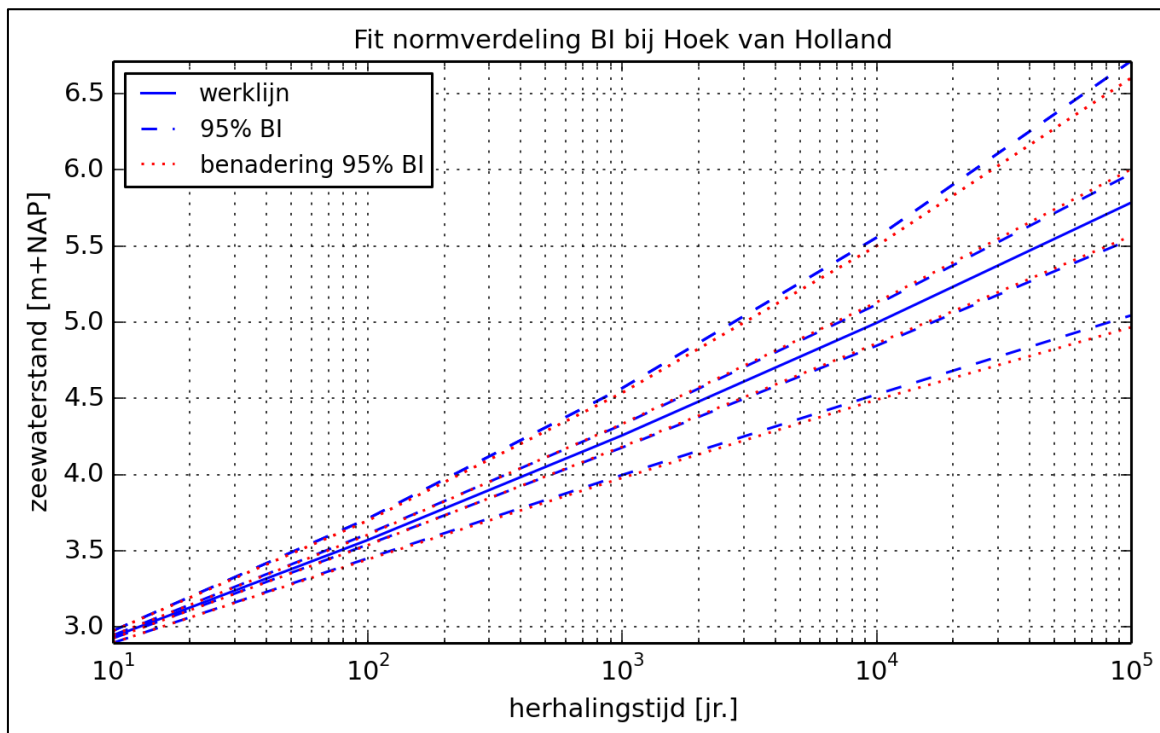
De zee­water­stands­statistiek op ver­schil­len­de sta­tions langs de kust is be­schre­ven in pa­ra­graaf 3.5. De per­centi­elen be­ho­ren­de bij ver­schil­len­de kwanti­elen kwa­men aan de or­de in pa­ra­graaf 5.3. Op ana­loge wij­ze als voor meer­peilen zijn op ba­sis van de per­centi­elen van de

zeewaterstanden voor elke station schattingen gemaakt van de statistische onzekerheid en in Hydra-Ring als begrensd additief model toegevoegd aan de basisstochast zeewaterstand.

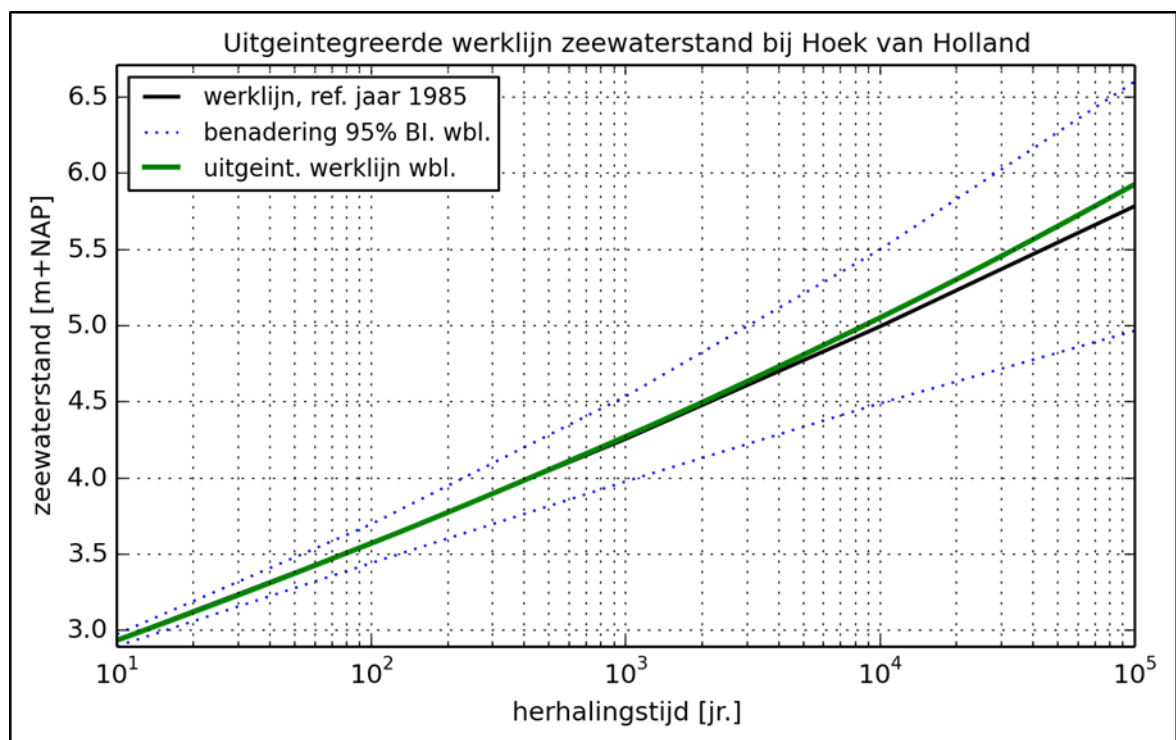
Op analoge wijze als hierboven (zie sub-paragraaf 5.5.1.1) zijn voor elke station op basis van de percentielen van de zeewaterstand schattingen gemaakt van de statistische onzekerheid, door middel van het fitten van een normale verdeling. Het gemiddelde van de normale verdeling is vooraf vastgesteld op 0, terwijl de standaardafwijking gefit is met behulp van de 'maximum likelihood' methode. De aldus gevonden parameters van de normale verdeling voor station Hoek van Holland zijn weergegeven in Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Statistische onzekerheid zeewaterstandsstatistiek Hoek van Holland, omni-directioneel.

Herhalings- tijd [jaar]	Werklijn [m+NAP]	2.5% BI [m+NAP]	97.5% BI [m+NAP]	μ [-]	σ [-]	Uit- geïntegreerde werklijn [m+NAP]
10	2.9348	2.90	2.98	0	0.0200	2.9341
100	3.5694	3.45	3.71	0	0.0650	3.5712
1000	4.2567	4.00	4.57	0	0.1425	4.2723
10000	4.9953	4.54	5.57	0	0.2575	5.0525
100000	5.7843	5.07	6.74	0	0.4175	5.9271



Figuur 5.34 Werklijn van de omni-directionele zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief 2,5%, 30%, 70% en 95% percentielen en hun schattingen door de normale verdeling met parameters uit Tabel 5.17.



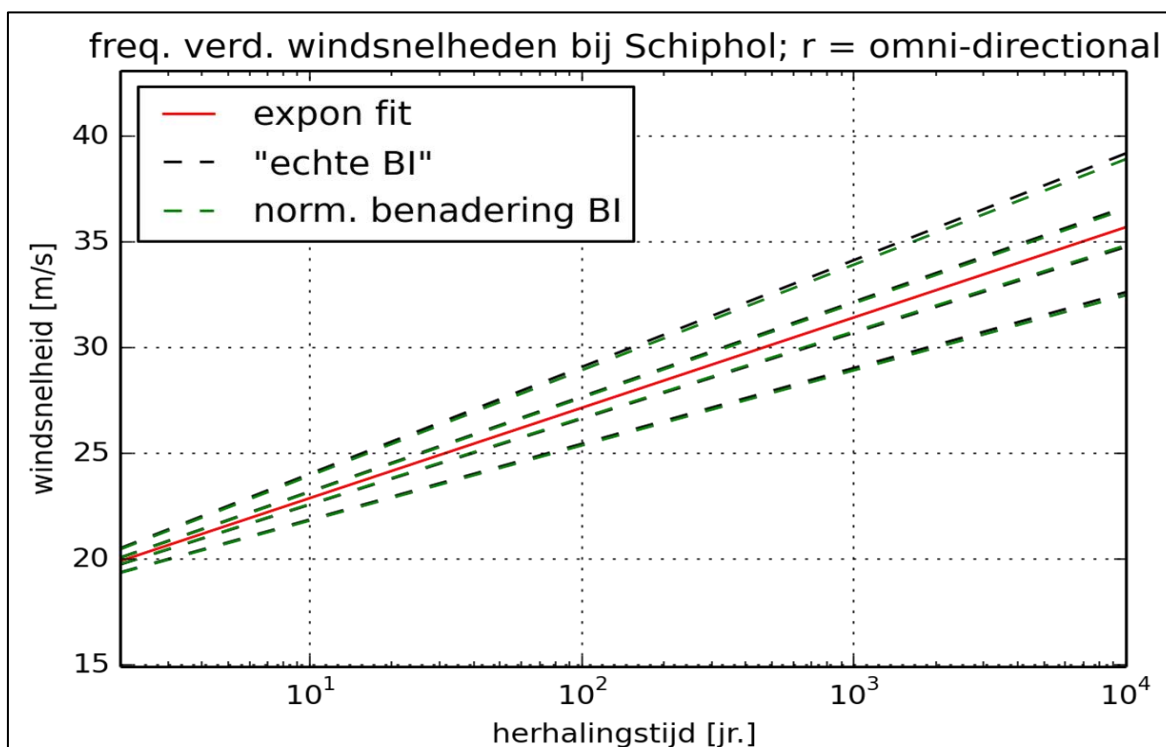
Figuur 5.35 Werklijn en uit-geïntegreerde werklijn zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen.

De parameterschattingen van de normale verdeling voor andere stations uit Tabel 5.1, evenals de uit-geïntegreerde werklijnen zijn opgenomen in Bijlage E.

5.5.4 Statistische onzekerheid windsnelheid

De windstatistiek bij verschillende stations is beschreven in 3.6. Per station zijn zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke frequentieverdelingen van de windsnelheid beschikbaar, inclusief de bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Per windstation zijn schattingen gemaakt van de statistische onzekerheid en in Hydra-Ring als (extra) begrensd multiplicatief model toegevoegd aan de basisstochast windsnelheid.

De betrouwbaarheidsintervallen en percentielen van de windsnelheid zijn nagenoeg symmetrisch. Daarom is het schatten van de statistische onzekerheid gekozen voor de (symmetrische) normaalverdeling. Het gemiddelde van de verdeling is vastgesteld op 1, de parameter σ is geschat met behulp van de 'maximum likelihood' methode. Ter illustratie beschrijft Figuur 5.36 de windsnelheid bij Schiphol voor de omni-directionele situatie. De rode lijn is beschrijft de fit van de exponentiele verdeling zoals hierboven beschreven in paragraaf 3.6. De schattingen van de parameters van de normale verdeling zijn weergegeven in Tabel 5.18. In Figuur 5.36 representeren de zwarte gestippelde lijnen de percentielen (van boven naar beneden) 97,5%, 70%, 30% en 2,5% en de rode gestippelde lijnen de benaderingen door de normale verdeling met parameters uit Tabel 5.18. Een volledig overzicht van de resultaten van andere stations Tabel 5.1 is te vinden in Bijlage F.



Figuur 5.36 Werklijn van de omni-directionele windsnelheid bij Schiphol, inclusief 2,5%, 30%, 70% en 95% percentielen en hun schattingen door de normale verdeling met parameters uit Tabel 5.18.

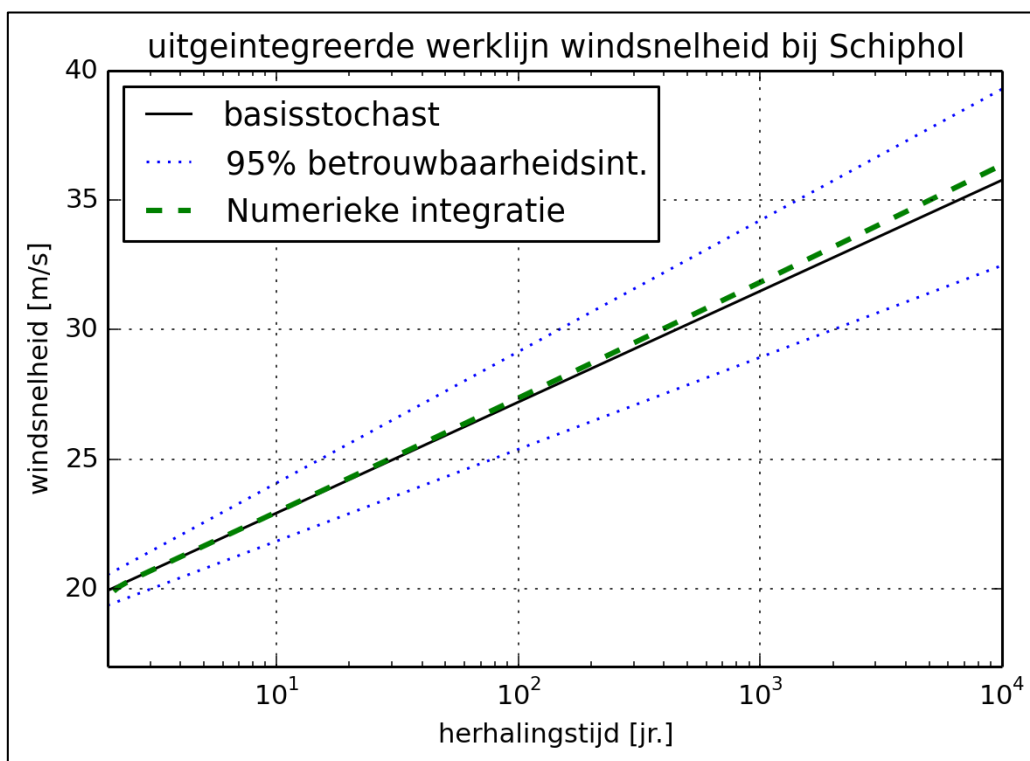
Tabel 5.18 Modelparameters statistische onzekerheid bij Schiphol, omni-directional.

Herhalings-tijd [jaar]	Windsnelheid [m/s]	2.5% grens [m/s]	97% grens [m/s]	μ [-]	σ [-]	Windsnelheid incl. onzek.
2	19,91	19,35	20,54	1	0,015	19,90
10	22,90	21,83	24,08	1	0,025	22,96
50	25,88	24,31	27,62	1	0,032	26,02
100	27,16	25,38	29,15	1	0,035	27,36
500	30,14	27,86	32,69	1	0,040	30,47
1000	31,43	28,93	34,22	1	0,042	31,83
10000	35,69	32,47	39,28	1	0,047	36,36

Zoals vermeld in hoofdstuk 3 is naast de omni-directionele windstatistiek ook de richtingsafhankelijke statistiek en bijbehorende statistische onzekerheid nodig. Enkele verkennende testberekeningen met Hydra-Ring hebben echter laten zien dat het meenemen van een richtingsafhankelijke statistische onzekerheid tot dezelfde resultaten leidt als enkel de omni-directionele statistische onzekerheid toegepast op alle richtingssectoren. Daarom is besloten om statistische onzekerheid behorende bij de omni-directionele situatie te gebruiken voor de richtingsafhankelijke windstatistiek; zie Scientific Documentation (Diermanse, 2013).

De afgeleide statistische onzekerheid van de windsnelheid is afhankelijk van de herhalings-tijd, zie bijvoorbeeld Tabel 5.18 voor Schiphol. Verkennende berekeningen met Hydra-Ring hebben laten zien dat het verschil tussen een constante spreiding en een spreiding die afhankelijk is van de herhalings-tijd op de hydraulische belasting marginaal is (enkele millimeters). Om die reden is besloten om voor het schatten van de statistische onzekerheid een constante spreiding te hanteren. Daar de statistische onzekerheid van de richtingsafhankelijke windstatistiek groter is (vanwege relatief weinig data dan bij de omni-directionele windstatistiek) dan de statistische onzekerheid van de omni-directionele

statistiek, is besloten om de spreiding behorende bij het 10000-kwantiel te gebruiken. Ter illustratie: voor Schiphol gelden voor de statistische onzekerheid de spreidingen gegeven in kolom 6 van Tabel 5.18. Voor het 10000-kwantiel geldt uit deze tabel een spreiding van 0,047. De spreiding van 0,047 is verder gebruikt voor alle kwantilen (herhalingstijden), dus niet alleen van de omni-directionele maar ook voor de richtingsafhankelijke windstatistiek. Dit is gedaan voor alle windstations die gebruikt zijn in Hydra-Ring, zie Tabel 5.19.



Figuur 5.37 Uitgeïntegreerde werklijn windsnelheid bij Schiphol.

Tabel 5.19 Windstations en bijbehorende parameters (μ en σ) voor de statistische onzekerheid van de omni- en de richtingsafhankelijke situaties.

Windstation	Regio's	μ [-]	σ [-]
Schiphol	1 t/m 8 en 17	1	0,047
Deelen	1, 2 en 18	1	0,046
West Terschelling	9, 10	1	0,048
De Kooy/Texelhors	11	1	0,046
IJmuiden	12	1	0,040
Hoek van Holland	13	1	0,036
Vlissingen	14 en 15	1	0,042

5.5.5 Onzekerheid seiches

Zoals hierboven al vermeld in paragraaf 2.3.10 zijn seichestoelagen nodig voor het hele bereik. In Beckers (2014) wordt voorgesteld om seiche-effect als een waterstand-afhankelijke toeslag over het volledige bereik van de waterstandstatistiek toe te passen. Voor 9 terugkeertijden en bijbehorende zeewaterstand²⁹ bij Maasmond, variërend tussen +2.40 m+NAP en +6.40 m+NAP, zijn voor het gehele Eurpoortgebied daarom seiches toeslagen

²⁹ De zeewaterstand bij Maasmond wordt verkregen door een verschuiving met -0.02 m van zeewaterstand bij Hoek van Holland

bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van PHAROS (Reijmerink en de Jong, 2014). In deze toeslagen zijn onzekerheden in bijvoorbeeld de PHAROS-resultaten echter niet meegenomen.

Omdat de statistische onzekerheden in zeewaterstanden bij Maasmond bij hogere herhalingstijden (orde 10000 jaar) fors groter kunnen zijn dan de onzekerheden in de seiches zal de seiche-onzekerheid bij hogere herhalingstijden een zeer geringe invloed hebben op de resulterende waterstanden. Dit kan een argument zijn om de onzekerheden voor seiches buiten beschouwing te laten. Omdat dit echter niet geldt voor lagere herhalingstijden (orde 100 jaar), waar de onzekerheden van de seiches wel degelijk een relatief groot belang hebben dienen deze toch te worden meegenomen. Onzekerheden in seiches worden als niet gecorreleerd met onzekerheden in waterstanden aangenomen.

In Beckers (2014) wordt ook een voorstel gedaan voor het meenemen van de onzekerheden. Dit voorstel is in WTI-2017 overgenomen. Het voorstel is om deze onzekerheid uit te drukken in een multiplicatief model het berekende seichestoeslag. Het model is een stochast met een normale verdeling met gemiddelde 1 en standaard afwijking 0.3. Dit komt voort uit een onzekerheid van 25% in de referentiestatistiek van de seiches bij Rozenburg en 15% in de vertaling naar andere locaties (PHAROS berekeningen).

5.5.6 Onzekerheid golfparameters H_s en T_p voor duinen

Voor regio 16 gelden de golfparameters H_s en T_p als basisstochasten. Zoals al beschreven in paragraaf 3.7 is de golfhoogte H_s gekoppeld aan de zeewaterstand en de golfperiode T_p aan de golfhoogte H_s . In het belastingmodel voor duinen en in Hydra-Ring wordt verder rekening gehouden met de onzekerheid in de golfparameters op de volgende manier:

- De *verwachtingswaarde* van de golfhoogte H_s is zoals beschreven in paragraaf 3.7 een deterministische functie van de waterstand. Om deze verwachtingswaarde heen wordt de golfhoogte verondersteld normaal verdeeld te zijn met een standaarddeviatie van 0,6 m.
- De *verwachtingswaarde* van de piekperiode T_p is, evenals zoals beschreven in paragraaf 3.7, een deterministische functie van de golfhoogte H_s . Om deze verwachtingswaarde heen is de piekperiode verondersteld normaal verdeeld te zijn met een standaarddeviatie van 1 s.

N.B. Naast de onzekerheid in zeewaterstand, golfhoogte H_s en golfperiode T_p kent het belastingmodel voor duinen nog drie extra stochasten, namelijk de korreldiameter, de toeslag op het afslagvolume door effecten van de stormduur en de toeslag voor het afslagvolume. Deze onzekerheden vallen echter de scope van dit rapport; voor een beschrijving van deze onzekerheden worden verwezen naar (Van Geer en Diermanse, 2015).

6 Samenvatting en conclusies

Dit rapport beschrijft welke basisstochasten voor de deelsystemen van primaire waterkering in WTI-2017 gebruikt zijn in de belastingmodellen van Hydra-Ring, met de bijbehorende kansverdelingen en statistische onzekerheden. Ook beschrijft dit rapport de correlaties tussen verschillende basisstochasten.

Na een heroverweging waarbij enkele kandidaten zijn beschouwd om als extra basisstochast te worden meegenomen in Hydra-Ring, is besloten om de set van basisstochasten zoals gebruikt in HR-2006 en/of WTI-2011 niet uit te breiden. De belangrijkste argumenten hiervoor zijn 1) het beperkte effect dat het toevoegen van sommige stochasten hebben op de rekenresultaten en 2) de praktische bezwaren in termen van rekentijd en complexiteit van het probabilistische model in Hydra-Ring. Wel worden enkele onzekerheden (modelonzekerheid in WAQUA, SWAN en Bretschneider, en in afvoerdeling in de splitsingspunten en laterale toestromingen) als modelonzekerheid achteraf in rekening gebracht op de waterstand en golfcondities. Modelonzekerheid valt buiten de scope van dit rapport.

Ten opzichte van WTI-2011 zijn enkele veranderingen doorgevoerd in de statistiek van de basisstochasten. De veranderingen hebben betrekking op de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith en de Maas bij Borgharen, de windstatistiek (zowel van de statistiek van de windsnelheid als de statistiek van de windrichting) en de wind-waterstandsstatistiek. De statistiek van de Rijn- en Maasafvoer (top en vorm) is gebaseerd op GRADE in plaats van statistische extrapolatie van afvoermetingen. Aanpassing van de afvoerstatistiek bij Lobith en Borgharen heeft geleid tot aanpassing van de afvoerstatistiek bij de stations Olst en Lith. De windstatistiek is t.o.v. HR2006/WTI-2011 geactualiseerd waarbij langere en betrouwbaardere meetreeksen zijn gebruikt. Ook is de wind-waterstandsstatistiek bij de kuststations ge-update. Dit geldt ook voor de zeespiegelstijging. Onderstaande Tabel 6.1 bevat de stochasten en bijbehorende statistiek, inclusief een kwalitatieve schatting van de effecten van de veranderingen van deze statistiek t.o.v. HR-2006/WTI-2011.

Naast de statistiek van de basisstochasten is ook de wind-waterstandstatistiek bij de hoofdstations langs de kust geactualiseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de nieuwe windstatistiek.

Tabel 6.1 Stochasten en bijbehorende statistiek, inclusief mogelijke effecten van veranderingen in de statistiek

Stochast/grootheid	Verandering t.o.v. WTI2011/HR2006	Schatting effect verandering
Afvoer Rijn	Aangepast: GRADE i.p.v. extrapolatie op basis van metingen	Verlagend, ca. 2 dm's.
Afvoer Maas	Aangepast: GRADE i.p.v. extrapolatie op basis van metingen	Geen effect
Afvoer Vecht	Onveranderd	Geen effect
Zeewaterstand	Basispeilen onveranderd; correcties en toeslagen voor trend aangepast	Geen effect
Windsnelheid	Aangepast; nieuwe windstatistiek	Effect klein, enkele cm's
Windrichting	Aangepast; nieuwe kansverdeling voor de windrichting	Effect klein, enkele cm's.
Meerpeil IJsselmeer	Onveranderd	Geen effect
Meerpeil Markermeer	Onveranderd	Geen effect
Correlatie afvoer-	Onveranderd	Geen effect

meerpeil		
Correlatie IJssel-Vecht	Onveranderd	
Correlatie Rijn-Maas	Veranderd (productieberekeningen)	Enkele cm's, langs de Bergsche Maas mogelijk meer (tot ca. 1 dm).
Wind-waterstandsstatistiek (kust)	Veranderd; nieuwe s-waarden bepaald op basis van extra metingen en de nieuwe windstatistiek	Onbekend, maar verwacht wordt dat het effect klein zal zijn.
Wind-waterstandstatistiek (Benedenrivieren)	Veranderd; nieuwe kr(u) waarden afgeleid op basis van de nieuwe windstatistiek	Klein, enkele cm's
Voorspellingsfout zeewaterstand Hoek van Holland	onveranderd	Geen effect
Voorspellingsfout Vlissingen (Oosterschelde)	Onveranderd	Geen effect
Faalkans Maeslantkering	Onveranderd	Geen effect
Faalkans Hartelkering	Onveranderd	Geen effect
Faalkans Hollandse IJssel	Veranderd van 0 naar 1/200 per sluitvraag	Mogelijk effect achterland
Faalkans Ramspolkering	Veranderd van 1/286 naar 1/100 per sluitvraag	Effect klein, enkele cm's tot ca. 1 dm
Faalkans Oosterscheldekering	Veranderd, afhankelijk van de faalsituatie	Onbekend
Haringvlietdam	Veranderd, afhankelijk van de faalsituatie	Onbekend, maar vooralsnog geen effecten want de faalkans worden niet meegenomen in de probabilistische berekeningen.
Stormopzetduur	Onveranderd	Geen effect
Faseverschil getij en opzet	Onveranderd	Geen effect
Stormduur	Onveranderd	Geen effect
Seiches toeslagen	Veranderd, geactualiseerd	Effect marginaal, mede omdat de referentiestatistiek bij ROZ onveranderd is gebleven.

Van de basisstochasten zeewaterstand (verschillende zee stations) en meerpeil (IJsselmeer en Markermeer) waren alleen de werklijnen beschikbaar maar geen betrouwbaarheidsintervallen; deze zijn afgeleid voor het hele bereik van herhalingstijden. Van elke basisstochast is een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid. Waar nodig en van toepassing, is naast de omni-directionele situatie ook de richtingsafhankelijke situatie beschouwd. Dit betreft de zeewaterstanden en de windsnelheid. Afhankelijk van de eigenschappen van een basisstochast en de beschikbare betrouwbaarheidsintervallen is de statistische onzekerheid gemodelleerd als een absolute afwijking van de gemiddelde waarde (additief) met een vaste kansverdeling, óf als een relatieve afwijking, evenals van de gemiddelde waarde (multiplicatief), zie Tabel 6.2. Voor de parameters van de verdelingen wordt verwezen naar de bijlagen van onderhavig rapport.

Tabel 6.2 Gehanteerde modellen om de statistische onzekerheid van de basisstochasten te schatten.

Basisstochast	Model statistische onzekerheid
Afvoerstatistiek Rijn te Lobith	Additief en normaal verdeeld
Afvoerstatistiek Maas te Borgharen	Additief en normaal verdeeld
Afvoerstatistiek Vecht te Dalfsen	Additief en lognormaal verdeeld
Zeewaterstandsstatistiek	Begrensd additief en normaal verdeeld
Meerpeilstatistiek IJsselmeer	Begrensd additief en lognormaal verdeeld
Meerpeilstatistiek Markermeer	Begrensd additief en lognormaal verdeeld
Windstatistiek	Begrensd multiplicatief en normaal verdeeld

7 Referenties

- Beckers, J. et al, 2009. Uncertainties of the Hydra models, SBW belastingen, Joost Beckers, Chris Geerse, Nienke Kramer, Robin Nicolai and Karolina Wojciechowska, Deltares rapport H5098.20.
- Beckers, J. 2014. Seiches in WTI-2017, Deltares memo 1209433-006-HYE-0001. Delft 2014
- Beijk, V.A.W. en Geerse, C.P.M., 2004. Bivariate correlatiemodellen gebaseerd op exponentiële marginale verdelingen. Beschrijving en werking MATLAB-programmatuur RIZA-Werkdocument 2004.109x. RIZA Lelystad, mei 2004.
- Boers, M. Van Geer, P. en J. Groeneweg. Methode voor het bepalen van HR Duinen voor WTI-2017. Deltares rapport 1209433.004.
- Caires, S. 2009. Extreme wind statistics for the Hydraulic Boundary Conditions for the Dutch primary water defences. SBW-Belastingen: Phase 2 of subproject "Wind Modelling". Deltares. 1200264-005
- Chbab, E.H. 2011. Toeslagen seiches Europoortgebied voor WTI-2011. Deltares memo 1204143-003-ZWS-0020. Delft 2011.
- Chbab, E.H., 2010. Analyse faseverschil tussen opzet en getij bij Hoek van Holland. Deltares memo, 28 juli 2010.
- Chbab, E.H. 2012. Waterstandsverlopen Meren. IJsselmeer en Markermeer. Deltares rapport 1204143-003. Deltares 2012.
- Chbab, E.H., 2012b. Achtergrondrapport WTI-2011 voor het Benedenrivierengebied; concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor de Benedenrivieren. Deltares rapport 1204143-003-ZWS-0030, augustus 2012.
- Chbab, E.H. en J. Groeneweg, 2015. Modelonzekerheid Hydra-Ring. Wettelijk toetsinstrumentarium WTI-2017. Deltares rapport 1209433-008-HYE-0007. Delft 2014.
- Coles, S., 2001: An Introduction to the Statistical Modelling of Extreme Values. Springer Texts in Statistics, Springer-Verlag: London.
- Deltares, (2010), WAQUA model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht, opbouw, kalibratie en verificatie, Deltares rapport 1202108-000, 2010. Delft 2010
- Deltares, 2012. Projectplan WTI-2017, Cluster onzekerheden,
- De Ronde, J.G. (1985) Wisselwerking tussen opzet en verticale getij, GWIO 85, 003, Dienst Getijwateren, oktober 1985.
- Diermanse et al. Hydra-Ring Scientific Documentation. Deltares & TNO-Bouw. Deltares rapport 1206006-004. Deltares 2013

Diermanse F., Thonus, B. en Den Heijer, F., 2003. De Veiligheid van Nederland in Kaart. Inventariseren en inbouwen van hydraulische randvoorwaarden in PC Ring. Fase 2. Uitwerken en implementeren van belastingmodellen.

Diermanse, F. 2015. WTI-onzekerheden. Overzicht van belasting- en sterkteonzekerheden in het wettelijke toetsinstrumentarium. Deltares rapport 1220080-001-ZWS-0004 (in voorbereiding).

Deugd, De, H. 2007. Waterloopkundige berekeningen TMR2006 Benedenrivierengebied. RWS RIZA rapport 2007.017. Lelystad 2010

De Waal, H. Spruyt, A. en Smale, A.J. 2013. Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017. Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties. Deltares rapport 1207807-009-HYE-0006-v2. Oktober 2013.

Dillingh, D., de Haan, L., Helmers, R., Können, G.P., en van Malde J., (1993) De basispeilen langs de Nederlandse kust; statistisch onderzoek, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdenwateren /RIKZ, Report DGW-93,023

Dillingh, D. en J. de Lima Rego (2010). Toets- en Rekenpeilen Kust en Estuaria ten behoeve van de HR2011. WTI-HRzout. Deltares rapport 1202341-002-HYE-0060, dd 9 november 2010.

Dulfer, C. 2014. Bepalen overschrijdingskans maximaal meerpeil, rekening houdend met open afwaaiing. Stagerverslag HKV. Claire Dulfer, met medewerking van Bastiaan Kuijper, Chris Geerse (HKV) en Dorota Kurowicka.

Eilander, D. 2014a. Herberekening van de 1/1.250 afvoer van de Rijn en de Maas.

Eilander, D. 2014b. Herberekening basispeilen in het kader van WTI-2017. Deltares memo 1209431-003-ZWS-0002

Eilander, D. 2014c. Herberekening basispeilen in het kader van WTI-2017. Deltares memo 1209431-003-ZWS-0002

Fioole, A., 1999. De 50%-lijnen van Bovenrijn en Maas. RIZA memo WST 98.113. RIZA Dordrecht, juli 1998.

Haaren, van D. 2015. Definitiestudie onzekerheden in Hydra-NL en Hydra-Ring, aftoppen van Vecht/Maas, tussenresultaat. HKV memorandum PR3068.10. 24 April 2015. Lelystad

Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A., Passchier, R.H., 2014. Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of GRADE 2.0. Deltares report 1209424-004-ZWS-0018, Delft, The Netherlands.

HKV 2005. Diepwaterrandvoorwaarden (ELD, EUR, YM6, SCW en SON). Project nummer PR841.40. juli 2005.

Geerse, C.P.M. & Verkaik, J.W., 2010. Effect nieuwe windstatistiek op toetspeilen en benodigde kruinhoogten. HKV rapport PR1601.10. Februari 2010. Lelystad.

Geerse, C.P.M. 2004. Probabilistische versus deterministische stormduur Vecht - en IJsseldelta. RIZA werkdocument 2004.206X. 2004.

Geerse, C.P.M., 2013. Belastingmodellen WTI-2017. Gevoeligheidsanalyses en adviezen voor eventuele aanpassingen aan Hydra-Ring. HKV rapport PR2647.40. HKV lijn in Water, september 2013.

Geerse, C.P.M., Wojciechowska, K. (2014). Betrouwbaarheidsintervallen voor kwantielen van de overschrijdingsfrequentie. Toepassing op kuststations en IJsselmeergebied. HKV lijn in water. PR2829.20

Geerse, C.P.M. 2006, Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta, Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ, RWS RIZA werkdocument 2006.036x, Lelystad 2006

Geerse C.P.M. en Slootjes, N. 2007. Gevoeligheidsanalyse benodigde kruinhoogte – Systeemanalyse Rijn-Maasmonding. HKV lijn in water, Lelystad, juli 2007

Geerse, C.P.M. en Verkaik, J.W., 2010. Effect nieuwe windstatistiek op toetspeilen en benodigde kruinhoogten. HKV rapport PR1601.10. Lelystad

Geerse, C.P.M., 2003. Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden benedenrivierengebied. RIZA rapport 2003.128x. Lelystad, 2003.

Geerse, C.P.M., Wojciechowska, K. (2015). Betrouwbaarheidsintervallen voor kwantielen van de overschrijdingsfrequentie. Toepassing op kuststations en IJsselmeergebied. HKV lijn in water. PR2829.20

Janssen, M. en M. Van Ledden, (2005), WAQUA en Hydra-VIJ voor de IJssel en de Vechtdelta, rapportage fase 1, juli 2005.

Klerk, W.J., 2014. Analyse betrouwbaarheid en verlenging van meetreeks van de afvoer van de Overijsselse Vecht. Deltares memo 1209433-012-HYE-0005. Delft 2014.

Klerk, W.J., 2015. Functioneel ontwerp invoeren seiches in belastingmodellen Hydra-Ring. Memo 1220080-006-ZWS-002. Delft 2015.

Expertise Netwerk Waterkeringen (ENW) 2007. Technisch Rapport Duinafslag 2006 (TRDA2006). Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van voorschrift toetsen op veiligheid 2006. WL|Delft Hydraulics (H4357). RWS, 1995. De basispeilen langs de Nederlandse kust. De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen. RIKZ-95.008.

Klopstra, D., Braak, E. van den, Kalk, H. en Termes, P. 2002. Maatgevende afvoer en afvoerstatistiek Overijsselse Vecht bij Dalfsen RVW2006, Deelrapport 8, HKVlijnin water in opdracht van RWS RIZA, Lelystad, december 2002

Kors, A.G., Zwol, J.H. van, Franken, A., 1994. Projectnota/MER Ramspol, Hydraulische Randvoorwaarden, Deelrapport van de werkgroep Hydraulica, november 1994.

Kroos, J., 2006. Evaluatie van 50 jaar stormvloedverwachtingen. De nauwkeurigheid van stormvloedverwachtingen en de juistheid van de berichtgeving van de SVSD onderzocht over de periode 1954 t/m 2004. RIKZ Rapport 2006.010. Rijkswaterstaat RIKZ, 26 april 2006.

Kroos, J. 1999. Nauwkeurigheid waterstandsverwachtingen SVSD voor Hoek van Holland. Memo door J. Kroos, gedateerd 16 september 1999, van RIKZ aan Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland t.a.v. dhr. ir. A. van der Wekken

Langemheen, H, van de en Berger, H.E.J. (2002), Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas. W. van de Langemheen, H.E.J. Berger. RIZA-Rapport 2002.014.

Lievense, P. 2007. Implic berekeningen prestatiepeilen Oosterschelde. P. Lievense, Memo ZLMD-07N.17, 17 december 2007, Rijkswaterstaat Zeeland

Lodder. C. 2007. Achtergrondrapport HR-2006 voor de meren. Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het Markermeer. RWS RIZA rapport 2007.025. Lelystad 2007.

Nicolai, R.P., Geerse, C.P.M., Chbab, E.H., 2014. Belastingmodellen WTI-2017, overzicht en benodigde gegevens onzekerheden. HKV Lijn in Water & Deltares, PR2829.10, mei 2014

Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 1985. Waterstandsfrekwenties op de Beneden Merwede en de Boven Merwede. Nota-nummer 61.002.17. Distrikt Zuidwest 1985.

Passchier, R., Boogaard, H.J. van den, Buishand, A., Beersma, J. Hegnauer, M. 2014, GRADE final report, Deltares rapport, Delft Nederland (CONCEPT, binnenkort beschikbaar)

Reijmerink S.P. en de Jong M.P.C. 2014 Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017 Waterstandsafhankelijke seiche-waarden (Deltares report 1209433-006-HYE-0002)

Prinsen, G., den Boogaard, H en Hegnauer, M. 2015. Onzekerheidsanalyse hydraulica in GRADE. Deltares rapport 1220082-010-ZWS-0001. Delft.

Rijkoort, P.J. 1983. A compound Weibull model for the description of surface wind velocity distributions. De Bilt: KNMI, Scientific Report WR 83-13, 1983.

Roskam, A.P., Hoekema, J. en Seiffert, J.J. 2000. Richtingsafhankelijke extreme-waarden voor HW-standen, golfhoogten en golfperioden. A.P. Roskam, J. Hoekema en J.J. Seiffert. Rapport RIKZ/2000.040. RIKZ Den Haag, december 2000

Roscoe, K.L., 2009: Assessment of the still water level 1/10,000 years return values, rapport Deltares, 1200103-041-HYE-0002

RWS, 1995. De basispeilen langs de Nederlandse kust. De ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen. RIKZ-95.008.

RWS, 2001. Hydraulische Randvoorwaarden HR2001.

RWS, 2006. Achtergrondrapport HR 2006 voor de Zee en Estuaria. Hydraulische Randvoorwaarden 2006. RWS RIKZ rapport 2006.029. Den Haag 2006.

RWS, 2007: Gevoeligheidsanalyse Rijn- en Maasmonding, analyse watersysteem:

Gevoeligheidsanalyse. RWS WD rapport 2007.005.

RWS, directie Zuid-Holland, 1999. Waterakkoord Hollandsche IJssel

RWS-RIZA. Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied. Deelrapport 1 t/m 10. RIZA rapport 99.047. Lelystad 1999

RWS. 2007. Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor Duinwaterkeringen. Eindrapport. RIKZ/2006.026.

Smale, A.J. 2014. Uitgangspunten productieberekeningen WTI-2017. Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013. Deltares rapport 1209433-001-HYE-0005. Delft 2014.

Tijssen, A. 2009. Herberekening werklijn Rijn in het kader van WTI-2011. Deltares rapport 1200103-044-ZWS-0008. Delft 2009.

Tijssen, A. 2009. Herberekening werklijn Maas in het kader van WTI-2011. Deltares rapport 1200103-044-ZWS-0007. Delft 2009

Tijssen, A. 2010. Memo Stormopzetduur bij Hoek van Holland - effecten op de toetspeilen. Deltares, 1202341-003-ZWS-0014, 15 april 2010

Urk, A van. 1993. De basispeilen langs de Nederlandse kust, eindverslag. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdenwateren /RIKZ, Report DGW-93,026

Van den Brink, 2015. Extrapolatie van de zeewaterstand in het Waddengebied. KNMI, 8 juli 2015

Van Geer, P. en Diermanse F., 2015. Kalibratie van semi-probabilistisch toetsvoorschrift voor duinen. Deltares rapport 1220080-008-ZWS-0002. Delft 2015.

Van Vuren, S. et al, 2009. Ruimte voor de Overijsselse Vecht. Ontwikkeling hydraulisch model en blokkendoos ten behoeve van verkenning rivierversuiming. HKV en Arcadis rapport PR1542. 2009.

Volker, W.F, 1987. Statistiek van wind en waterstanden in Hoek van Holland. Tweede concept. W.F. Volker. 20 mei 1987.

Vrouwenvelder en Vrijling, 2001. Kansen, onzekerheden en hun interpretatie. Memorandum 2000-CON-DYN/M2107. Delft, 31 januari 2001

Vrouwenvelder, A.C.W.M., Steenbergen, H.M.G.M en Diermanse, F.L.M. 2003. Belastingmodellen Westerschelde en Waddenzee. Vergelijking Hydra-K en PC-Ring (inclusief resultaten aanvullende studie).

Vrouwenvelder A.C.W.M., 1994. Statistisch model voor seicheshoogten ten behoeve van de kering in de Nieuwe Waterweg. 4.21.3.8581, Rijkswaterstaat/RIKZ en TU-Delft.

Vrouwenvelder, A.C.W.M. en Steenbergen, H.M.G.M, 2007. Kansberekeningen meetstation OS11. TNO-rapport 2007-D-R0833/B. TNO-Bouw, augustus 2007.

Waal, de J.P., 2007. Hydraulische Randvoorwaarden voor de Benedenrivieren. RIZA rapport 2007.023

Weerts, A. en Diermanse, F., 2004. Golfstatistiek op diepwater 2002. Fase 2: samenstellen bestanden simultane waarnemingen. Rapport Q3770; 2004.

WL | Delft Hydraulics 1997. Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie, verslagen fasen 1 t/m 5. H3211

Zijl F., Kerkhoven, D., Visser, T., van der Kraan, 2010. Waqua-model Rijn-Maasmonding, opzet, calibratie en verificatie, Deltares, 1202199-005.

A Wind-waterstatistiek Hoek van Holland

Paramaters Kr(u) voor wind-waterstandstatistiek, exclusief Volker factor

Schiphol, nieuw, Kr(u), exclusief Volkerfactor (N.B.: alleen betekenisvol voor ZW t/m N)

richting	N 16	NNO 1	NO 2	ONO 3	O 4	OZO 5	ZO 6	ZZO 7	Z 8	ZZW 9	ZW 10	WZW 11	W 12	WNW 13	NW 14	NNW 15
P(r)	0,026873	0,029406	0,038129	0,060007	0,052761	0,043827	0,052198	0,066760	0,091453	0,122617	0,112135	0,103342	0,075624	0,049736	0,040521	0,034611
0	-1,5438	-3,2917	-2,5971	-3,0667	-3,3768	-3,4378	-4,6835	-4,2309	-4,1165	-4,6778	-2,7119	-2,8916	-1,3211	-1,1895	-1,2366	-1,3167
1	-1,0221	-2,5751	-2,1959	-2,4883	-2,6587	-2,6439	-3,7911	-3,3080	-3,3360	-3,8185	-2,1725	-2,1897	-1,0286	-0,7938	-0,7050	-0,7447
2	-0,5005	-1,8584	-1,7946	-1,9098	-1,9405	-1,8501	-2,8988	-2,3852	-2,5555	-2,9592	-1,6331	-1,4878	-0,7360	-0,3981	-0,1734	-0,1727
3	0,0212	-1,1418	-1,3934	-1,3314	-1,2224	-1,0562	-2,0065	-1,4623	-1,7750	-2,1000	-1,0936	-0,7859	-0,4435	-0,0024	0,3582	0,3993
4	0,4516	-0,5099	-0,8559	-0,8196	-0,5931	-0,4326	-0,7755	-0,7435	-1,0347	-1,5167	-0,5723	-0,3957	-0,1025	0,2493	0,6689	0,8045
5	0,8322	0,0450	-0,3982	-0,3564	-0,0316	0,2537	0,2454	-0,0280	-0,2859	-0,8069	-0,1209	-0,0943	0,0977	0,5189	0,9693	1,1444
6	1,1909	0,6122	0,0310	0,1247	0,4402	0,8665	1,1905	0,5473	0,3497	-0,2837	0,1702	0,1747	0,3476	0,7507	1,2409	1,4163
7	1,4895	1,1908	0,5657	0,6047	0,9835	1,6920	2,3512	1,2763	1,0769	0,2910	0,5015	0,4782	0,5403	1,0219	1,5398	1,6895
8	1,8227	1,7445	1,1560	1,0896	1,7258	2,5715	3,6000	2,0737	1,7419	0,8846	0,7887	0,7590	0,7523	1,2630	1,8488	1,9931
9	2,1483	2,2597	1,6942	1,5139	2,4831	3,3317	4,7867	2,8565	2,4627	1,4066	1,0757	1,0556	1,0204	1,5014	2,2041	2,4166
10	2,3620	2,6966	2,3512	2,2453	3,0012	3,7704	5,6496	3,7288	3,2492	2,1051	1,3563	1,3894	1,2389	1,7459	2,5043	2,7150
11	2,7557	3,2663	2,9488	2,7614	3,5575	4,0685	6,2704	4,2778	3,9660	2,8090	1,6532	1,7311	1,4789	2,0455	2,8305	3,1363
12	2,9112	3,7336	3,4254	3,4800	3,9173	4,2468	6,6671	4,6845	4,5215	3,5697	1,9491	2,0820	1,6955	2,3122	3,1810	3,4599
13	2,9962	4,0889	3,7734	3,8477	4,1213	4,3604	6,8961	4,9578	5,0905	4,1192	2,3544	2,5032	1,9568	2,6091	3,5287	3,7643
14	3,1626	4,3366	3,9987	4,0684	5,5521	7,3296	10,6133	5,1289	5,4863	4,5660	2,7266	2,8874	2,2662	2,9695	3,8281	3,9783
15	3,3187	4,5219	4,1482	4,1833	13,3052	14,5915	16,2548	9,5306	5,7354	5,0930	3,0391	3,3831	2,5885	3,2608	4,0641	4,1968
16	3,4661	6,9043	7,8007	10,7861	16,8978	17,6772	18,5057	15,1898	5,8810	5,4777	3,4963	3,7823	2,7948	3,4458	4,3297	4,4238
17	3,6118	13,4939	14,2503	15,5454	18,5625	18,9963	19,4038	17,7726	5,9648	5,7525	3,8598	4,0118	3,1019	3,6490	4,5915	4,6529
18	3,7737	16,7269	17,2857	17,8462	19,3339	19,5637	19,7621	18,9613	7,7732	5,9388	4,2143	4,3258	3,3031	3,8546	4,8673	4,8824
19	3,9672	18,3331	18,7166	18,9585	19,6914	19,8092	19,9051	19,5125	14,0451	6,0583	4,5676	4,5091	3,5216	4,1388	5,1430	5,2049
20	4,1646	19,1412	19,3922	19,4964	19,8570	19,9161	19,9621	19,7699	17,0998	6,1332	4,8543	4,8277	3,7294	4,4185	5,5062	5,5456
21	4,3651	19,5528	19,7118	19,7564	19,9337	19,9629	19,9849	19,8909	18,5875	6,1772	5,1267	5,1480	3,9389	4,7111	5,8714	5,8887
22	4,5652	19,7648	19,8631	19,8822	19,9693	19,9835	19,9940	19,9480	19,3121	7,2574	5,3906	5,4632	4,1500	4,9919	6,2394	6,2302
23	4,7686	19,8752	19,9349	19,9430	19,9858	19,9926	19,9976	19,9752	19,6650	12,5028	5,6793	5,7740	4,3626	5,2905	6,6154	6,5781
24	4,9751	19,9333	19,9690	19,9724	19,9934	19,9967	19,9990	19,9881	19,8368	15,5879	5,9524	6,0902	4,5764	5,5831	6,9973	6,9338
25	5,1810	19,9641	19,9852	19,9867	19,9969	19,9985	19,9996	19,9943	19,9205	17,4031	6,2234	6,4001	4,7912	5,8875	7,3855	7,2934
26	5,3899	19,9806	19,9929	19,9935	19,9986	19,9993	19,9998	19,9972	19,9613	18,4712	6,5076	6,7274	5,0109	6,1827	7,7785	7,6542
27	5,6024	19,9894	19,9966	19,9969	19,9993	19,9997	20,0001	19,9987	19,9811	19,0999	6,7776	7,0382	5,2366	6,4899	8,1776	8,0155
28	5,8201	19,9942	19,9984	19,9985	19,9997	20,0001	20,0003	19,9994	19,9908	19,4700	7,0610	7,3623	5,4629	6,7908	8,5794	8,3837
29	6,0421	19,9968	19,9992	19,9993	19,9999	20,0004	20,0005	19,9997	19,9955	19,6879	7,3399	7,6938	5,6897	7,1079	8,9844	8,7616
30	6,2664	19,9983	19,9996	19,9996	20,0000	20,0008	20,0008	19,9998	19,9978	19,8162	7,6052	8,0124	5,9168	7,4132	9,3963	9,1409
31	6,4888	19,9990	19,9998	19,9998	20,0002	20,0012	20,0010	19,9999	19,9989	19,8917	7,8985	8,3422	6,1438	7,7316	9,8135	9,5217
32	6,7138	19,9995	20,0000	20,0000	20,0003	20,0015	20,0012	20,0000	19,9995	19,9362	8,1767	8,6717	6,3708	8,0448	10,2345	9,9053

33	6,9389	19,9997	20,0002	20,0002	20,0005	20,0019	20,0015	20,0001	19,9997	19,9624	8,4511	8,9977	6,5974	8,3655	10,6623	10,2948
34	7,1627	19,9998	20,0004	20,0004	20,0007	20,0023	20,0017	20,0002	20,0000	19,9779	8,7370	9,3321	6,8358	8,6902	11,0926	10,6865
35	7,3885	19,9999	20,0006	20,0006	20,0008	20,0026	20,0019	20,0002	20,0003	19,9870	9,0232	9,6631	7,0744	9,0061	11,5242	11,0802
36	7,6201	20,0000	20,0008	20,0007	20,0010	20,0030	20,0021	20,0003	20,0005	19,9923	9,3041	9,9931	7,3118	9,3367	11,9608	11,4783
37	7,8584	20,0001	20,0010	20,0009	20,0012	20,0034	20,0024	20,0004	20,0008	19,9955	9,5769	10,3326	7,5478	9,6661	12,3987	11,8814
38	8,0976	20,0001	20,0012	20,0011	20,0013	20,0037	20,0026	20,0005	20,0011	19,9973	9,8796	10,6614	7,7824	9,9922	12,8466	12,2863
39	8,3368	20,0002	20,0014	20,0013	20,0015	20,0041	20,0028	20,0005	20,0013	19,9984	10,1652	10,9940	8,0241	10,3300	13,2984	12,6932
40	8,5760	20,0003	20,0016	20,0015	20,0017	20,0045	20,0031	20,0006	20,0016	19,9991	10,4463	11,3410	8,2730	10,6624	13,7503	13,1056
41	8,8152	20,0003	20,0017	20,0017	20,0018	20,0048	20,0033	20,0007	20,0019	19,9995	10,7429	11,6792	8,5190	10,9952	14,2013	13,5204
42	9,0543	20,0004	20,0019	20,0018	20,0020	20,0052	20,0035	20,0008	20,0021	19,9997	11,0365	12,0065	8,7622	11,3409	14,6678	13,9365

Parameters Kr(u) voor wind-waterstandstatistiek, inclusief Volker factor

Schiphol, nieuw, Kr(u), inclusief Volkerfactor (N.B.: alleen betekenisvol voor ZW t/m N)																
richting	N 16	NNO 1	NO 2	ONO 3	O 4	OZO 5	ZO 6	ZZO 7	Z 8	ZZW 9	ZW 10	WZW 11	W 12	WNW 13	NW 14	NNW 15
P(r)	0,026873	0,029406	0,038129	0,060007	0,052761	0,043827	0,052198	0,066760	0,091453	0,122617	0,112135	0,103342	0,075624	0,049736	0,040521	0,034611
0	-1,5438	-3,2917	-2,5971	-3,0667	-3,3768	-3,4378	-4,6835	-4,2309	-4,1165	-4,6778	-2,7119	-2,8916	-1,3211	-1,1895	-1,2366	-1,3167
1	-1,0221	-2,5751	-2,1959	-2,4883	-2,6587	-2,6439	-3,7911	-3,3080	-3,3360	-3,8185	-2,1725	-2,1897	-1,0286	-0,7938	-0,7050	-0,7447
2	-0,5005	-1,8584	-1,7946	-1,9098	-1,9405	-1,8501	-2,8988	-2,3852	-2,5555	-2,9592	-1,6331	-1,4878	-0,7360	-0,3981	-0,1734	-0,1727
3	0,0212	-1,1418	-1,3934	-1,3314	-1,2224	-1,0562	-2,0065	-1,4623	-1,7750	-2,1000	-1,0936	-0,7859	-0,4435	-0,0024	0,3582	0,3993
4	0,4516	-0,5099	-0,8559	-0,8196	-0,5931	-0,4326	-0,7755	-0,7435	-1,0347	-1,5167	-0,5723	-0,3957	-0,1025	0,2493	0,6689	0,8045
5	0,8322	0,0450	-0,3982	-0,3564	-0,0316	0,2537	0,2454	-0,0280	-0,2859	-0,8069	-0,1209	-0,0943	0,0977	0,5189	0,9693	1,1444
6	1,1909	0,6122	0,0310	0,1247	0,4402	0,8665	1,1905	0,5473	0,3497	-0,2837	0,1702	0,1747	0,3476	0,7507	1,2409	1,4163
7	1,4895	1,1908	0,5657	0,6047	0,9835	1,6920	2,3512	1,2763	1,0769	0,2910	0,5015	0,4782	0,5403	1,0219	1,5398	1,6895
8	1,8996	1,7445	1,1560	1,0896	1,7258	2,5715	3,6000	2,0737	1,7419	0,8846	0,7887	0,7590	0,7523	1,2630	1,8488	1,9931
9	2,2862	2,2597	1,6942	1,5139	2,4831	3,3317	4,7867	2,8565	2,4627	1,4066	1,0757	1,0556	1,0204	1,5014	2,2041	2,5068
10	2,5575	2,6966	2,3512	2,2453	3,0012	3,7704	5,6496	3,7288	3,2492	2,1051	1,3563	1,3894	1,2389	1,7459	2,5043	2,8811
11	2,9623	3,2663	2,9488	2,7614	3,5575	4,0685	6,2704	4,2778	3,9660	2,8090	1,6532	1,7311	1,4789	2,0455	2,9168	3,3607
12	3,1528	3,7336	3,4254	3,4800	3,9173	4,2468	6,6671	4,6845	4,5215	3,5697	1,9491	2,0820	1,6955	2,3122	3,3408	3,7565
13	3,2286	4,0889	3,7734	3,8477	4,1213	4,3604	6,8961	4,9578	5,0905	4,1192	2,3544	2,5032	1,9568	2,6853	3,7572	4,1712
14	3,3777	4,3366	3,9987	4,0684	5,5521	7,3296	10,6133	5,1289	5,4863	4,5660	2,7266	2,8874	2,2662	3,1024	4,1640	4,3922
15	3,5380	4,5219	4,1482	4,1833	13,3052	14,5915	16,2548	9,5306	5,7354	5,0930	3,0391	3,3831	2,6492	3,4530	4,5242	4,6193
16	3,6948	6,9043	7,8007	10,7861	16,8978	17,6772	18,5057	15,1898	5,8810	5,4777	3,5726	3,8590	2,9067	3,7253	4,7884	4,8500
17	3,8460	13,4939	14,2503	15,5454	18,5625	18,9963	19,4038	17,7726	5,9648	5,7525	3,9947	4,1519	3,2473	4,0303	5,0668	5,0813
18	3,9939	16,7269	17,2857	17,8462	19,3339	19,5637	19,7621	18,9613	7,7732	5,9388	4,4106	4,5241	3,5207	4,2431	5,3468	5,3128
19	4,1928	18,3331	18,7166	18,9585	19,6914	19,8092	19,9051	19,5125	14,0451	6,0583	4,8302	4,7838	3,8135	4,5313	5,6266	5,6474
20	4,3937	19,1412	19,3922	19,4964	19,8570	19,9161	19,9621	19,7699	17,0998	6,1332	5,1925	5,2058	4,0269	4,8121	5,9921	5,9876
21	4,5935	19,5528	19,7118	19,7564	19,9337	19,9629	19,9849	19,8909	18,5875	6,1772	5,4675	5,5377	4,2421	5,1080	6,3674	6,3389
22	4,7975	19,7648	19,8631	19,8822	19,9693	19,9835	19,9940	19,9480	19,3121	7,2574	5,7454	5,8561	4,4590	5,3952	6,7496	6,6888
23	5,0068	19,8752	19,9349	19,9430	19,9858	19,9926	19,9976	19,9752	19,6650	12,5028	6,0182	6,1689	4,6774	5,7014	7,1349	7,0399
24	5,2161	19,9333	19,9690	19,9724	19,9934	19,9967	19,9990	19,9881	19,8368	15,5879	6,2995	6,4888	4,8970	5,9938	7,5231	7,3968
25	5,4312	19,9641	19,9852	19,9867	19,9969	19,9985	19,9996	19,9943	19,9205	17,4031	6,5727	6,8033	5,1175	6,3022	7,9184	7,7643
26	5,6492	19,9806	19,9929	19,9935	19,9986	19,9993	19,9998	19,9972	19,9613	18,4712	6,8506	7,1287	5,3389	6,5973	8,3185	8,1323
27	5,8658	19,9894	19,9966	19,9969	19,9993	19,9997	20,0001	19,9987	19,9811	19,0999	7,1308	7,4453	5,5608	6,9151	8,7215	8,5028
28	6,0862	19,9942	19,9984	19,9985	19,9997	20,0001	20,0003	19,9994	19,9908	19,4700	7,4049	7,7724	5,7831	7,2210	9,1295	8,8788
29	6,3078	19,9968	19,9992	19,9993	19,9999	20,0004	20,0005	19,9997	19,9955	19,6879	7,6878	8,1050	6,0085	7,5376	9,5434	9,2563
30	6,5285	19,9983	19,9996	19,9996	20,0000	20,0008	20,0008	19,9998	19,9978	19,8162	7,9625	8,4245	6,2428	7,8496	9,9595	9,6356
31	6,7517	19,9990	19,9998	19,9998	20,0002	20,0012	20,0010	19,9999	19,9989	19,8917	8,2501	8,7541	6,4768	8,1669	10,3789	10,0196

32	6,9741	19,9995	20,0000	20,0000	20,0003	20,0015	20,0012	20,0000	19,9995	19,9362	8,5306	9,0918	6,7101	8,4915	10,8048	10,4091
33	7,1958	19,9997	20,0002	20,0002	20,0005	20,0019	20,0015	20,0001	19,9997	19,9624	8,7952	9,4206	6,9427	8,8072	11,2380	10,8007
34	7,4328	19,9998	20,0004	20,0004	20,0007	20,0023	20,0017	20,0002	20,0000	19,9779	9,0962	9,7548	7,1745	9,1365	11,6734	11,1958
35	7,6681	19,9999	20,0006	20,0006	20,0008	20,0026	20,0019	20,0002	20,0003	19,9870	9,3795	10,0909	7,4078	9,4624	12,1141	11,5963
36	7,9035	20,0000	20,0008	20,0007	20,0010	20,0030	20,0021	20,0003	20,0005	19,9923	9,6540	10,4241	7,6523	9,7890	12,5550	11,9994
37	8,1384	20,0001	20,0010	20,0009	20,0012	20,0034	20,0024	20,0004	20,0008	19,9955	9,9463	10,7613	7,8951	10,1263	12,9966	12,4054
38	8,3734	20,0001	20,0012	20,0011	20,0013	20,0037	20,0026	20,0005	20,0011	19,9973	10,2415	11,0999	8,1368	10,4575	13,4524	12,8142
39	8,6084	20,0002	20,0014	20,0013	20,0015	20,0041	20,0028	20,0005	20,0013	19,9984	10,5293	11,4356	8,3768	10,7883	13,9079	13,2298
40	8,8434	20,0003	20,0016	20,0015	20,0017	20,0045	20,0031	20,0006	20,0016	19,9991	10,8076	11,7760	8,6214	11,1332	14,3630	13,6467
41	9,0784	20,0003	20,0017	20,0017	20,0018	20,0048	20,0033	20,0007	20,0019	19,9995	11,1141	12,1179	8,8737	11,4736	14,8246	14,0650
42	9,3134	20,0004	20,0019	20,0018	20,0020	20,0052	20,0035	20,0008	20,0021	19,9997	11,4009	12,4524	9,1226	11,8094	15,2926	14,4832

B Memo KNMI: extrapolatie van de waterstand in het Waddengebied

Extrapolatie van de waterstand in het Waddengebied

Henk van den Brink

KNMI

8 juli 2015

Probleemstelling

De onzekerheid in de extrapolatie is ongewenst groot bij het gebruik van een 3-parameter (Extreme Waarden) verdeling. Het zou wenselijk zijn als deze verkleind kan worden door fixatie van de vormparameter ("krommingsterm"). Vastzetten van de vormparameter op de waarde 0 leidt tot de Exponentiele verdeling voor de GPD familie, en tot de Gumbel verdeling voor de GEV familie.

De Exponentiele verdeling geeft nagenoeg dezelfde waarden voor 10^4 jaar als die volgt uit het Basispeilen-onderzoek uit 1985 voor de Hollandse kust (Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden). Voor het waddengebied (Harlingen, Delfzijl) wijzen de observaties naar een neerwaartse kromming. Negering van deze kromming leidt tot aanzienlijke hogere basispeilen dan die momenteel gehandhaafd worden.

Benadering

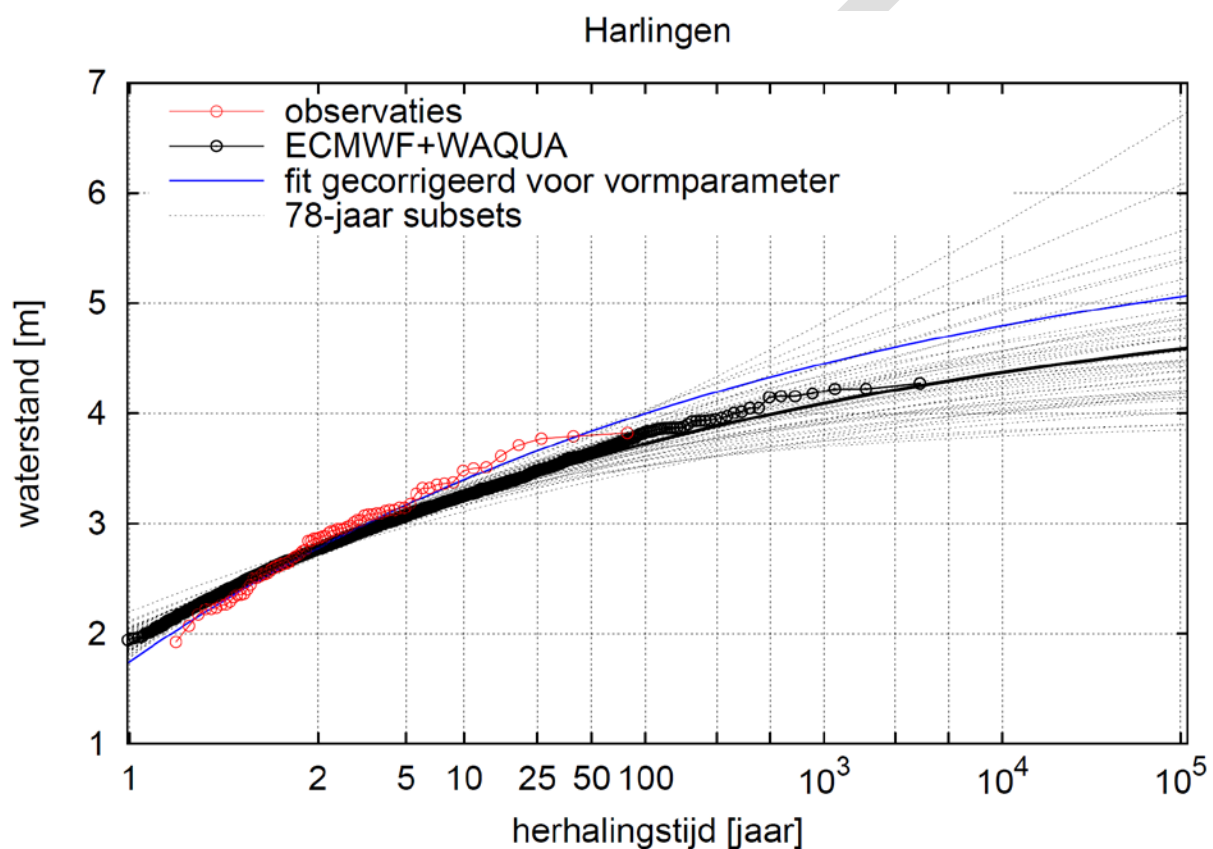
Van den Brink & Können (2008, 2011) hebben aangetoond dat reeksen die korter zijn dan 100 jaar niet nauwkeurig geëxtrapoleerd kunnen worden met een 3-parameter verdeling. Om de neerwaartse kromming van de verdeling voor het Waddengebied toch te honoreren, onderzoeken we of de dataset van 3439 jaar, gebaseerd op de operationele versie van WAQUA¹ en de seizoensverwachtingen van het ECMWF (die we hieronder aanduiden als 'het model'), aanwijzingen geven voor eenzelfde neerwaartse kromming, zodat de vormparameter gefixeerd kan worden, waardoor deze niet doorwerkt in de onzekerheidsband.

¹ DCSM versie 5

Resultaten

Harlingen

Figuur 1 laat de Gumbelplot voor Harlingen zien voor de 78 geobserveerde jaarmaxima (rood), voor de 3439 jaarmaxima van het model (zwart), en voor deze 3439 jaarmaxima gesplitst in 44 subsets van elk 78 jaar. Te zien is dat de helling van de fit (i.e., de schaalparameter) aan de modeluitvoer te laag is vergeleken met de observaties, maar dat de kromming goed overeenkomt. Ook blijkt dat de extrapolatie van de waarnemingen valt binnen de waaier van extrapolaties op basis van de 78-jarige subsets. Fixatie van de vormparameter van de observaties op de waarde van het model (0.12 ± 0.01) levert de blauwe lijn in Figuur 1 op, die heel dicht ligt bij de lijn uit het Basispeilen-rapport (gebaseerd op visuele vergelijking).

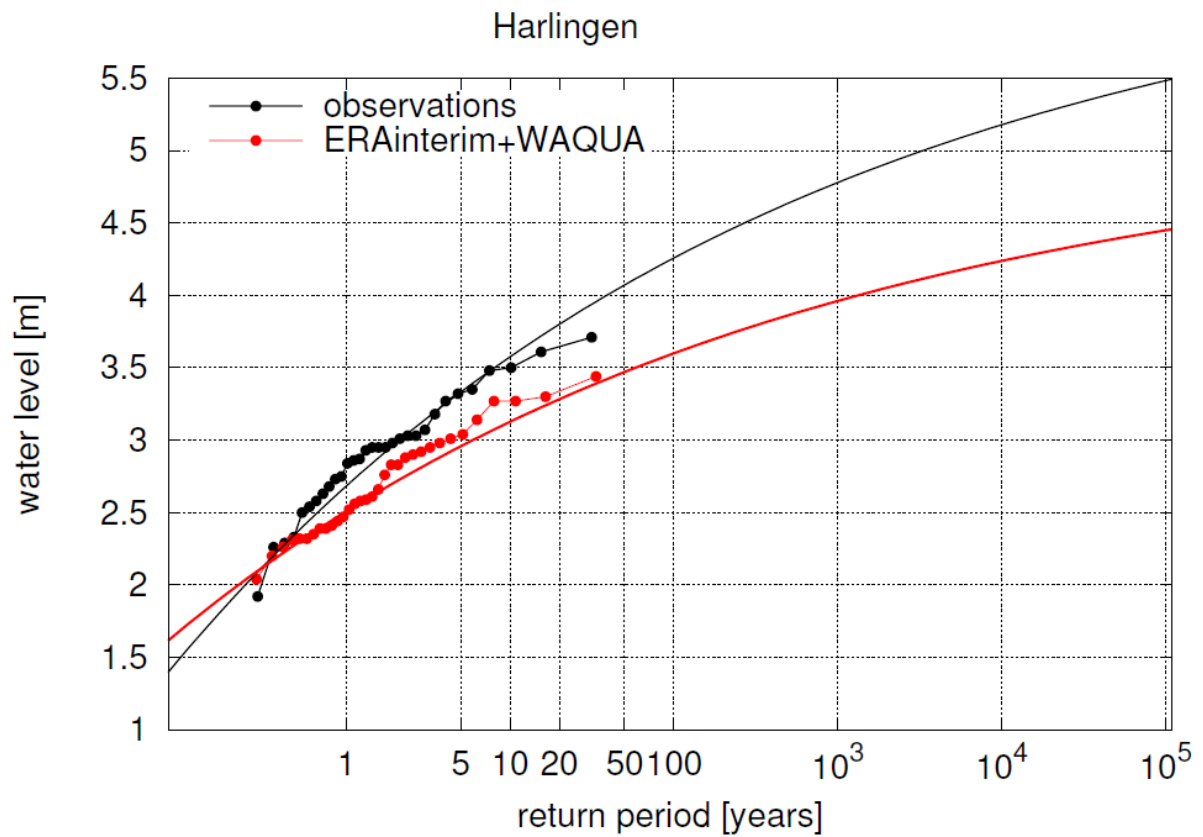


Figuur 1: Gumbelplot van de jaarmaxima in Harlingen. Rood: 78 jaar observaties, zwart: 3439 jaar ECMWF+WAQUA, stippelijnen: GEV extrapolaties vanuit 45 subsets van elk 78 jaar. Blauw: GEV fit aan de observaties met de vormparameter van het model,

Door WAQUA aan te drijven met ERA-Interim (die de beste consistente representatie geeft van het weer van de afgelopen 35 jaar, gebruik makend van hetzelfde ECMWF model), kan een rechtstreekse vergelijking van de waargenomen en gemodelleerde waterstanden plaatsvinden.

Figuur 2 geeft de Gumbelplot voor de periode 1979-2011. Hier vallen twee dingen op. Ten eerste is de afvlakking die de observaties laten zien voor de hoogste maxima ook zichtbaar in de modeluitvoer. Ten tweede blijkt de helling van de Gumbelfit voor het model inderdaad ook in de ERA-Interim periode te laag te zijn, in dezelfde mate als in Figuur 1. Vermoedelijk heeft dit te maken met de horizontale resolutie van ERA-Interim/ECMWF, waardoor boven het Waddengebied een wind berekend wordt die geldt boven land, resulterend in te lage wind. Dit geldt ook langs de

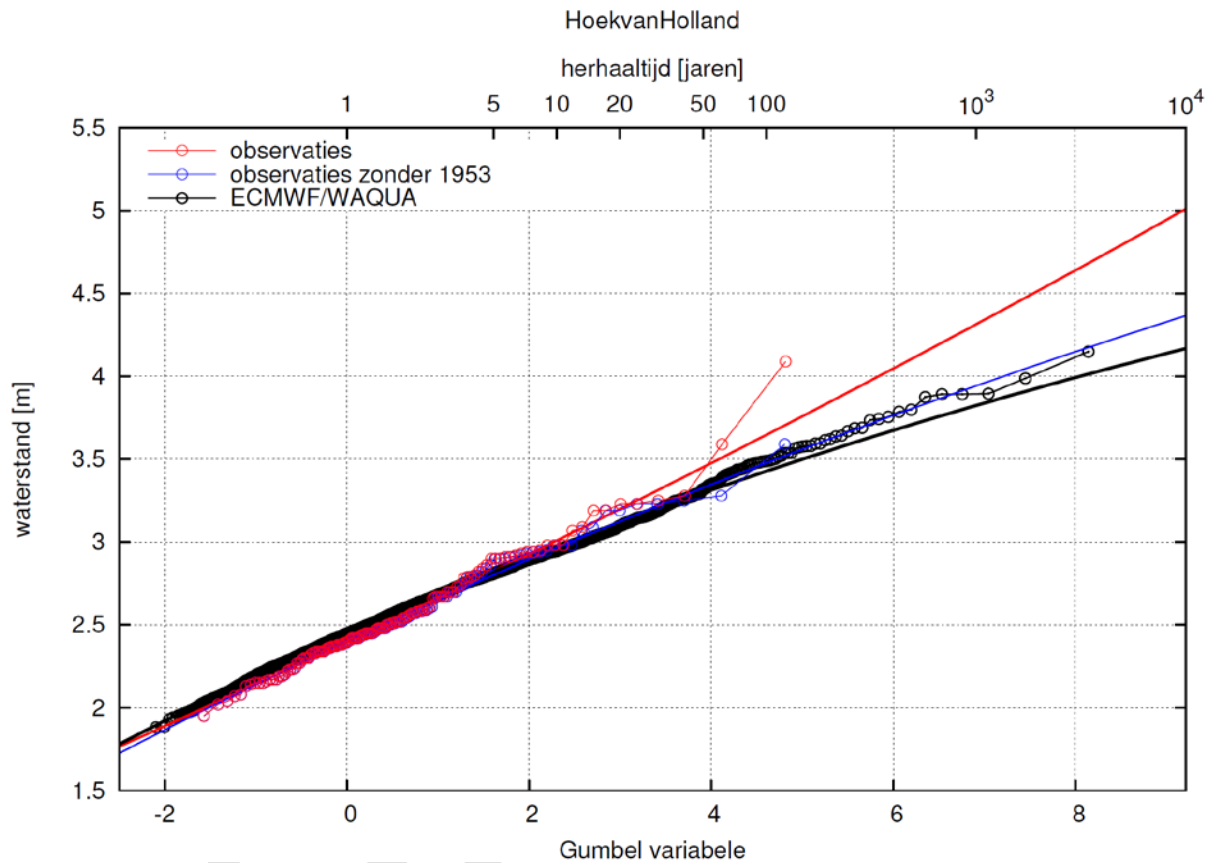
Hollandse kust, maar de waterstanden in het Waddengebied zijn veel gevoeliger voor de lokale wind dan die langs de Hollandse kust.



Figuur 2: Gumbelplot voor de waargenomen (rood) en gemodelleerde (zwart) waterstanden in Harlingen voor 1979-2011. De lijnen geven de GEV fit met de vormparameter gefixeerd op 0.12.

Hoek van Holland

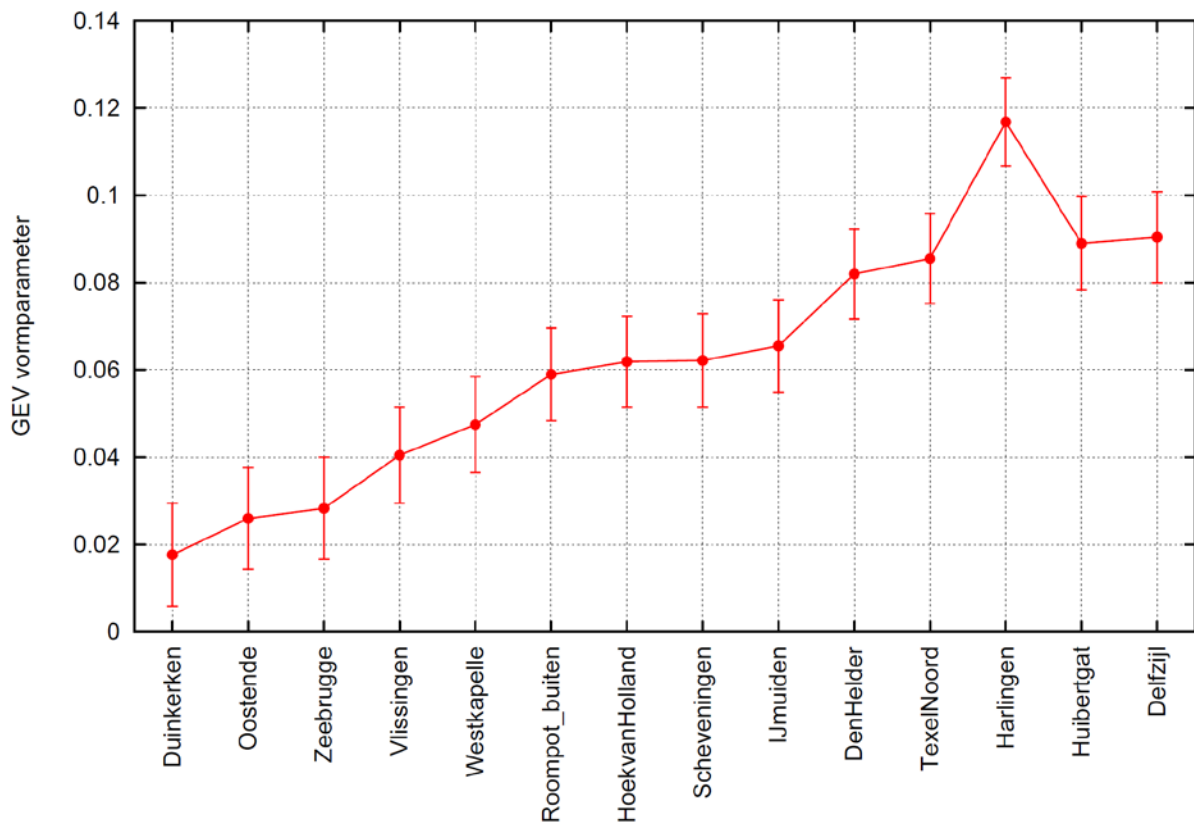
Figuur 3 geeft de Gumbelplot voor de waterstand in Hoek van Holland. De observaties geven een hogere fit dan het model, maar dit kan volledig toegeschreven worden aan de grote invloed die de waterstand van 1953 heeft, zowel op de fit als op de visuele weergave in een Gumbelplot. Om dit te illustreren, is in Figuur 3 ook weergegeven (in blauw) hoe de punten en fit eruit zouden zien als '1953' buiten beschouwing wordt gelaten.



Figuur 3: Gumbelplot aan de waarnemingen (rood) en het model (zwart). Buiten beschouwing laten van '1953' resulteert in de blauwe punten + lijn.

Vormparameter

De GEV vormparameter, geschat uit de 3439 jaarmaxima van het model, is voor een groot aantal kuststations weergegeven in Figuur 4. Hier vallen een aantal dingen op. Ten eerste is de vormparameter overal positief (neerwaarts gekromd), waarbij de kromming toeneemt van zuid-west naar noord-oost². Ten tweede is de vormparameter vanaf Den Helder tot Delfzijl sterker gekromd dan langs de Hollandse kust. Ten derde is de uitschieter voor Harlingen opmerkelijk. Dit lijkt een aanwijzing dat hier lokale effecten een grote rol spelen.

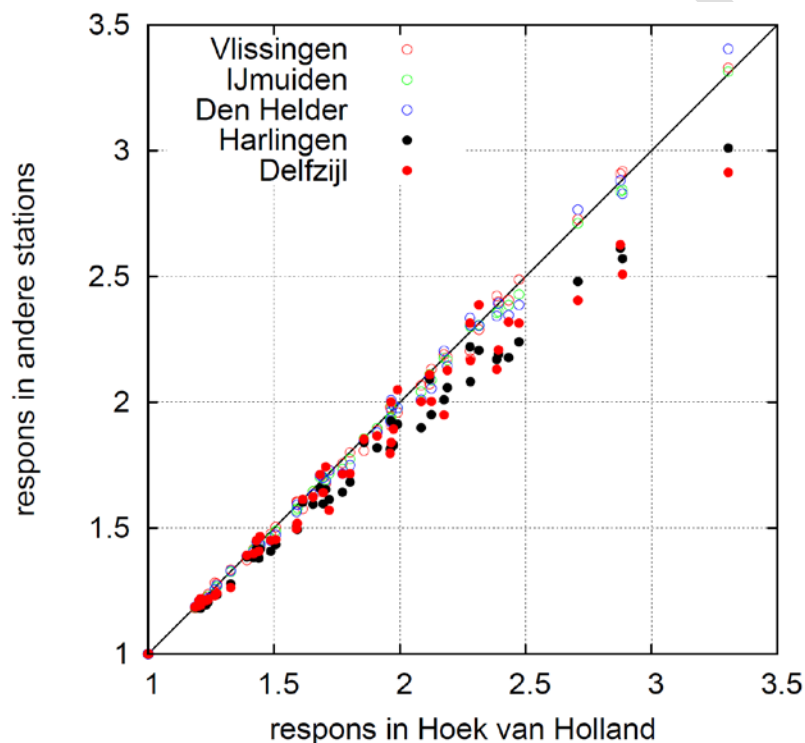


Figuur 4: GEV vormparameter ("krommingsterm") van de waterstand voor verschillende locaties langs de kust. Een vormparameter van 0 correspondeert met een lineaire extrapolatie. De verticale lijnen geven de standaard fout weer.

² Om een gevoel voor de grootte te geven: een vormparameter van 0.1 geeft een 10⁴-jaar schatting die ongeveer 1 meter lager is dan een vormparameter van 0.

Opschaling

De sterkere kromming in het Waddengebied impliceert dat voor extreme situaties de waterbeweging een belemmerende factor wordt, en de waterstand niet (meer volledig) gedomineerd wordt door de sterkte van het windveld, terwijl de waterbeweging voor de Hollandse kust geen belemmering vormt. Om dit te onderzoeken zijn de stormen die de 10 hoogste wateropzettingen in Hoek van Holland veroorzaakten, geanalyseerd³. Het windveld van de genoemde 10 stormen is in stappen van 0.1 vermenigvuldigd tot een factor 2. Figuur 5 geeft aan hoe de maximale waterstand toeneemt ten opzichte van het ongestoorde windveld als functie van de toename in referentie station Hoek van Holland. Te zien is dat de stations langs de Hollandse kust dezelfde toename in waterstand geven als Hoek van Holland, maar dat Harlingen en Delfzijl voor extreme situaties minder respons geven op dezelfde forcering dan Hoek van Holland. Dit bevestigt het beeld dat er een fysisch mechanisme ten grondslag ligt aan de neerwaartse kromming van de waterstanden in het Waddengebied.



Figuur 5: Relatieve toename van de maximale waterstand bij opschaling van het wind- en drukveld voor de stormen die de 10 hoogste waterstanden in Hoek van Holland veroorzaakten. Zie de tekst voor verdere uitleg.

³ Het astronomisch getij is in dit onderzoek uitgeschakeld, zodat de berekende waterstand alleen een respons is op het wind- en drukveld, en interactie met het getij geen rol speelt.

Conclusie

De 3439 jaar van het ECMWF model zijn doorgerekend met WAQUA. Vooral voor Hoek van Holland is er een goede overeenkomst tussen model en waarnemingen. De extreme waterstanden laten zien dat de neerwaartse kromming sterker is in het Waddengebied dan langs de Hollandse kust. Dit beeld wordt bevestigd door opgeschaalde extreme stormen, die voor het Waddengebied tot minder waterstandstoename leiden dan langs de Hollandse kust. Dit ondersteunt de aanname dat de neerwaartse kromming van de extrapolatie een fysische basis heeft, en derhalve niet als vrije parameter in de onzekerheidsberekening hoeft worden meegenomen.

Aanbeveling

Een verdere onderzoek of de waterbeweging beperkend is in het Waddengebied kan plaatsvinden door te bepalen of de respons voor Harlingen en Delfzijl wél schaalt met die in Hoek van Holland als het windveld gedurende lange tijd constant gehouden wordt.

Literatuur

- van den Brink, H. W., and G. P. Können (2008), The statistical distribution of meteorological outliers, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L23702, doi:10.1029/2008GL035967
- van den Brink, H. W. and Können, G. P. (2011), Estimating 10000-year return values from short time series. *Int. J. Climatol.*, 31: 115–126. doi: 10.1002/joc.2047

C Schattingen betrouwbaarheidsintervallen zeewaterstanden

Deze bijlage bevat de eindtabellen in een format analoog aan dat uit (Geerse en Wojciechowska, 2014;2015). Achtereenvolgens betreft het de stations:

- Hansweert
- Vlissingen
- OS11
- Hoek van Holland
- IJmuiden Buitenhaven
- Den Helder
- Den Oever
- Den Oever A
- Terschelling
- Terschelling A
- Harlingen
- Lauwersoog
- Huibertgat
- Delfzijl

Hansweert														
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages											
r = omni	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	4.29	4.29	4.24	4.25	4.26	4.27	4.28	4.29	4.29	4.30	4.31	4.31	4.33	4.34
100	4.93	4.94	4.79	4.81	4.84	4.87	4.89	4.91	4.93	4.95	4.97	5.00	5.04	5.07
1000	5.59	5.59	5.31	5.35	5.40	5.46	5.51	5.55	5.59	5.63	5.67	5.72	5.80	5.86
10000	6.25	6.27	5.79	5.85	5.93	6.04	6.11	6.18	6.25	6.32	6.39	6.48	6.62	6.73
100000	6.92	6.95	6.23	6.33	6.45	6.60	6.72	6.82	6.92	7.03	7.14	7.28	7.50	7.68
r = 210	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	3.30	3.30	3.28	3.28	3.29	3.29	3.30	3.30	3.30	3.31	3.31	3.32	3.32	3.33
100	3.67	3.67	3.59	3.60	3.61	3.63	3.64	3.66	3.67	3.68	3.69	3.70	3.72	3.74
1000	4.02	4.02	3.87	3.89	3.92	3.95	3.98	4.00	4.02	4.04	4.06	4.09	4.13	4.17
10000	4.36	4.37	4.12	4.16	4.20	4.26	4.30	4.33	4.36	4.40	4.44	4.48	4.55	4.61
100000	4.70	4.72	4.36	4.41	4.47	4.54	4.60	4.65	4.70	4.76	4.81	4.88	4.99	5.08
r = 240	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	3.66	3.66	3.63	3.63	3.64	3.65	3.65	3.66	3.66	3.67	3.67	3.68	3.69	3.69
100	4.10	4.11	4.01	4.02	4.04	4.06	4.08	4.09	4.10	4.12	4.13	4.15	4.17	4.19
1000	4.54	4.54	4.35	4.38	4.41	4.45	4.49	4.51	4.54	4.56	4.59	4.63	4.68	4.72
10000	4.96	4.97	4.67	4.71	4.76	4.83	4.88	4.92	4.96	5.01	5.05	5.11	5.19	5.27
100000	5.38	5.40	4.95	5.01	5.09	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.52	5.60	5.73	5.84
r = 270	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	3.93	3.93	3.89	3.89	3.90	3.91	3.92	3.93	3.93	3.94	3.94	3.95	3.96	3.97
100	4.50	4.50	4.38	4.40	4.42	4.45	4.47	4.48	4.50	4.52	4.54	4.56	4.59	4.62
1000	5.05	5.06	4.82	4.86	4.90	4.95	4.99	5.02	5.05	5.09	5.12	5.17	5.23	5.29
10000	5.60	5.61	5.22	5.28	5.34	5.43	5.49	5.54	5.60	5.65	5.71	5.79	5.89	5.98
100000	6.13	6.15	5.59	5.66	5.76	5.88	5.97	6.05	6.13	6.21	6.30	6.41	6.57	6.71
r = 300	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	4.07	4.07	4.02	4.02	4.03	4.05	4.06	4.06	4.07	4.08	4.09	4.10	4.11	4.12
100	4.78	4.78	4.63	4.65	4.68	4.71	4.74	4.76	4.78	4.80	4.82	4.85	4.89	4.95
1000	5.47	5.48	5.18	5.22	5.27	5.34	5.39	5.43	5.47	5.51	5.56	5.61	5.69	5.76
10000	6.15	6.16	5.68	5.74	5.83	5.93	6.01	6.08	6.15	6.21	6.29	6.38	6.51	6.63
100000	6.81	6.84	6.13	6.23	6.35	6.50	6.61	6.71	6.81	6.91	7.03	7.16	7.37	7.54
r = 330	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	3.81	3.81	3.76	3.77	3.77	3.79	3.79	3.80	3.81	3.81	3.82	3.83	3.84	3.85
100	4.47	4.47	4.32	4.35	4.37	4.40	4.43	4.45	4.47	4.49	4.51	4.53	4.57	4.60
1000	5.12	5.13	4.84	4.88	4.93	5.00	5.04	5.08	5.12	5.16	5.20	5.26	5.33	5.40
10000	5.77	5.79	5.32	5.39	5.46	5.56	5.64	5.71	5.77	5.84	5.91	6.00	6.13	6.24
100000	6.42	6.45	5.76	5.85	5.97	6.11	6.22	6.32	6.42	6.52	6.63	6.77	6.97	7.14
r = 360	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	97.5%
10	3.31	3.31	3.27	3.28	3.28	3.29	3.30	3.30	3.31	3.31	3.32	3.32	3.33	3.34
100	3.78	3.78	3.68	3.69	3.71	3.73	3.75	3.76	3.78	3.79	3.81	3.83	3.85	3.87
1000	4.24	4.25	4.05	4.08	4.11	4.15	4.19	4.22	4.24	4.27	4.30	4.34	4.39	4.44
10000	4.70	4.71	4.38	4.43	4.48	4.55	4.61	4.65	4.70	4.75	4.80	4.86	4.95	5.03
100000	5.15	5.17	4.69	4.76	4.83	4.94	5.01	5.08	5.15	5.22	5.29	5.39	5.53	5.65

Vlissingen															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.02$	Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages													
r = omni	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.79	3.79	3.74	3.75	3.76	3.77	3.78	3.79	3.79	3.80	3.80	3.81	3.82	3.83	3.84
100	4.35	4.35	4.21	4.23	4.26	4.29	4.31	4.33	4.35	4.37	4.39	4.41	4.45	4.48	4.50
1000	4.90	4.91	4.64	4.68	4.72	4.78	4.83	4.86	4.90	4.94	4.98	5.03	5.10	5.16	5.22
10000	5.45	5.47	5.03	5.09	5.16	5.26	5.33	5.39	5.45	5.51	5.58	5.67	5.79	5.90	6.00
100000	6.00	6.03	5.38	5.47	5.57	5.71	5.81	5.91	6.00	6.09	6.20	6.33	6.52	6.69	6.85
r = 210	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.90	2.90	2.88	2.88	2.88	2.89	2.89	2.89	2.90	2.90	2.90	2.91	2.91	2.92	2.92
100	3.16	3.16	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.21	3.22	3.23
1000	3.41	3.42	3.30	3.31	3.33	3.36	3.38	3.40	3.41	3.43	3.45	3.47	3.51	3.53	3.56
10000	3.66	3.67	3.47	3.50	3.53	3.58	3.61	3.64	3.66	3.69	3.72	3.76	3.82	3.86	3.91
100000	3.91	3.92	3.63	3.67	3.72	3.78	3.83	3.87	3.91	3.95	3.99	4.05	4.13	4.21	4.27
r = 240	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.17	3.17	3.14	3.15	3.15	3.16	3.16	3.17	3.17	3.18	3.18	3.19	3.19	3.20	3.21
100	3.52	3.52	3.44	3.45	3.47	3.48	3.50	3.51	3.52	3.53	3.55	3.56	3.58	3.60	3.62
1000	3.86	3.86	3.70	3.72	3.75	3.79	3.81	3.83	3.86	3.88	3.90	3.93	3.97	4.01	4.04
10000	4.18	4.19	3.93	3.97	4.01	4.07	4.11	4.14	4.18	4.21	4.25	4.30	4.37	4.43	4.49
100000	4.49	4.50	4.14	4.19	4.25	4.33	4.39	4.44	4.49	4.54	4.60	4.67	4.78	4.87	4.96
r = 270	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.44	3.44	3.40	3.41	3.42	3.43	3.43	3.44	3.44	3.45	3.46	3.46	3.47	3.48	3.49
100	3.93	3.93	3.81	3.83	3.85	3.88	3.90	3.91	3.93	3.95	3.96	3.99	4.02	4.04	4.06
1000	4.40	4.41	4.18	4.21	4.25	4.30	4.34	4.37	4.40	4.43	4.47	4.51	4.57	4.62	4.67
10000	4.86	4.87	4.51	4.56	4.62	4.70	4.76	4.81	4.86	4.91	4.97	5.04	5.14	5.23	5.31
100000	5.30	5.33	4.80	4.87	4.96	5.07	5.16	5.23	5.30	5.38	5.47	5.57	5.72	5.86	5.98
r = 300	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.58	3.58	3.52	3.53	3.54	3.55	3.56	3.57	3.58	3.58	3.59	3.60	3.61	3.62	3.63
100	4.18	4.18	4.03	4.06	4.08	4.11	4.14	4.16	4.18	4.20	4.22	4.24	4.28	4.31	4.34
1000	4.75	4.75	4.48	4.52	4.57	4.63	4.67	4.71	4.75	4.79	4.83	4.88	4.95	5.01	5.07
10000	5.30	5.31	4.88	4.94	5.01	5.10	5.17	5.24	5.30	5.36	5.43	5.51	5.63	5.73	5.83
100000	5.83	5.85	5.23	5.31	5.42	5.55	5.65	5.74	5.83	5.92	6.02	6.14	6.32	6.48	6.62
r = 330	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.42	3.42	3.37	3.38	3.39	3.40	3.41	3.42	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.48
100	4.05	4.05	3.90	3.93	3.95	3.98	4.01	4.03	4.05	4.07	4.09	4.12	4.16	4.19	4.22
1000	4.65	4.65	4.37	4.41	4.46	4.52	4.57	4.61	4.65	4.69	4.73	4.78	4.86	4.92	4.98
10000	5.22	5.23	4.78	4.84	4.92	5.02	5.09	5.15	5.22	5.28	5.35	5.44	5.56	5.67	5.77
100000	5.77	5.79	5.15	5.24	5.34	5.48	5.58	5.68	5.77	5.86	5.96	6.09	6.28	6.44	6.59
r = 360	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.97	2.97	2.94	2.94	2.95	2.96	2.96	2.97	2.97	2.98	2.98	2.99	3.00	3.00	3.01
100	3.38	3.38	3.28	3.30	3.32	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.45	3.47	3.49
1000	3.78	3.79	3.59	3.62	3.65	3.70	3.73	3.75	3.78	3.81	3.84	3.87	3.93	3.97	4.01
10000	4.17	4.18	3.87	3.92	3.97	4.04	4.09	4.13	4.17	4.22	4.27	4.33	4.41	4.49	4.56
100000	4.56	4.58	4.12	4.19	4.26	4.36	4.43	4.49	4.56	4.62	4.70	4.79	4.92	5.04	5.15

OS11																
$\mu = 0$	$\sigma = 0.02$	Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages														
r = omni	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	3.24	3.24	3.20	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.24	3.25	3.26	3.26	3.28	3.29	3.29	
100	3.81	3.81	3.67	3.69	3.72	3.75	3.77	3.79	3.81	3.83	3.85	3.87	3.91	3.94	3.97	
1000	4.38	4.38	4.11	4.15	4.19	4.25	4.30	4.34	4.38	4.41	4.46	4.51	4.58	4.65	4.70	
10000	4.94	4.96	4.51	4.57	4.65	4.74	4.82	4.88	4.94	5.01	5.08	5.17	5.30	5.41	5.51	
100000	5.51	5.55	4.87	4.96	5.07	5.21	5.32	5.42	5.51	5.61	5.72	5.86	6.06	6.24	6.40	
r = 210	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	2.23	2.23	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.22	2.23	2.23	2.23	2.24	2.25	2.25	2.26	
100	2.54	2.54	2.47	2.48	2.49	2.51	2.52	2.53	2.54	2.55	2.56	2.58	2.60	2.61	2.63	
1000	2.85	2.86	2.71	2.73	2.75	2.79	2.81	2.83	2.85	2.87	2.90	2.92	2.96	3.00	3.03	
10000	3.16	3.17	2.92	2.96	3.00	3.05	3.09	3.12	3.16	3.19	3.23	3.28	3.35	3.41	3.46	
100000	3.46	3.48	3.12	3.17	3.23	3.30	3.36	3.41	3.46	3.51	3.57	3.64	3.75	3.84	3.93	
r = 240	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	2.56	2.56	2.53	2.53	2.54	2.55	2.55	2.56	2.56	2.57	2.57	2.58	2.58	2.59	2.60	
100	2.94	2.94	2.85	2.86	2.88	2.90	2.92	2.93	2.94	2.96	2.97	2.99	3.01	3.03	3.05	
1000	3.32	3.32	3.14	3.17	3.20	3.24	3.27	3.29	3.32	3.34	3.37	3.40	3.45	3.49	3.53	
10000	3.69	3.70	3.40	3.44	3.49	3.56	3.60	3.64	3.69	3.73	3.77	3.83	3.91	3.98	4.05	
100000	4.05	4.07	3.64	3.70	3.77	3.86	3.93	3.99	4.05	4.11	4.18	4.27	4.39	4.50	4.60	
r = 270	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	2.91	2.91	2.87	2.87	2.88	2.89	2.90	2.90	2.91	2.92	2.92	2.93	2.94	2.95	2.96	
100	3.41	3.42	3.29	3.31	3.33	3.36	3.38	3.40	3.41	3.43	3.45	3.47	3.50	3.53	3.55	
1000	3.91	3.92	3.68	3.71	3.75	3.80	3.84	3.88	3.91	3.94	3.98	4.02	4.09	4.14	4.19	
10000	4.40	4.41	4.02	4.08	4.14	4.23	4.29	4.34	4.40	4.45	4.51	4.59	4.70	4.79	4.88	
100000	4.88	4.90	4.34	4.41	4.51	4.63	4.72	4.80	4.88	4.96	5.05	5.17	5.33	5.48	5.62	
r = 300	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	3.03	3.03	2.98	2.98	2.99	3.00	3.01	3.02	3.03	3.03	3.04	3.05	3.06	3.07	3.08	
100	3.63	3.63	3.48	3.51	3.53	3.56	3.59	3.61	3.63	3.65	3.67	3.70	3.73	3.76	3.79	
1000	4.21	4.22	3.94	3.98	4.03	4.09	4.13	4.17	4.21	4.25	4.30	4.35	4.42	4.49	4.55	
10000	4.79	4.80	4.35	4.41	4.49	4.58	4.66	4.72	4.79	4.85	4.92	5.01	5.14	5.25	5.35	
100000	5.35	5.38	4.72	4.81	4.91	5.05	5.16	5.26	5.35	5.45	5.56	5.69	5.88	6.05	6.21	
r = 330	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	2.92	2.92	2.86	2.87	2.88	2.89	2.90	2.91	2.92	2.93	2.93	2.94	2.96	2.97	2.98	
100	3.56	3.56	3.41	3.43	3.46	3.49	3.52	3.54	3.56	3.58	3.60	3.63	3.67	3.70	3.73	
1000	4.18	4.19	3.89	3.93	3.98	4.05	4.10	4.14	4.18	4.22	4.27	4.32	4.40	4.47	4.53	
10000	4.79	4.80	4.32	4.39	4.47	4.57	4.65	4.72	4.79	4.85	4.93	5.02	5.16	5.27	5.38	
100000	5.38	5.41	4.71	4.81	4.92	5.07	5.18	5.28	5.38	5.48	5.59	5.73	5.94	6.12	6.28	
r = 360	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%	
10	2.45	2.45	2.41	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.45	2.45	2.46	2.47	2.48	2.49	2.49	
100	2.95	2.95	2.83	2.85	2.87	2.89	2.91	2.93	2.95	2.96	2.98	3.00	3.03	3.06	3.08	
1000	3.43	3.44	3.21	3.24	3.28	3.33	3.37	3.40	3.43	3.47	3.50	3.55	3.61	3.66	3.71	
10000	3.91	3.93	3.55	3.60	3.66	3.74	3.80	3.86	3.91	3.97	4.03	4.10	4.21	4.30	4.38	
100000	4.38	4.41	3.85	3.93	4.02	4.13	4.22	4.30	4.38	4.46	4.55	4.66	4.83	4.97	5.10	

Hoek van Holland															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.01538$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.94	2.94	2.90	2.90	2.91	2.92	2.93	2.93	2.94	2.94	2.95	2.95	2.96	2.97	2.98
100	3.57	3.57	3.45	3.47	3.49	3.52	3.54	3.55	3.57	3.59	3.61	3.63	3.66	3.69	3.71
1000	4.26	4.26	4.00	4.03	4.08	4.14	4.18	4.22	4.26	4.29	4.33	4.38	4.45	4.51	4.57
10000	4.99	5.01	4.54	4.60	4.68	4.78	4.86	4.93	4.99	5.06	5.13	5.22	5.35	5.47	5.57
100000	5.78	5.81	5.07	5.17	5.29	5.45	5.57	5.67	5.78	5.88	6.00	6.15	6.37	6.56	6.74
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.84	1.84	1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.83	1.84	1.84	1.84	1.84	1.85	1.85	1.85
100	2.10	2.10	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15
1000	2.36	2.37	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.35	2.36	2.38	2.39	2.41	2.44	2.46	2.48
10000	2.63	2.63	2.47	2.49	2.52	2.56	2.58	2.61	2.63	2.65	2.68	2.71	2.76	2.79	2.83
100000	2.90	2.91	2.66	2.69	2.73	2.79	2.83	2.86	2.90	2.93	2.97	3.02	3.09	3.15	3.21
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.18	2.18	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20	2.20
100	2.52	2.52	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50	2.51	2.52	2.53	2.54	2.55	2.57	2.58	2.60
1000	2.87	2.88	2.74	2.76	2.79	2.82	2.84	2.86	2.87	2.89	2.91	2.94	2.97	3.00	3.03
10000	3.23	3.24	3.01	3.05	3.09	3.13	3.17	3.20	3.23	3.27	3.30	3.34	3.40	3.46	3.51
100000	3.60	3.61	3.27	3.32	3.38	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	3.77	3.87	3.95	4.03
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.57	2.57	2.54	2.55	2.55	2.56	2.56	2.57	2.57	2.58	2.58	2.59	2.60	2.60	2.61
100	3.08	3.08	2.98	2.99	3.01	3.03	3.05	3.06	3.08	3.09	3.10	3.12	3.14	3.17	3.18
1000	3.60	3.60	3.40	3.43	3.46	3.51	3.54	3.57	3.60	3.62	3.65	3.69	3.74	3.79	3.83
10000	4.13	4.14	3.80	3.85	3.91	3.98	4.04	4.08	4.13	4.18	4.23	4.30	4.39	4.47	4.54
100000	4.68	4.70	4.19	4.26	4.34	4.45	4.54	4.61	4.68	4.76	4.84	4.94	5.09	5.22	5.33
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.71	2.71	2.67	2.67	2.68	2.69	2.70	2.70	2.71	2.71	2.72	2.73	2.74	2.74	2.75
100	3.36	3.36	3.23	3.25	3.27	3.30	3.32	3.34	3.36	3.37	3.39	3.41	3.45	3.47	3.50
1000	4.04	4.05	3.78	3.82	3.87	3.93	3.97	4.01	4.04	4.08	4.12	4.17	4.24	4.30	4.35
10000	4.76	4.78	4.32	4.39	4.46	4.56	4.64	4.70	4.76	4.83	4.90	4.99	5.12	5.23	5.32
100000	5.52	5.55	4.84	4.94	5.06	5.20	5.32	5.42	5.52	5.62	5.74	5.88	6.08	6.26	6.43
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.63	2.63	2.59	2.60	2.60	2.61	2.62	2.63	2.63	2.64	2.65	2.65	2.66	2.67	2.68
100	3.34	3.34	3.20	3.23	3.25	3.28	3.30	3.32	3.34	3.36	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50
1000	4.09	4.10	3.81	3.85	3.90	3.96	4.01	4.05	4.09	4.13	4.17	4.23	4.30	4.37	4.43
10000	4.87	4.89	4.39	4.46	4.55	4.65	4.73	4.81	4.87	4.94	5.02	5.12	5.25	5.37	5.48
100000	5.69	5.72	4.96	5.06	5.19	5.35	5.47	5.59	5.69	5.80	5.93	6.08	6.30	6.49	6.67
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.18	2.18	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19	2.19	2.20	2.21	2.21
100	2.70	2.70	2.60	2.62	2.63	2.66	2.67	2.69	2.70	2.71	2.73	2.75	2.77	2.79	2.81
1000	3.24	3.25	3.04	3.07	3.11	3.15	3.19	3.22	3.24	3.27	3.31	3.34	3.40	3.44	3.49
10000	3.81	3.82	3.46	3.51	3.57	3.65	3.71	3.76	3.81	3.86	3.91	3.98	4.08	4.16	4.24
100000	4.39	4.41	3.87	3.94	4.03	4.15	4.23	4.31	4.39	4.46	4.55	4.66	4.81	4.95	5.07

IJmuiden Buitenhaven															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.01538$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.85	2.85	2.81	2.82	2.82	2.83	2.84	2.85	2.85	2.86	2.87	2.87	2.88	2.89	2.90
100	3.55	3.55	3.41	3.43	3.46	3.49	3.51	3.53	3.55	3.57	3.59	3.61	3.65	3.67	3.70
1000	4.29	4.30	4.01	4.05	4.10	4.17	4.21	4.25	4.29	4.33	4.38	4.43	4.51	4.57	4.63
10000	5.09	5.11	4.60	4.67	4.76	4.87	4.95	5.02	5.09	5.16	5.24	5.34	5.48	5.61	5.72
100000	5.94	5.97	5.18	5.28	5.41	5.58	5.71	5.83	5.94	6.05	6.18	6.34	6.57	6.78	6.97
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.72	1.72	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71	1.71	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.74
100	2.03	2.03	1.97	1.98	1.99	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
1000	2.34	2.34	2.23	2.24	2.26	2.29	2.31	2.33	2.34	2.36	2.38	2.40	2.43	2.45	2.48
10000	2.65	2.66	2.46	2.49	2.53	2.57	2.60	2.63	2.65	2.68	2.71	2.75	2.80	2.85	2.89
100000	2.97	2.98	2.69	2.73	2.78	2.84	2.89	2.93	2.97	3.01	3.05	3.11	3.19	3.26	3.33
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.04	2.04	2.02	2.02	2.03	2.03	2.04	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.06	2.07
100	2.40	2.40	2.33	2.34	2.35	2.37	2.38	2.39	2.40	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46	2.47
1000	2.76	2.76	2.62	2.64	2.67	2.70	2.72	2.74	2.76	2.77	2.80	2.82	2.85	2.88	2.91
10000	3.11	3.12	2.90	2.93	2.97	3.02	3.05	3.08	3.11	3.15	3.18	3.22	3.28	3.34	3.38
100000	3.48	3.49	3.15	3.20	3.26	3.33	3.38	3.43	3.48	3.52	3.58	3.64	3.73	3.82	3.89
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.53	2.53	2.49	2.50	2.50	2.51	2.52	2.52	2.53	2.53	2.54	2.55	2.56	2.56	2.57
100	3.11	3.11	3.00	3.01	3.03	3.06	3.08	3.09	3.11	3.12	3.14	3.16	3.19	3.21	3.23
1000	3.70	3.70	3.48	3.51	3.55	3.60	3.64	3.67	3.70	3.73	3.76	3.81	3.86	3.92	3.96
10000	4.30	4.31	3.93	3.99	4.05	4.14	4.20	4.25	4.30	4.36	4.42	4.49	4.59	4.68	4.76
100000	4.92	4.94	4.37	4.45	4.54	4.66	4.76	4.84	4.92	5.00	5.09	5.20	5.37	5.51	5.64
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.58	2.58	2.53	2.54	2.55	2.56	2.57	2.57	2.58	2.58	2.59	2.60	2.61	2.62	2.63
100	3.27	3.28	3.14	3.16	3.19	3.22	3.24	3.26	3.27	3.29	3.31	3.34	3.37	3.40	3.43
1000	4.01	4.01	3.73	3.77	3.82	3.88	3.93	3.97	4.01	4.04	4.09	4.14	4.21	4.28	4.33
10000	4.77	4.78	4.30	4.37	4.45	4.55	4.63	4.70	4.77	4.83	4.91	5.00	5.13	5.25	5.35
100000	5.55	5.58	4.85	4.95	5.07	5.23	5.34	5.45	5.55	5.66	5.78	5.92	6.13	6.32	6.49
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.45	2.45	2.40	2.41	2.42	2.43	2.43	2.44	2.45	2.45	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50
100	3.20	3.21	3.06	3.08	3.11	3.14	3.16	3.18	3.20	3.22	3.25	3.27	3.31	3.34	3.37
1000	4.00	4.00	3.70	3.74	3.80	3.86	3.91	3.96	4.00	4.04	4.09	4.14	4.22	4.29	4.35
10000	4.82	4.84	4.32	4.39	4.48	4.59	4.67	4.75	4.82	4.89	4.97	5.07	5.22	5.34	5.45
100000	5.67	5.70	4.91	5.02	5.15	5.32	5.44	5.56	5.67	5.78	5.91	6.07	6.30	6.50	6.68
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.87	1.87	1.84	1.84	1.85	1.86	1.86	1.87	1.87	1.87	1.88	1.88	1.89	1.90	1.90
100	2.35	2.35	2.26	2.27	2.29	2.31	2.32	2.33	2.35	2.36	2.37	2.39	2.41	2.43	2.45
1000	2.83	2.83	2.65	2.67	2.71	2.75	2.77	2.80	2.83	2.85	2.88	2.91	2.96	3.00	3.03
10000	3.31	3.32	3.01	3.06	3.11	3.18	3.22	3.27	3.31	3.35	3.40	3.46	3.54	3.61	3.67
100000	3.80	3.81	3.36	3.42	3.50	3.60	3.67	3.73	3.80	3.86	3.93	4.02	4.15	4.26	4.36

Den Helder															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.70	2.70	2.64	2.65	2.66	2.67	2.68	2.69	2.70	2.70	2.71	2.72	2.73	2.74	2.75
100	3.32	3.32	3.19	3.21	3.23	3.26	3.28	3.30	3.32	3.33	3.35	3.38	3.41	3.44	3.46
1000	3.88	3.88	3.64	3.68	3.72	3.77	3.81	3.84	3.88	3.91	3.94	3.99	4.05	4.10	4.14
10000	4.39	4.40	4.04	4.09	4.15	4.23	4.29	4.34	4.39	4.44	4.50	4.56	4.66	4.74	4.82
100000	4.87	4.89	4.38	4.45	4.54	4.65	4.73	4.80	4.87	4.94	5.02	5.12	5.26	5.38	5.49
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.38	1.38	1.36	1.37	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40
100	1.59	1.59	1.55	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.64
1000	1.79	1.79	1.71	1.72	1.73	1.75	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.83	1.85	1.87	1.89
10000	1.98	1.98	1.85	1.87	1.89	1.92	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.08	2.11	2.13
100000	2.16	2.16	1.97	2.00	2.03	2.07	2.10	2.13	2.16	2.18	2.21	2.25	2.30	2.35	2.39
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.82	1.82	1.78	1.79	1.79	1.80	1.81	1.81	1.82	1.82	1.83	1.83	1.84	1.85	1.85
100	2.25	2.25	2.16	2.17	2.19	2.21	2.22	2.23	2.25	2.26	2.27	2.29	2.31	2.33	2.35
1000	2.65	2.65	2.48	2.50	2.53	2.57	2.60	2.62	2.65	2.67	2.70	2.73	2.77	2.81	2.84
10000	3.03	3.03	2.76	2.80	2.85	2.91	2.95	2.99	3.03	3.06	3.10	3.15	3.23	3.29	3.34
100000	3.39	3.40	3.02	3.07	3.14	3.22	3.28	3.33	3.39	3.44	3.50	3.58	3.68	3.77	3.86
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.36	2.36	2.31	2.32	2.33	2.34	2.35	2.36	2.36	2.37	2.38	2.38	2.40	2.41	2.41
100	2.96	2.96	2.83	2.85	2.87	2.90	2.92	2.94	2.96	2.97	2.99	3.01	3.04	3.07	3.09
1000	3.48	3.49	3.26	3.30	3.34	3.39	3.42	3.45	3.48	3.51	3.55	3.59	3.64	3.69	3.73
10000	3.96	3.97	3.63	3.68	3.74	3.81	3.87	3.92	3.96	4.01	4.06	4.12	4.21	4.29	4.36
100000	4.41	4.42	3.95	4.02	4.10	4.20	4.28	4.34	4.41	4.47	4.55	4.63	4.76	4.87	4.97
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.44	2.44	2.38	2.39	2.40	2.41	2.42	2.43	2.44	2.45	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50
100	3.12	3.12	2.98	3.00	3.03	3.06	3.08	3.10	3.12	3.14	3.16	3.18	3.22	3.24	3.27
1000	3.70	3.70	3.46	3.50	3.54	3.59	3.63	3.67	3.70	3.73	3.77	3.81	3.87	3.92	3.97
10000	4.21	4.22	3.86	3.91	3.98	4.06	4.11	4.16	4.21	4.26	4.32	4.38	4.48	4.56	4.63
100000	4.68	4.70	4.20	4.27	4.36	4.47	4.55	4.62	4.68	4.75	4.83	4.92	5.05	5.17	5.27
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.14	2.14	2.07	2.08	2.09	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.19	2.20	2.22
100	2.95	2.95	2.79	2.82	2.85	2.88	2.91	2.93	2.95	2.97	3.00	3.03	3.06	3.10	3.13
1000	3.61	3.62	3.34	3.39	3.43	3.49	3.54	3.58	3.61	3.65	3.69	3.74	3.81	3.86	3.91
10000	4.19	4.19	3.80	3.85	3.92	4.01	4.08	4.13	4.19	4.24	4.30	4.37	4.48	4.56	4.64
100000	4.70	4.72	4.18	4.25	4.35	4.46	4.55	4.63	4.70	4.78	4.86	4.96	5.11	5.23	5.34
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.29	1.30	1.23	1.24	1.25	1.27	1.28	1.29	1.29	1.30	1.31	1.32	1.34	1.35	1.36
100	2.01	2.01	1.87	1.89	1.92	1.95	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.12	2.15	2.17
1000	2.63	2.63	2.37	2.41	2.46	2.51	2.56	2.59	2.63	2.66	2.70	2.75	2.81	2.87	2.91
10000	3.18	3.19	2.80	2.86	2.92	3.01	3.07	3.13	3.18	3.23	3.29	3.36	3.46	3.55	3.63
100000	3.69	3.70	3.17	3.24	3.33	3.45	3.54	3.61	3.69	3.76	3.85	3.95	4.10	4.22	4.34

Den Oever															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.0205$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.20	3.20	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.26	3.27
100	3.86	3.87	3.71	3.73	3.76	3.80	3.82	3.84	3.86	3.89	3.91	3.94	3.97	4.01	4.04
1000	4.44	4.45	4.17	4.21	4.26	4.32	4.37	4.40	4.44	4.48	4.52	4.57	4.64	4.70	4.76
10000	4.96	4.97	4.56	4.62	4.69	4.78	4.85	4.91	4.96	5.02	5.08	5.16	5.27	5.37	5.45
100000	5.44	5.46	4.89	4.97	5.06	5.19	5.28	5.36	5.44	5.52	5.61	5.72	5.88	6.01	6.14
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.41	1.41	1.38	1.38	1.39	1.39	1.40	1.40	1.41	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.44
100	1.76	1.76	1.67	1.69	1.70	1.72	1.73	1.75	1.76	1.77	1.78	1.80	1.82	1.84	1.85
1000	2.09	2.09	1.93	1.95	1.98	2.02	2.04	2.07	2.09	2.11	2.14	2.17	2.21	2.25	2.28
10000	2.41	2.42	2.16	2.20	2.24	2.29	2.34	2.37	2.41	2.44	2.48	2.53	2.61	2.67	2.72
100000	2.71	2.73	2.36	2.41	2.47	2.55	2.61	2.66	2.71	2.77	2.83	2.90	3.01	3.10	3.19
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.10	2.10	2.04	2.05	2.06	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.14	2.15	2.16
100	2.69	2.69	2.55	2.57	2.60	2.63	2.65	2.67	2.69	2.71	2.73	2.76	2.79	2.82	2.85
1000	3.23	3.23	2.98	3.01	3.06	3.11	3.16	3.19	3.23	3.26	3.30	3.35	3.42	3.48	3.53
10000	3.72	3.74	3.34	3.39	3.46	3.55	3.61	3.67	3.72	3.78	3.84	3.92	4.03	4.12	4.20
100000	4.19	4.21	3.65	3.73	3.82	3.94	4.03	4.11	4.19	4.27	4.36	4.47	4.63	4.76	4.89
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.80	2.80	2.74	2.75	2.76	2.77	2.78	2.79	2.80	2.81	2.82	2.83	2.85	2.86	2.87
100	3.47	3.47	3.31	3.34	3.36	3.40	3.42	3.44	3.47	3.49	3.51	3.54	3.57	3.61	3.64
1000	4.03	4.04	3.77	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.03	4.07	4.11	4.16	4.23	4.29	4.34
10000	4.54	4.55	4.15	4.20	4.27	4.36	4.42	4.48	4.54	4.59	4.65	4.73	4.83	4.93	5.01
100000	4.99	5.01	4.46	4.54	4.63	4.75	4.84	4.92	4.99	5.07	5.16	5.26	5.41	5.54	5.66
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.88	2.88	2.81	2.82	2.83	2.85	2.86	2.87	2.88	2.89	2.90	2.91	2.93	2.94	2.95
100	3.59	3.59	3.43	3.45	3.48	3.52	3.55	3.57	3.59	3.61	3.64	3.67	3.71	3.74	3.77
1000	4.19	4.19	3.91	3.95	4.00	4.07	4.11	4.15	4.19	4.23	4.27	4.32	4.39	4.45	4.51
10000	4.72	4.73	4.31	4.37	4.44	4.53	4.60	4.66	4.72	4.77	4.84	4.91	5.02	5.12	5.20
100000	5.19	5.21	4.64	4.72	4.82	4.94	5.03	5.11	5.19	5.27	5.36	5.47	5.62	5.75	5.87
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.74	2.74	2.65	2.67	2.68	2.70	2.72	2.73	2.74	2.75	2.76	2.78	2.80	2.82	2.83
100	3.59	3.59	3.40	3.43	3.46	3.50	3.53	3.56	3.59	3.61	3.64	3.67	3.72	3.76	3.79
1000	4.26	4.26	3.95	4.00	4.05	4.12	4.17	4.21	4.26	4.30	4.34	4.40	4.48	4.54	4.60
10000	4.82	4.83	4.38	4.45	4.53	4.63	4.70	4.76	4.82	4.89	4.95	5.04	5.15	5.25	5.34
100000	5.33	5.34	4.74	4.83	4.93	5.06	5.16	5.25	5.33	5.41	5.50	5.62	5.78	5.92	6.04
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.78	1.78	1.70	1.71	1.73	1.75	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.82	1.84	1.85	1.87
100	2.59	2.59	2.41	2.44	2.47	2.51	2.54	2.57	2.59	2.62	2.64	2.68	2.72	2.76	2.80
1000	3.27	3.27	2.95	3.00	3.06	3.13	3.18	3.22	3.27	3.31	3.36	3.41	3.50	3.56	3.63
10000	3.86	3.87	3.40	3.47	3.55	3.65	3.73	3.80	3.86	3.93	4.00	4.09	4.21	4.32	4.42
100000	4.40	4.42	3.78	3.87	3.98	4.11	4.22	4.31	4.40	4.49	4.59	4.72	4.89	5.05	5.19

Den Oever A															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.0205$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.17	3.17	3.11	3.12	3.13	3.15	3.16	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.22	3.23	3.24
100	3.84	3.84	3.68	3.71	3.73	3.77	3.79	3.82	3.84	3.86	3.88	3.91	3.95	3.98	4.01
1000	4.41	4.42	4.14	4.18	4.23	4.29	4.34	4.38	4.41	4.45	4.49	4.54	4.61	4.67	4.73
10000	4.93	4.94	4.53	4.59	4.66	4.75	4.82	4.88	4.93	4.99	5.05	5.13	5.24	5.34	5.42
100000	5.41	5.43	4.86	4.94	5.03	5.16	5.25	5.33	5.41	5.49	5.58	5.69	5.84	5.98	6.10
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.38	1.38	1.35	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38	1.38	1.39	1.39	1.40	1.41	1.41
100	1.73	1.73	1.64	1.66	1.67	1.69	1.70	1.72	1.73	1.74	1.75	1.77	1.79	1.81	1.82
1000	2.06	2.06	1.90	1.92	1.95	1.99	2.01	2.04	2.06	2.08	2.11	2.14	2.18	2.22	2.25
10000	2.38	2.39	2.13	2.17	2.21	2.26	2.31	2.34	2.38	2.41	2.45	2.50	2.58	2.64	2.69
100000	2.68	2.70	2.33	2.38	2.44	2.52	2.58	2.63	2.68	2.74	2.80	2.87	2.98	3.07	3.16
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.07	2.07	2.02	2.02	2.03	2.05	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13
100	2.66	2.67	2.52	2.54	2.57	2.60	2.62	2.64	2.66	2.68	2.70	2.73	2.76	2.79	2.82
1000	3.20	3.20	2.95	2.98	3.03	3.08	3.13	3.16	3.20	3.23	3.27	3.32	3.39	3.45	3.50
10000	3.69	3.71	3.31	3.36	3.43	3.52	3.58	3.64	3.69	3.75	3.81	3.89	3.99	4.09	4.17
100000	4.16	4.18	3.62	3.70	3.79	3.91	4.00	4.08	4.16	4.24	4.33	4.44	4.59	4.73	4.86
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.77	2.77	2.71	2.72	2.73	2.75	2.76	2.77	2.77	2.78	2.79	2.80	2.82	2.83	2.84
100	3.44	3.44	3.28	3.31	3.34	3.37	3.39	3.42	3.44	3.46	3.48	3.51	3.55	3.58	3.61
1000	4.00	4.01	3.74	3.78	3.83	3.89	3.93	3.97	4.00	4.04	4.08	4.13	4.20	4.26	4.31
10000	4.51	4.52	4.12	4.17	4.24	4.33	4.39	4.45	4.51	4.56	4.62	4.70	4.80	4.89	4.98
100000	4.96	4.98	4.43	4.51	4.60	4.72	4.81	4.89	4.96	5.04	5.13	5.23	5.38	5.51	5.63
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.85	2.85	2.78	2.79	2.81	2.82	2.83	2.84	2.85	2.86	2.87	2.88	2.90	2.91	2.93
100	3.56	3.57	3.40	3.43	3.46	3.49	3.52	3.54	3.56	3.59	3.61	3.64	3.68	3.71	3.74
1000	4.16	4.17	3.88	3.93	3.98	4.04	4.08	4.12	4.16	4.20	4.24	4.29	4.36	4.43	4.48
10000	4.68	4.70	4.28	4.34	4.41	4.50	4.57	4.63	4.68	4.74	4.81	4.88	4.99	5.09	5.17
100000	5.16	5.18	4.61	4.69	4.79	4.91	5.00	5.08	5.16	5.24	5.33	5.43	5.59	5.72	5.84
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.71	2.71	2.63	2.64	2.66	2.68	2.69	2.70	2.71	2.73	2.74	2.75	2.77	2.79	2.81
100	3.56	3.56	3.37	3.40	3.44	3.48	3.51	3.53	3.56	3.59	3.61	3.65	3.69	3.73	3.76
1000	4.23	4.23	3.92	3.97	4.02	4.09	4.14	4.19	4.23	4.27	4.32	4.37	4.45	4.52	4.57
10000	4.80	4.81	4.36	4.42	4.50	4.60	4.67	4.73	4.80	4.86	4.92	5.01	5.12	5.22	5.31
100000	5.30	5.31	4.72	4.80	4.90	5.03	5.13	5.22	5.30	5.38	5.47	5.58	5.74	5.88	6.01
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.75	1.75	1.67	1.68	1.70	1.72	1.73	1.74	1.75	1.76	1.77	1.79	1.81	1.82	1.84
100	2.56	2.57	2.38	2.41	2.44	2.48	2.51	2.54	2.56	2.59	2.62	2.65	2.69	2.73	2.77
1000	3.24	3.24	2.92	2.97	3.03	3.10	3.15	3.19	3.24	3.28	3.33	3.39	3.47	3.54	3.60
10000	3.83	3.84	3.37	3.44	3.52	3.62	3.70	3.77	3.83	3.90	3.97	4.06	4.18	4.29	4.39
100000	4.37	4.39	3.75	3.84	3.95	4.08	4.19	4.28	4.37	4.46	4.56	4.69	4.86	5.02	5.16

Terschelling															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.023333$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.99	2.99	2.94	2.94	2.96	2.97	2.98	2.99	2.99	3.00	3.01	3.02	3.03	3.05	3.06
100	3.52	3.52	3.38	3.40	3.42	3.46	3.48	3.50	3.52	3.53	3.55	3.58	3.61	3.64	3.67
1000	3.95	3.96	3.72	3.76	3.80	3.85	3.89	3.92	3.95	3.98	4.02	4.06	4.12	4.17	4.22
10000	4.33	4.34	4.00	4.05	4.11	4.18	4.24	4.29	4.33	4.38	4.43	4.50	4.59	4.67	4.74
100000	4.68	4.69	4.23	4.30	4.37	4.47	4.55	4.61	4.68	4.74	4.81	4.90	5.03	5.14	5.24
r = 210	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.73	1.73	1.71	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.73	1.74	1.74	1.74	1.75	1.75
100	1.91	1.91	1.86	1.87	1.88	1.89	1.89	1.90	1.91	1.92	1.92	1.93	1.94	1.96	1.97
1000	2.08	2.08	1.99	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.08	2.09	2.11	2.12	2.15	2.17	2.19
10000	2.24	2.25	2.10	2.12	2.14	2.18	2.20	2.22	2.24	2.26	2.29	2.32	2.36	2.40	2.43
100000	2.40	2.41	2.20	2.23	2.26	2.30	2.34	2.37	2.40	2.43	2.47	2.51	2.58	2.63	2.68
r = 240	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.17	2.17	2.12	2.12	2.13	2.15	2.15	2.16	2.17	2.18	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22
100	2.65	2.65	2.52	2.54	2.56	2.59	2.61	2.63	2.65	2.66	2.68	2.71	2.74	2.77	2.79
1000	3.06	3.07	2.84	2.88	2.92	2.96	3.00	3.03	3.06	3.09	3.13	3.17	3.23	3.28	3.32
10000	3.44	3.45	3.11	3.16	3.22	3.29	3.34	3.39	3.44	3.48	3.54	3.60	3.69	3.77	3.84
100000	3.78	3.80	3.34	3.40	3.48	3.57	3.65	3.72	3.78	3.85	3.92	4.01	4.14	4.26	4.36
r = 270	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.66	2.66	2.60	2.61	2.62	2.64	2.65	2.66	2.66	2.67	2.68	2.69	2.71	2.72	2.73
100	3.20	3.20	3.06	3.08	3.11	3.14	3.16	3.18	3.20	3.22	3.24	3.26	3.30	3.33	3.35
1000	3.64	3.65	3.41	3.45	3.49	3.54	3.58	3.61	3.64	3.67	3.71	3.75	3.81	3.86	3.91
10000	4.02	4.03	3.69	3.74	3.80	3.87	3.93	3.98	4.02	4.07	4.12	4.19	4.28	4.35	4.42
100000	4.36	4.38	3.92	3.98	4.06	4.16	4.23	4.30	4.36	4.43	4.50	4.59	4.71	4.82	4.92
r = 300	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.72	2.72	2.65	2.66	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72	2.73	2.74	2.75	2.77	2.78	2.79
100	3.30	3.30	3.16	3.18	3.21	3.24	3.26	3.28	3.30	3.32	3.34	3.37	3.41	3.44	3.47
1000	3.76	3.77	3.53	3.56	3.60	3.66	3.70	3.73	3.76	3.80	3.83	3.88	3.94	3.99	4.04
10000	4.16	4.17	3.82	3.87	3.93	4.00	4.06	4.11	4.16	4.21	4.26	4.32	4.42	4.49	4.56
100000	4.50	4.52	4.05	4.12	4.20	4.30	4.37	4.44	4.50	4.57	4.64	4.73	4.85	4.96	5.06
r = 330	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.59	2.59	2.50	2.51	2.53	2.55	2.57	2.58	2.59	2.60	2.62	2.63	2.65	2.67	2.69
100	3.31	3.31	3.14	3.17	3.20	3.24	3.26	3.29	3.31	3.33	3.36	3.39	3.43	3.47	3.50
1000	3.83	3.83	3.56	3.61	3.65	3.71	3.75	3.79	3.83	3.86	3.90	3.95	4.02	4.07	4.12
10000	4.24	4.25	3.88	3.94	4.00	4.08	4.14	4.19	4.24	4.29	4.35	4.42	4.51	4.59	4.66
100000	4.60	4.61	4.13	4.20	4.29	4.39	4.47	4.53	4.60	4.66	4.74	4.82	4.95	5.06	5.16
r = 360	Wbl.	Gem. TR	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.61	1.61	1.53	1.54	1.56	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.65	1.66	1.68	1.69
100	2.30	2.30	2.12	2.15	2.18	2.22	2.25	2.27	2.30	2.32	2.35	2.38	2.42	2.46	2.49
1000	2.86	2.86	2.56	2.61	2.66	2.73	2.77	2.82	2.86	2.90	2.94	3.00	3.07	3.14	3.20
10000	3.35	3.36	2.92	2.98	3.06	3.15	3.22	3.29	3.35	3.41	3.48	3.56	3.68	3.78	3.87
100000	3.79	3.81	3.21	3.30	3.40	3.52	3.62	3.71	3.79	3.87	3.97	4.08	4.25	4.39	4.53

Terschelling A															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.023333$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.96	2.96	2.90	2.91	2.92	2.93	2.94	2.95	2.96	2.97	2.97	2.98	3.00	3.01	3.02
100	3.48	3.48	3.34	3.36	3.39	3.42	3.44	3.46	3.48	3.50	3.52	3.54	3.57	3.60	3.63
1000	3.91	3.92	3.69	3.72	3.76	3.81	3.85	3.88	3.91	3.95	3.98	4.02	4.08	4.13	4.18
10000	4.29	4.30	3.96	4.01	4.07	4.14	4.20	4.25	4.29	4.34	4.39	4.46	4.55	4.63	4.70
100000	4.63	4.65	4.19	4.26	4.33	4.43	4.51	4.57	4.63	4.70	4.77	4.86	4.99	5.10	5.20
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.69	1.69	1.67	1.68	1.68	1.68	1.69	1.69	1.69	1.69	1.70	1.70	1.70	1.71	1.71
100	1.87	1.87	1.82	1.83	1.84	1.85	1.85	1.86	1.87	1.88	1.88	1.89	1.90	1.92	1.93
1000	2.04	2.04	1.95	1.96	1.98	2.00	2.01	2.03	2.04	2.05	2.07	2.08	2.11	2.13	2.15
10000	2.20	2.21	2.06	2.08	2.10	2.14	2.16	2.18	2.20	2.22	2.25	2.28	2.32	2.36	2.39
100000	2.36	2.37	2.16	2.19	2.22	2.26	2.30	2.33	2.36	2.39	2.43	2.47	2.54	2.59	2.64
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.13	2.13	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	2.13	2.14	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19
100	2.61	2.61	2.48	2.50	2.52	2.55	2.57	2.59	2.61	2.63	2.64	2.67	2.70	2.73	2.75
1000	3.02	3.03	2.81	2.84	2.88	2.93	2.96	2.99	3.02	3.06	3.09	3.13	3.19	3.24	3.28
10000	3.40	3.41	3.07	3.12	3.18	3.25	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50	3.56	3.65	3.73	3.80
100000	3.74	3.76	3.30	3.36	3.44	3.53	3.61	3.68	3.74	3.81	3.88	3.97	4.10	4.22	4.32
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.63	2.63	2.57	2.58	2.59	2.60	2.61	2.62	2.63	2.63	2.64	2.65	2.67	2.68	2.69
100	3.16	3.16	3.03	3.05	3.07	3.10	3.12	3.14	3.16	3.18	3.20	3.23	3.26	3.29	3.32
1000	3.60	3.61	3.37	3.41	3.45	3.50	3.54	3.57	3.60	3.63	3.67	3.71	3.77	3.82	3.87
10000	3.98	3.99	3.65	3.70	3.76	3.83	3.89	3.94	3.98	4.03	4.08	4.14	4.23	4.31	4.38
100000	4.32	4.33	3.88	3.94	4.02	4.12	4.19	4.26	4.32	4.38	4.46	4.54	4.67	4.78	4.88
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.69	2.69	2.62	2.63	2.64	2.66	2.67	2.68	2.69	2.69	2.70	2.72	2.73	2.75	2.76
100	3.27	3.27	3.12	3.14	3.17	3.20	3.23	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.37	3.40	3.43
1000	3.73	3.73	3.49	3.52	3.57	3.62	3.66	3.69	3.73	3.76	3.80	3.84	3.90	3.95	4.00
10000	4.12	4.13	3.78	3.83	3.89	3.96	4.02	4.07	4.12	4.16	4.22	4.28	4.37	4.45	4.52
100000	4.46	4.47	4.01	4.08	4.16	4.26	4.33	4.40	4.46	4.52	4.60	4.68	4.81	4.92	5.01
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.56	2.56	2.46	2.48	2.50	2.52	2.53	2.54	2.56	2.57	2.58	2.60	2.62	2.64	2.65
100	3.28	3.28	3.10	3.13	3.16	3.20	3.23	3.25	3.28	3.30	3.32	3.35	3.40	3.43	3.46
1000	3.79	3.79	3.53	3.57	3.62	3.67	3.72	3.75	3.79	3.83	3.87	3.91	3.98	4.03	4.08
10000	4.20	4.21	3.85	3.90	3.96	4.04	4.10	4.15	4.20	4.25	4.31	4.38	4.47	4.55	4.62
100000	4.56	4.57	4.10	4.16	4.25	4.35	4.42	4.49	4.56	4.62	4.69	4.78	4.91	5.01	5.11
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.57	1.57	1.49	1.50	1.52	1.53	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.62	1.64	1.65
100	2.26	2.26	2.08	2.11	2.14	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28	2.31	2.34	2.38	2.42	2.45
1000	2.82	2.83	2.53	2.57	2.62	2.69	2.74	2.78	2.82	2.86	2.90	2.96	3.04	3.10	3.16
10000	3.31	3.32	2.88	2.94	3.02	3.11	3.18	3.25	3.31	3.37	3.44	3.52	3.64	3.74	3.83
100000	3.75	3.77	3.18	3.26	3.36	3.48	3.58	3.67	3.75	3.83	3.93	4.04	4.21	4.35	4.48

Harlingen															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.0205$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.49	3.49	3.44	3.44	3.45	3.47	3.48	3.48	3.49	3.50	3.51	3.52	3.53	3.54	3.55
100	4.08	4.08	3.94	3.96	3.99	4.02	4.04	4.06	4.08	4.09	4.11	4.14	4.17	4.20	4.23
1000	4.58	4.58	4.34	4.38	4.42	4.47	4.51	4.54	4.58	4.61	4.64	4.69	4.75	4.80	4.85
10000	5.02	5.03	4.68	4.73	4.79	4.86	4.92	4.97	5.02	5.07	5.12	5.19	5.28	5.36	5.44
100000	5.42	5.44	4.96	5.03	5.11	5.21	5.29	5.36	5.42	5.49	5.57	5.66	5.79	5.90	6.01
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.88	1.88	1.86	1.87	1.87	1.87	1.88	1.88	1.88	1.88	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90
100	2.09	2.09	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.11	2.13	2.14	2.15
1000	2.29	2.30	2.20	2.21	2.23	2.25	2.27	2.28	2.29	2.31	2.32	2.34	2.37	2.39	2.41
10000	2.49	2.49	2.34	2.36	2.38	2.42	2.44	2.47	2.49	2.51	2.54	2.57	2.61	2.65	2.69
100000	2.68	2.69	2.46	2.49	2.53	2.58	2.61	2.65	2.68	2.71	2.75	2.80	2.86	2.92	2.98
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.61	2.61	2.55	2.56	2.57	2.59	2.60	2.60	2.61	2.62	2.63	2.64	2.65	2.66	2.67
100	3.22	3.22	3.08	3.10	3.12	3.16	3.18	3.20	3.22	3.24	3.26	3.28	3.32	3.35	3.38
1000	3.75	3.75	3.50	3.54	3.58	3.64	3.68	3.71	3.75	3.78	3.82	3.86	3.93	3.98	4.03
10000	4.22	4.23	3.85	3.91	3.97	4.05	4.12	4.17	4.22	4.27	4.33	4.40	4.50	4.59	4.67
100000	4.66	4.67	4.15	4.23	4.31	4.43	4.51	4.58	4.66	4.73	4.81	4.91	5.06	5.18	5.30
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.18	3.18	3.12	3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24
100	3.79	3.79	3.65	3.67	3.70	3.73	3.75	3.77	3.79	3.81	3.83	3.86	3.89	3.92	3.95
1000	4.30	4.31	4.07	4.10	4.15	4.20	4.24	4.27	4.30	4.34	4.37	4.42	4.48	4.53	4.58
10000	4.76	4.77	4.41	4.46	4.52	4.60	4.66	4.71	4.76	4.81	4.86	4.93	5.02	5.10	5.17
100000	5.16	5.18	4.69	4.76	4.84	4.95	5.03	5.10	5.16	5.23	5.31	5.40	5.53	5.65	5.75
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.22	3.22	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.25	3.26	3.28	3.29
100	3.87	3.87	3.72	3.74	3.77	3.80	3.83	3.85	3.87	3.89	3.91	3.94	3.97	4.01	4.03
1000	4.40	4.41	4.16	4.20	4.24	4.29	4.34	4.37	4.40	4.44	4.48	4.52	4.59	4.64	4.69
10000	4.87	4.88	4.51	4.56	4.63	4.71	4.77	4.82	4.87	4.92	4.98	5.04	5.14	5.22	5.29
100000	5.28	5.30	4.80	4.87	4.96	5.06	5.14	5.21	5.28	5.35	5.43	5.52	5.65	5.77	5.87
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.98	2.98	2.91	2.92	2.93	2.95	2.96	2.97	2.98	2.99	3.01	3.02	3.04	3.05	3.07
100	3.73	3.73	3.56	3.59	3.62	3.66	3.68	3.71	3.73	3.75	3.78	3.81	3.85	3.88	3.91
1000	4.32	4.32	4.05	4.09	4.14	4.20	4.24	4.28	4.32	4.36	4.40	4.45	4.52	4.57	4.63
10000	4.82	4.83	4.43	4.49	4.56	4.65	4.71	4.77	4.82	4.87	4.93	5.00	5.11	5.19	5.27
100000	5.26	5.27	4.75	4.82	4.91	5.03	5.11	5.19	5.26	5.33	5.41	5.51	5.65	5.77	5.88
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.01	2.01	1.94	1.95	1.96	1.98	1.99	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.06	2.07	2.08
100	2.73	2.73	2.57	2.59	2.62	2.66	2.69	2.71	2.73	2.75	2.78	2.81	2.85	2.88	2.91
1000	3.34	3.34	3.06	3.10	3.15	3.21	3.26	3.30	3.34	3.38	3.42	3.47	3.54	3.61	3.66
10000	3.87	3.88	3.46	3.52	3.59	3.68	3.75	3.81	3.87	3.93	4.00	4.08	4.19	4.29	4.37
100000	4.36	4.38	3.80	3.88	3.98	4.10	4.20	4.28	4.36	4.44	4.53	4.64	4.80	4.94	5.07

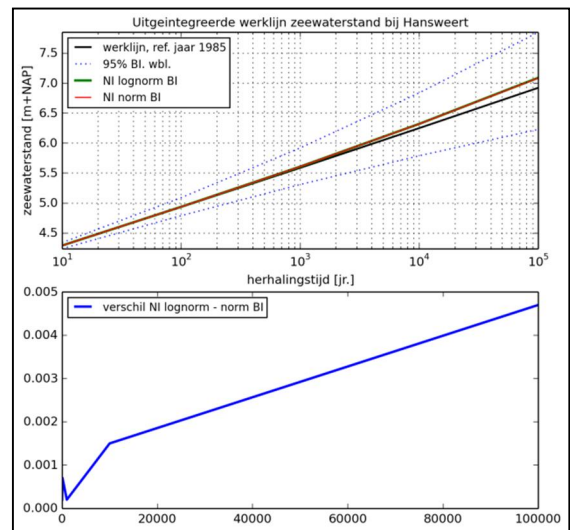
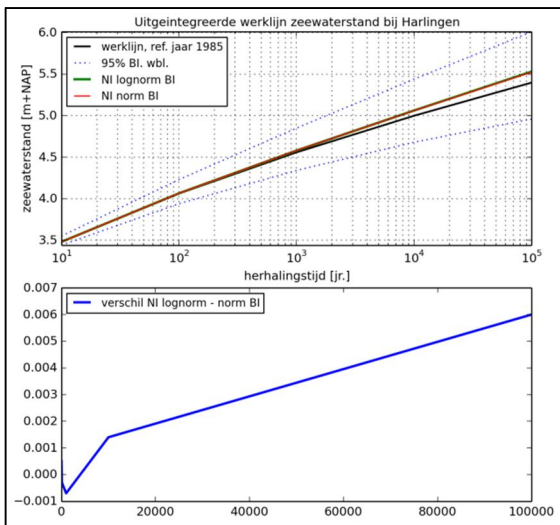
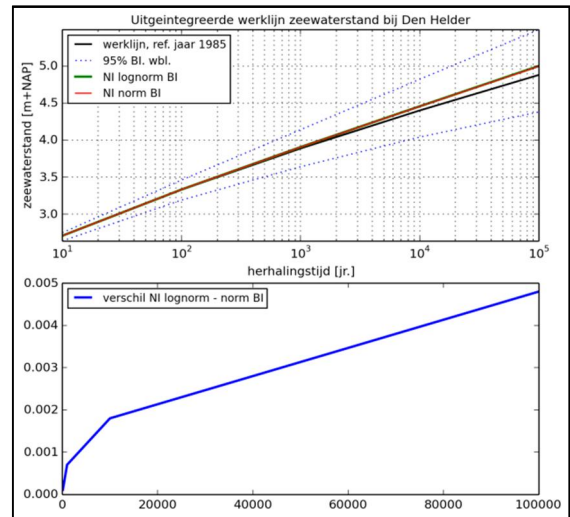
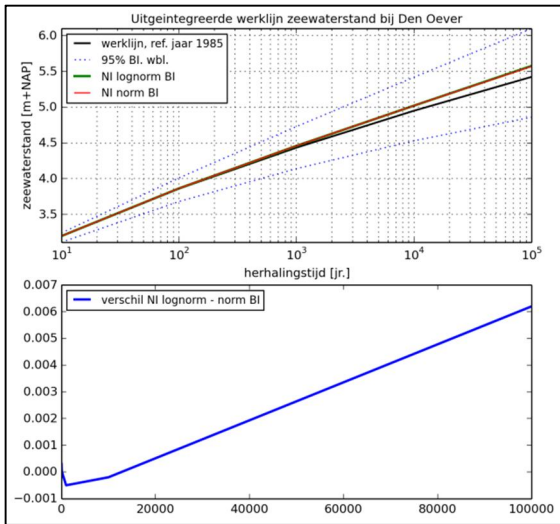
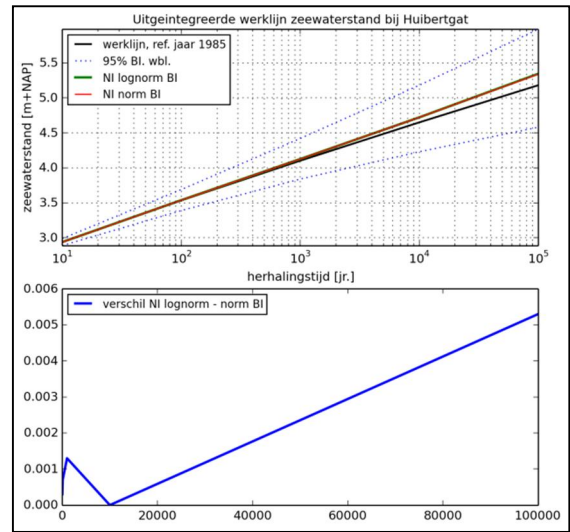
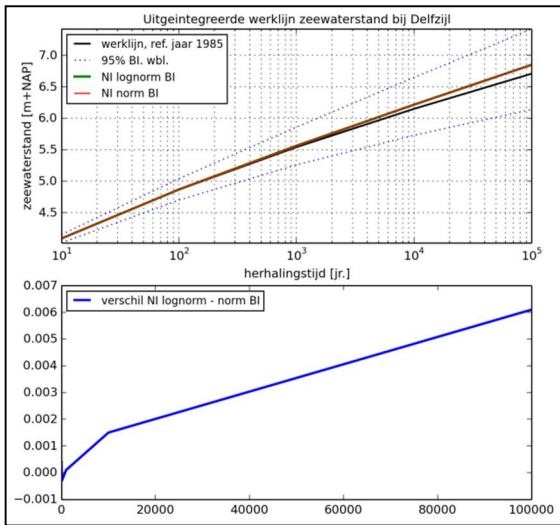
Lauwersoog															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.48	3.48	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47	3.48	3.49	3.49	3.50	3.52	3.53	3.53
100	4.10	4.10	3.97	3.99	4.01	4.04	4.06	4.08	4.10	4.12	4.14	4.16	4.19	4.22	4.24
1000	4.65	4.65	4.42	4.46	4.50	4.55	4.59	4.62	4.65	4.68	4.72	4.76	4.82	4.87	4.91
10000	5.15	5.16	4.81	4.86	4.92	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.32	5.41	5.49	5.56
100000	5.61	5.63	5.14	5.21	5.29	5.40	5.48	5.55	5.61	5.68	5.76	5.85	5.98	6.10	6.20
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.87	1.87	1.86	1.86	1.86	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.88	1.88	1.88	1.89	1.89
100	2.07	2.07	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.08	2.10	2.10	2.11
1000	2.26	2.26	2.17	2.19	2.20	2.22	2.23	2.24	2.26	2.27	2.28	2.29	2.32	2.34	2.35
10000	2.44	2.45	2.31	2.33	2.36	2.38	2.41	2.43	2.44	2.46	2.48	2.51	2.55	2.58	2.61
100000	2.63	2.64	2.44	2.47	2.50	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66	2.69	2.73	2.78	2.83	2.88
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.40	2.40	2.36	2.37	2.38	2.39	2.39	2.40	2.40	2.41	2.42	2.42	2.43	2.44	2.45
100	2.92	2.92	2.81	2.82	2.84	2.87	2.89	2.90	2.92	2.93	2.95	2.97	2.99	3.02	3.04
1000	3.39	3.40	3.19	3.22	3.26	3.30	3.34	3.36	3.39	3.42	3.45	3.49	3.54	3.58	3.62
10000	3.84	3.85	3.53	3.58	3.63	3.70	3.75	3.80	3.84	3.88	3.93	3.99	4.08	4.15	4.21
100000	4.26	4.28	3.83	3.89	3.97	4.06	4.14	4.20	4.26	4.33	4.40	4.49	4.61	4.72	4.82
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.14	3.14	3.08	3.09	3.10	3.11	3.12	3.13	3.14	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19
100	3.78	3.79	3.65	3.67	3.70	3.72	3.75	3.77	3.78	3.80	3.82	3.84	3.88	3.91	3.93
1000	4.35	4.36	4.12	4.15	4.19	4.25	4.29	4.32	4.35	4.38	4.42	4.46	4.52	4.57	4.62
10000	4.86	4.87	4.51	4.56	4.63	4.70	4.76	4.81	4.86	4.91	4.97	5.03	5.13	5.21	5.28
100000	5.33	5.35	4.85	4.92	5.01	5.11	5.19	5.27	5.33	5.40	5.48	5.57	5.71	5.82	5.92
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.23	3.23	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.23	3.24	3.25	3.26	3.27	3.28	3.29
100	3.90	3.90	3.76	3.78	3.81	3.84	3.86	3.88	3.90	3.92	3.94	3.96	4.00	4.02	4.05
1000	4.47	4.48	4.24	4.27	4.32	4.37	4.41	4.44	4.47	4.51	4.54	4.59	4.65	4.70	4.74
10000	4.99	5.00	4.64	4.69	4.75	4.83	4.89	4.94	4.99	5.04	5.09	5.16	5.25	5.33	5.41
100000	5.46	5.47	4.98	5.05	5.13	5.24	5.32	5.39	5.46	5.53	5.61	5.70	5.83	5.95	6.05
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.01	3.01	2.95	2.96	2.97	2.98	2.99	3.00	3.01	3.02	3.03	3.04	3.05	3.06	3.07
100	3.72	3.72	3.57	3.60	3.62	3.65	3.68	3.70	3.72	3.74	3.76	3.78	3.82	3.85	3.87
1000	4.32	4.33	4.08	4.11	4.16	4.21	4.25	4.29	4.32	4.36	4.40	4.44	4.50	4.56	4.61
10000	4.86	4.87	4.49	4.55	4.62	4.70	4.76	4.81	4.86	4.92	4.97	5.04	5.14	5.23	5.30
100000	5.36	5.37	4.85	4.93	5.02	5.13	5.21	5.29	5.36	5.43	5.51	5.61	5.75	5.87	5.97
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.14	2.14	2.10	2.10	2.11	2.12	2.13	2.13	2.14	2.14	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18
100	2.66	2.66	2.55	2.56	2.58	2.61	2.62	2.64	2.66	2.67	2.69	2.71	2.73	2.76	2.78
1000	3.14	3.14	2.94	2.97	3.00	3.05	3.08	3.11	3.14	3.17	3.20	3.23	3.29	3.33	3.37
10000	3.59	3.60	3.28	3.33	3.38	3.45	3.50	3.55	3.59	3.64	3.69	3.75	3.84	3.91	3.98
100000	4.03	4.05	3.58	3.65	3.73	3.82	3.90	3.97	4.03	4.10	4.17	4.26	4.38	4.50	4.60

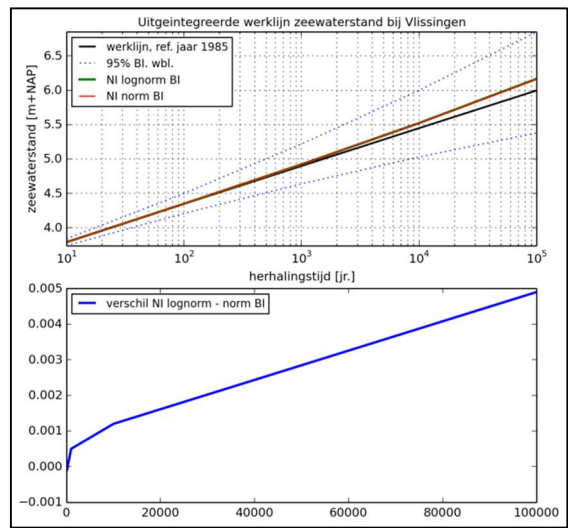
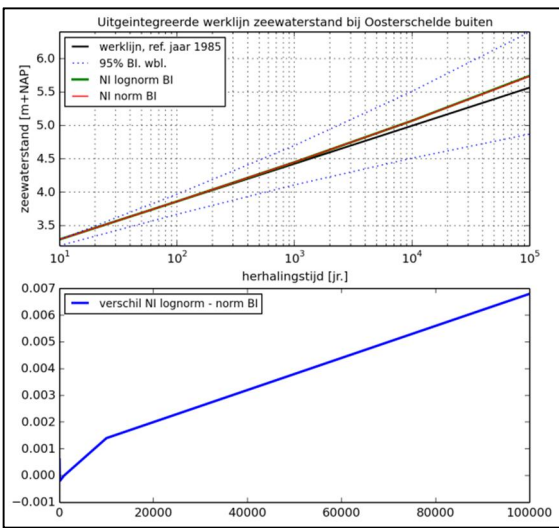
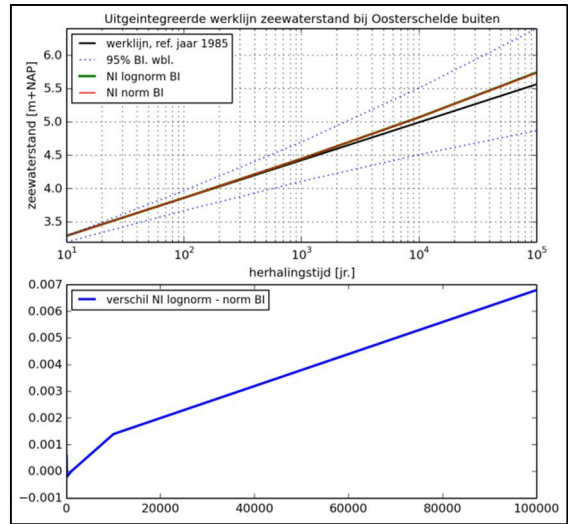
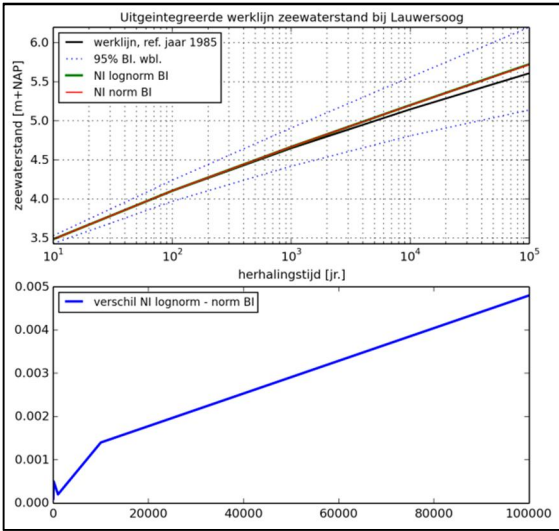
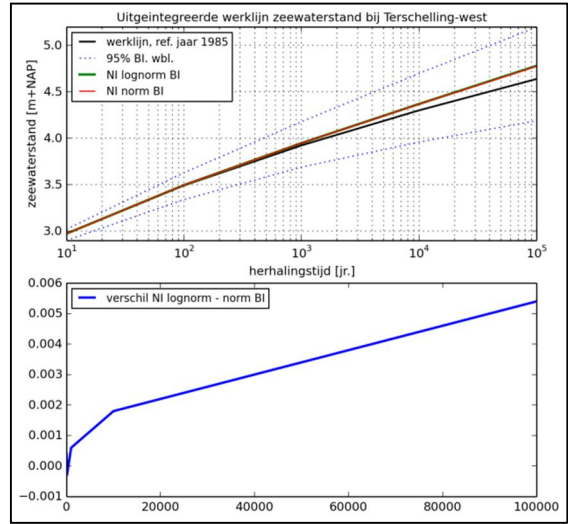
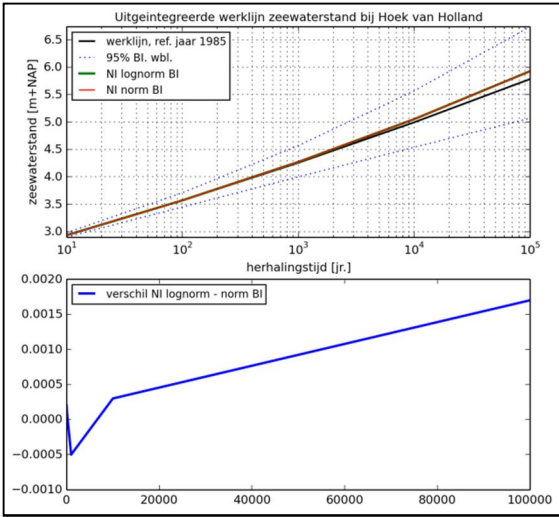
Huibertgat															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.02$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.94	2.94	2.89	2.89	2.90	2.92	2.92	2.93	2.94	2.95	2.95	2.96	2.97	2.99	2.99
100	3.53	3.54	3.39	3.41	3.44	3.47	3.49	3.51	3.53	3.55	3.57	3.60	3.64	3.67	3.69
1000	4.10	4.11	3.84	3.88	3.92	3.98	4.03	4.06	4.10	4.14	4.18	4.23	4.30	4.37	4.42
10000	4.65	4.66	4.23	4.29	4.37	4.46	4.53	4.59	4.65	4.71	4.78	4.86	4.98	5.09	5.18
100000	5.18	5.21	4.58	4.67	4.77	4.90	5.00	5.09	5.18	5.27	5.37	5.50	5.68	5.84	5.98
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.65	1.65	1.63	1.63	1.64	1.64	1.65	1.65	1.65	1.65	1.66	1.66	1.67	1.67	1.68
100	1.91	1.91	1.85	1.86	1.87	1.88	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.96	1.97	1.98
1000	2.17	2.17	2.05	2.06	2.09	2.11	2.13	2.15	2.17	2.18	2.20	2.22	2.26	2.29	2.31
10000	2.42	2.42	2.22	2.25	2.29	2.33	2.36	2.39	2.42	2.44	2.48	2.51	2.57	2.62	2.66
100000	2.66	2.67	2.38	2.42	2.47	2.53	2.58	2.62	2.66	2.70	2.75	2.81	2.89	2.97	3.04
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.29	2.29	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.28	2.29	2.30	2.30	2.31	2.32	2.33	2.34
100	2.83	2.83	2.70	2.72	2.74	2.77	2.79	2.81	2.83	2.84	2.86	2.89	2.92	2.95	2.97
1000	3.34	3.35	3.10	3.14	3.18	3.23	3.27	3.31	3.34	3.38	3.41	3.46	3.53	3.58	3.63
10000	3.84	3.85	3.46	3.51	3.58	3.67	3.73	3.79	3.84	3.90	3.96	4.03	4.14	4.24	4.32
100000	4.32	4.35	3.78	3.86	3.95	4.07	4.16	4.24	4.32	4.41	4.50	4.61	4.78	4.92	5.05
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.69	2.69	2.63	2.64	2.65	2.66	2.67	2.68	2.69	2.69	2.70	2.71	2.72	2.74	2.74
100	3.30	3.30	3.15	3.17	3.20	3.23	3.25	3.28	3.30	3.32	3.34	3.36	3.40	3.43	3.46
1000	3.87	3.88	3.60	3.64	3.69	3.75	3.79	3.83	3.87	3.91	3.95	4.00	4.07	4.14	4.19
10000	4.42	4.44	4.00	4.06	4.14	4.23	4.30	4.36	4.42	4.48	4.55	4.63	4.75	4.86	4.95
100000	4.95	4.98	4.35	4.44	4.54	4.67	4.77	4.86	4.95	5.04	5.14	5.26	5.44	5.60	5.74
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.67	2.67	2.62	2.63	2.64	2.65	2.66	2.67	2.67	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72	2.73
100	3.30	3.30	3.15	3.17	3.20	3.23	3.25	3.28	3.30	3.32	3.34	3.37	3.40	3.43	3.46
1000	3.88	3.89	3.61	3.65	3.70	3.76	3.81	3.85	3.88	3.92	3.97	4.02	4.09	4.16	4.21
10000	4.45	4.46	4.02	4.08	4.15	4.25	4.32	4.39	4.45	4.51	4.58	4.66	4.79	4.89	4.99
100000	4.99	5.01	4.38	4.46	4.57	4.70	4.81	4.90	4.99	5.08	5.18	5.31	5.49	5.65	5.80
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.42	2.42	2.37	2.37	2.38	2.40	2.41	2.41	2.42	2.43	2.44	2.45	2.46	2.47	2.48
100	3.06	3.06	2.91	2.93	2.96	2.99	3.02	3.04	3.06	3.08	3.10	3.13	3.17	3.20	3.23
1000	3.66	3.67	3.38	3.42	3.47	3.54	3.58	3.62	3.66	3.70	3.75	3.80	3.88	3.94	4.00
10000	4.24	4.26	3.80	3.86	3.94	4.04	4.11	4.18	4.24	4.31	4.38	4.46	4.59	4.70	4.80
100000	4.80	4.82	4.17	4.26	4.37	4.51	4.61	4.71	4.80	4.89	5.00	5.13	5.31	5.48	5.63
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	1.74	1.75	1.71	1.72	1.72	1.73	1.74	1.74	1.74	1.75	1.75	1.76	1.77	1.77	1.78
100	2.13	2.13	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.12	2.13	2.14	2.16	2.17	2.20	2.22	2.24
1000	2.51	2.52	2.33	2.36	2.39	2.43	2.46	2.49	2.51	2.54	2.57	2.60	2.65	2.70	2.73
10000	2.90	2.91	2.60	2.64	2.70	2.76	2.81	2.85	2.90	2.94	2.99	3.05	3.13	3.21	3.28
100000	3.28	3.30	2.85	2.91	2.98	3.08	3.15	3.21	3.28	3.34	3.42	3.51	3.64	3.76	3.87

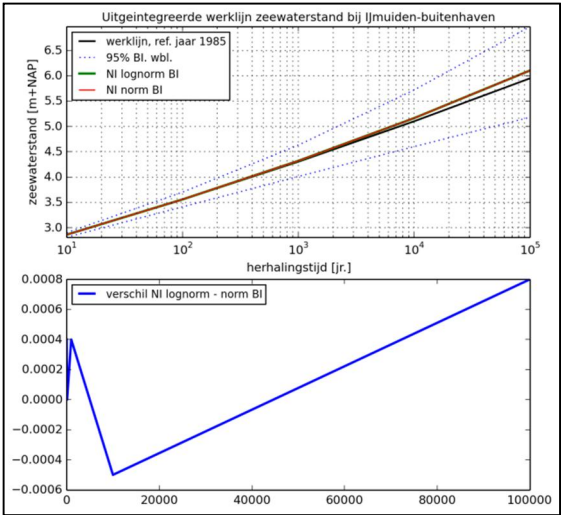
Delfzijl															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	4.08	4.08	4.02	4.03	4.04	4.05	4.07	4.07	4.08	4.09	4.10	4.11	4.13	4.14	4.15
100	4.86	4.86	4.70	4.73	4.75	4.79	4.82	4.84	4.86	4.88	4.91	4.93	4.97	5.01	5.04
1000	5.54	5.55	5.26	5.30	5.35	5.42	5.46	5.50	5.54	5.58	5.62	5.67	5.74	5.81	5.86
10000	6.15	6.16	5.73	5.80	5.87	5.96	6.03	6.09	6.15	6.21	6.28	6.35	6.47	6.56	6.65
100000	6.71	6.73	6.14	6.22	6.32	6.45	6.55	6.63	6.71	6.80	6.89	7.00	7.16	7.29	7.42
r = 210	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.15	2.15	2.13	2.14	2.14	2.14	2.15	2.15	2.15	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18
100	2.45	2.45	2.39	2.40	2.41	2.42	2.43	2.44	2.45	2.46	2.47	2.48	2.50	2.51	2.52
1000	2.73	2.73	2.61	2.63	2.65	2.68	2.70	2.71	2.73	2.75	2.76	2.79	2.82	2.84	2.87
10000	2.99	3.00	2.81	2.84	2.87	2.91	2.94	2.97	2.99	3.02	3.05	3.09	3.14	3.18	3.22
100000	3.25	3.26	2.99	3.03	3.07	3.13	3.17	3.21	3.25	3.29	3.33	3.38	3.46	3.52	3.58
r = 240	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.67	2.67	2.62	2.63	2.64	2.65	2.65	2.66	2.67	2.67	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72
100	3.24	3.24	3.12	3.13	3.16	3.18	3.20	3.22	3.24	3.25	3.27	3.29	3.32	3.35	3.37
1000	3.76	3.77	3.54	3.57	3.61	3.66	3.70	3.73	3.76	3.79	3.82	3.87	3.92	3.97	4.02
10000	4.25	4.26	3.91	3.96	4.02	4.10	4.16	4.21	4.25	4.30	4.36	4.42	4.51	4.59	4.67
100000	4.72	4.74	4.24	4.31	4.40	4.50	4.58	4.65	4.72	4.79	4.87	4.96	5.10	5.22	5.32
r = 270	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.54	3.54	3.48	3.49	3.50	3.52	3.53	3.54	3.54	3.55	3.56	3.57	3.59	3.60	3.61
100	4.33	4.33	4.17	4.19	4.22	4.26	4.28	4.31	4.33	4.35	4.37	4.40	4.44	4.47	4.50
1000	5.00	5.01	4.73	4.77	4.82	4.88	4.93	4.97	5.00	5.04	5.09	5.14	5.21	5.27	5.32
10000	5.61	5.62	5.20	5.26	5.33	5.42	5.49	5.55	5.61	5.67	5.73	5.81	5.92	6.02	6.10
100000	6.17	6.18	5.60	5.68	5.78	5.91	6.00	6.09	6.17	6.25	6.34	6.45	6.60	6.74	6.86
r = 300	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.87	3.87	3.79	3.80	3.82	3.83	3.85	3.86	3.87	3.88	3.89	3.90	3.92	3.93	3.95
100	4.73	4.73	4.56	4.59	4.62	4.66	4.68	4.71	4.73	4.75	4.78	4.81	4.85	4.89	4.92
1000	5.45	5.45	5.16	5.20	5.25	5.32	5.37	5.41	5.45	5.49	5.53	5.58	5.66	5.72	5.78
10000	6.07	6.08	5.65	5.71	5.79	5.88	5.95	6.01	6.07	6.13	6.20	6.28	6.39	6.49	6.57
100000	6.63	6.65	6.06	6.15	6.25	6.38	6.47	6.55	6.63	6.72	6.81	6.92	7.07	7.21	7.33
r = 330	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.36	3.36	3.29	3.30	3.31	3.33	3.34	3.35	3.36	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.44
100	4.23	4.23	4.05	4.08	4.11	4.15	4.18	4.20	4.23	4.25	4.28	4.31	4.35	4.39	4.42
1000	4.96	4.96	4.66	4.71	4.76	4.83	4.88	4.92	4.96	5.00	5.05	5.10	5.18	5.24	5.30
10000	5.61	5.62	5.16	5.23	5.31	5.41	5.48	5.55	5.61	5.67	5.74	5.82	5.94	6.04	6.13
100000	6.19	6.21	5.59	5.68	5.79	5.92	6.02	6.11	6.19	6.28	6.37	6.49	6.65	6.79	6.92
r = 360	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.51	2.51	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50	2.50	2.51	2.52	2.53	2.54	2.55	2.56	2.57
100	3.16	3.17	3.03	3.05	3.07	3.10	3.13	3.15	3.16	3.18	3.20	3.23	3.26	3.29	3.31
1000	3.75	3.75	3.50	3.54	3.58	3.64	3.68	3.71	3.75	3.78	3.82	3.86	3.92	3.98	4.02
10000	4.28	4.29	3.91	3.97	4.03	4.11	4.17	4.23	4.28	4.33	4.39	4.46	4.56	4.64	4.72
100000	4.78	4.79	4.27	4.34	4.43	4.54	4.63	4.70	4.78	4.85	4.93	5.03	5.17	5.30	5.41

D Verschil tussen normale en log-normale schattingen statistische onzekerheid zeewaterstand

Normale en lognormale fit statistische onzekerheid



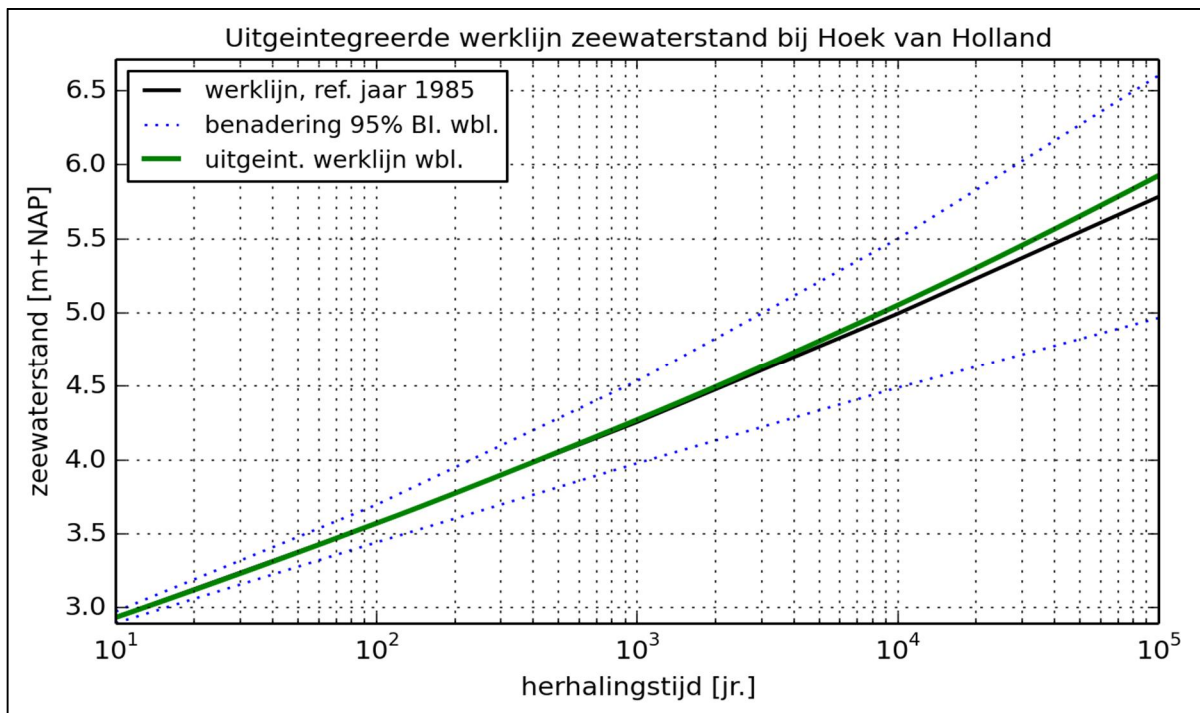
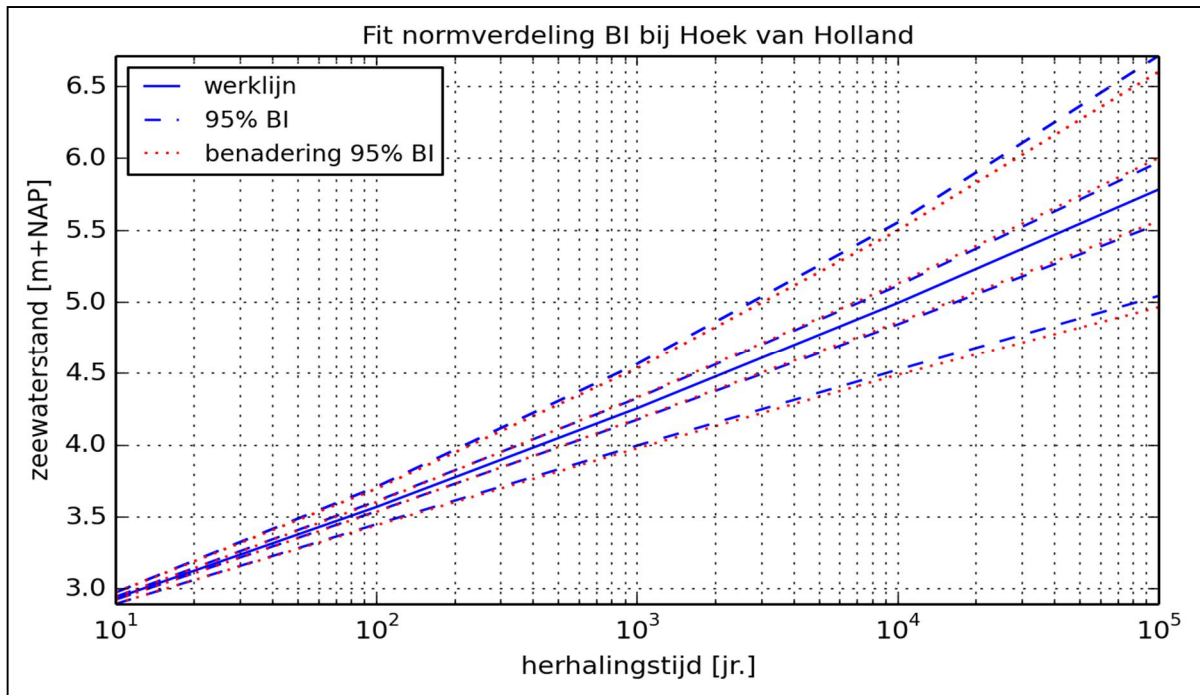




E Uit-geïntegreerde werklijnen zeewaterstanden

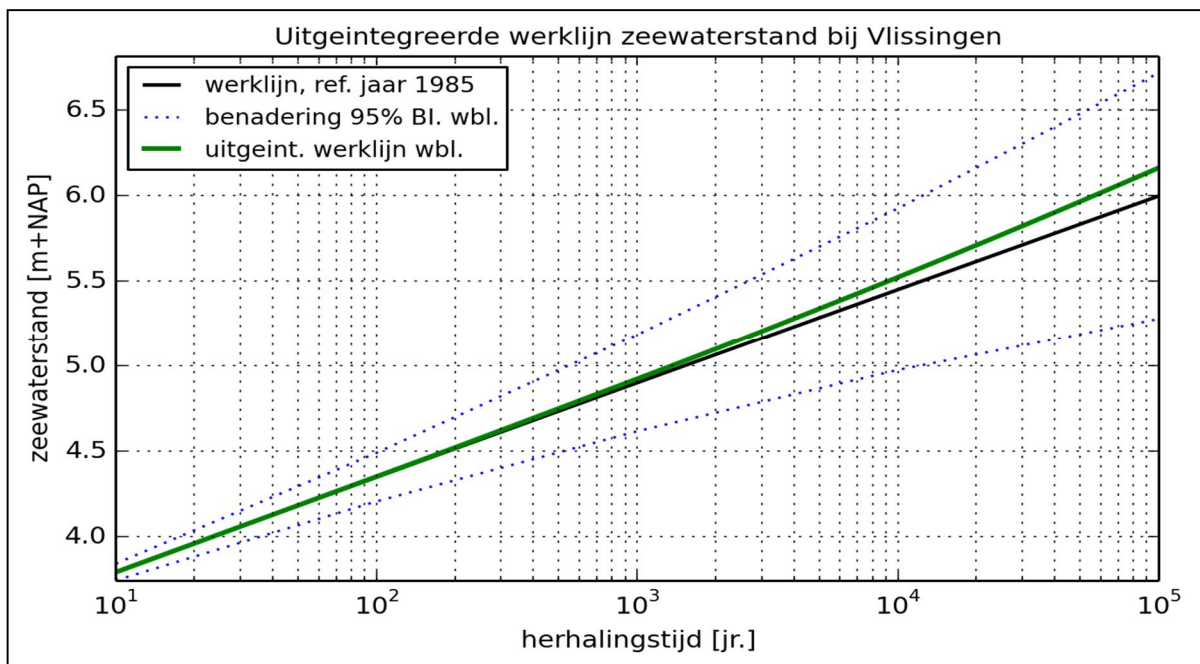
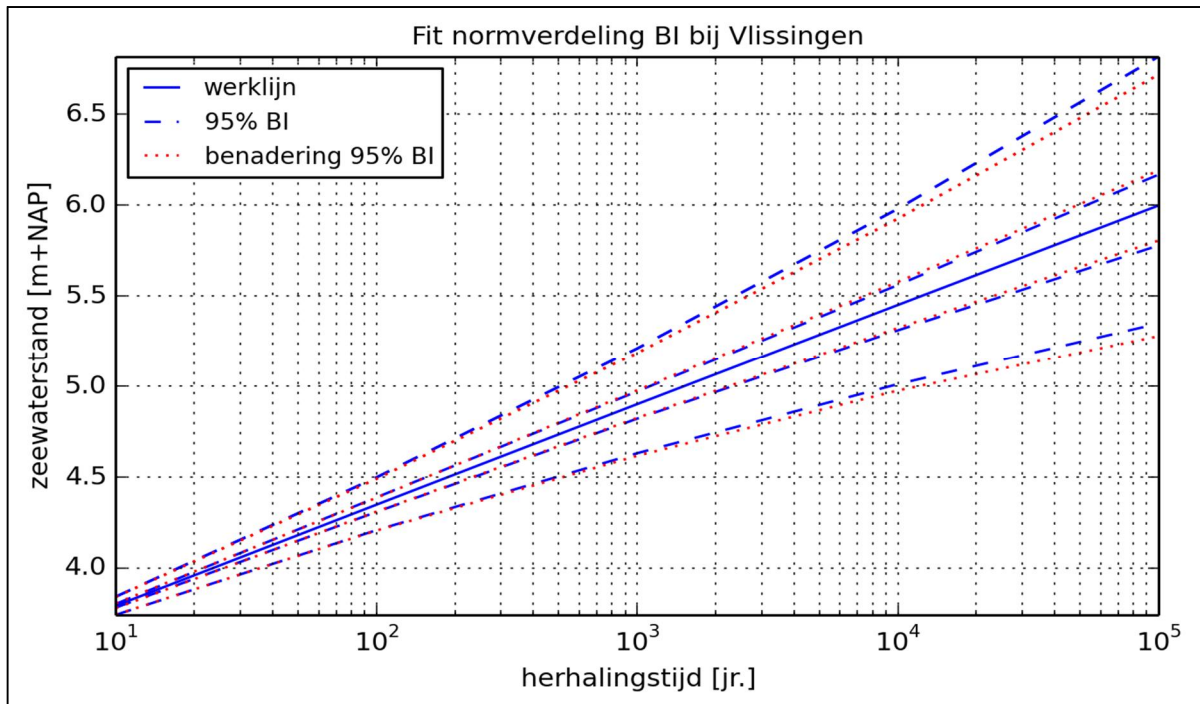
Station Hoek van Holland

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5 % BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	2.93	2.90	2.98	2.9341	0	0.0200	2.90	2.97
100	3.57	3.45	3.71	3.5712	0	0.0650	3.44	3.70
1000	4.26	4.00	4.57	4.2723	0	0.1425	3.98	4.54
10000	5.00	4.54	5.57	5.0525	0	0.2575	4.49	5.50
100000	5.78	5.07	6.74	5.9271	0	0.4175	4.97	6.60



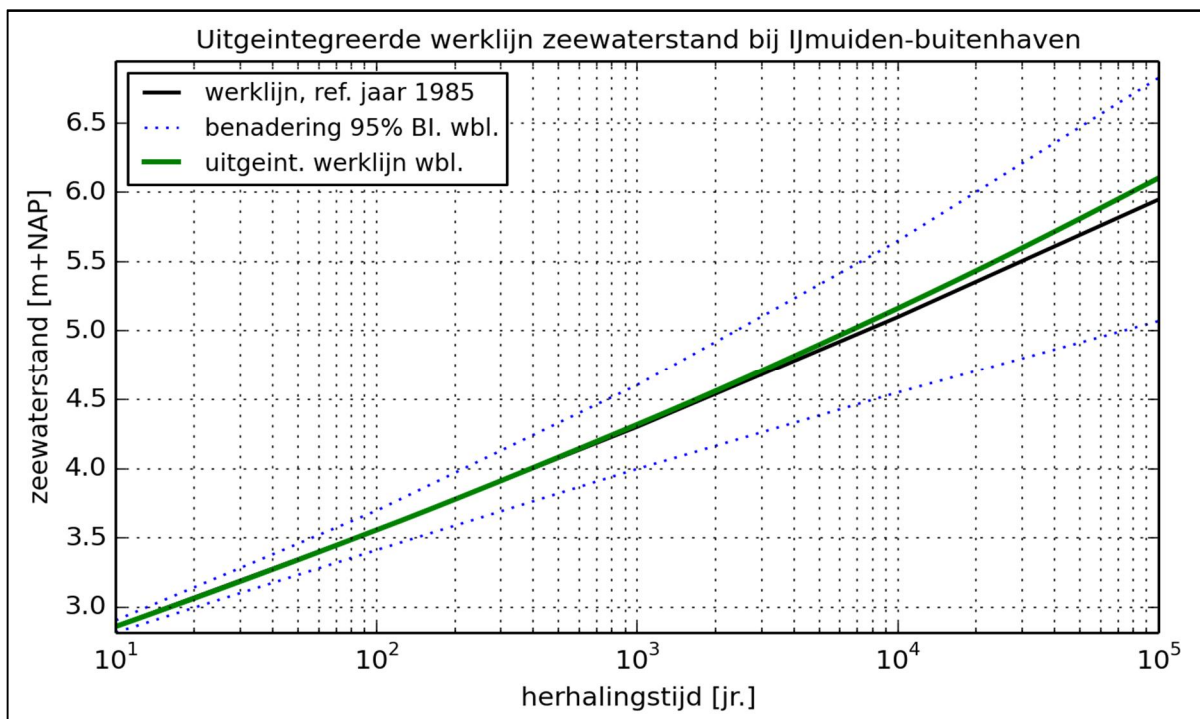
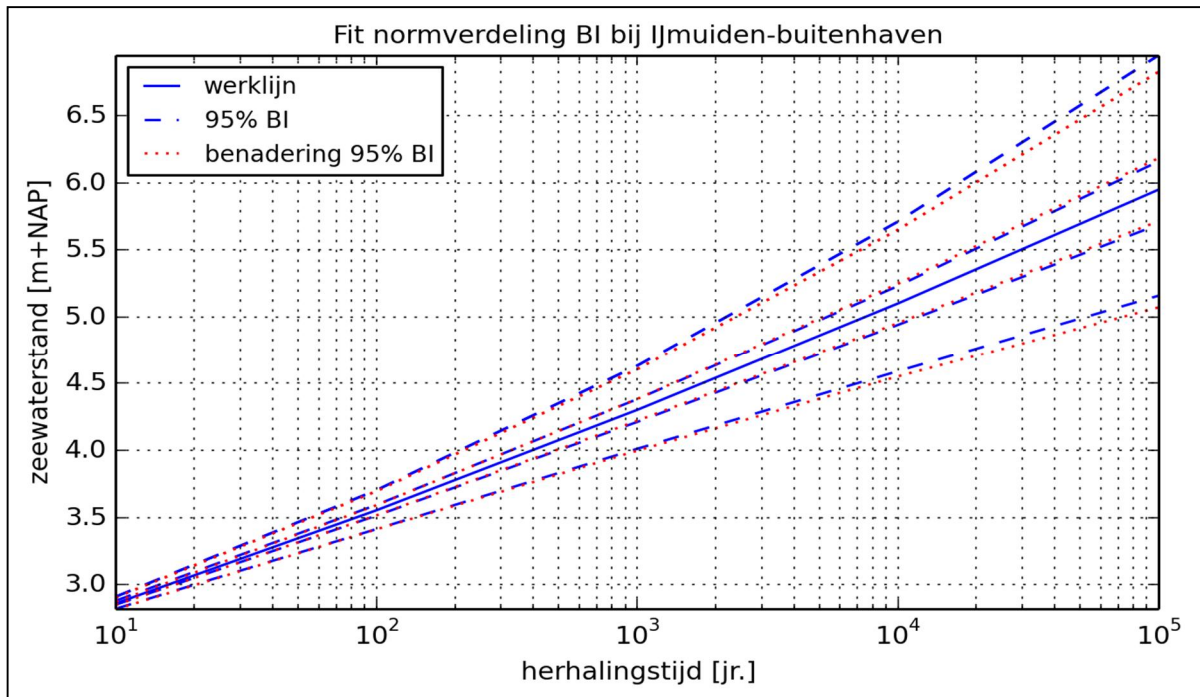
Station Vlissingen

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	3.79	3.74	3.84	3.7906	0	0.0250	3.74	3.84
100	4.35	4.21	4.50	4.3503	0	0.0725	4.20	4.49
1000	4.90	4.64	5.22	4.9222	0	0.1450	4.62	5.18
10000	5.45	5.03	6.00	5.5223	0	0.2425	4.97	5.93
100000	6.00	5.38	6.85	6.1625	0	0.3675	5.28	6.72



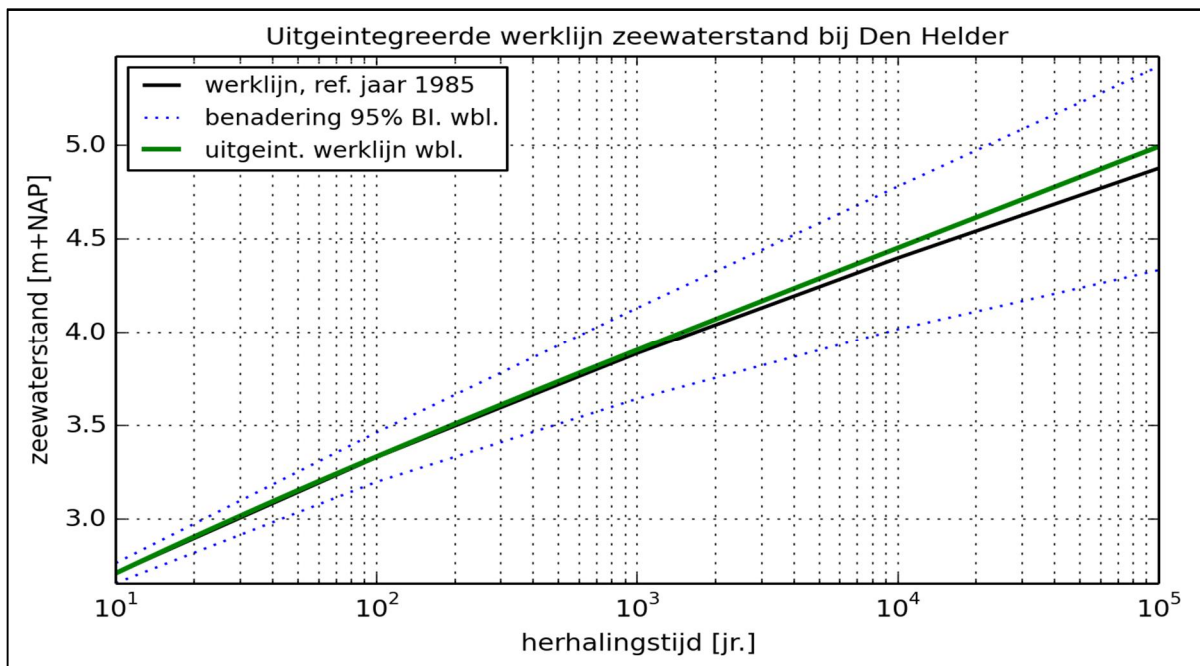
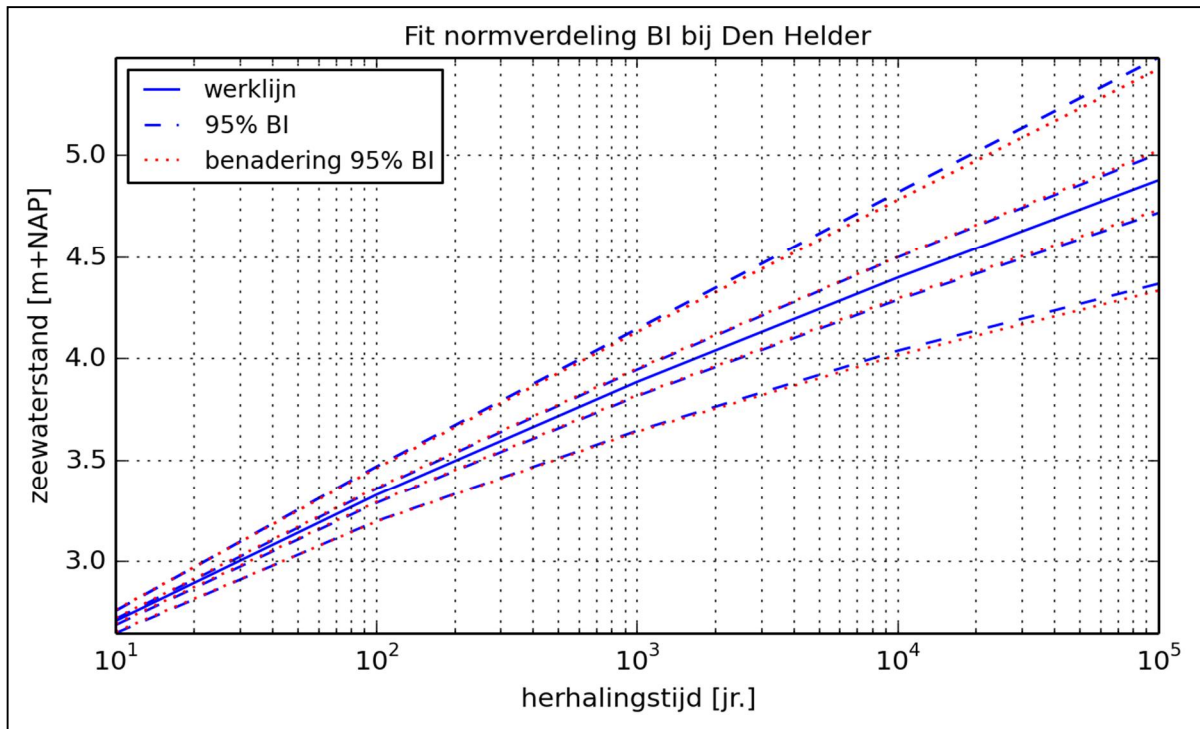
Station IJmuiden

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	2.86	2.81	2.90	2.8598	0	0.0225	2.82	2.90
100	3.55	3.41	3.70	3.5562	0	0.0725	3.41	3.70
1000	4.30	4.01	4.63	4.3186	0	0.1550	4.00	4.61
10000	5.10	4.60	5.72	5.1634	0	0.2800	4.55	5.65
100000	5.95	5.18	6.97	6.1032	0	0.4475	5.07	6.83



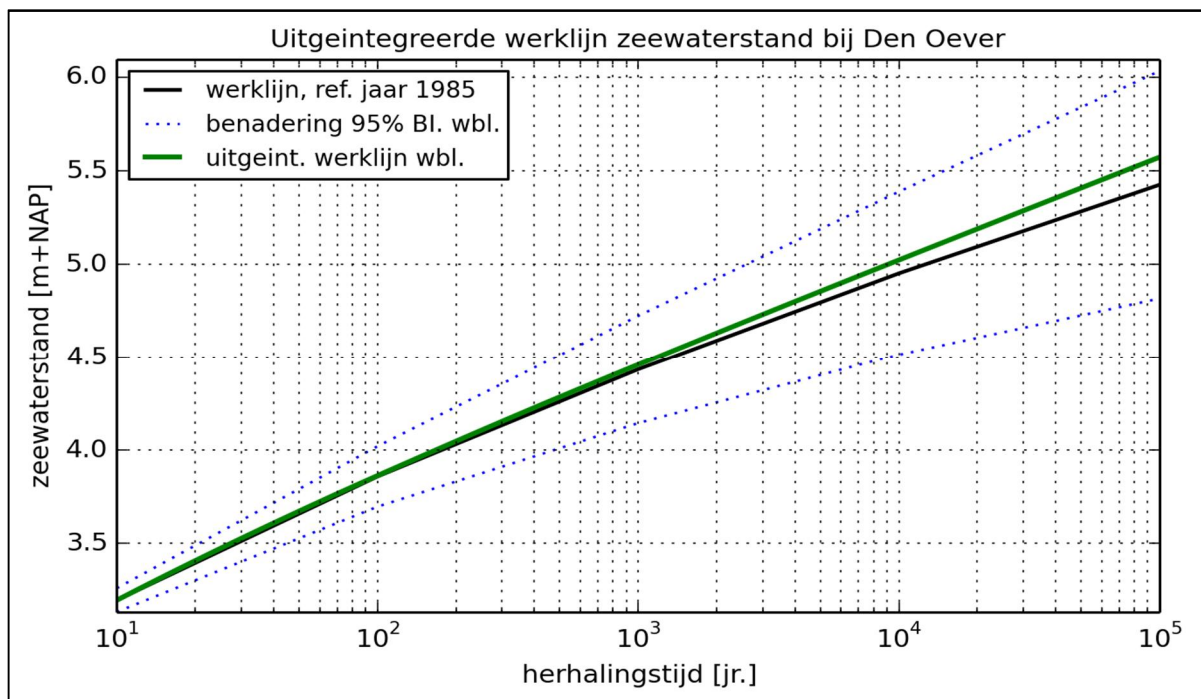
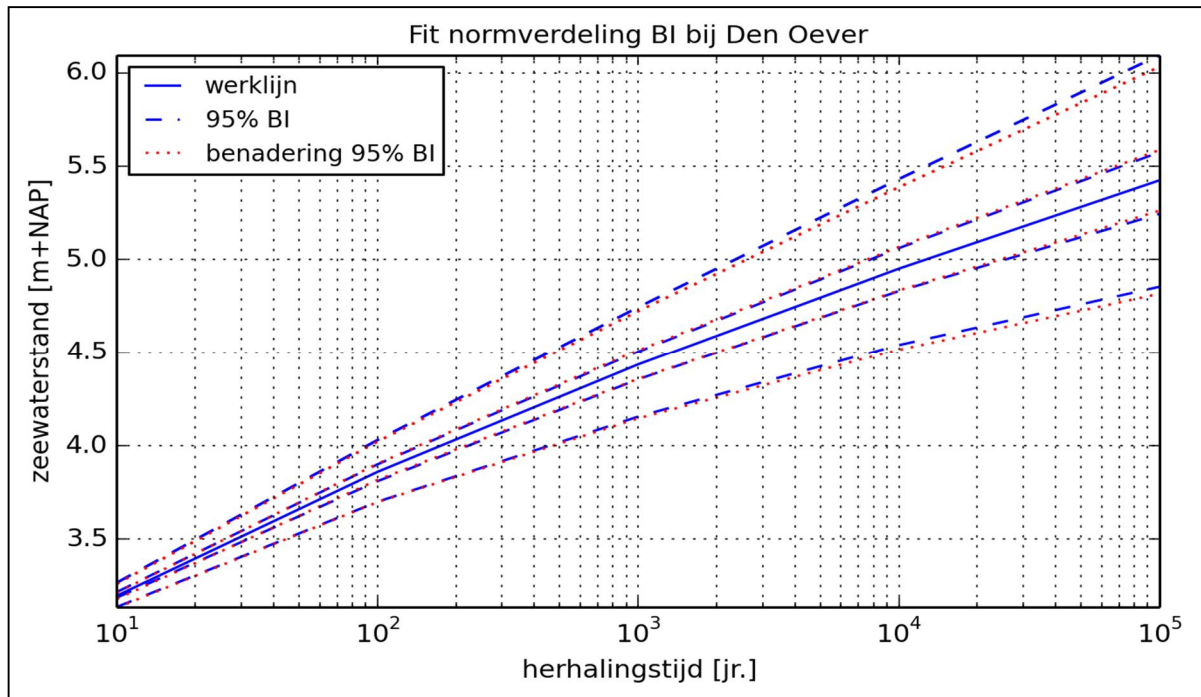
Station Den Helder

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	2.71	2.64	2.75	2.7089	0	0.0275	2.66	2.76
100	3.33	3.19	3.46	3.3326	0	0.0675	3.20	3.46
1000	3.89	3.64	4.14	3.9046	0	0.1250	3.64	4.13
10000	4.40	4.04	4.82	4.4535	0	0.1950	4.02	4.78
100000	4.88	4.38	5.49	4.9945	0	0.2775	4.33	5.42



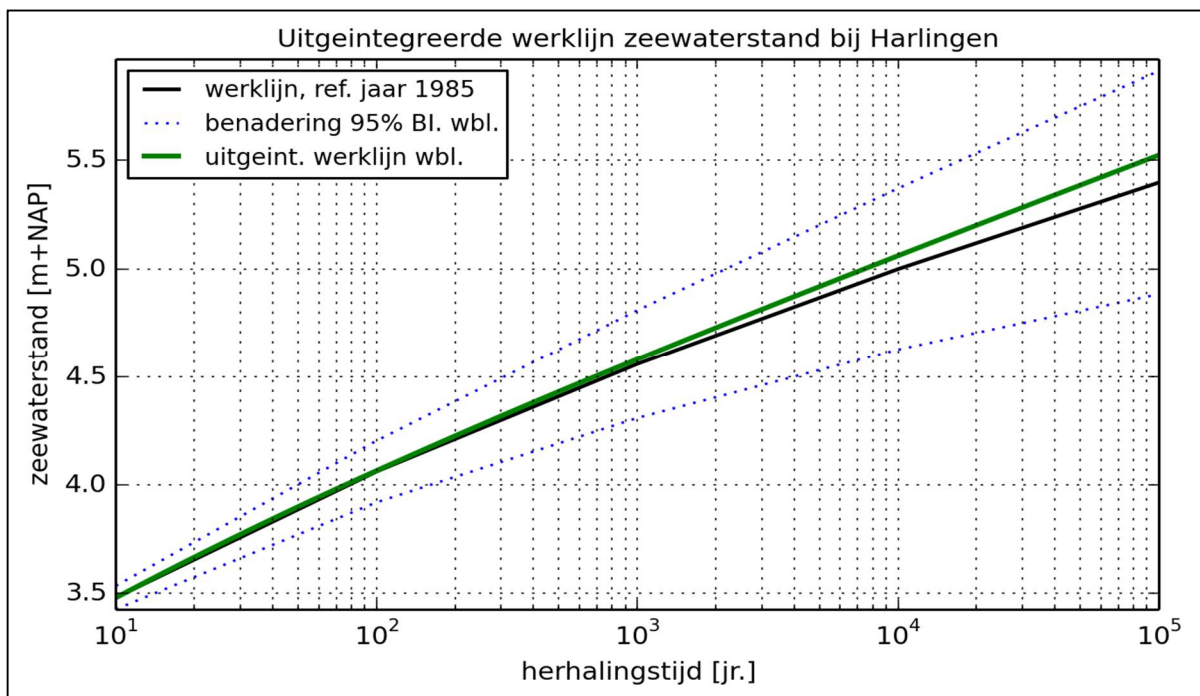
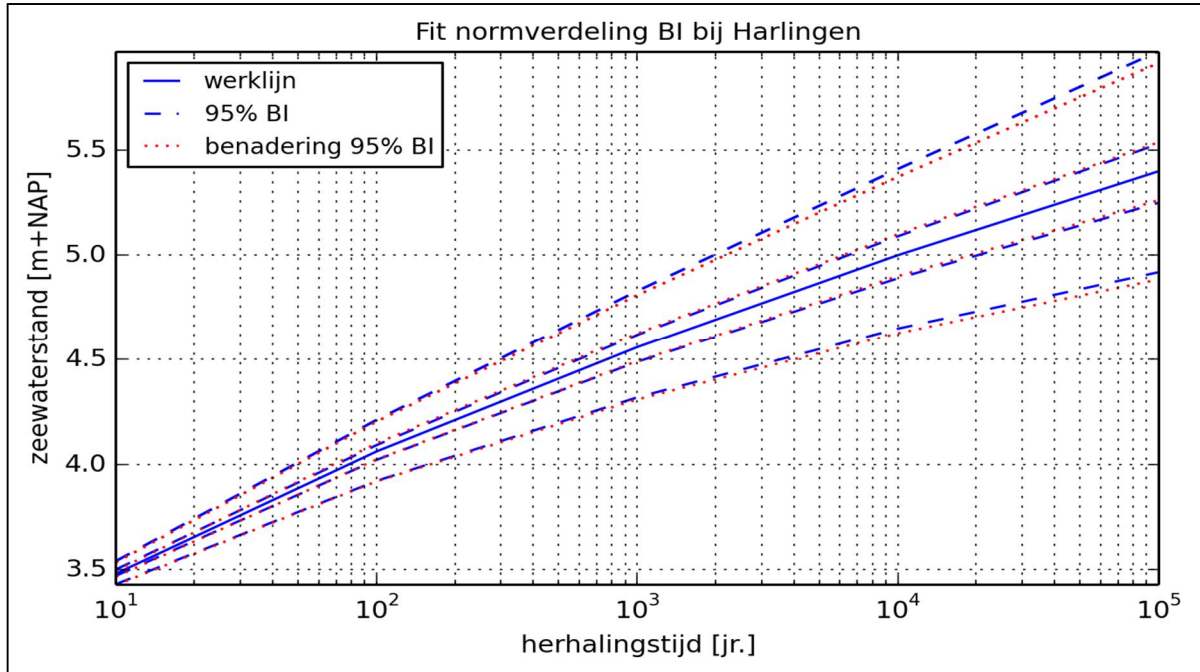
Station Den Oever

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	3.20	3.11	3.24	3.1963	0	0.0325	3.13	3.26
100	3.86	3.68	4.01	3.8636	0	0.0825	3.70	4.02
1000	4.43	4.14	4.73	4.4595	0	0.1475	4.15	4.72
10000	4.95	4.53	5.42	5.0222	0	0.2225	4.51	5.39
100000	5.42	4.86	6.10	5.5715	0	0.3100	4.82	6.03



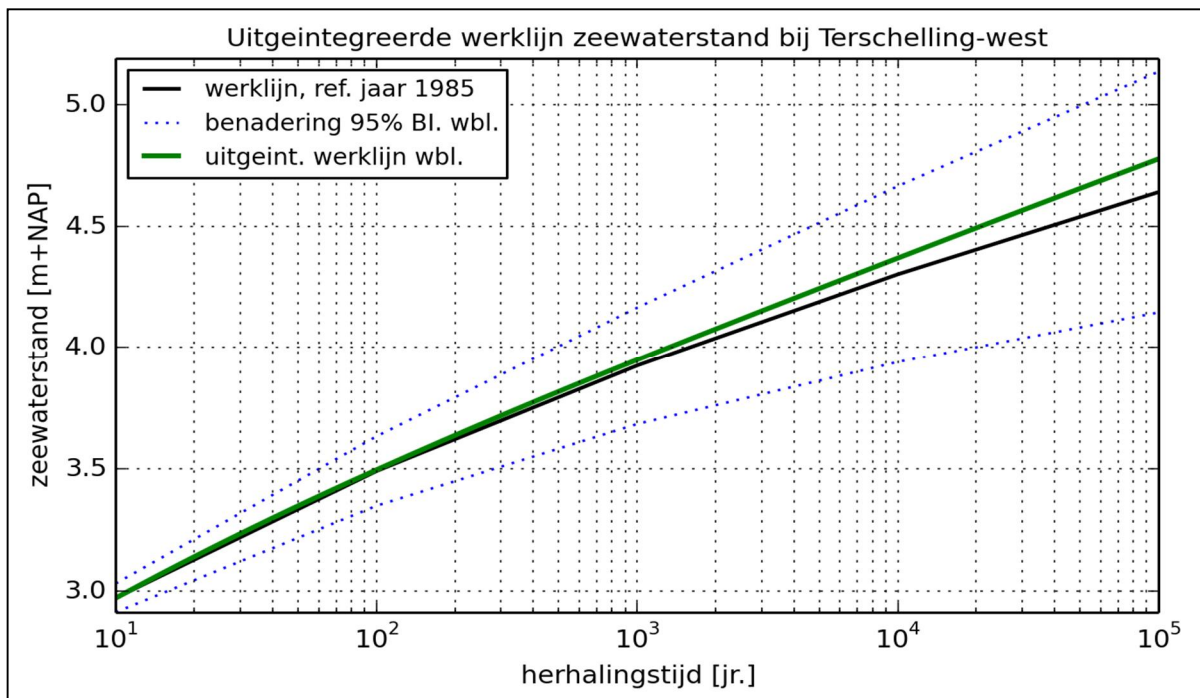
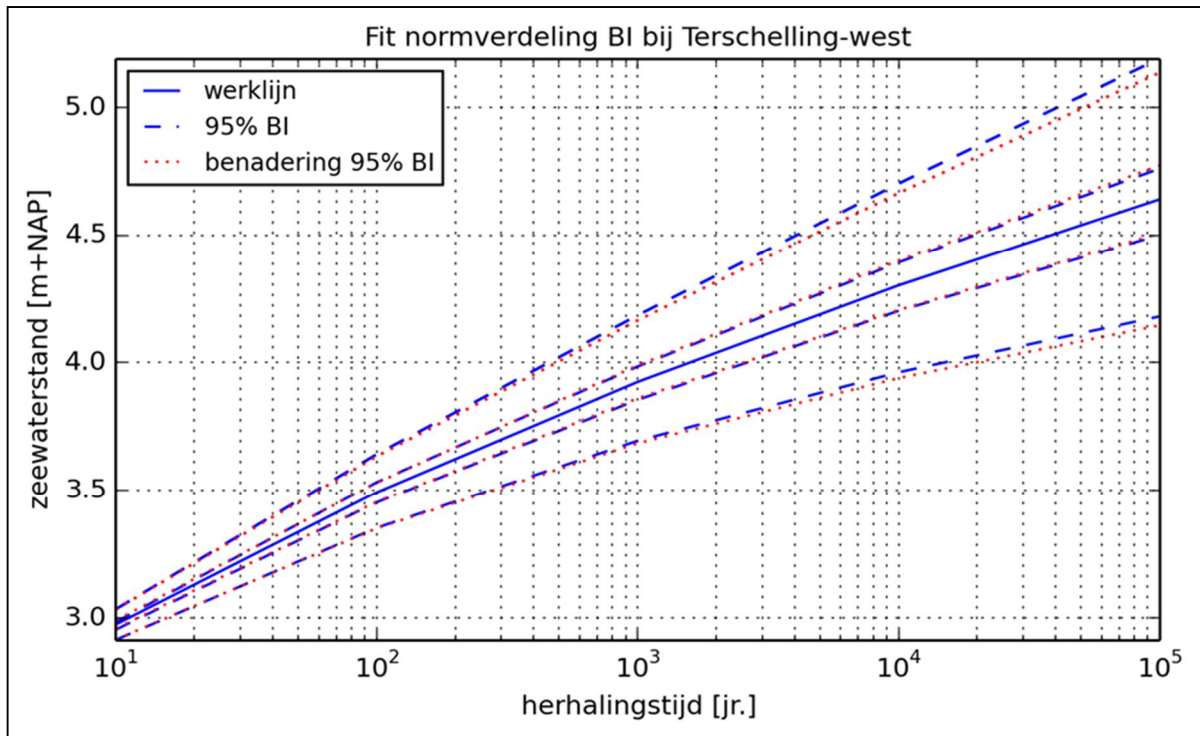
Station Harlingen

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	3.48	3.44	3.55	3.4795	0	0.0275	3.43	3.53
100	4.06	3.94	4.23	4.0653	0	0.0725	3.92	4.20
1000	4.56	4.34	4.85	4.5805	0	0.1275	4.31	4.81
10000	5.00	4.68	5.44	5.0606	0	0.1900	4.63	5.37
100000	5.40	4.96	6.01	5.5243	0	0.2625	4.88	5.91



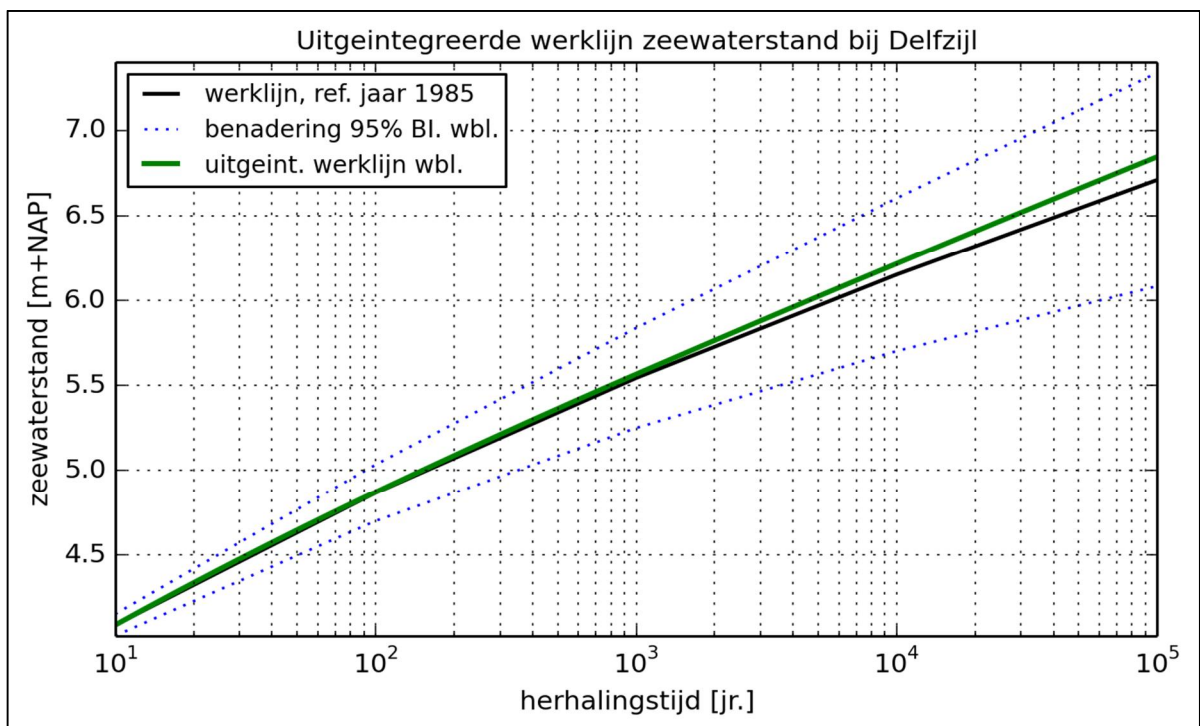
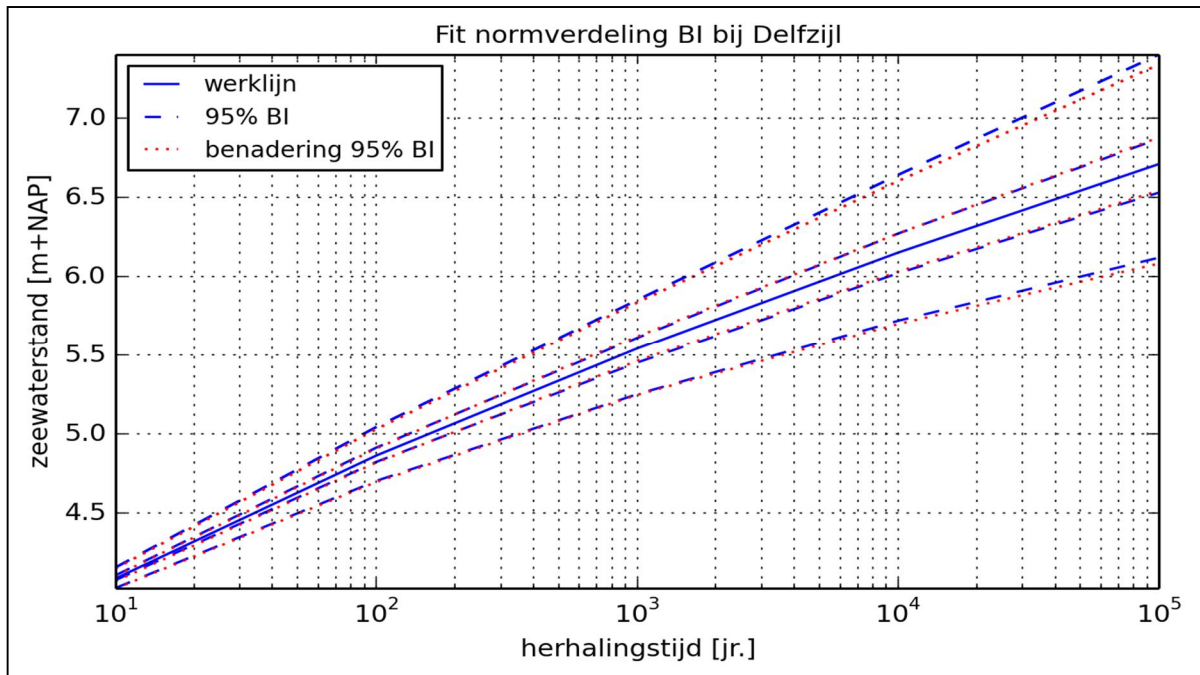
Station Terschelling

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	2.97	2.90	3.02	2.9724	0	0.0300	2.91	3.03
100	3.49	3.34	3.63	3.4966	0	0.0725	3.35	3.63
1000	3.92	3.69	4.18	3.9483	0	0.1225	3.68	4.16
10000	4.30	3.96	4.70	4.3687	0	0.1850	3.94	4.66
100000	4.64	4.19	5.20	4.7764	0	0.2525	4.15	5.13



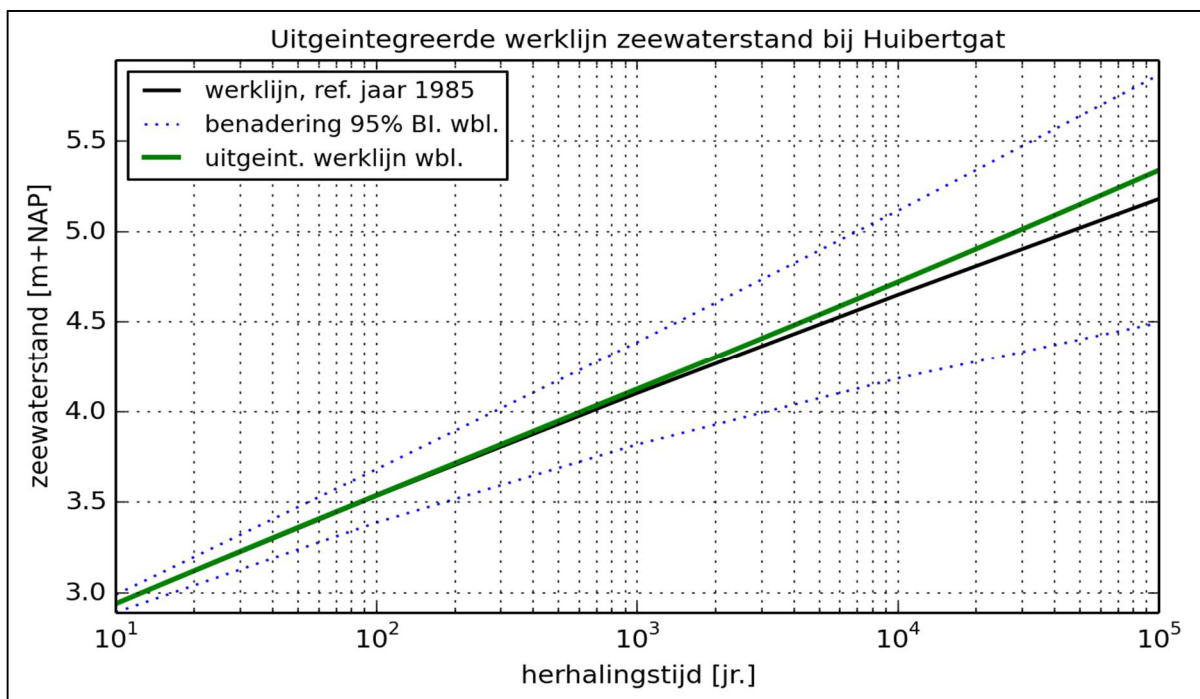
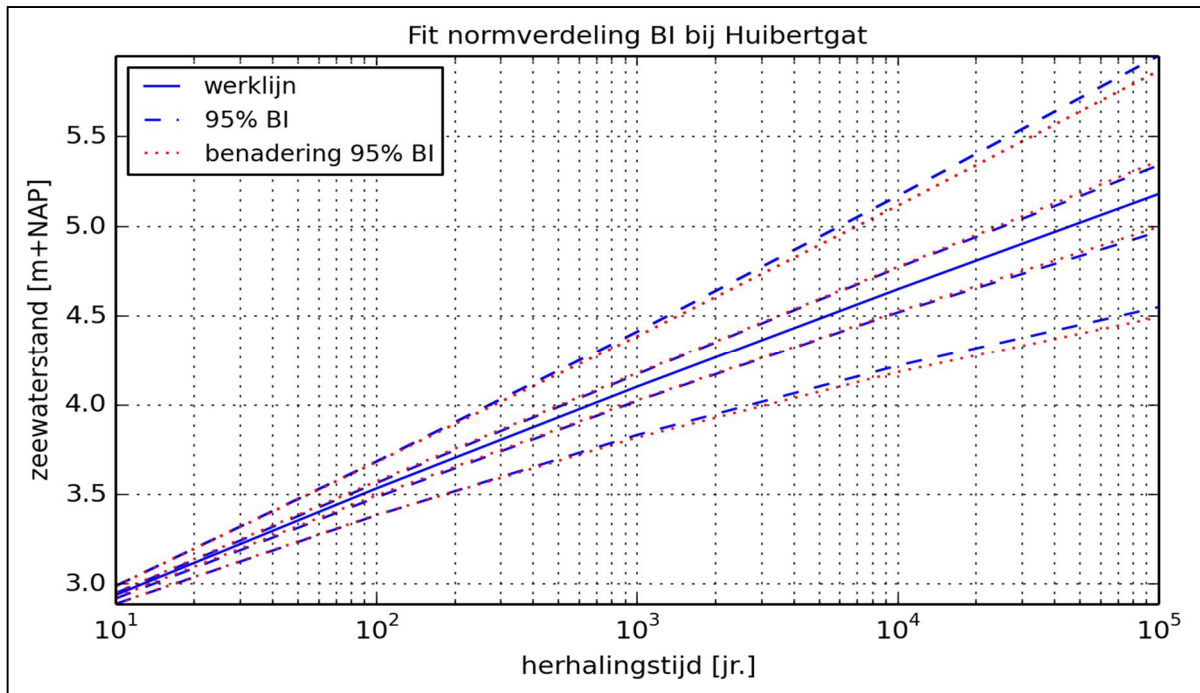
Station Delfzijl

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	4.09	4.02	4.15	4.088	0	0.0325	4.03	4.15
100	4.87	4.70	5.04	4.8691	0	0.0850	4.70	5.03
1000	5.54	5.26	5.86	5.564	0	0.1500	5.25	5.84
10000	6.15	5.73	6.65	6.2154	0	0.2300	5.70	6.60
100000	6.71	6.14	7.42	6.8447	0	0.3200	6.08	7.34



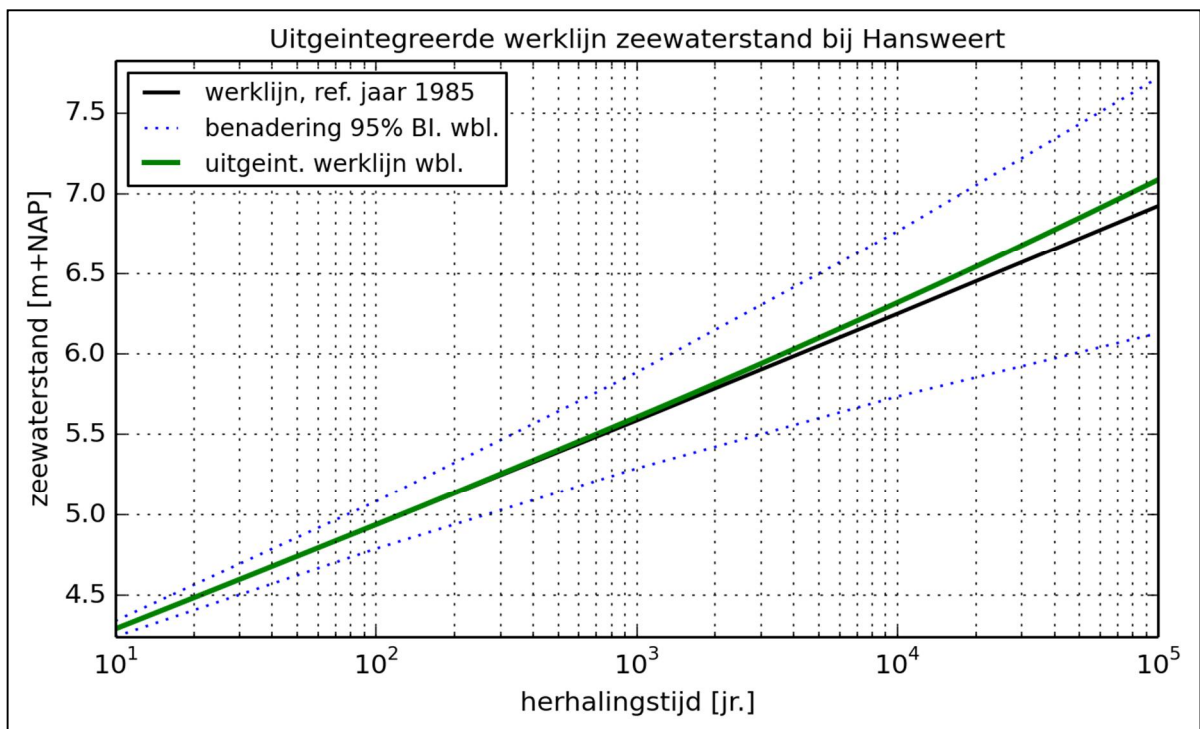
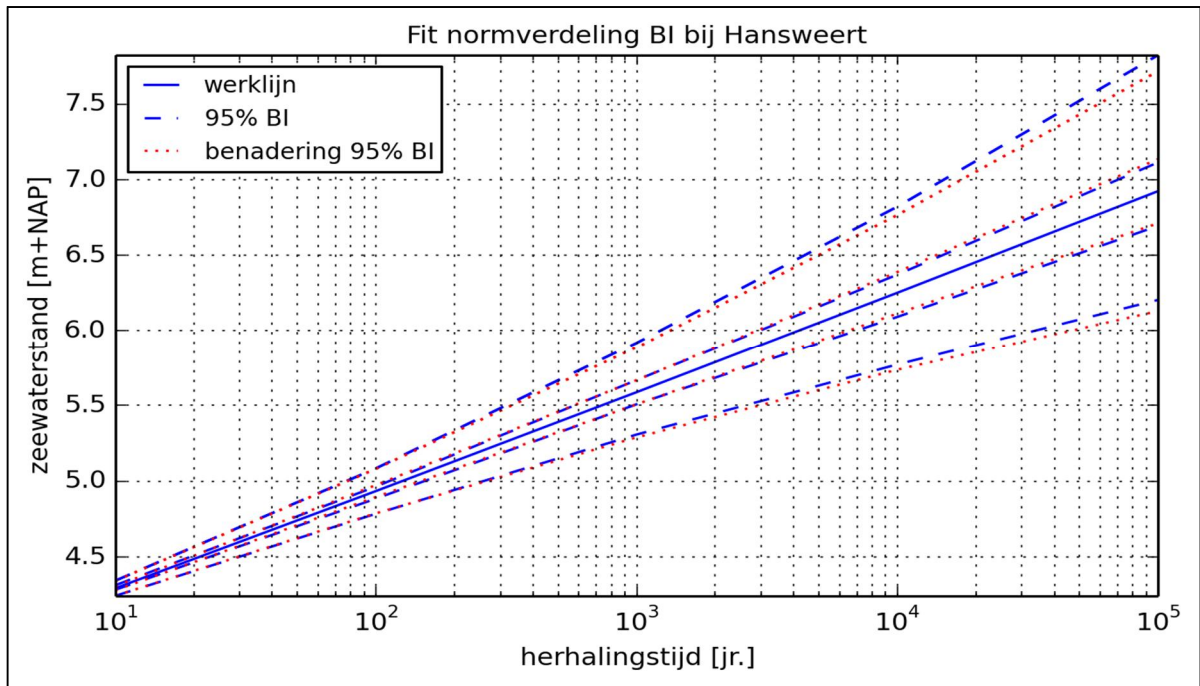
Station Huibertgat

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	2.94	2.89	2.99	2.9394	0	0.0250	2.89	2.99
100	3.53	3.39	3.69	3.5376	0	0.0750	3.39	3.68
1000	4.10	3.84	4.42	4.1247	0	0.1450	3.82	4.39
10000	4.65	4.23	5.18	4.721	0	0.2375	4.18	5.12
100000	5.18	4.58	5.98	5.3387	0	0.3500	4.49	5.87



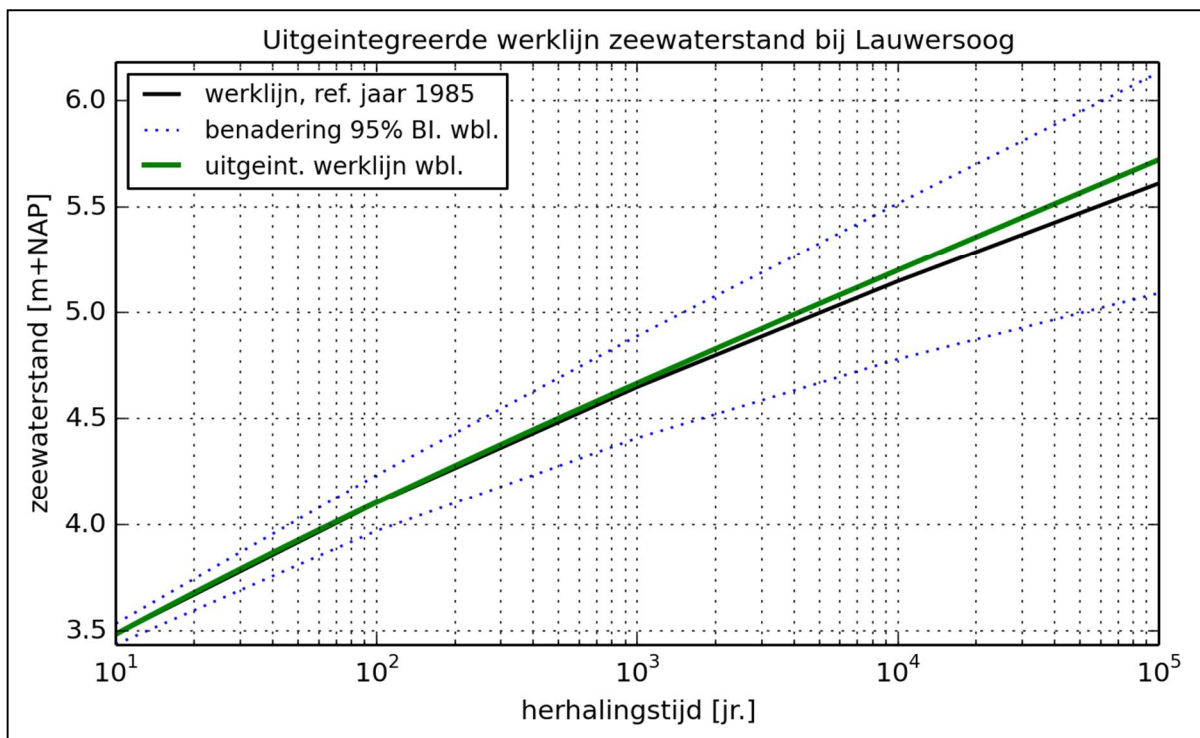
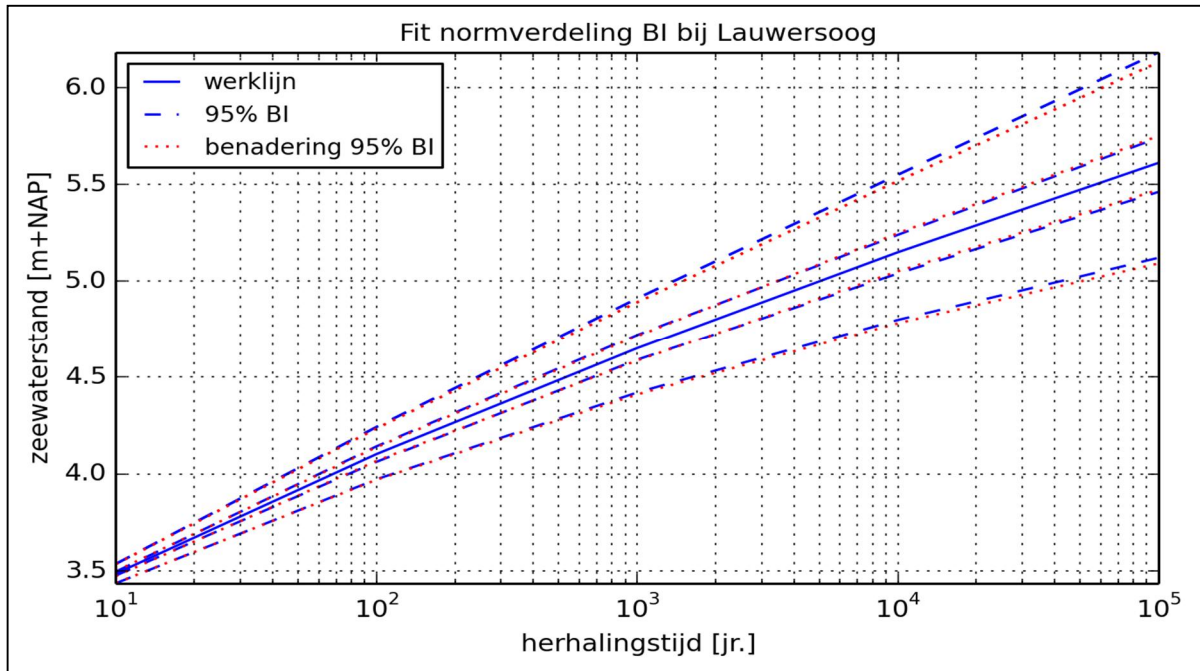
Station Hansweert

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	4.29	4.24	4.34	4.2913	0	0.0250	4.24	4.34
100	4.93	4.79	5.09	4.9373	0	0.0750	4.79	5.08
1000	5.59	5.31	5.92	5.6081	0	0.1525	5.29	5.89
10000	6.25	5.79	6.84	6.3204	0	0.2625	5.74	6.77
100000	6.92	6.23	7.85	7.0866	0	0.4050	6.13	7.72



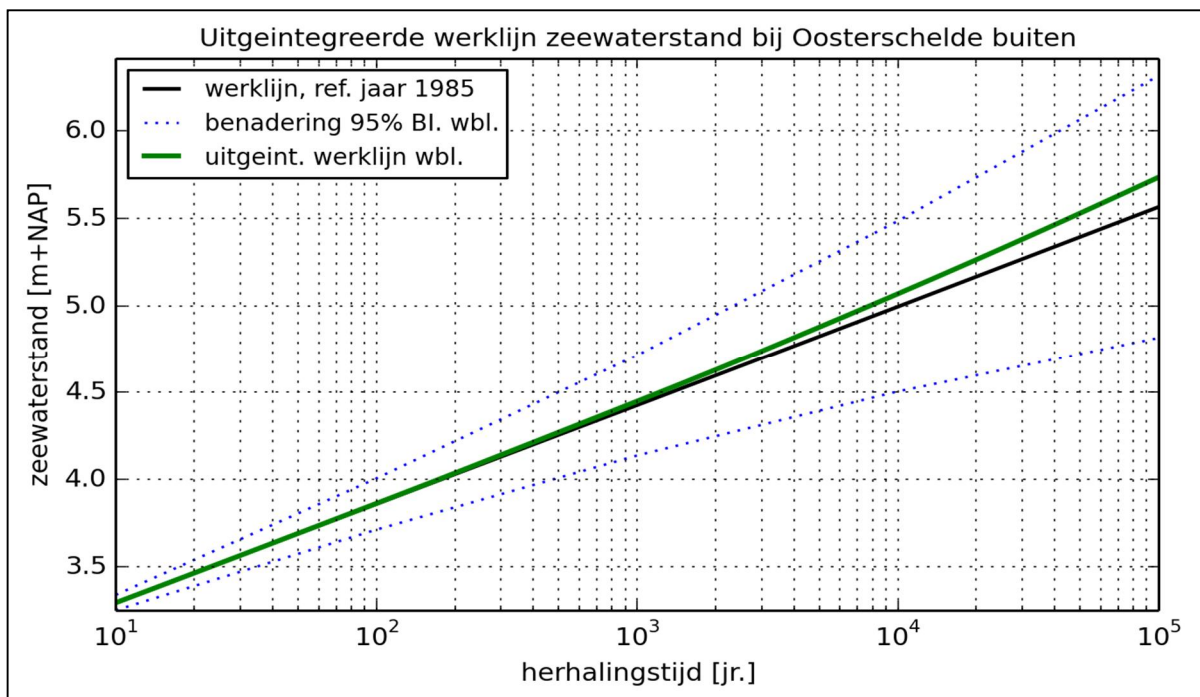
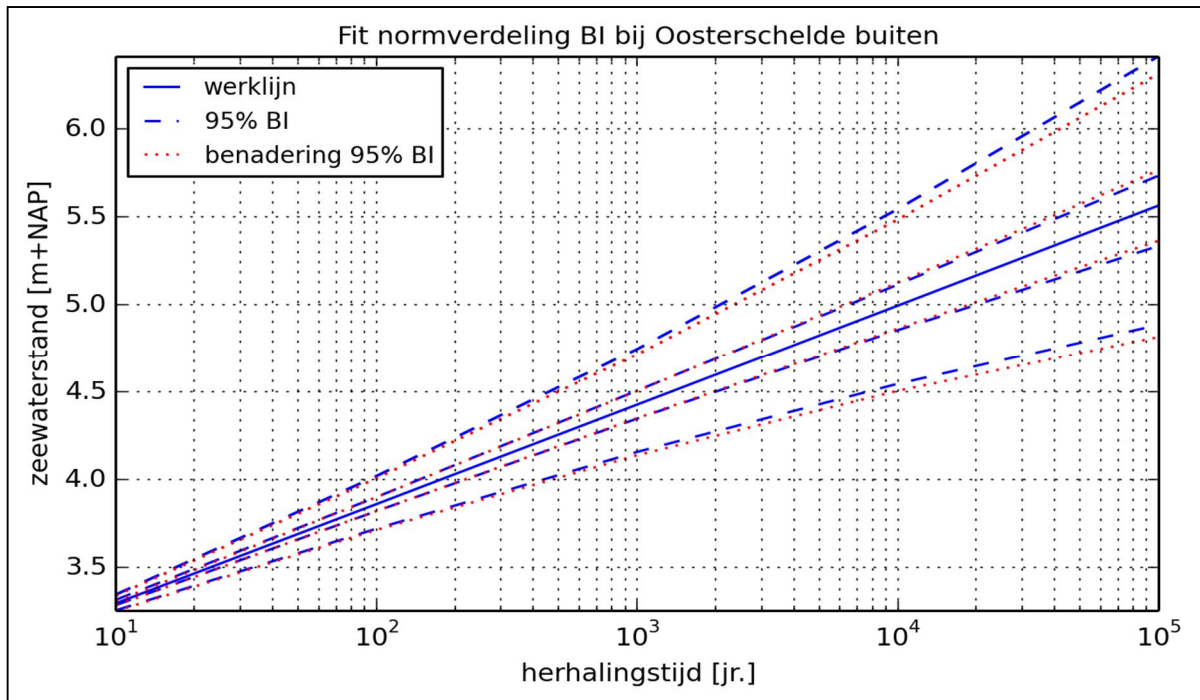
Station Lauwersoog

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	3.49	3.43	3.53	3.4845	0	0.0250	3.44	3.53
100	4.10	3.97	4.24	4.105	0	0.0675	3.97	4.23
1000	4.65	4.42	4.91	4.6678	0	0.1225	4.41	4.89
10000	5.15	4.81	5.56	5.2008	0	0.1875	4.78	5.52
100000	5.61	5.14	6.20	5.7209	0	0.2650	5.09	6.13



Station Oosterschelde buiten

T [jaar]	werklijn	2.5% BI	97.5% BI	uitgeint. werklijn	mu	sigma	2.5% BI benadering	97.5% BI benadering
10	3.29	3.20	3.29	3.2921	0	0.0225	3.25	3.34
100	3.86	3.67	3.97	3.8624	0	0.0750	3.71	4.01
1000	4.43	4.11	4.70	4.4491	0	0.1475	4.14	4.72
10000	5.00	4.51	5.51	5.0689	0	0.2500	4.51	5.49
100000	5.57	4.87	6.40	5.7354	0	0.3825	4.82	6.32



F Schattingen statistische onzekerheid wind

Statistische Onzekerheid wind

