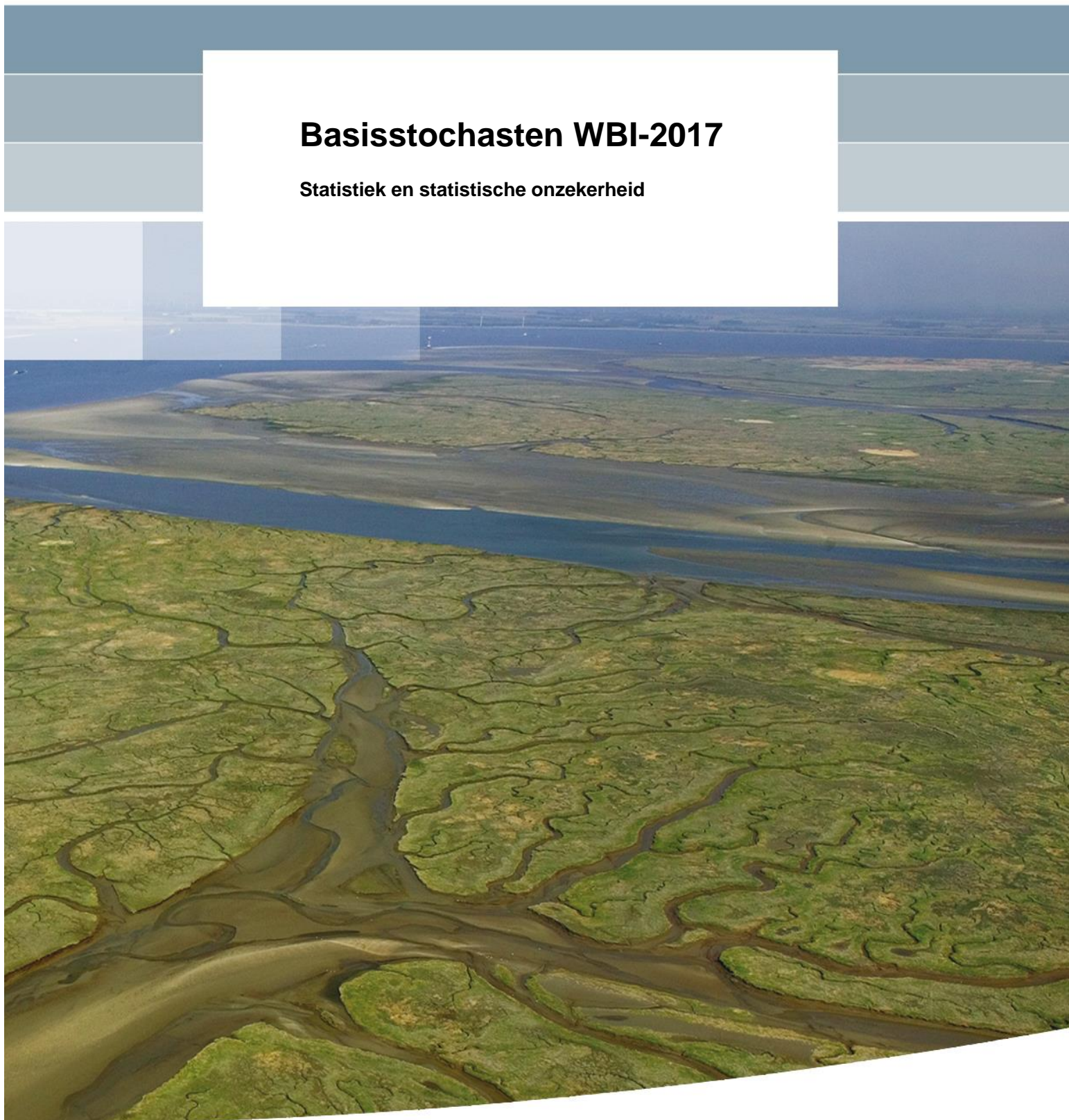


Basisstochasten WBI-2017

Statistiek en statistische onzekerheid



Titel

Basisstochasten WTI-2017

Opdrachtgever

RWS - WVWL

Project

1209433-012

Kenmerk

1209433-012-HYE-0007

Pagina's

138

Trefwoorden

WBI-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, bepalen 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 WBI-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 overschrijdingskansen van 1/300 per jaar tot 1/100.000 per jaar of zelfs kleiner. De waarden van de stochasten bij deze kleine kansen zijn 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

WBI-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	
4	Juni 2017	Houcine Chbab		Joost Beckers		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	6
2.3	Andere kandidaten voor basisstochasten	8
2.3.1	Stormduur	9
2.3.2	Stormopzetduur en getijfase	11
2.3.3	Bodemschematisatie en ruwheden voor WAQUA	12
2.3.4	Laterale toestromingen	13
2.3.5	Splitsingspunten Pannerdensch Kop en IJsselkop	13
2.3.6	Bodemschematisatie voor SWAN berekeningen	13
2.3.7	Bodemhoogte en strijklengte voor golfgegevens Bretschneider	14
2.3.8	Waterstandsvoorspellingen	14
2.3.9	Afvoergolfvormen	14
2.3.10	Seiches	15
2.4	Vertaling basisstochasten naar waterstanden en golfcondities bij de teen van de dijk	15
3	Statistiek basisstochasten	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Afvoerstatistiek	17
3.2.1	Statistiek Rijn bij Lobith	17
3.2.2	Afvoer IJssel bij Olst	20
3.2.3	Afvoer Maas bij Borgharen	23
3.2.4	Afvoer Maas bij Lith	26
3.2.5	Afvoer Overijsselse Vecht bij Dalfsen	30
3.3	Afvoergolfvormen	33
3.3.1	Afvoergolfvorm Rijn bij Lobith	33
3.3.2	Afvoergolfvorm Maas bij Borgharen	34
3.3.3	Afvoergolfvorm Overijsselse Vecht bij Dalfsen	35
3.4	Meerpeilstatistiek	35
3.4.1	IJsselmeerpeil	35
3.4.2	Markermeerpeil	38
3.5	Zeewaterstandsstatistiek	39
3.5.1	Inleiding	39
3.5.2	Basispeilen 1985	39
3.5.3	Effect verlenging meetreeksen zeewaterstanden	40
3.5.4	Toeslagen hoogwaterstijging en trendcorrecties	42
3.5.5	Zeewaterstandsstatistiek WBI-2017 voor het peiljaar 2023	44
3.6	Windstatistiek	46
3.6.1	Inleiding	46
3.6.2	Statistiek windsnelheid hoog bereik	46
3.6.3	Statistiek/kansverdeling windrichting	56

3.6.4	Windstatistiek laag bereik	59
3.6.5	Windstatistiek heel bereik	62
3.6.6	Effect nieuwe windstatistiek op de hydraulische belasting	64
3.6.7	Windstatistiek met correctie voor winddrag relatie	65
3.7	Statistiek Duinen	70
3.8	Waterstandsvoorspellingen tbv sluiting stormvloedkeringen	73
3.8.1	Voorspelling zeewaterstand Hoek van Holland (Europoortkering)	73
3.8.2	De Oosterscheldekering	74
3.8.3	De Ramspolkering	75
3.8.4	De Hollandse IJsselkering	75
3.8.5	Haringvlietsluizen	75
4	Correlaties	77
4.1	Inleiding	77
4.2	Correlatie meerpeil-afvoer (IJssel en Vecht)	77
4.3	Correlatie IJssel- en Vechtafvoer	78
4.4	Correlatie Rijn en Maas	78
4.5	Wind-waterstandstatistiek kustgebieden	79
4.6	Wind-watertandstatistiek Maasmond (Benedenrivieren)	83
4.7	Correlatie seiches en zeewaterstand bij Maasmond	88
5	Statistische onzekerheid basisstochasten	91
5.1	Inleiding	91
5.2	Statistische onzekerheid Hydra-Ring	92
5.3	Betrouwbaarheidsintervallen zeewaterstands- en meerpeilstatistiek	93
5.4	Modellering en uit-integreren van statistische onzekerheid in Hydra-Ring	100
5.5	Kwantificering statistische onzekerheid basisstochasten	107
5.5.1	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek	107
5.5.2	Meerpeilstatistiek	118
5.5.3	Statistische onzekerheid zeewaterstandsstatistiek	123
5.5.4	Statistische onzekerheid windsnelheid	125
5.5.5	Onzekerheid seiches	128
5.5.6	Onzekerheid golfparameters H_s en T_p voor duinen	128
6	Samenvatting en conclusies	129
7	Referenties	133
	Bijlage(n)	
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 tools for the Dutch national safety assessment of primary flood defenses have undergone considerable changes. Starting from 2017, the values of local hydraulic loads (such as river water levels) that are 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 into local hydraulic loads at the toe of the levee. Hydra-Ring links the statistics of the global loads to the statistics of local hydraulic loads, which are then 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.....	6
Tabel 2.3	Basisstochasten per regio in Hydra-Ring (zonder keringen).....	8
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))......	18
Tabel 3.2	Afvoer Lobith en bijbehorende afvoer bij Olst (productieberekeningen).	20
Tabel 3.3	Relatie afvoer Olst en herhalingstijd, inclusief bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval	21
Tabel 3.4	Werklijn IJssel bij Olst inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval	22
Tabel 3.5	Afvoeren van de Maas bij Borgharen behorende bij verschillende herhalingstijden, inclusief de 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie zonder overstromingen bovenstrooms van Borgharen.....	24
Tabel 3.6	Afvoer Maas bij Borgharen en bijbehorende afvoer bij Lith (productieberekeningen)	27
Tabel 3.7	Werklijn Maas bij Lith inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval, afgeleid uit de werklijn bij Borgharen.	28
Tabel 3.8	Gegevens van de transformatie van afvoeren zonder overstromingen naar afvoeren met overstromingen (Geerse, 2016b).....	31
Tabel 3.9	Relatie afvoer en herhalingstijd voor de Vecht bij Dalfsen, inclusief 95%-betrouwbaarheidsintervallen.	32
Tabel 3.10	Relatie IJsselmeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden	37
Tabel 3.11	Relatie Markermeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden.....	38
Tabel 3.12	Basispeilen hoofdstations langs de kust (Van Urk, 1993)	40
Tabel 3.13	Drempelwaarden gebruikt voor selecteren pieken; uit (Roscoe, 2009).....	41
Tabel 3.14	Aantal pieken boven de gekozen drempelwaardes uit Tabel 3.13.	41
Tabel 3.15	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).....	42
Tabel 3.16	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)	43
Tabel 3.17	Definitieve toeslagen hoogwaterstijging zoals geïmplementeerd in Hydra-Ring. Deze toeslagen zijn toegepast op de statistiek van Hydra-K uit HR-2006 en/of WTI-2011.....	45

Tabel 3.18	Hydra-K bestand van de zeewaterstandsstatistiek voor station Delfzijl uit WTI-2011	46
Tabel 3.19	Gebruikte drempelwaarden POT series, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron (Caires, 2009)).....	50
Tabel 3.20	Schattingen van de parameter λ_u van de exponentiële verdeling (bron (Caires, 2009)).....	50
Tabel 3.21	Schattingen van de parameter σ van de exponentiele verdeling, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron Caires, 2009)	53
Tabel 3.22	Resultaat 1/10.000 kwantilen U_p inclusief betrouwbaarheidsintervallen, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (Bron (Caires, 2009)).....	54
Tabel 3.23	Windstations Hydra- Ring	57
Tabel 3.24	Kansverdelingen windrichting relevante windstations, sectoren van 30 graden.	57
Tabel 3.25	Aantal windrichtingen per watersysteem en regio.....	58
Tabel 3.26	Kansverdeling windrichtingen van sectoren van 22,5 graden voor de stations Schiphol en Deelen.....	59
Tabel 3.27	Overzicht gebruikte data afleiding windstatistiek laag bereik.....	60
Tabel 3.28	De windstatistiek voor Station Schiphol voor alle 16 windrichtingen zoals geïmplementeerd in Hydra-Ring.....	64
Tabel 3.29	Resultaten effect nieuwe windstatistiek op de hydraulische belastingniveaus, bron (Geerse en Verkaik, 2010)	65
Tabel 3.30	Tabel met overschrijdingskansen van windsnelheid, station Schiphol met correctie voor winddrag, 16 richtingssectoren.....	69
Tabel 3.31	Steunpunten golfrandvoorwaarden diep water (In italic zijn de steunpunten weergegeven die gebruik maken van interpolatie van twee nabijgelegen meetstations. Bron (Boers et al, 2014)).....	71
Tabel 3.32	Parameters voor de statistische relatie golfhoogte en zeewaterstand. Bron (Boers et al, 2014).	72
Tabel 4.1	Overzicht mv-bestanden en stations voor de afleiding van de wind-waterstandscorrelaties.....	81
Tabel 4.2	Resultaten berekende s-waarden als maat voor de correlatie wind-zeewaterstand voor 6 regio's.....	82
Tabel 4.3	Wind-waterstandsstatistiek station Hoek van Holland gegeven zeewaterstand Hoek van Holland, 12 windrichtingen (geen winddrag correctie), periode 12 uur.	83
Tabel 4.4	Parameters van de kansverdeling van de zeewaterstand voor Hoek van Holland (Geerse et al, 2002).....	85
Tabel 4.5	Parameterschattingen $K_r(u)$, met Volkerfactor, inclusief de afknottingsparameter van 0,02.	86
Tabel 4.6	Parameterschattingen $K_r(u)$, met Volkerfactor, inclusief de afknottingsparameter van 0,02.	87

Tabel 4.7	Netto seiche effect voor enkele terugkeertijden.....	89
Tabel 5.1	Basisstochasten waarvoor statistische onzekerheid bepaald/geïmplementeerd is in Hydra-Ring	93
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).....	97
Tabel 5.3	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	98
Tabel 5.4	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het Markermeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	99
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).....	99
Tabel 5.6	Parameters statistische onzekerheid (vigerende) zeewaterstandsstatistiek bij Hoek van Holland	104
Tabel 5.7	Parameters statistische onzekerheid windsnelheid voor station Schiphol	106
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).....	108
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 herhalingstijd (kolom 6).....	110
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 herhalingstijd (kolom 6).....	112
Tabel 5.11	Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen: additief model, normale verdeling met gemiddelde μ en standaarddeviatie σ afhankelijk van herhalingstijd (kolom 5 en 6). Inclusief 95%-betrouwbaarheidsinterval en werklijn met onzekerheden (kolom 7).....	115
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 herhalingstijd (kolom 6).....	116
Tabel 5.13	Betrouwbaarheidsintervallen percentielen IJsselmeerpeil.....	118
Tabel 5.14	Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid	119
Tabel 5.15	Betrouwbaarheidsintervallen meerpeilstatistiek Markermeer, verschillende kwantielen.....	121
Tabel 5.16	Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid	122
Tabel 5.17	Statistische onzekerheid zeewaterstandsstatistiek Hoek van Holland, omni-directioneel.	124
Tabel 5.18	Modelparameters statistische onzekerheid bij Schiphol, omni-directional.	126

Tabel 5.19	Windstations en bijbehorende parameters (μ en σ) voor de statistische onzekerheid van de omni- en de richtingsafhankelijke situaties.	127
Tabel 6.1	Stochasten en bijbehorende statistiek, inclusief mogelijke effecten van veranderingen in de statistiek.....	130
Tabel 6.2	Gehanteerde modellen om de statistische onzekerheid van de basisstochasten te schatten.....	131

Lijst met Figuren

Figuur 1.1	Wettelijke normfrequenties voor de primaire keringen in Nederland. In WBI-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.....	11
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))......	19
Figuur 3.2	Vergelijking van GRADE uitkomsten met die van de extrapolatiemethode, inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen.....	19
Figuur 3.3	IJsselafvoer bij Olst als functie van de Rijnafvoer bij Lobith zoals volgt uit de productieberekeningen.....	21
Figuur 3.4	Werklijn IJssel bij Olst inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	23
Figuur 3.5	Vergelijking van de werklijn van GRADE en de huidige werklijn van de IJssel bij Olst.....	23
Figuur 3.6	Werklijn GRADE voor de Maas bij Borgharen inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval voor de situatie zonder overstromingen/noodmaatregelen in buitenland.....	25
Figuur 3.7	Vergelijking resultaten van GRADE en extrapolatiemethode voor de Maas bij Borgharen, inclusief onzekerheidsbanden.....	26
Figuur 3.8	Relatie afvoer van de Maas bij Borgharen en Lith.....	28
Figuur 3.9	Werklijn Lith op basis van GRADE bij Borgharen inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	29
Figuur 3.10	Werklijnen Maas bij Borgharen en bij Lith (volgend uit GRADE).....	29
Figuur 3.11	werklijn HR-2006 en werklijn GRADE in WBI-2017 voor station Lith.....	30
Figuur 3.12	Werklijn Overijsselse Vecht bij Dalfsen in WBI-2017 (blauwe lijn) en uit HR-2006 (rode lijn).....	32
Figuur 3.13	GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie met overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).	33
Figuur 3.14	GRADE afvoergolfvorm voor de Rijn bij Lobith voor de situatie zonder overstromingen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief uit golfvormen HR2001 en WTI-2011).	34
Figuur 3.15	GRADE golfvorm voor de Maas bij Borgharen inclusief betrouwbaarheidsintervallen (en inclusief golfvormen uit HR2001 en WTI-2011).	34

Figuur 3.16	Standaard golfvorm van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen (bron, Geerse, 2006)	35
Figuur 3.17	Frequentielijn IJsselmeerpeil (Geerse, 2006). Deze werklijn blijft vigerend in WBI-2017.	36
Figuur 3.18	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.	37
Figuur 3.19	Frequentielijn Markermeerpeil zoals vastgesteld voor Hydra-M (WL/Delft Hydraulics 1998). De betrouwbaarheidsintervallen volgen uit (Geerse en Wojciechowska, 2014).....	38
Figuur 3.20	95% betrouwbaarheidsinterval voor Hoek van Holland volgens VVM-0 methode, uit: Dillingh (1993).	40
Figuur 3.21	Vergelijking basispeilen (BP) afgeleid in drie studies: 1985 reproductie, 2007 actualisatie (Roscoe, 2009) en actualisatie 2012 met bijbehorende 95% betrouwbaarheidsintervallen (Eilander, 2014b).....	42
Figuur 3.22	Ruimtelijke verdeling toeslagen kustgebieden	44
Figuur 3.23	Grafische weergave van de windstations gebruikt voor de nieuwe de windstatistiek (Caires, 2009).....	47
Figuur 3.24	Gebruikte windstations in windonderzoek inclusief meetperiode. Rood (KNMI, 1983) en Groen (Caires, 2009).....	48
Figuur 3.25	Resultaat van 1/10.000 kwantielen, exponentiële verdeling op basis van POT (bron (Caires, 2009)).....	51
Figuur 3.26	Werklijn (hoog bereik) windsnelheid station Schiphol, omni-directioneel, inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	55
Figuur 3.27	Vergelijking oude (Rijkoort Weibull) en nieuwe (Exponentieel) windstatistiek voor relevante windstations en herhalingstijden.....	56
Figuur 3.28	Vergelijking van de kansverdeling op windrichting (30 graden) voor Schiphol..	58
Figuur 3.29	Kansverdeling van de windrichting voor 5 windstations: Vlissingen, Hoek van Holland, Schiphol, IJmuiden, de Kooy en Terschelling.	61
Figuur 3.30	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).	63
Figuur 3.31	Vergelijking drag relaties op basis van Wu (zwarte lijn), afgekapte Wu bij windsnelheid van 30 m/s (blauwe lijn), de Zijlema et al (2012) formulering (rode lijn) en de aanpassing van Khandehar et al (1993) formulering (zwart gestreepte lijn).....	66
Figuur 3.32	Schematische weergave van de verwerking van de winddrag-correctie in de windstatistiek.....	68
Figuur 3.33	Relatie windsnelheid en overschrijdingskans voor station Schiphol, 16 richtingssectoren, periode van 12 uur: met winddrag correctie (blauw) en zonder (rood).....	70

Figuur 3.34	Steunpunten golfstatistiek. De oranje symbolen duiden dat voor dit steunpunt een interpolatie van de waarden van de twee nabijgelegen steunpunten plaatsvindt.	71
Figuur 3.35	Relaties tussen zeewaterstand en golfhoogte voor 6 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).	72
Figuur 3.36	Relaties golfhoogte en golfperiode voor 5 steunpunten (Bron (Boers et al, 2014)).	73
Figuur 4.1	De 50%-lijnen uit WTI-2011 en de 1-1 lijn zoals gebruikt voor WBI-2017.....	79
Figuur 4.2	Afgeleide en oude s-waarden, als maat voor de correlatie tussen wind en zeewaterstand voor 6 regio's van de kust.....	82
Figuur 4.3	Het principe achter de beschrijving van de wind-waterstandstatistiek in grafische vorm	84
Figuur 4.4	Benadering $Kr(u)$ door kwadratische functie voor windrichting WNW, gefit op de berekende waarden uit Hydra-NL.	87
Figuur 4.5	Voorbeeld van waterstand inclusief seiches en definitie netto seiches effect. ..	88
Figuur 4.6	Schematische weergave van de conditionele kansverdeling van NSE gegeven de waterstand h.	89
Figuur 4.7	Waterstand (met en zonder NSE) en NSE bij ROZ als functie van terugkeertijd.	89
Figuur 5.1	Belangrijke typen onzekerheden.....	91
Figuur 5.2	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen voor station Hoek van Holland, omni-directioneel. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	95
Figuur 5.3	GEV plot van de jaarmaxima bij Harlingen; metingen (rood), model (zwart). ...	96
Figuur 5.4	GEV vormparameter (kromming) van de waterstand voor verschillende stations langs de kust. De verticale lijnen geven de standaard fout weer.	96
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).	97
Figuur 5.6	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	98
Figuur 5.7	Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen van het Markermeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).	99
Figuur 5.8	Voorbeeld van een eenvoudige discretisatie van een onzekerheidsbron	102
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.....	102
Figuur 5.10	De omni-directionele statistiek van zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door normale verdeling (rood).	103
Figuur 5.11	Uit-geïntegreerde werklijn (groene lijn) van de zeewaterstand bij Hoek van Holland.....	104

Figuur 5.12	Uit-geïntegreerde werklijnen waterstand Hoek van Holland op basis van normale en lognormale schattingen.	105
Figuur 5.13	De omni-directionele statistiek van de wind Schiphol, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door de normale verdeling (rood).....	106
Figuur 5.14	De uit-geïntegreerde omni-directionele windstatistiek (rood gestippeld) bij Schiphol.	107
Figuur 5.15	Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith.....	108
Figuur 5.16	De werklijn (zwart) en de uit-geïntegreerde werklijn (groen gestippeld) van de Rijn bij Lobith, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (gestippelde blauwe lijnen)	109
Figuur 5.17	Vergelijking werklijn HR-2006 (blauw) met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid (groen en rood respectievelijk) voor station Lobith	109
Figuur 5.18	Werklijnen IJssel bij Olst met (paars) en zonder (groen) statistische onzekerheid inclusief betrouwbaarheidsintervallen (gestippelde blauwe lijnen).....	110
Figuur 5.19	Huidige werklijn en werklijnen van GRADE (met en zonder statistische onzekerheid) bij Olst.	111
Figuur 5.20	De werklijnen, met en zonder onzekerheid, bij Borgharen inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	113
Figuur 5.21	Vergelijking werklijn HR-2006 (rood) met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid in WBI-2017 (groen en blauw respectievelijk) voor station Borgharen. Gestippelde blauwe lijnen beschrijven het 95%-betrouwbaarheidsinterval van GRADE.....	113
Figuur 5.22	Werklijnen Vecht bij Dalfsen: zonder statistische onzekerheid (blauw) en met statistische onzekerheid (rood). Gestreepte paarse lijnen beschrijven het 95%-betrouwbaarheidsinterval.....	115
Figuur 5.23	Werklijnen Dalfsen met (blauwe lijn) en zonder statistische onzekerheid (groene lijn), inclusief de werklijn uit HR-2006 (rode lijn).....	116
Figuur 5.24	Uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Lith.	117
Figuur 5.25	Huidige werklijn en werklijn van GRADE met en zonder statistische onzekerheid voor station Lith.....	118
Figuur 5.26	Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.....	119
Figuur 5.27	Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het IJsselmeer voor verschillende terugkeertijden.....	120
Figuur 5.28	Uitgeïntegreerde werklijn van het IJsselmeerpeil.....	121
Figuur 5.29	Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.....	122
Figuur 5.30	.Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het Markermeer voor verschillende terugkeertijden.	123
Figuur 5.31	Uit-geïntegreerde werklijn van het Markermeerpeil.	123

Figuur 5.32	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.	124
Figuur 5.33	Werklijn en uit-geïntegreerde werklijn zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen.	125
Figuur 5.34	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.	126
Figuur 5.35	Uitgeïntegreerde werklijn windsnelheid bij Schiphol.	127

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 beoordeling/toetsing wordt uitgevoerd aan de hand van het Wettelijk Beoordelings-Instrumentarium (WBI). Dit WBI 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.

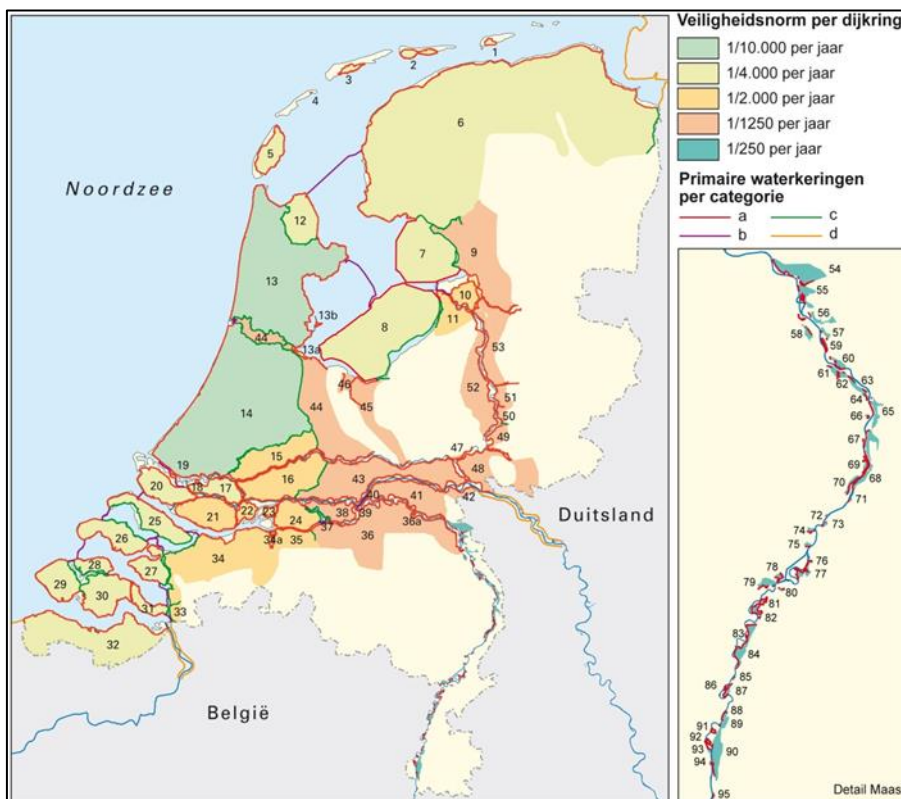
De statistiek van de basisstochasten (wind, zeewaterstand, afvoer, meerpeil, beheersituatie van de stormvloedkeringen en/of offshore golfcondities) zijn, naast databases met fysica (resultaten productieberekeningen van waterstanden en golfcondities behorende bij combinaties van basisstochastwaarden) 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,

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.

bestaande uit meerdere waterkeringssecties. Daarnaast wordt in WBI-2017 overgestapt op nieuwe getalsmatige waarden van de veiligheidsnormen per dijktraject.

Het doel van WBI-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 WBI-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 WBI-2017 worden daarom alle relevante onzekerheden worden beschouwd in WBI-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 WBI 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 WBI2017, 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 WBI2017. 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 het 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 beschreven: één 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 beschreven welke basisstochasten worden gebruikt voor verschillende watersystemen en regio's. Vervolgens worden de kansverdelingen van deze basisstochasten beschreven zoals deze geïmplementeerd zijn 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 hierover 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 WBI-2017 onderzoek gedaan naar modelonzekerheid, deze valt echter buiten de scope van dit rapport en is gerapporteerd in (Chbab en Groeneweg, 2017) 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 zijn per watersysteem afgeleid en in verschillende deelrapportages beschreven.

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 voor WBI-2017 opnieuw afgeleid 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. 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 beschreven. 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. Vanwege de rol van deining (golfdoordringing vanuit de Noordzee) en seiches is dit gebied als een afzonderlijke regio gedefinieerd in Hydra-Ring. Merk tenslotte op dat Kust duinen in Hydra-Ring als aparte regio is 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. Kust duinen
5. IJsseldelta	11. Hollandse Kust Noord	17. Europoort
6. Vechtdelta	12. Hollandse Kust Midden	18. Limburgse Maas

De basis voor de afleiding van de hydraulische belastingen door middel van probabilistische berekeningen is het belastingmodel. Het belastingmodel bestaat uit de statistiek van basisstochasten, de databases met modelresultaten van waterstanden en golfcondities voor een groot aantal waarden van deze basisstochasten, de onderlinge correlaties en bijbehorende statistische en modelonzekerheden. Aan de hand van het belastingmodel berekent Hydra-Ring de kansverdelingen van hydraulische belastingen aan de teen van de dijk. Tabel 2.2 laat zien welke zeven typen belastingmodellen gebruikt worden voor bovengenoemde 18 regio's. Bij de naamgeving van deze typering is uitgegaan van de huidige Hydra's op basis van de hoofdwatersystemen.

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
Kust duinen	D	16

2.2 Basisstochasten per regio/watersysteem

In Tabel 2.3 hieronder zijn de basisstochasten voor de verschillende watersystemen weergegeven. Zoals de tabel laat zien geldt wind als basisstochast voor alle regio's in Hydra-Ring en bepaalt daarmee overal, in meer of minder mate, de hydraulische belasting. Afhankelijk van regio hangt de bijdrage van de wind aan de hydraulische belasting samen met de bijdrage van andere basisstochasten. Dit zijn het meerpeil (regio 7 en 8), de bovenstroomse rivierafvoer (regio's 1 t/m 6 en 17 en 18), de zeewaterstand (regio's 9 t/m 16), de zeewaterstand in combinatie met de afvoer (regio's 3 en 4) en het meerpeil in combinatie met de afvoer (regio's 5 en 6). Voor de bovenrivieren en een deel van de aangrenzende gebieden is de rivierafvoer dominant, wind speelt hier een ondergeschikte rol. Langs de kust bepaalt de wind mede de stormvloedwaterstanden. In de gesloten watersystemen (o.a. meren) is de wind ook zeer bepalend omdat zij zorgt voor scheefstand en hoge golven. Een uitgebreide beschrijving van verschillende belastingmodellen en bijbehorende basisstochasten is te vinden in (Nicolai et al, 2014).

De basisstochasten die gerelateerd zijn aan de toestand van de afsluitbare stormvloedkeringen (Europoort-, Ramspol- en Oosterscheldekering) zijn niet in deze tabel opgenomen. Deze discrete stochasten beschrijven namelijk slechts twee mogelijke toestanden van het systeem: stormvloedkering open of stormvloedkering dicht. In de belastingmodellen in Hydra-Ring worden beide toestanden apart beschouwd en vervolgens met de bijbehorende kans van optreden meegenomen in de probabilistische berekening. Ter illustratie: ten behoeve van de regio's 3 en 4 worden de productieberekeningen van waterstanden uitgevoerd voor zowel de open als de dichte situatie van de stormvloedkeringen.

Het belastingmodel voor Europoort (regio 17) is gelijk aan dat voor Benedenrivieren Rijn (regio 3). 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 productieberekeningen 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. De laatste situatie wordt voor de Limburgse Maas gehanteerd. Voor de Brabantse Maas wordt uitgegaan van overstroombare kades.

Zoals hierboven vermeld, zijn de duinen langs de hele kust ingedeeld in een aparte regio: regio 16. Het faalmechanisme duinafslag is één van de faalmechanismen waarvoor binnen het WBI-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).

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.

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
	Fout in waterstandsvoorspelling MM		Windsnelheid De Kooy (DH)
4, 17	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
	Windsnelheid Schiphol		Windsnelheid Hoek van Holland
7	Windrichting (16 richtingen)	14	Windrichting (12 richtingen)
	IJsselmeerpeil		Waterstand OS11
	Windsnelheid Schiphol		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)
10	Windrichting (12 richtingen)		Waterstand duinen (verschillende stations)
	Waterstand Lauwersoog		Golfhoogte H_s duinen
	Waterstand Harlingen	Golfperiode T_p duinen	
	Waterstand Den Helder		

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

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

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 (van waterstanden en golven). In het huidige HR-2006/WTI-2011 worden deze onzekere parameters nog deterministisch meegenomen. Er wordt voor deze onzekere parameters een beste schatting gemaakt, en die beste schatting wordt als een deterministische waarde 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 WBI-2017 heeft een heroverweging plaatsgevonden waarbij gekeken is of enkele van deze parameters in de belastingmodellen als stochast dan wel als deterministische waarde meegenomen zouden kunnen worden in de belastingmodellen van Hydra-Ring, zie (Nicolai et al, 2014). Een variabele of onzekere modelparameter als stochast meenemen levert in principe een goed onderbouwde/nauwkeurigere schatting van de hydraulische belasting. Een grootheid als stochast meenemen betekent echter ook dat het betreffende belastingmodel in 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 invloed heeft op de hydraulische belasting 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 Pannerdensch 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

Op basis van een aantal studies is besloten om van de hierboven genoemde parameters alleen onzekerheid in het seiche-effect (nr 11) als extra stochast in WBI-2017 mee te nemen. N.B. de fout in waterstandsvoorspellingen geldt ook als basisstochast in WBI-2017 maar deze aanpak is onveranderd ten opzichte van WTI-2011. Bovengenoemde 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 bestaande Hydra modellen de windopzet (o.a. 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 WBI-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 Slotjes, 2007). NB: Voor het Benedenrivierengebied zijn de tijdsverschillen 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.

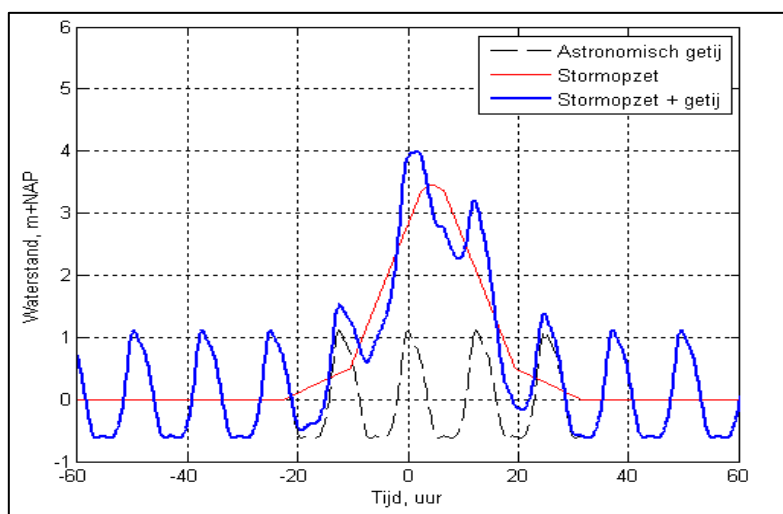
de maximale waterstand groter dan voor de kust (een getijperiode vs. enkele uren). Daarom is de invloed van de aanname over dit tijdsverschil voor de benedenrivieren veel relevanter dan voor de kust.

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 WBI-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 WBI-2017 deterministisch worden behandeld voor alle regio's in Hydra-Ring.

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 HR-2006 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 de regio's 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 de stormopzetduur als stochast weinig effect heeft. De effecten van de kortere en langere opzetduren middelen zich 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 het 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 stochastisch 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 kansverdeling, 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 in WBI-2017. Dat betekent dat alleen in regio 14 (Oosterschelde) de stormopzet en het faseverschil tussen stormopzet en astronomisch 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 teen van de dijk. De resultaten van het WAQUA-

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.

model zijn echter onzeker als gevolg van o.a. onzekerheden in de bodemschematisatie en de ruwheden. In WBI-2017 is gekeken of en 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 modelschematisatie kan worden gevarieerd is namelijk 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 dient een WAQUA-model schematisatie eerst gekalibreerd en gevalideerd te worden voordat er mee gerekend kan worden. Dit heeft tot gevolg dat de productieberekeningen uitgevoerd dienen te worden met verschillende modelschematisaties van WAQUA. Zowel het kalibreren en valideren van meerdere modelschematisaties als het uitvoeren van productieberekeningen met deze modelschematisaties vergt enorm veel werk en past niet in de scope van WBI-2017.

Om bovengenoemde praktische redenen is besloten om de onzekerheden in modelschematisaties en ruwheden niet expliciet als basisstochast mee te nemen in het belastingmodel van Hydra-Ring. Er is voor gekozen om deze onzekerheid te verdisconteren in de modelonzekerheid van de lokale waterstand (Chbab en Groeneweg, 2017).

2.3.4 Laterale toestromingen

In de WAQUA-berekeningen worden meerdere kleine en een aantal grote laterale toestromingen meegenomen. Ook hiervoor is bekeken of deze of een deel daarvan als stochasten meegenomen zouden moeten of kunnen worden in het betreffende belastingmodel van Hydra-Ring.

Een snelle inventarisatie (zie Chbab en Groeneweg, 2017) 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. Op basis hiervan is besloten om in WBI-2017 de laterale toestroming niet als stochast maar als deterministische waarde mee te nemen. N.B. De laterale toestroming wordt gekoppeld aan de basisstochast afvoer bij de randstations in de productieberekeningen.

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 zou een zeer ingrijpende aanpassing van Hydra-Ring en een enorme toename van het aantal productiesommen betekenen. Om deze twee redenen is besloten om de onzekerheid rondom de splitsingspunten niet als aparte stochast, maar via de algemene modelonzekerheid in de lokale waterstand mee te nemen (Chbab en Groeneweg, 2017).

2.3.6 Bodemschematisatie voor SWAN berekeningen

Om de wind (basisstochast) te vertalen naar golfcondities bij de te toetsen/beoordelen 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 de belastingmodellen van Hydra-

Ring. Gezien het tijdspad van WBI-2017 is het 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, 2017).

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 teen van waterkering. Onzekere parameters in dit model zijn de effectieve strijklengtes en de gemiddelde bodemhoogtes/waterdieptes. Ook hiervoor geldt dat de effecten van deze onzekerheden in Hydra-Ring verdisconteerd zullen worden in de modelonzekerheid van de golfparameters golfhoogte, golfperiode en golfrichting, berekend met Bretschneider (Chbab en Groeneweg, 2017).

2.3.8 Waterstandsvoorspellingen

Waterstandsverwachtingen gegenereerd door modellen zijn nodig voor de aansturing van de stormvloedkeringen in de Oosterschelde (regio 14) en de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal (regio 3 en 4). De stormvloedkeringen worden gesloten op basis van deze onzekere waterstandsvoorspellingen⁶. Een onnauwkeurigheid in de waterstandsvoorspelling 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 waterstandsvoorspellingen 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 Europoortkeringen en de Oosterscheldekering, zie paragraaf 3.8. N.B. afwijkingen rondom waterstandsvoorspellingen zijn enkel nodig voor probabilistische berekeningen in Hydra-Ring. In de productieberekeningen met WAQUA en/of SWAN wordt deze onzekerheid niet verdisconteerd.

2.3.9 Afvoergolfvormen

De HR in HR-2006 voor regio 1 respectievelijk de regio's 2 en 18 worden berekend op basis van gemiddelde (standaard) afvoergolfvormen bij Lobith respectievelijk Borgharen. Voor de Rijn is sprake van een vrij brede standaard afvoergolfvorm, 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 afvoergolfvormen kunnen optreden. De smalle afvoergolfvormen zakken benedenstrooms echter sterk in door de aanwezigheid van buitendijkse plassen op dit traject en het overstromen van kades, zodat nabij Lith de extreme waterstanden vooral door de brede afvoergolfvormen te Borgharen worden bepaald. Ook de inzet van retentiebekkens langs de Maas kan zorgen voor veranderingen in de afvoergolfvorm. Dit maakt dat de afvoergolfvorm mogelijk als stochast meegenomen zou moeten worden voor het bovenstroomse deel van regio 2 en (delen van) regio 18. Op basis van (Geerse, 2013) is echter besloten om de afvoergolfvorm niet als basisstochast mee te nemen in het belastingmodel in Hydra-Ring. Omdat het realistisch lijkt om in een later stadium (volgende WBI of andere toepassingen) over te stappen naar het meenemen van de golfvorm van de Maas bij Borgharen als basisstochast worden al wel 5 verschillende afvoergolven beschouwd in de productieberekeningen voor de regio's 2 en 18 (Bovenmaas en Limburgse Maas).

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.

Voor de regio's 3 en 4 speelt de golfvorm geen rol en wordt ook niet beschouwd in de productieberekeningen met WAQUA; deze worden namelijk gemaakt met permanente of stationaire afvoer. Permanent hier betekent dat tijdens productieberekeningen de afvoer niet verandert maar constant blijft. De productieberekeningen voor de regio's 5 en 6 (Vecht- en IJsseldelta) worden deels met permanente afvoer bij Olst uitgevoerd en deels niet. Dit geldt voor de afvoergolven bij Olst met een piekwaarde lager dan 2300 m³/s. Bij afvoergolven met piekwaardes 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). De afvoer van de Vecht bij Dalfsen wordt in alle gevallen constant beschouwd in de productieberekeningen. Deze aanpak is in WBI-2017 onveranderd ten aanzien van WTI-2011.

2.3.10 Seiches

Seiches zijn zogenaemde lange golven, opgewekt door meteorologische effecten rondom koufrontpassages en tijdens instabiele weercondities (de Jong, 2004). Dergelijke meteorologische condities kunnen leiden tot grootschalige circulatiepatronen (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 locatie-afhankelijke seiche-toeslag toegepast die is afgeleid van probabilistische berekeningen. 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 hier echter minder duidelijk en vereist nader onderzoek. Ook zijn de seiche-opwekkende mechanismen in deze gebieden niet altijd duidelijk. In WBI-2017 zullen daarom vooralsnog alleen voor het Europoortgebied seiches toeslagen meegenomen worden.

Seiches worden in de vorige HR bepaling verdisconteerd als vaste toeslagen voor $T = 4000$ en $T = 10.000$ jaar. De overstap op een meer geavanceerde veiligheidsfilosofie die gebaseerd is op overstromingskansen in plaats van overschrijdingskansen, maakt het noodzakelijk dat seichestoeslagen in WBI2017 worden berekend voor het hele bereik van seiches (en bijbehorende terugkeertijden), waarbij rekening dient te worden gehouden met de nieuwe veiligheidsnormen.

Daarnaast wordt rekening gehouden met onzekerheden, zie paragraaf 5.5.5. Dit leidt tot extra stochasten in Hydra-Ring.

2.4 Vertaling basisstochasten naar waterstanden en golfcondities bij de teen van de dijk

Zoals hierboven beschreven is binnen de probabilistische modellering een relatie nodig tussen de basisstochasten enerzijds en de hydraulische belastingen een de teen van de dijk anderzijds. Voor deze relatie zijn modelberekeningen nodig die zeer veel rekentijd vergen. Daarom wordt in de praktijk de fysische relatie eenmalig vooraf bepaald in een proces dat binnen WBI aangeduid wordt met "productieberekeningen". De resultaten hiervan worden in tabelvorm aangeboden aan het probabilistische model Hydra-Ring.

De tabel is in feite een database met resultaten van modelberekeningen. Deze bevat voor een groot aantal uitvoerlocaties per combinatie van waarden van de basisstochasten en deterministische grootheden de (maximale) lokale waterstanden en golfcondities.

Voor elke regio in Hydra-Ring is er een database met lokale waterstanden en golfcondities. Voor vrijwel alle regio's zijn de databases van WTI-2011 of HR-2006 overgenomen. Voor het

rivierengebied (de regio's die beïnvloed worden door rivierversuimingsmaatregelen) zijn nieuwe productieberekeningen uitgevoerd in WBI-2017. Voor de overige regio's zijn de productiesommen van WTI-2011 of nog oudere productiesommen gebruikt.

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 WBI-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 WBI-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 WBI-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 Langenheem 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 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.

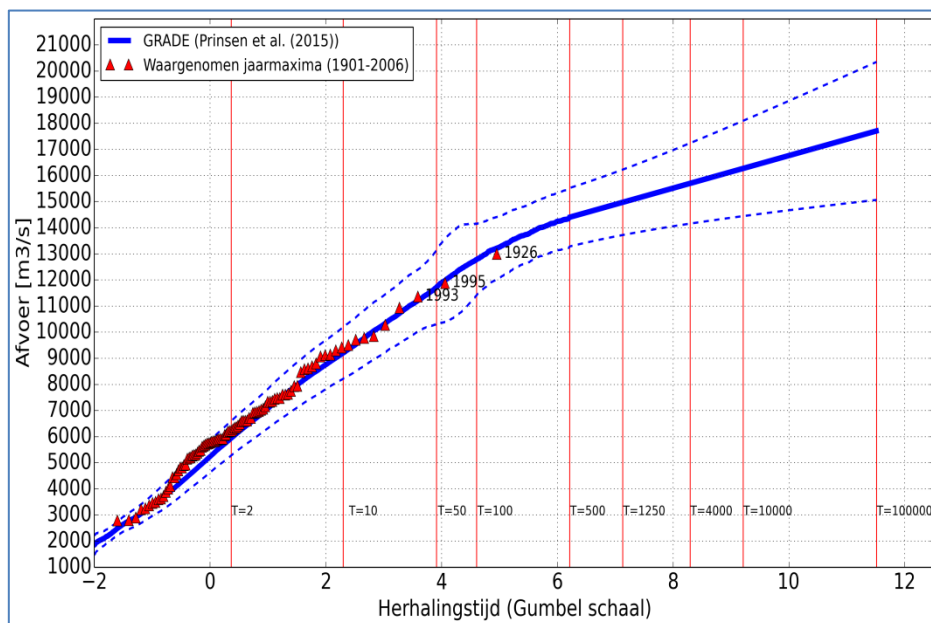
Tabel 3.1 Afvoeren van de Rijn bij Lobith inclusief 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie met overstromingen in Duitsland in combinatie met noodmaatregelen (Bron (Prinsen et al, 2015)).

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	-

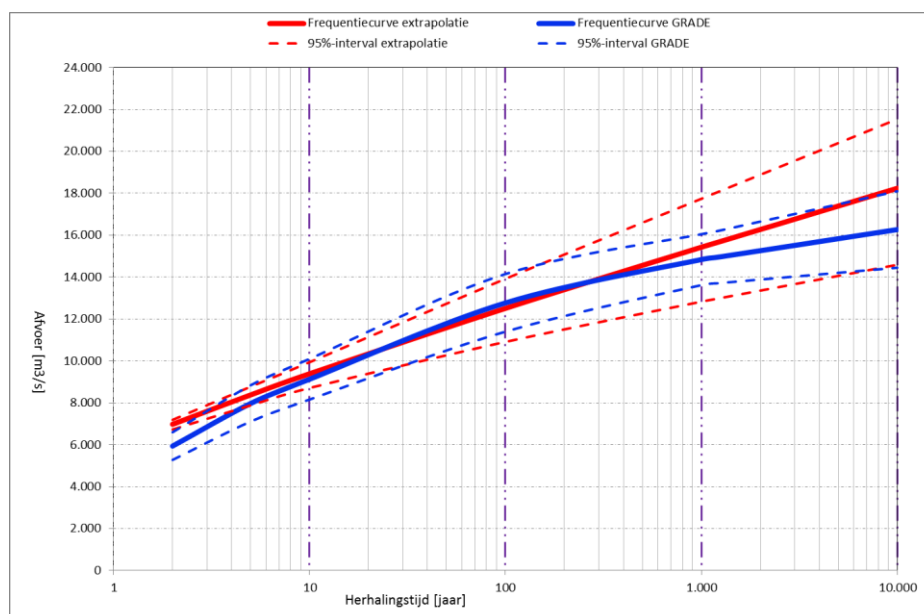
Vergeleken met de uitkomsten van de huidige extrapolatiemethode, berekent GRADE voor herhalingstijden kleiner dan 10 jaar relatief hogere afvoeren, ook is de onzekerheid van GRADE voor het lage bereik (1 – 10 jaar) relatief groot. Voor een herhalingstijd van 2 jaar bijvoorbeeld bedraagt het verschil 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 m³/s (de afvoer met een gemiddelde terugkeertijd van 1 jaar) en een traject voor afvoeren die hoger zijn dan 800 m³/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 statistiek van de IJssel bij Olst is te vinden in (Geerse, 2006).

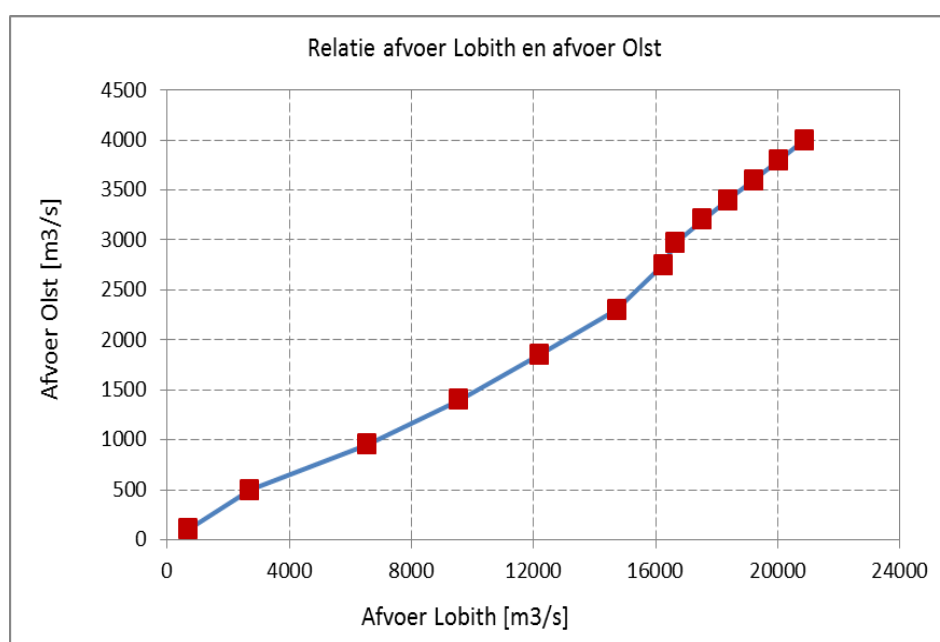
In het kader van WBI-2017 is een nieuwe statistiek bij Olst afgeleid. Deze statistiek is gebaseerd op de nieuwe afvoerstatistiek van GRADE bij Lobith zoals beschreven in paragraaf 3.2.1, en de afvoergolfvorm, eveneens bepaald met GRADE, zoals beschreven in paragraaf 3.3.1.

Ten behoeve van de statistiek van de IJssel bij Olst zijn in het kader van de productieberekeningen voor regio 1 13 afvoergolven bij Lobith doorgerekend met de WAQUA-Rijntakken modelschematisatie (Deltares, 2016a); deze doorberekening heeft geresulteerd in 13 afvoergolven bij Olst. Voor nadere informatie met betrekking tot WAQUA modelschematisatie 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 beschrijft de grafische vorm van de relatie tussen afvoer van de Rijn bij Lobith en afvoer van de IJssel bij Olst. Uit de figuur blijkt dat vanaf een afvoer van ca. 16.000 m³/s bij Lobith de afvoer naar de IJssel meer dan evenredig toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door het regelwerk Hondsbroeksche Pleij bij de IJsselkop; dit regelwerk is zodanig ingesteld dat de Neder-Rijn/Lek zoveel mogelijk ontzien wordt bij hoge afvoeren. De IJssel krijgt hierdoor extra afvoer te verwerken.

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 uit Tabel 3.2 enerzijds en de werklijn van de Rijn bij Lobith en bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval anderzijds (paragraaf 3.2.1) zijn de herhalingstijden van de afvoeren van de IJssel uit Tabel 3.2 afgeleid. Hierbij is uitgegaan van een volledige correlatie tussen Lobith en Olst. De eerste twee afvoerwaarden bij Olst (100 en 500 m³/s) zijn hierbij niet beschouwd. Deze afvoeren zijn zo laag dat ze gemiddeld elk jaar worden overschreden. Tabel 3.3 toont voor enkele relevante afvoeren bij Olst uit Tabel 3.2 de bijbehorende herhalingstijden. Op basis hiervan en de werklijn van bij Lobith is de werklijn bij Olst geconstrueerd; de werklijn en het 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn weergegeven in Tabel 3.4 en Figuur 3.4.



Figuur 3.3 IJsselaflow bij Olst als functie van de Rijnaflow bij Lobith zoals volgt uit de productieberekeningen.

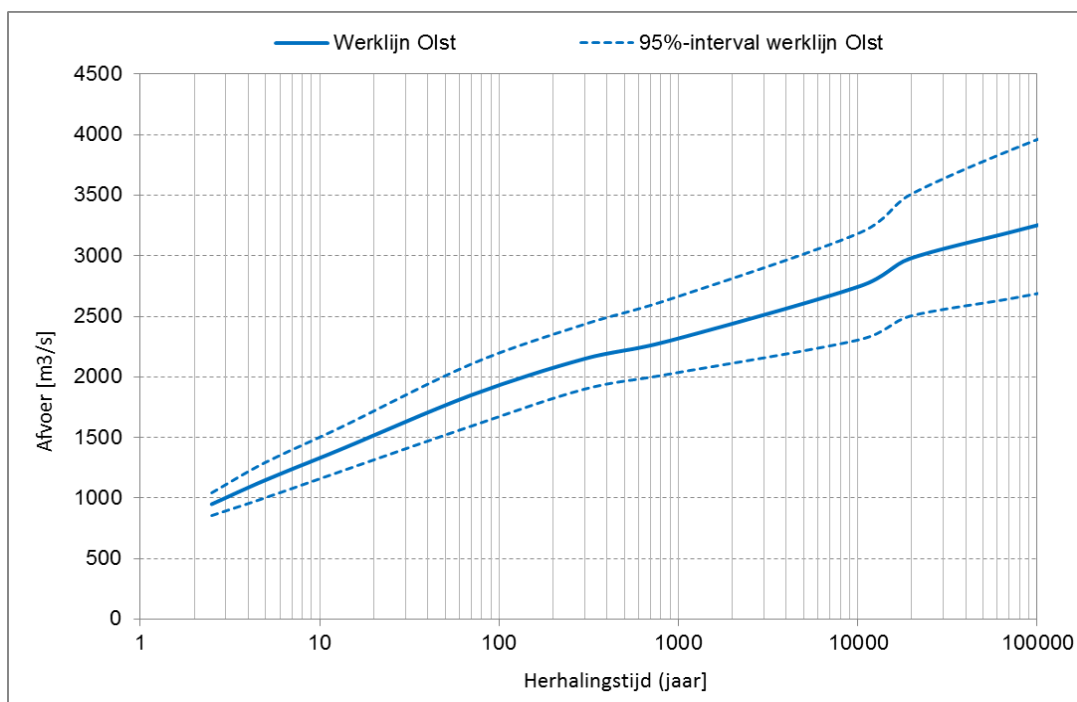
Tabel 3.3 Relatie afvoer Olst en herhalingstijd, inclusief bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval

Herhalingstijd [jaar]	Afvoer Olst [m ³ /s]	95%-betrouwbaarheidsinterval [m ³ /s]	
2.5	950	856	1044
5.0	1150	1003	1297
13.0	1400	1218	1582
70.0	1850	1593	2107
300.0	2150	1864	2436
900.0	2300	1957	2643
10287.5	2750	2309	3191
19369.0	2975	2424	3526
73270.5	3200	2520	3880
244809.5	3400	2714	4086

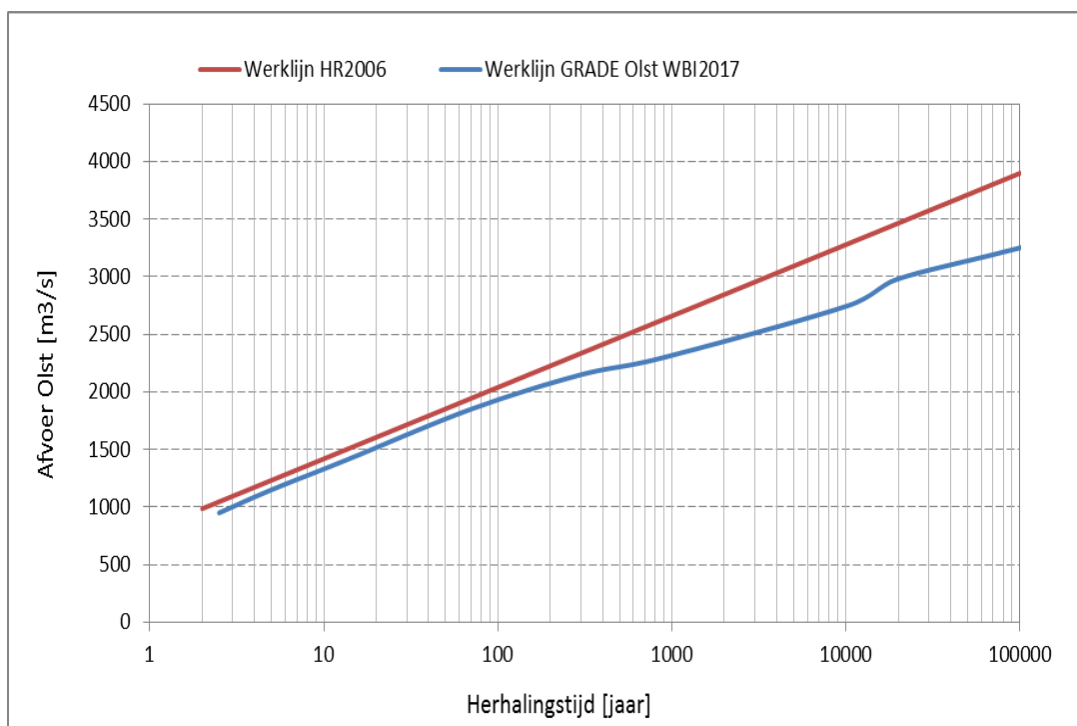
Tabel 3.4 Werklijn IJssel bij Olst inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval

Herhalingstijd [jaar]	Afvoer Lobith [m ³ /s]	Afvoer Olst [m ³ /s]	95%-ondergrens [m ³ /s]	95%-bovengrens [m ³ /s]
2	5940	896	803	989
5	7970	1143	1007	1279
10	9130	1329	1160	1497
30	10910	1624	1404	1844
100	12770	1940	1656	2224
300	14000	2140	1856	2424
1000	14840	2320	1957	2683
1250	14970	2360	1989	2731
3000	15520	2510	2100	2920
10000	16270	2738	2296	3179
30000	16960	3049	2448	3650
100000	17710	3251	2568	3933

Ten opzichte van de werklijn van de IJssel bij Olst uit HR-2006 leidt de nieuwe werklijn uit GRADE tot lagere afvoeren. Voor een herhalingstijd van 1250 jaar geldt volgens Tabel 3.4 een afvoer bij Olst van (afgerond) 2360 m³/s; dit is ruim 350 m³/s lager dan de maatgevende afvoer van 2720 m³/s uit HR-2006.. 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. 16.000 m³/s bij Lobith resulteren namelijk in relatief hogere afvoeren bij Olst, zie Figuur 3.4 . Dit wordt veroorzaakt door de Ruimte voor de Rivier maatregelen en regelwerken op de splitsingspunten bij Pannerdensche Kop; deze zijn ingeregeld tot 16.000 m³/s. Zoals hierboven al beschreven wordt de Lek zoveel mogelijk ontzien vanaf afvoer hoger dan 16.000 m³/s, waardoor de IJssel extra water afvoert. Een vergelijking van de werklijn uit HR-2006 en de nieuwe werklijn van GRADE is weergegeven in Figuur 3.5. Het verschil tussen beide werklijnen is voor herhalingstijden van ca. 100 jaar klein en bedraagt ca. 100 m³/s. Vanaf T = 100 jaar loopt het verschil gestaag op en bedraagt voor T = 100000 jaar 650 m³/s.



Figuur 3.4 Werklijn IJssel bij Olst inclusief het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 3.5 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 is de afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen afgeleid met GRADE, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsintervallen. Voor de Maas is alleen de optie zonder dijkdoorbraken in bovenstroomse gebieden in België beschouwd. Deze optie is

mogelijk conservatief. Details met betrekking tot de GRADE statistiek van de Maas bij Borgharen zijn te vinden in (Passchier, 2014). In (Hegnauer en van den Boorgaard, 2016) zijn nieuwe betrouwbaarheidsintervallen afgeleid voor de GRADE statistiek bij Borgharen. Deze betrouwbaarheidsintervallen zijn gebaseerd op de zogenoemde Weissman procedure met exponentiële verdeling. Bij de procedure is de Weissman drempelwaarde verlaagd van $T_w = 250$ naar $T_w = 125$ jaar. Met deze verlaging van de drempelwaarde blijkt extrapolatie van de afvoeren naar heel lange herhalingsstijden, en de daarbij horende onzekerheidsband, minder gevoelig te zijn voor de trendbreuk in de spreiding van de afvoeren rond $T = 250$ jaar. Daarnaast wordt ook de onzekerheidsband smaller. De werklijn van de Maas bij Borgharen en de daarbij behorende betrouwbaarheidsband zijn weergegeven in Tabel 3.5 en grafisch afgebeeld in Figuur 3.6. Voor meer details, zie (Hegnauer en van den Boorgaard, 2016).

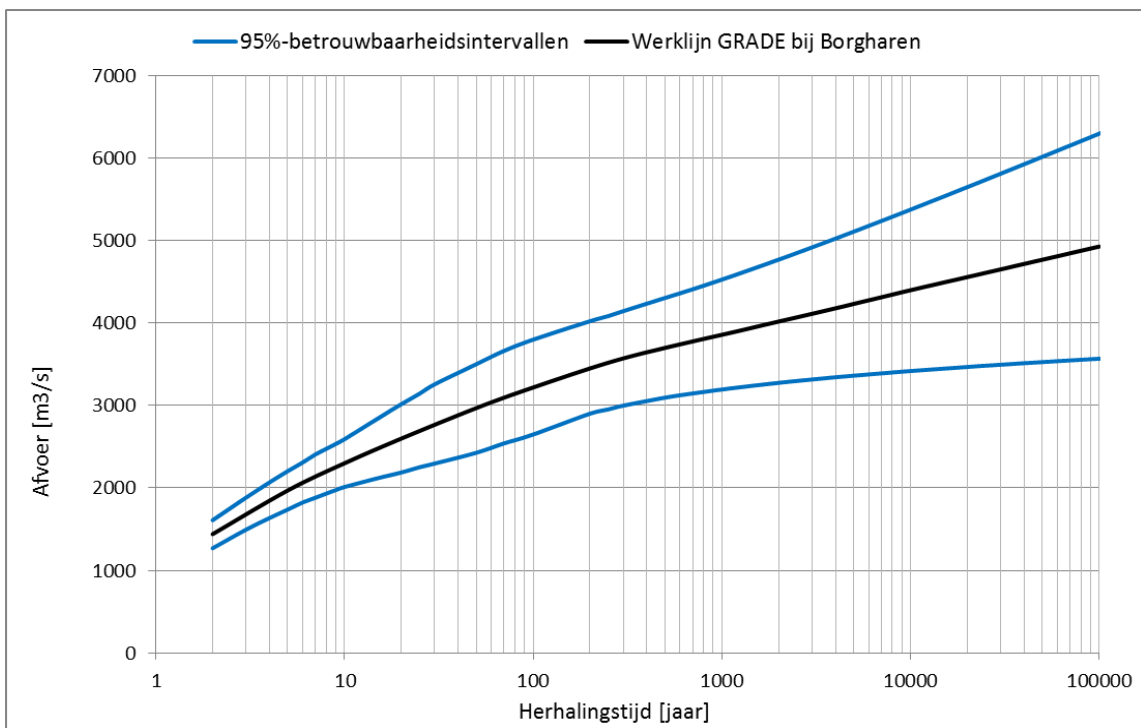
Tabel 3.5 Afvoeren van de Maas bij Borgharen behorende bij verschillende herhalingsstijden, inclusief de 95% betrouwbaarheidsintervallen, voor de situatie zonder overstromingen bovenstrooms van Borgharen.

T [jaar]	Afvoer GRADE [m ³ /s]	Onzekerheidsinterval GRADE		Afvoer extrapolatie (WTI-2011)
		95%-ondergrens	95%-bovengrens	
2	1440	1269	1609	1570
5	1970	1738	2204	1920
10	2300	2012	2595	2180
20	2600	2188	3017	-
50	2970	2428	3503	2760
100	3220	2649	3800	3000
250	3520	2954	4086	3310
500	3700	3096	4306	3540
1250	3910	3223	4605	3840
2000	4020	3276	4771	-
4000	4180	3344	5026	-
10000	4400	3419	5378	4510
20000	4560	3469	5651	-
50000	4770	3528	6019	-
100000	4930	3569	6300	-

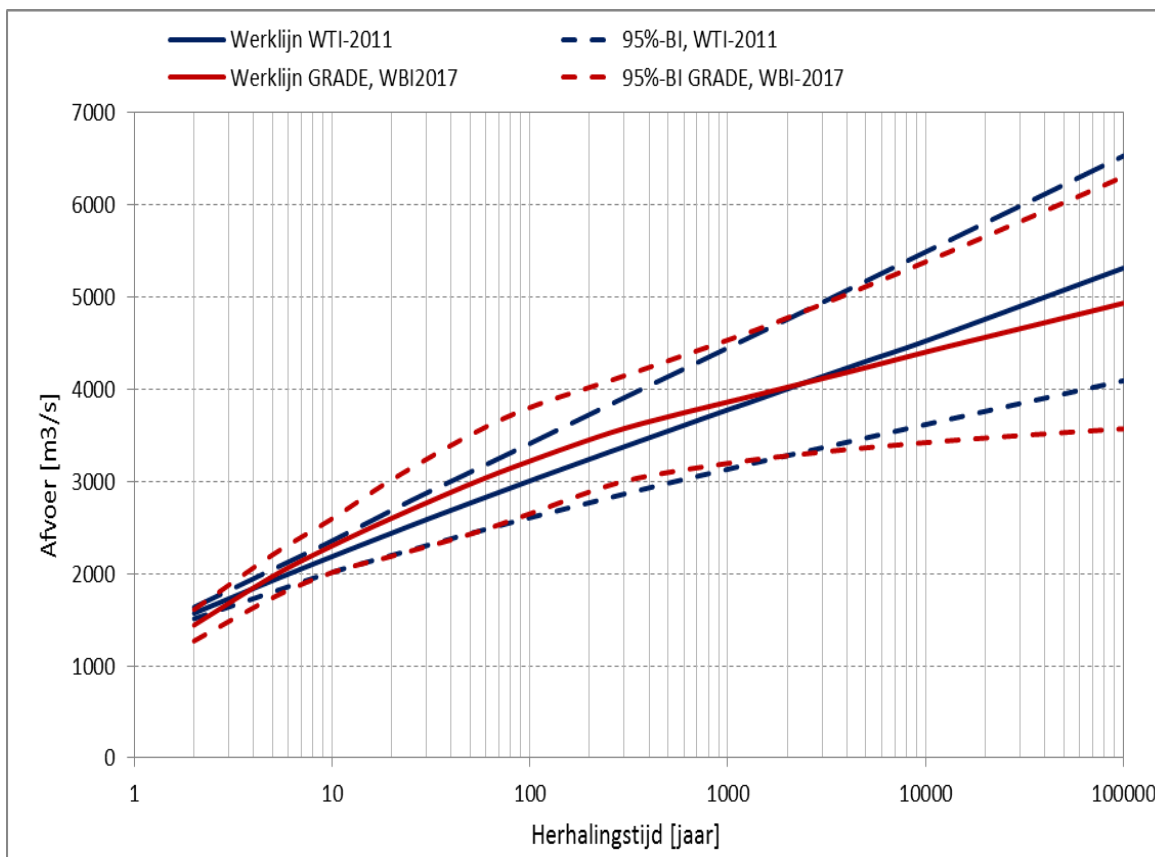
GRADE berekent voor de Maas bij Borgharen een afvoer van 3.910 m³/s bij een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar. De standaarddeviatie varieert van 87 m³/s voor $T = 2$ jaar tot 697 m³/s voor $T = 100,000$ jaar. De maatgevende⁹ afvoer van de Maas bij Borgharen uit WTI-2011 bedraagt 3.850 m³/s, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 1.400 m³/s (Van de Langenheem en Berger, 2002). Tabel 3.5 laat zien dat er voor herhalingsstijden tot ca. 2500 jaar hogere afvoeren worden berekend met GRADE; het verschil met afvoeren berekend met de statistische extrapolatiemethode loopt op van 50 m³/s voor $T = 5$ jaar tot 220 m³/s voor $T = 100$ jaar en neemt daarna geleidelijk af tot 70 m³/s voor $T = 1250$ jaar. GRADE berekent voor herhalingsstijden boven 2500 jaar lagere afvoeren, zie ook Figuur 3.7. Voor herhalingsstijden korter dan 5 jaar berekent GRADE lagere afvoeren dan de extrapolatiemethode. Voor $T = 2$ jaar geldt een verschil van 130 m³/s.

⁹ De huidige maatgevende afvoer van de Maas bij Borgharen is beleidsmatig gekozen, en is in principe niet identiek aan het getal in Tabel 3.5.

Uit Figuur 3.7 blijkt verder dat voor herhalingstijden tot 300 jaar het betrouwbaarheidsinterval van GRADE veel breder (ca. 2 keer zo breed voor herhalingstijden van rond 50 jaar) is dan dat van de extrapolatiemethode. Dit betekent dat de statistische onzekerheid van GRADE voor zulke lage herhalingstijden evenredig groot is (bijna twee 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 waterstand in gebieden waar dergelijke afvoeren relevant zijn. Dit geldt specifiek voor de bovenstroomse delen van de Maas en de Limburgse Maas.



Figuur 3.6 Werklijn GRADE voor de Maas bij Borgharen inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval voor de situatie zonder overstromingen/noodmaatregelen in buitenland.



Figuur 3.7 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 in WBI-2017.

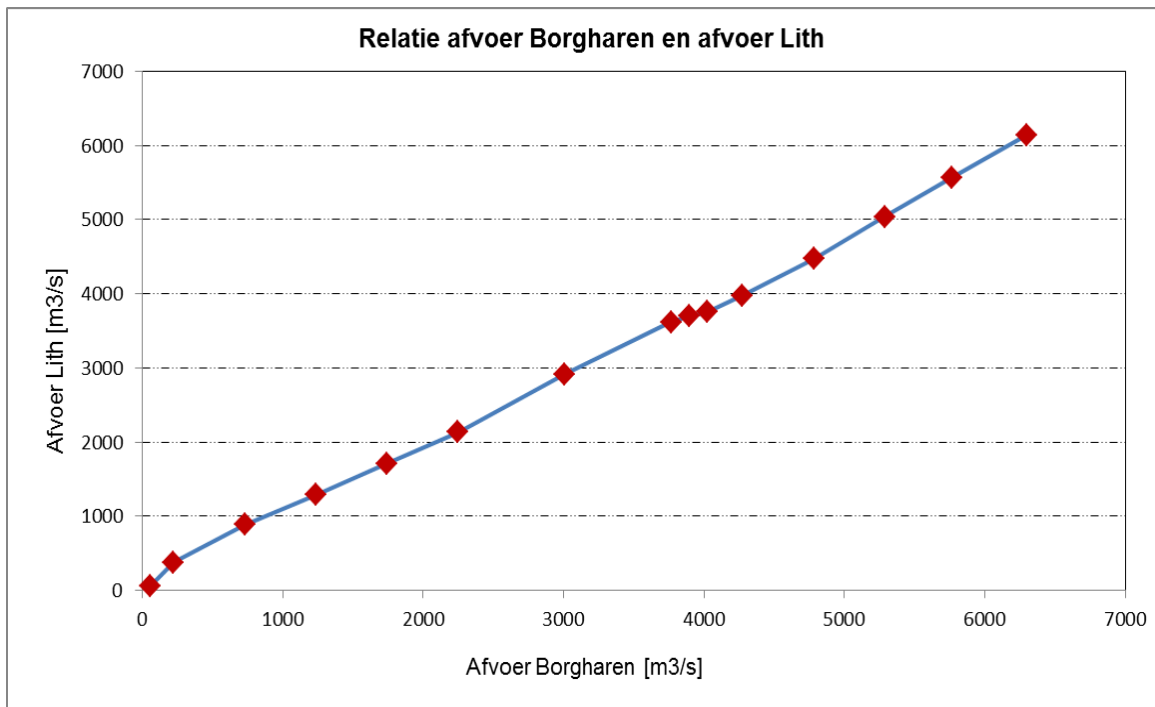
3.2.4 Afvoer Maas bij Lith

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 gaan de belastingmodellen voor de regio's 3 en 4 uit van de afvoerstatistiek van de Maas bij Lith. Ten behoeve van de afvoerstatistiek van de Maas bij Lith zijn in het kader van de productieberekeningen voor regio 2, 15 afvoergolven bij Borgharen doorgerekend met de WAQUA-Maas modelschematisatie (Deltares, 2016b). Deze doorberekening heeft geresulteerd in 15 afvoergolven bij Lith voor 15 herhalingstijden. De maxima (toppen) van 15 beschouwde afvoergolven bij Borgharen en bij Lith zijn weergegeven in Tabel 3.6. Figuur 3.8 beschrijft de grafische vorm van de relatie tussen afvoer van de Maas bij Borgharen en Lith.

Tabel 3.6 Afvoer Maas bij Borgharen en bijbehorende afvoer bij Lith (productieberekeningen)

Borgharen [m ³ /s]	Lith [m ³ /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 3.6 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 herhalingstijd heeft als de bijbehorende afvoer bij Lith (volledige correlatie). De relatie tussen Maas- en Lithafvoer inclusief bijbehorende herhalingstijden en 95%-betrouwbaarheidsintervallen is weergegeven in Tabel 3.7. Figuur 3.9 toont de werklijn bij Lith inclusief bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsintervallen. De standaarddeviaties variëren van 77 m³/s voor T = 2 jaar tot 665 m³/s voor T = 100.000 jaar.



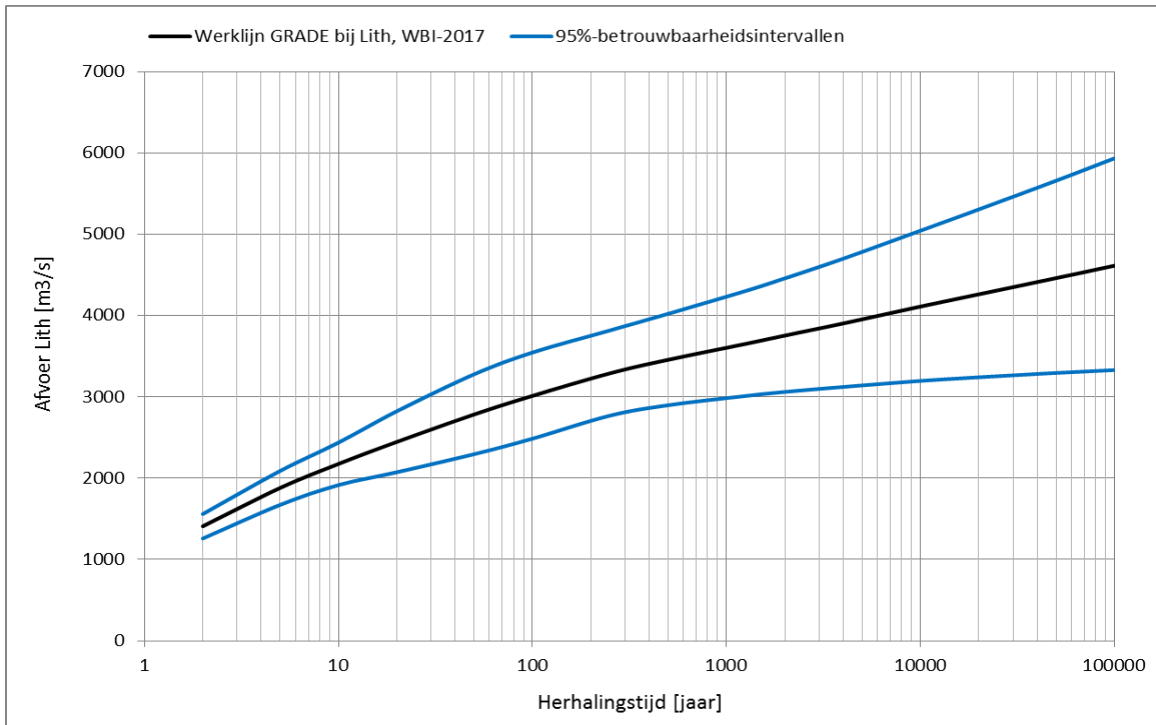
Figuur 3.8 Relatie afvoer van de Maas bij Borgharen en Lith

Tabel 3.7 Werklijn Maas bij Lith inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval, afgeleid uit de werklijn bij Borgharen.

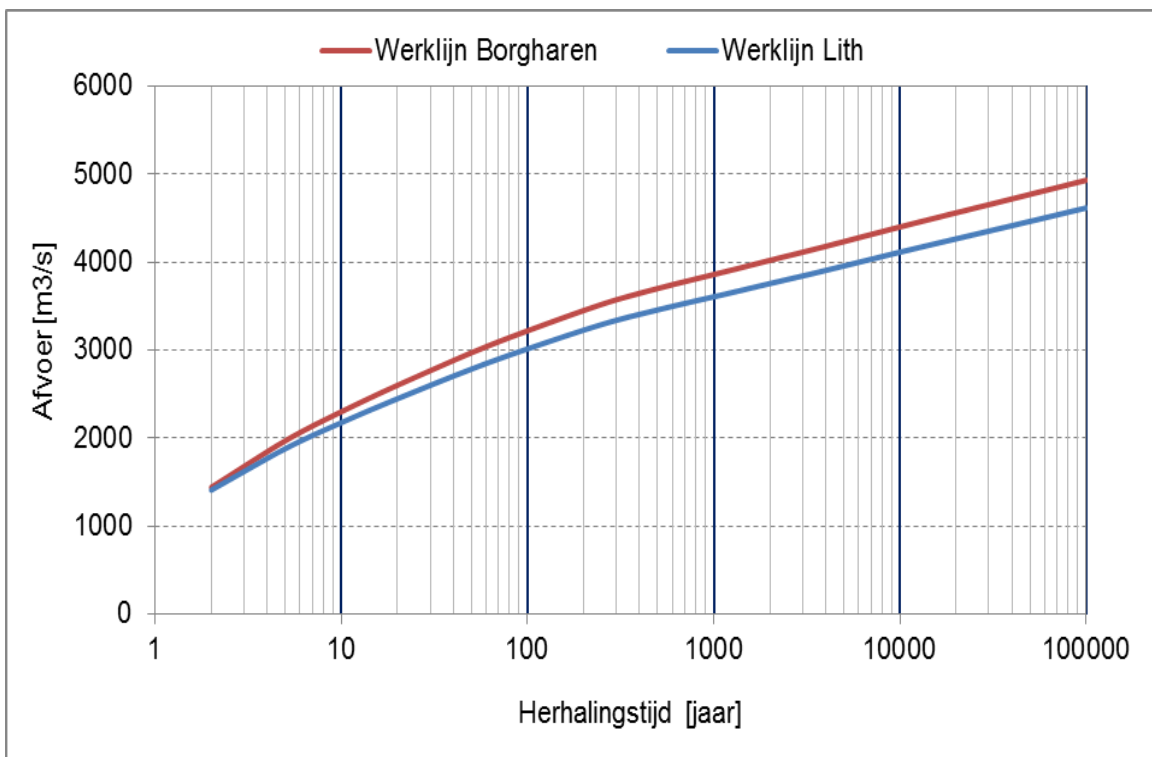
Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer Borgharen [m³/s]	Afvoer Lith [m³/s]	95%-ondergrens [m³/s]	95%-bovengrens [m³/s]
2	1440	1409	1258	1560
5	1970	1880	1672	2089
10	2300	2177	1916	2439
20	2600	2448	2074	2825
50	2970	2785	2297	3279
100	3220	3014	2487	3547
250	3520	3291	2770	3818
500	3700	3458	2899	4024
1250	3910	3653	3012	4304
2000	4020	3756	3063	4460
4000	4180	3906	3124	4703
10000	4400	4113	3198	5047
20000	4560	4264	3243	5309
50000	4770	4463	3296	5662
100000	4930	4616	3331	5937

Ten opzichte van de werklijn van de Maas bij Lith uit HR-2001/WTI-2011 leidt de werklijn gegeven in Tabel 3.7 tot afvoeren van dezelfde orde grootte. Voor een herhalings-tijd van 1250 jaar geldt volgens Tabel 3.7 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 maatgevende afvoer uit HR-2001. Verder valt te constateren dat het verschil tussen Borgharen en Lith klein is voor

afvoeren met hogere frequenties. Het verschil bedraagt $30 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 2$ jaar en loopt op tot ruim $300 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 100.000$ jaar.

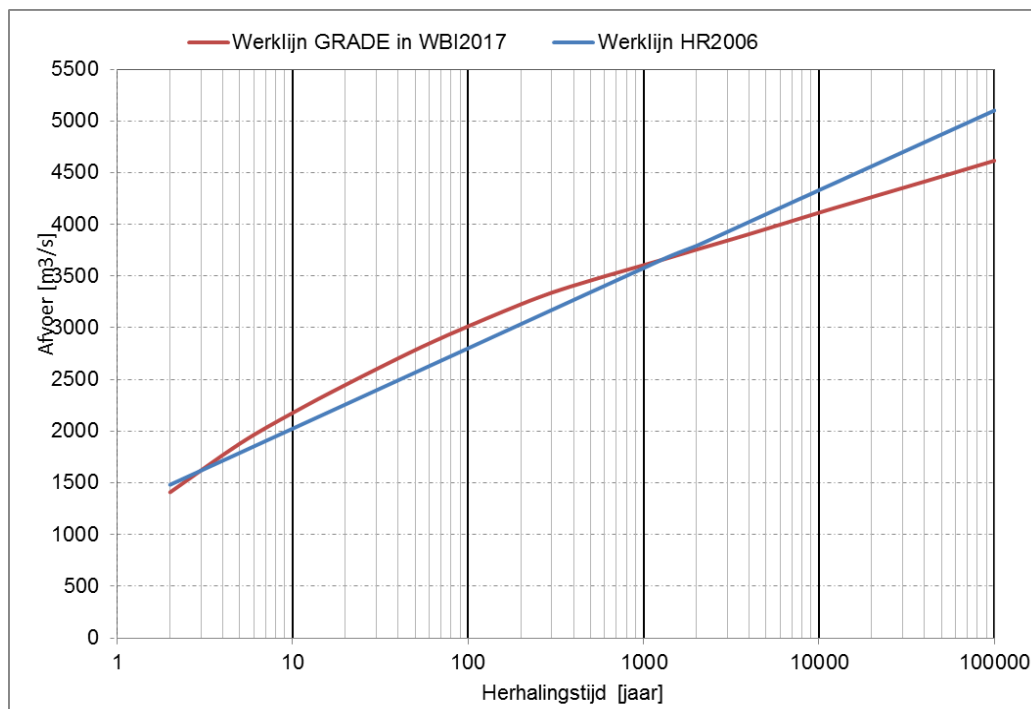


Figuur 3.9 Werklijn Lith op basis van GRADE bij Borgharen inclusief het 95%- betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 3.10 Werklijnen Maas bij Borgharen en bij Lith (volgend uit GRADE).

Figuur 3.11 laat een vergelijking zien tussen de 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 oude werklijn uit WTI-2011; het verschil is het grootste voor $T = 100$ jaar en bedraagt ca. $190 \text{ m}^3/\text{s}$. Vooral langs de dijktrajecten met relatief kortere herhalingstijden (1:300 en 1:1000) zal dit verschil leiden tot hogere waterstanden (ca. 1 dm). Voor herhalingstijden langer dan 1000 jaar is de werklijn van GRADE lager dan de werklijn uit HR-2006. Voor $T = 100,000$ jaar bedraagt het verschil tussen beide werklijnen $470 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 3.11 werklijn HR-2006 en werklijn GRADE in WBI-2017 voor station Lith.

3.2.5 Afvoer Overijsselse Vecht bij Dalfsen

Voor de Vecht geldt dat de afvoerstatistiek in het verleden is vastgesteld door middel van 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 Dalfsen is gerapporteerd in (Klopstra et al, 2002).

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

In het kader van WBI-2017 is een studie uitgevoerd naar het effect van het verlengen van de afvoertijdreeks bij Dalfsen op de werklijn (Klerk, 2014). Daarnaast zijn op basis van deze verlengde tijdreeks de betrouwbaarheidsintervallen afgeleid. Verlenging van de meetreeks

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 de statistiek op beide locaties gelijk genomen kan worden.

met de laatste meetjaren resulteert in een afvoer met een terugkeertijd van 1250 jaar van 536 m³/s; dit is 14 m³/s lager dan de maatgevende afvoer van 550 m³/s uit HR-2006.. Beiden, de frequentielijn uit HR-2006 en de frequentielijn uit de hierboven genoemde studie in WBI-2017, zijn puur statistisch tot stand gekomen, hoewel bij extreem hoge afvoeren overstromingen op de bovenloop van de Vecht en de Zijleidingen daarvan (zoals Regge, Afwateringskanaal en Ommerkanaal) zullen optreden. Deze overstromingen hebben een waterstandsverlagend effect bij Dalfsen. Daarom is in het kader van WBI-2017 een nieuwe werklijn afgeleid, waarbij op pragmatische wijze het effect van overstromingen bovenstrooms van Dalfsen is meegenomen. De nieuwe werklijn is tot stand gekomen door een bepaalde transformatie toe passen, waarbij afvoeren bij Dalfsen zonder overstromingen worden getransformeerd naar afvoeren inclusief overstromingen (Geerse, 2016). Deze transformatie is tot stand gekomen door overstromingen in de bovenloop van de Vecht en de overstromingen van de zijleidingen in beschouwing te nemen (Geerse, 2016). De betreffende transformatie is weergegeven in Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Gegevens van de transformatie van afvoeren zonder overstromingen naar afvoeren met overstromingen (Geerse, 2016b)

Afvoer zonder overstromen [m ³ /s]	Afvoer met overstromen [m ³ /s]
0	0
420	420
429,5	427,1
625,9	595,2
665,2	612,7
704,2	627,3
743,4	637,2
782,4	643,4

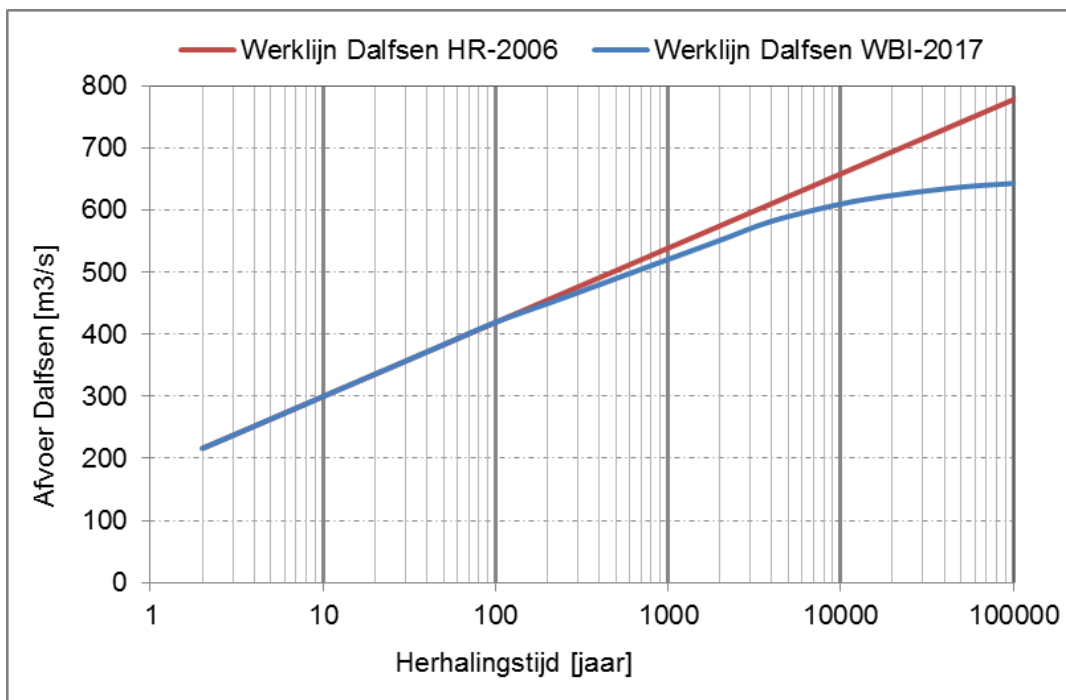
Op basis van de transformatie uit Tabel 3.8 is een nieuwe werklijn bij Dalfsen met overstromingen in de bovenstroomse delen van de Vecht en de Zijleidingen geconstrueerd, zie (Geerse, 2016b) voor meer details. De werklijn van de Vecht uit HR-2006 en de nieuwe afgeleide werklijn met overstromingen zijn weergegeven in Figuur 3.12. De werklijn uit HR-2006 wordt niet gebruikt in Hydra-Ring, deze wordt hier samen met de bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsintervallen getoond voor een goed begrip en vergelijkdoeleind. Zoals in Figuur 3.12 is te zien laat de nieuwe werklijn een afbuiging zien vanaf T = 100 jaar. Vanaf T = 10.000 jaar (afvoer = ca. 600 m³/s) is de afbuiging sterk. Tabel 3.9 toont voor enkele relevante herhalingstijden de bijbehorende afvoeren volgens de nieuwe werklijn (en ter vergelijking ook die volgens de werklijn uit HR-2006).

Op analoge wijze kan de transformatie van afvoeren zonder overstromingen naar afvoeren met overstromingen (Tabel 3.8) worden gebruikt om de 95%-betrouwbaarheidsintervallen te bepalen. Deze betrouwbaarheidsintervallen zijn nodig voor het schatten van de kansverdeling die de statistische onzekerheid beschrijft. Dit komt aan de orde in paragraaf 5.5.1.4.

Tabel 3.9 Relatie afvoer en herhalingstijd voor de Vecht bij Dalfsen, inclusief 95%-betrouwbaarheidsintervallen.

T [jaar]	Afvoer werklijn Dalfsen HR-2006 [m ³ /s]	Ondergrens 95%-interval HR-2006 [m ³ /s]	Bovengrens 95%-interval HR-2006 [m ³ /s]	Afvoer Dalfsen, werklijn WBI-2017 [m ³ /s]
2	216	203	227	216
5	264	230	284	264
10	299	250	328	300
20	335	265	407	335
50	383	283	478	383
100	419	303	550	419
250	466	328	655	459
500	502	348	744	490
1250	550	367	835	530
2000	574	374	885	551
4000	610	393	987	582
10000	658	413	1090	609
20.000	694	432	1145	623
50000	741	450	1235	637
100000	777	472	1302	643

Voor een herhalingstijd van 1250 jaar geldt een afvoer van 530 m³/s; dit is 20 m³/s lager dan de maatgevende afvoer uit HR-2006.



Figuur 3.12 Werklijn Overijsselse Vecht bij Dalfsen in WBI-2017 (blauwe lijn) en uit HR-2006 (rode lijn)

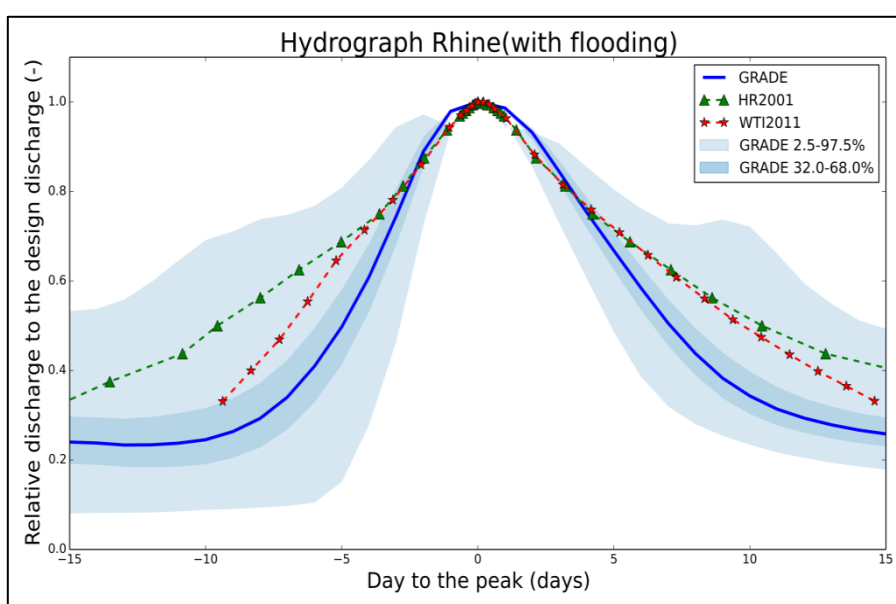
3.3 Afvoergolfvormen

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 WBI-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 3.13 t/m Figuur 3.15.

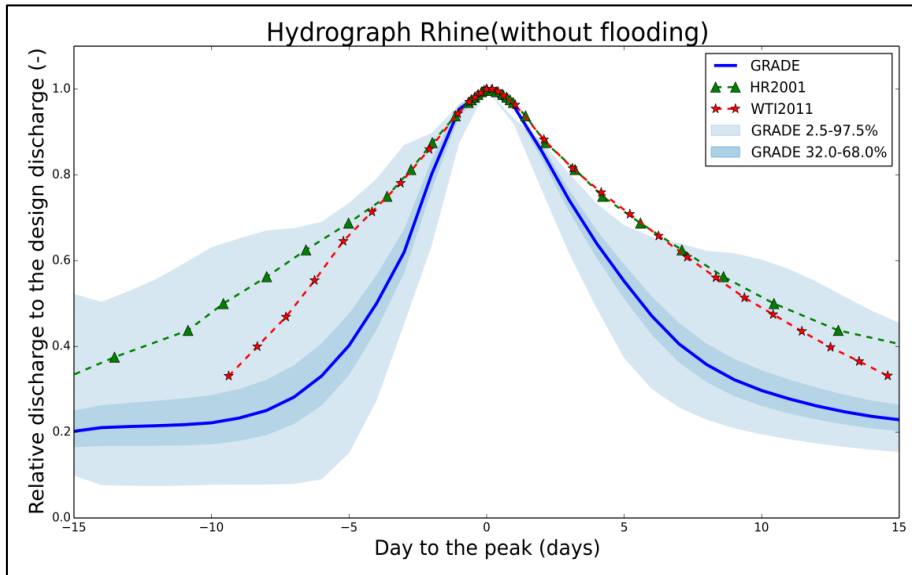
De golfvorm van de Rijn zoals afgebeeld in Figuur 3.13 wordt gebruikt voor de productieberekeningen voor regio 1 (Smale, 2014). Ten behoeve van de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring is een degelijk verloop in de tijd van de afvoer niet nodig. De vorm (tijdsverloop) van de trage stochast afvoer 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 m³/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 3.13 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-

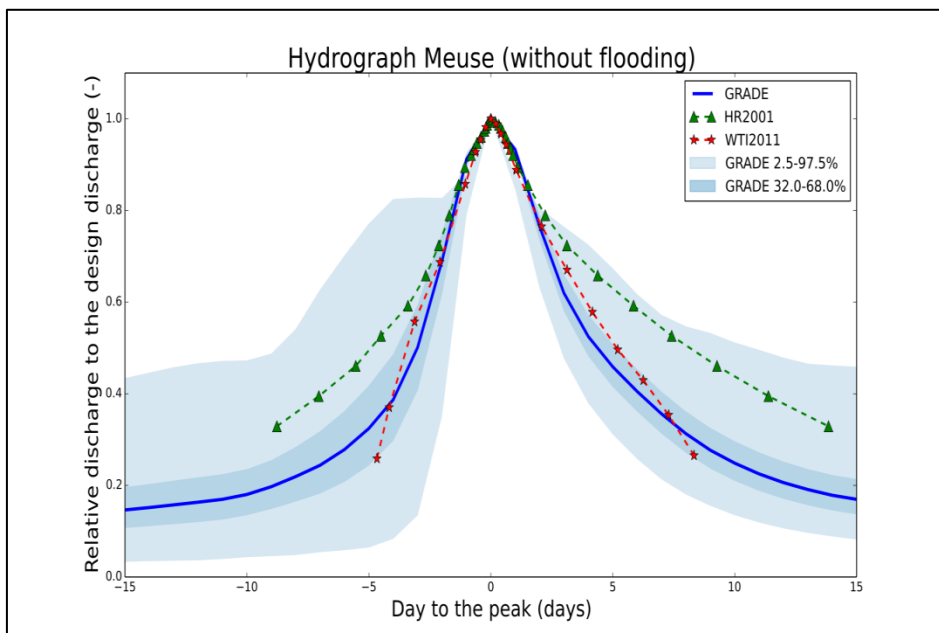
2011. Verder valt op dat de gemiddelde golfvorm voor de situatie met overstromingen rondom de top enigszins breder is dan de golfvorm uit WTI-2011, en in de basis smaller.



Figuur 3.14 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 3.15 (Deltares, 2013). Deze nieuwe golfvorm van GRADE komt goed overeen met de huidige golfvorm bepaald met het opschalen van opgetreden afvoergolven.



Figuur 3.15 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

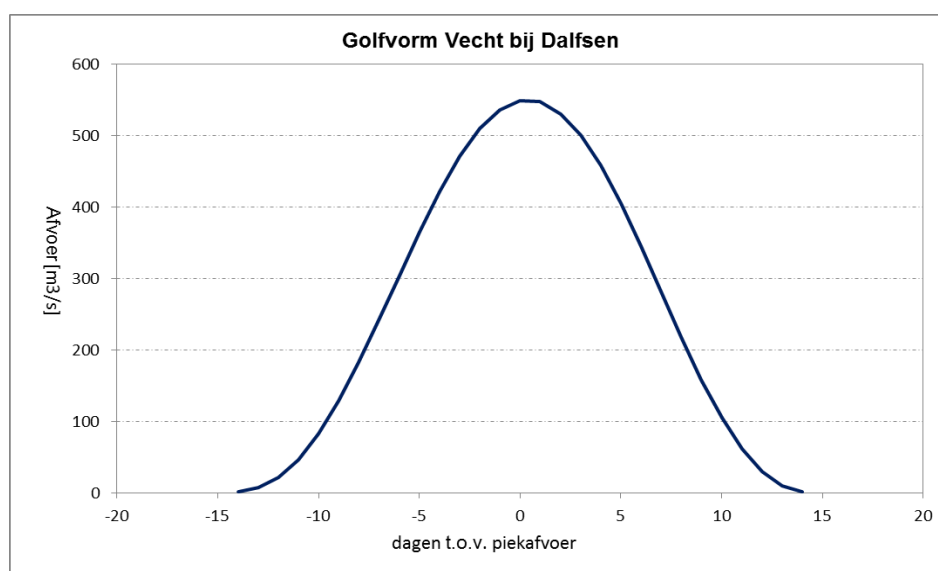
wordt uitgegaan van een trapeziumvorm van 30 dagen in de basis of een FBC model, zie paragraaf 3.3.1

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 3.16 en zal worden aangehouden in WBI-2017.

N.B. in de productieberekeningen voor het gebied van de Vecht- en IJsseldelta worden Vechtafvoeren stationair doorerekend. 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 3.16 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).

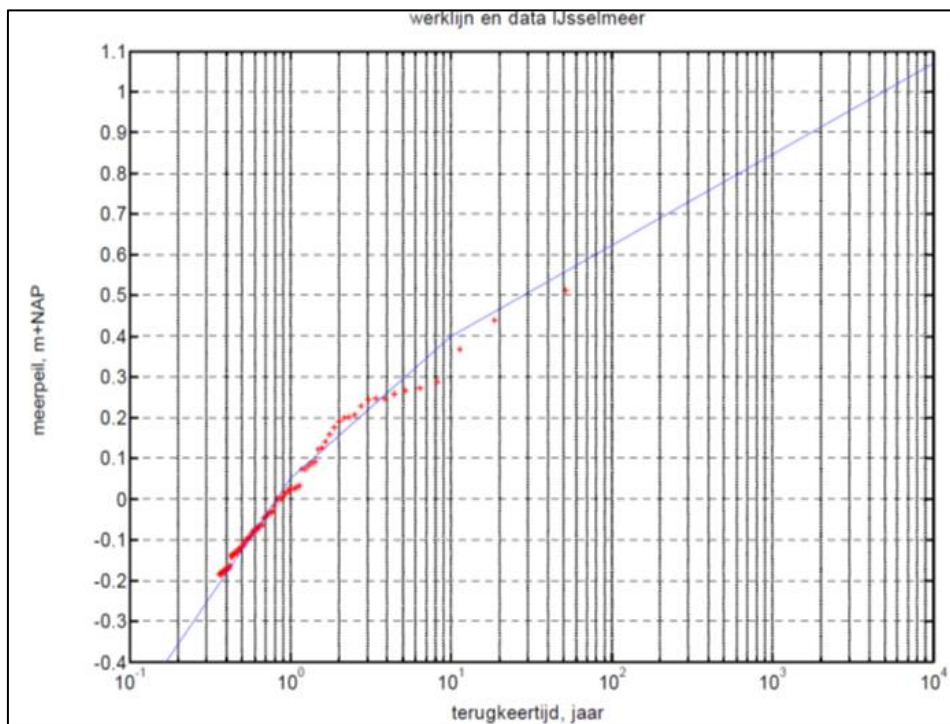
3.4.1 IJsselmeerpeil

Voor WBI-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 3.17. 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 3.10 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 .



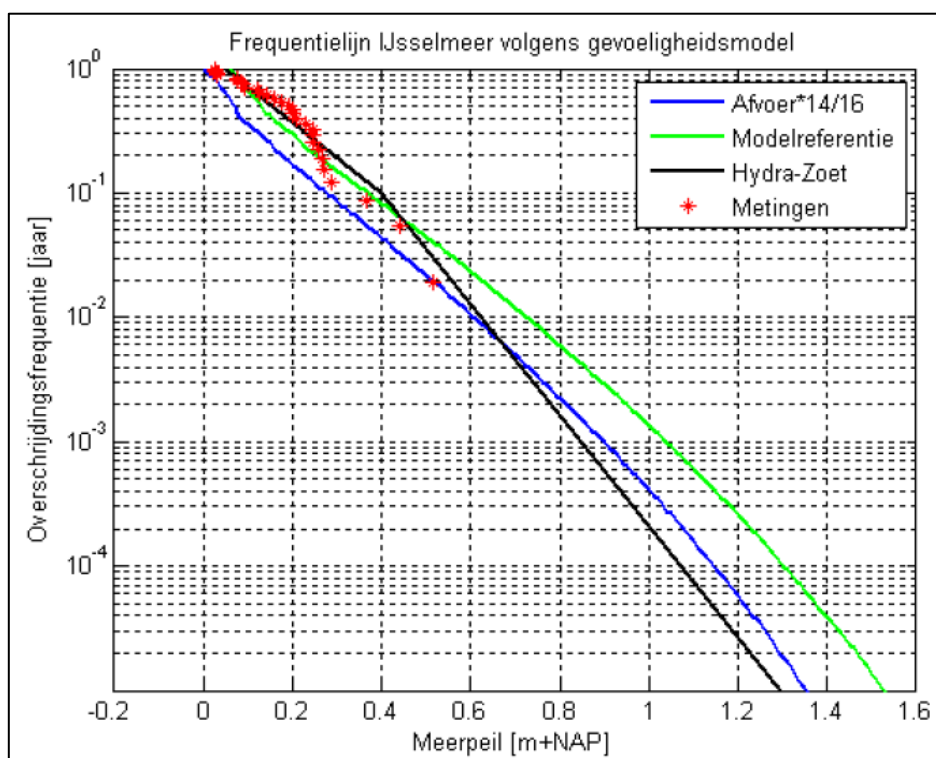
Figuur 3.17 Frequentielijn IJsselmeerpeil (Geerse, 2006). Deze werklijn blijft vigerend in WBI-2017.

Van de vigerende werklijn voor het IJsselmeerpeil bestaan geen 95%-betrouwbaarheidsintervallen. Deze zijn in het kader van dit rapport afgeleid; hierbij is de zogenoemde bootstrapmethode 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 3.17 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 $1,07 \text{ m+NAP}$; de bijbehorende 95%-bovengrens wordt geschat op $1,63 \text{ m+NAP}$, zie ook Tabel 3.10.

Tabel 3.10 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 fysische 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 3.10. 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 3.18; 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.

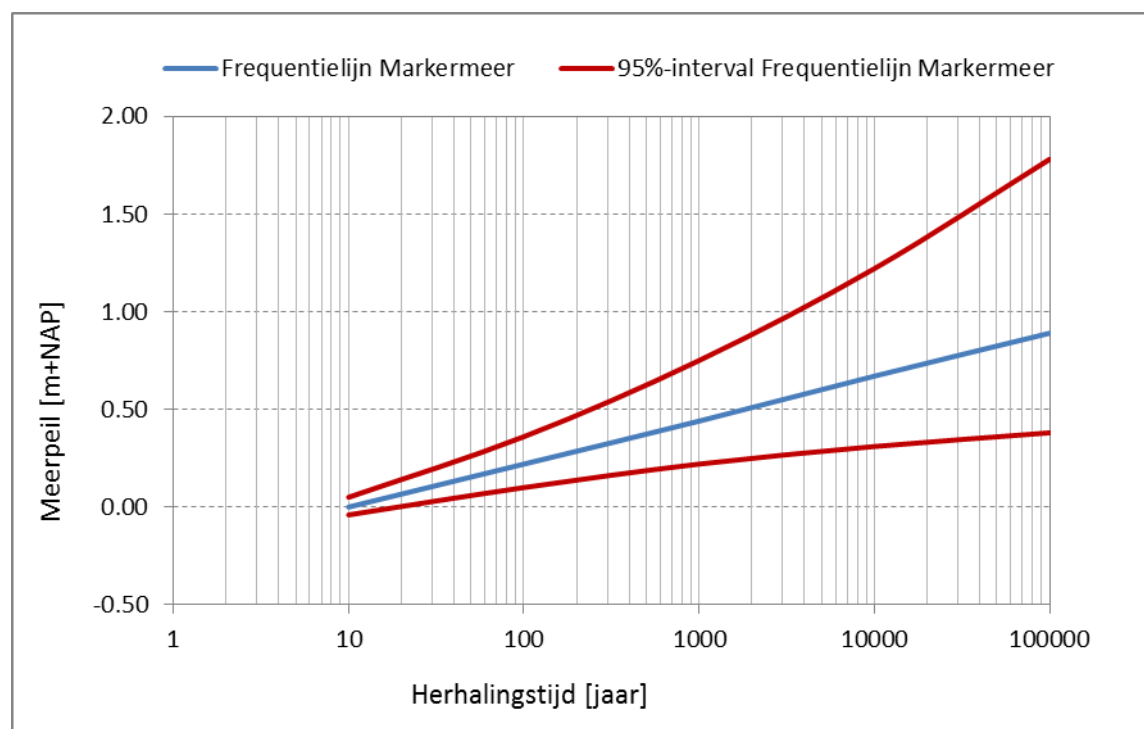


Figuur 3.18 Frequentielijn IJsselmeerpeil berekend met probabilistisch en verlaagde afvoeren. Olst en Vechtafvoer vermenigvuldigd met factor 14/16. Bron (Geerse, 2014). N.B. Zwarte lijn is vigerende meerpeilstatistiek.

3.4.2 Markermeerpeil

Voor WBI-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 3.19. De 95%-betrouwbaarheidsintervallen zijn evenals het IJsselmeer bepaald met de Bootstraphmethode (Geerse en Wojciechowska, 2014). In Tabel 3.11 zijn voor een aantal relevante terugkeertijden de bijbehorende meerpeelniveaus inclusief de 95% boven- en ondergrens gegeven.



Figuur 3.19 Frequentielijn Markermeerpeil zoals vastgesteld voor Hydra-M (WL/Delft Hydraulics 1998). De betrouwbaarheidsintervallen volgen uit (Geerse en Wojciechowska, 2014).

Tabel 3.11 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 WBI-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 WBI-2017.

3.5.2 Basispeilen 1985

De basispeilen zijn maatgevende hoogwaterstanden met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van eens in 10.000 jaar. Uitgangspunt van WBI-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:

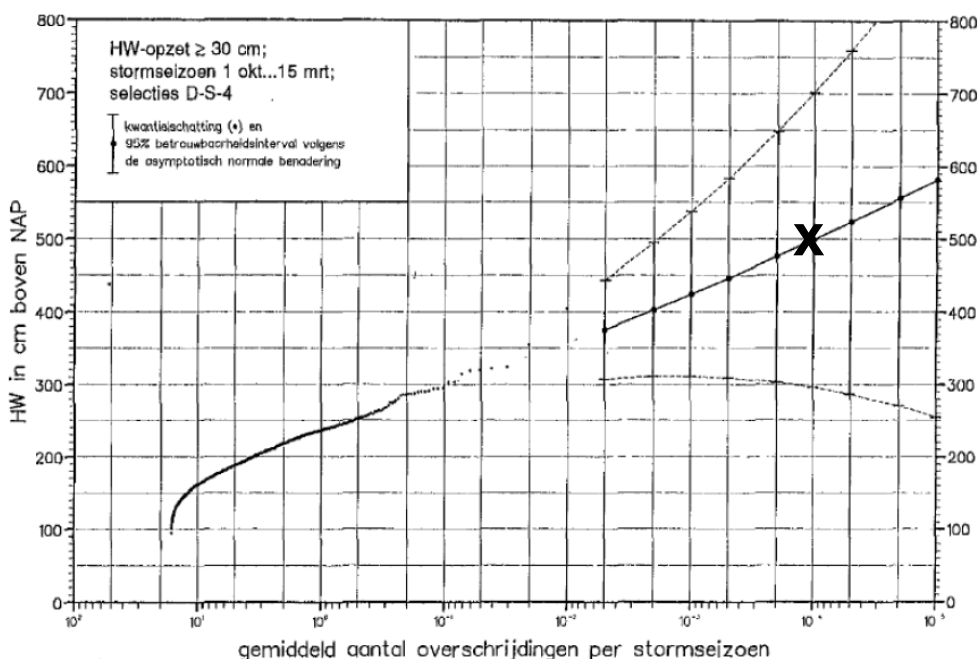
- Vlissingen 1881....1985
- Hoek van Holland 1887....1985
- Den Helder 1932....1985
- Harlingen 1932....1985
- Delfzijl 1881....1985

Tabel 3.12 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 3.12. Merk op dat de 95% betrouwbaarheidsbanden enkel zijn afgeleid voor de 1/10000-hoogwaterstan, ook kwantiel genoemd. In Figuur 3.20 voor Hoek van Holland is dat aangegeven met een kruisje x).

Naast de hoofdstations gegeven in Tabel 3.12 is er nog een set zeewaterstandsstations nodig voor het uitvoeren van de zogenoemde triangulaire interpolaties¹¹. 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.



Figuur 3.20 95% betrouwbaarheidsinterval voor Hoek van Holland volgens VVM-0 methode, uit: Dillingh (1993).

3.5.3 Effect verlenging meetreeksen zeewaterstanden

In het kader van WBI-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

¹¹ 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.

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 WBI-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 meetreeks; 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 3.13, 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 3.13 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 meetreeks 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 3.14. 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 3.14 Aantal pieken boven de gekozen drempelwaardes uit Tabel 3.13.

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 berekend¹² 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 3.15 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

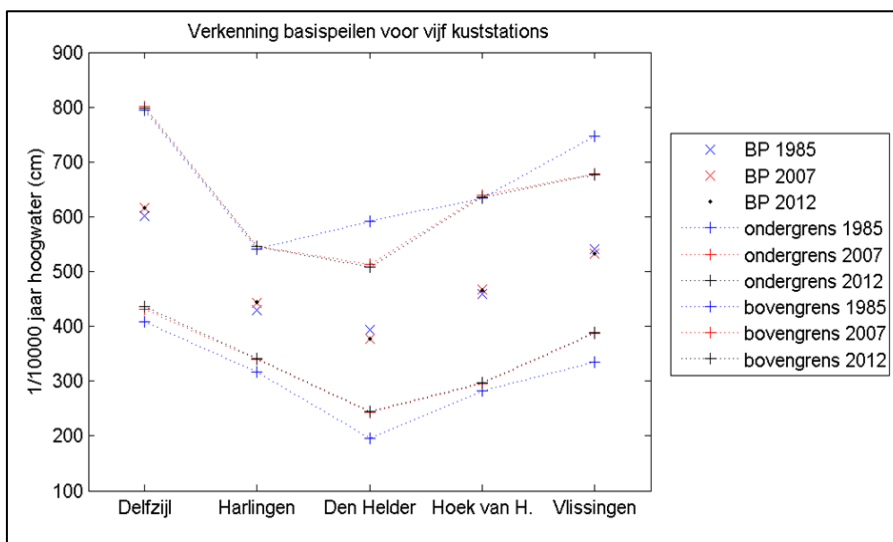
¹² De berekende zeewaterstanden zijn het resultaat van uitsluitend een statische analyse van de stations individueel; de samenhang en correlatie tussen de stations (fysica) is hier niet beschouwd.

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 3.15 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 3.21.



Figuur 3.21 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 WBI2017 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).

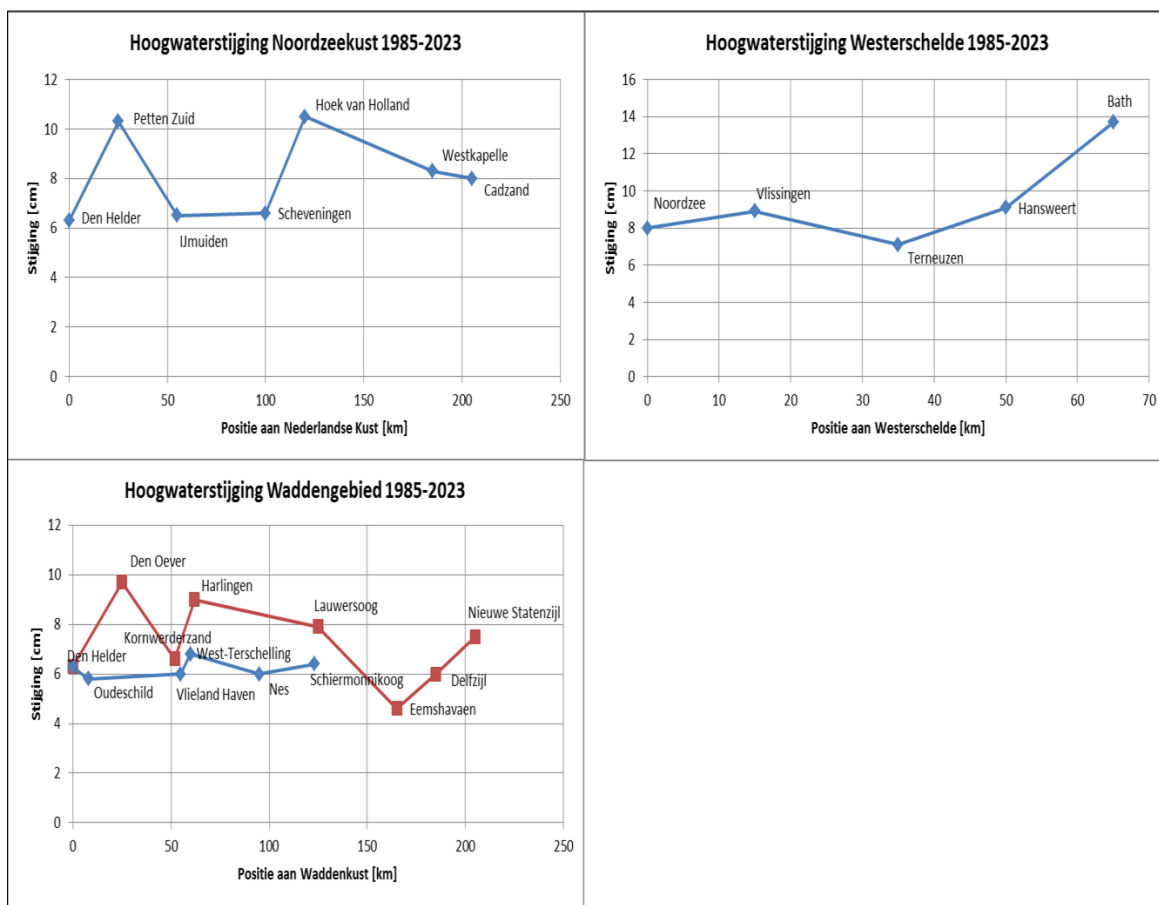
Op basis van de beschreven werkwijze zijn toeslagen voor hoogwaterstanden tussen 1985 en 2023 berekend op basis van tijdreeksen t/m 2012. De resultaten zijn gepresenteerd in Tabel 3.16.

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 3.22 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 3.16 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
Schiermonnikoog	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 3.22 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 3.22 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 3.22. 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 het peiljaar 2023 van 8 cm voor het Waddengebied en 7 cm voor de Eems-Dollard voorgesteld.

3.5.5 Zeewaterstandsstatistiek WBI-2017 voor het peiljaar 2023

De vigerende basispeilen uit 1993 op basis van HW metingen t/m 1985 blijven gehandhaafd in WBI-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 kust 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 1986-2023 (peiljaar 2023) zijn met uitzondering van Hoek van Holland en Petten Zuid gelijk gebleven aan de toeslagen voor de periode 1986-2017 (peiljaar 2017).

In Hydra-Ring is de statistiek van Hydra-K geïmplementeerd; deze statistiek is in het kader van HR-2006 respectievelijk WTI-2011 afgeleid en heeft betrekking op het peiljaar 2011 (Hollandse Kust en Oosterschelde) respectievelijk het peiljaar 2017 (Waddenzee en Westerschelde). Dit betekent dat in deze statistiek de toeslagen voor de periode 1986-2011 respectievelijk 1986-2017 al verwerkt zijn. Om dubbel telling te vermijden dienen alleen voor de periode 2018-2023 toeslagen te worden verwerkt in de statistiek van Hydra-K. Kolom 4 van Tabel 3.17 bevat de toeslagen die uiteindelijk verwerkt zijn in de zeewaterstandsstatistiek behorende bij verschillende zeewaterstandsstations. Deze toeslagen variëren van 0 cm voor station Delfzijl tot 3 cm voor station Hoek van Holland. Voor Delfzijl is nadere toelichting nodig, deze volgt hieronder.

Tabel 3.17 Definitieve toeslagen hoogwaterstijging zoals geïmplementeerd in Hydra-Ring. Deze toeslagen zijn toegepast op de statistiek van Hydra-K uit HR-2006 en/of WTI-2011.

Kuststation	Benodigde toeslag (1986-2023)	Toeslag Hydra-K (1986-2017)	Toeslag WBI-2017 voor Hydra-Ring (2018-2023)
Vlissingen	8 cm	7 cm	1 cm
OS11	8 cm	6 cm	2 cm
Hoek van Holland	10 cm	7 cm	3 cm
IJmuiden Buitenhaven	8 cm	7 cm	1 cm
Den Helder	8 cm	7 cm	1 cm
Harlingen	8 cm	7 cm	1 cm
Lauwersoog	8 cm	7 cm	1 cm
Delfzijl	7 cm	7 cm	0 cm
Hansweert	8 cm	7 cm	1 cm
Den Oever	8 cm	7 cm	1 cm
Den Oever A	8 cm	7 cm	1 cm
West Terschelling	8 cm	7 cm	1 cm
West Terschelling A	8 cm	7 cm	1 cm
Huibertgat	8 cm	7 cm	1 cm

Voor Delfzijl bedraagt de waterstand voor $T = 10.000$ jaar (het basispeil) 6,15 m+NAP in het peiljaar 1985 (Tabel 3.12). Hydra-K bevat voor dit station de statistiek zoals weergegeven in Tabel 3.18. Het Ems-Sperrwerk werd in de periode 1998-2002 aangelegd en heeft een waterstandsverhogend effect. Volgens Rego en Dillingh (2010) ligt het effect van het Sperrwerk voor station Delfzijl tussen 14 en 20 cm, met 17 cm als beste schatting. Volgens Tabel 3.17 geldt voor Delfzijl een toeslag van 7 cm voor hoogwaterstijging voor de periode 1986-2023. De waterstand voor $T = 10.000$ jaar komt volgens Tabel 3.17 (kolom 2) daarmee op 6,39 m+NAP (6,15+0,17+0,07 m). In het bestand van Hydra-K bedraagt voor $T = 10.000$ de waterstand 6,40 m+NAP (Tabel 3.18, omni-directioneel). In de Hydra-K statistiek is dus al (meer dan) voldoende toeslag verwerkt. Daarom is besloten om geen extra toeslag voor hoogwaterstijging toe te passen voor Delfzijl in WBI-2017 ten opzichte van de reeds verwerkte toeslag in WTI-2011.

Tabel 3.18 Hydra-K bestand van de zeewaterstandsstatistiek voor station Delfzijl uit WTI-2011

richting	Weibull-parameters :				overschrijdingsfrequentie van de HW-stand :					kwantiel HW-standen m :					
	th	pc	alf	sig	3.0 m	4.0 m	5.0 m	6.0 m	7.0 m	0.1	0.01	0.001	.0005	.00025	.0001
omni-	2.40	4.660	1.91	1.692	1.6535115	0.1856860	0.0118851	0.0004385	0.0000094	4.24	5.06	5.77	5.96	6.16	6.40
30	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
60	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
90	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
120	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
150	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
180	2.40	0.002	1.58	0.437	0.0000039	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.97	2.23	2.47	2.54	2.61	2.70
210	2.40	0.017	1.60	0.523	0.0001251	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	2.16	2.47	2.76	2.84	2.92	3.03
240	2.40	0.304	1.54	0.809	0.0340740	0.0005136	0.0000042	0.0000000	0.0000000	2.71	3.31	3.85	4.01	4.16	4.35
270	2.40	1.572	1.91	1.597	0.4942725	0.0430058	0.0019973	0.0000501	0.0000007	3.68	4.50	5.20	5.40	5.58	5.82
300	2.40	1.770	2.18	2.095	0.7621372	0.1130779	0.0086892	0.0003365	0.0000064	4.05	4.95	5.69	5.89	6.08	6.33
330	2.40	0.824	1.94	1.697	0.2851342	0.0298390	0.0017108	0.0000542	0.0000010	3.50	4.41	5.17	5.38	5.58	5.83
360	2.40	0.161	1.66	0.999	0.0235851	0.0005286	0.0000060	0.0000000	0.0000000	2.56	3.24	3.84	4.01	4.18	4.39

3.6 Windstatistiek

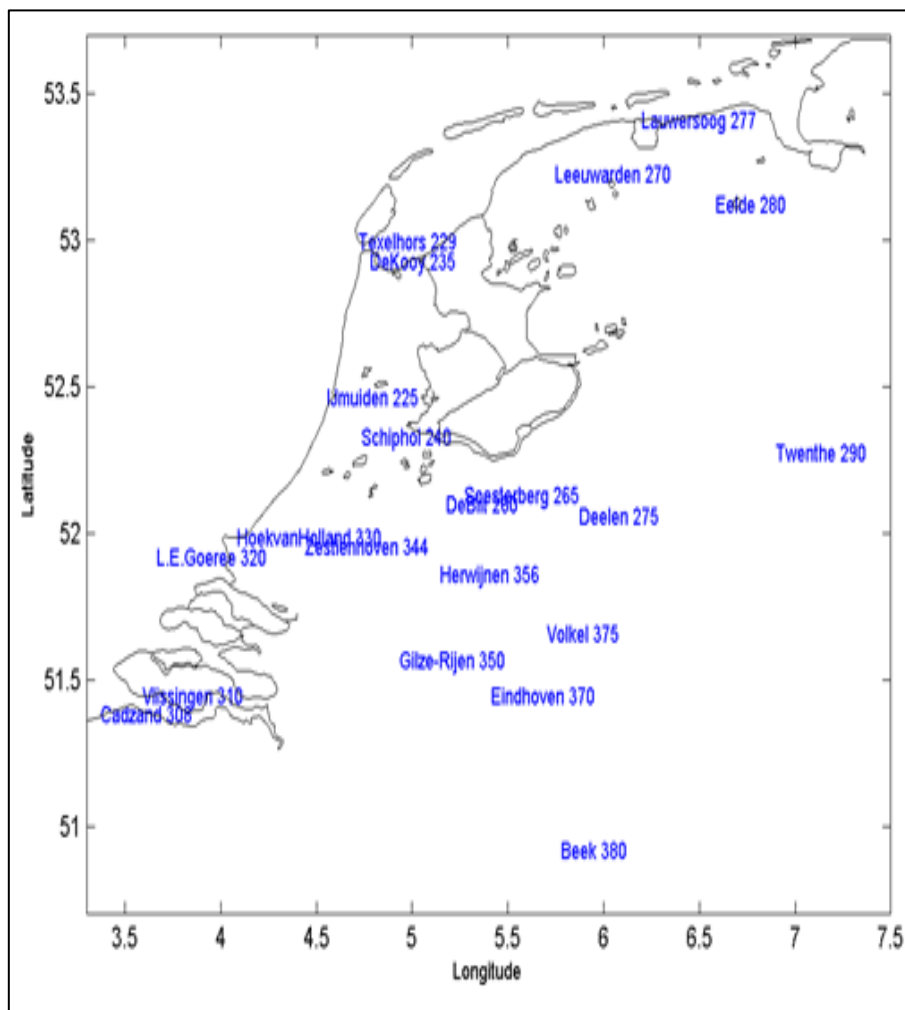
3.6.1 Inleiding

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 WBI-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 3.6.6 adresseert de effecten van de nieuwe windstatistiek op de MHW en HBN's.

In regio's waar extreme windsnelheid bepalend is voor de hydraulische belasting is er in WBI-2017 voor gekozen om de windstatistiek te corrigeren voor nieuwe inzichten ten aanzien van de winddrag relatie (van Vledder, 2016). De windstatistiek met correctie voor winddrag wordt toegepast op de meren (IJsselmeer en Markermeer) en Oosterschelde en zal worden behandeld in paragraaf 3.6.7.

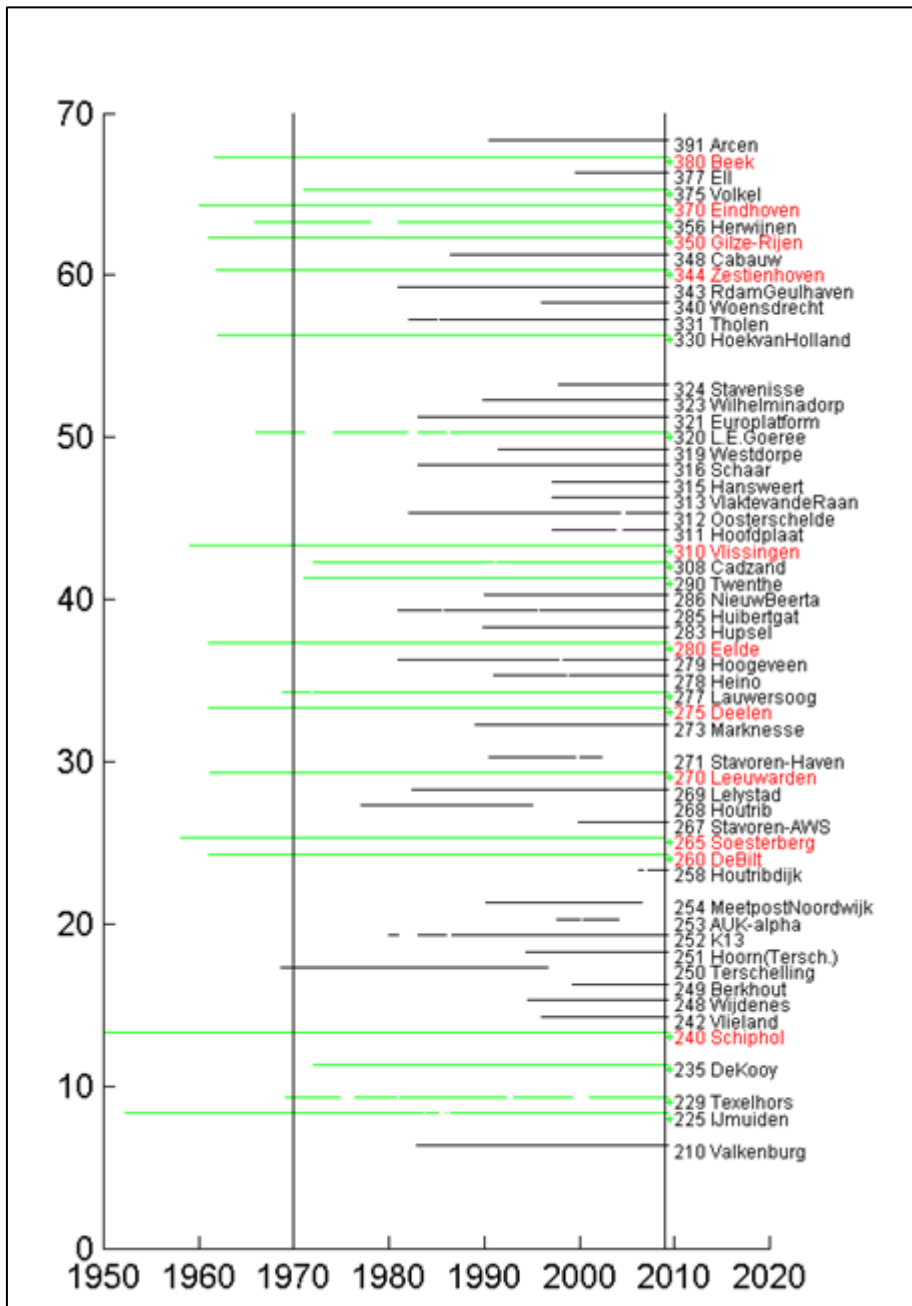
3.6.2 Statistiek windsnelheid hoog bereik

De vigerende (en concept) hydraulische randvoorwaarden (HR-2006 en WTI-2011) zijn gebaseerd op de windstatistiek van het KNMI uit 1983 (Wieringa en Rijkooft, 1993). Deze statistiek is gebaseerd op windmetingen uit de periode 1962-1976 en is beschikbaar per windrichting voor verschillende windstations in Nederland, zie Figuur 3.23.



Figuur 3.23 Grafische weergave van de windstations gebruikt voor de nieuwe de windstatistiek (Caires, 2009).

In het kader van het WTI-SBW project 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 3.23. Deze statistiek geeft per windrichting van 30 graden overschrijdingsfrequenties van hoge/extreme windsnelheden vanaf overschrijdingsfrequenties van circa 2 keer per jaar (drempelwaarde).



Figuur 3.24 Gebruikte windstations in windonderzoek inclusief meetperiode. Rood (KNMI, 1983) en Groen (Caires, 2009)

Ten behoeve van de nieuwe statistische analyse zijn windmetingen van 21 windstations verspreid over heel Nederland uit de periode 1970-2008 (39 jaar) beschouwd. Deze periode bevat weinig hiaten en is voldoende betrouwbaar bevonden (Caires, 2009). De beschouwde stations zijn: 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, zie Figuur 3.23. De lengtes van beschouwde windmetingen zijn weergegeven in Figuur 3.24.

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 volgen uit extreme waardentheorie, zie voor details (Coles, 2001).

De GEV kansverdeling wordt 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 ($\sigma > 0$) en μ is een locatieparameter. De vormparameter ξ bepaalt het type extreme waardenverdeling. Voor $\xi = 0$ ontstaat de Gumbel kansverdeling.

Kwantielschattingen Z_m , voor herhalingsstijd m , 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 in onderstaande formule 3.4 is de drempelwaarde.

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

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

Na uitgebreide statistische analyse blijkt dat GEV kansverdeling Type I (de Gumbel verdeling) de beste keuze voor de verdeling van jaarmaxima van windsnelheden. 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 3.19 t/m Tabel 3.21. Het betreft schattingen van zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke situaties.

Tabel 3.19 Gebruikte drempelwaarden POT series, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron (Caires, 2009)).

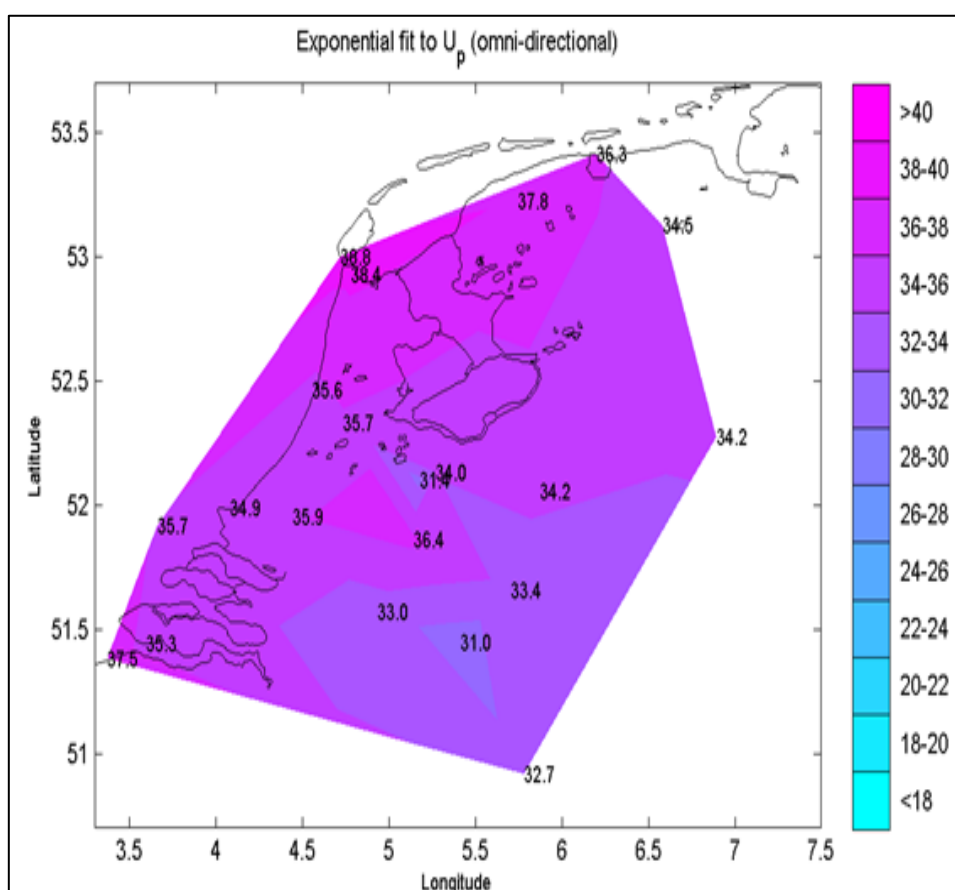
Station \ Sector	omni-directional	345°N -	15°N -	45°N -	75°N -	105°N -	135°N -	165°N -	195°N -	225°N -	255°N -	285°N -	315°N -
		15°N	45°N	75°N	105°N	135°N	165°N	195°N	225°N	255°N	285°N	315°N	345°N
IJmuiden	18.3	12.9	10.6	11.9	10.6	8.3	9.5	14.4	16.3	16.2	17.0	15.7	13.9
Texelhors	18.0	15.3	9.7	11.5	10.4	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
Elde	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.F. 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
Herwijnen	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
Findhoven	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 3.20 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
Twenty	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 kwantielschattingen van U_p met een herhalingsjijd van gemiddeld eens in 10.000 jaar zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.25 en in tabelvorm in Tabel 3.22.



Figuur 3.25 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.

Een vergelijking tussen de oude windstatistiek (volgens het Rijkcoort-Weibull model) en de nieuwe windstatistiek voor de meest relevante ¹³ windstations en windrichtingen is weergegeven in Figuur 3.27. 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 3.27):

- 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

¹³ Dit zijn de windstations die gebruikt worden in Hydra-Ring.

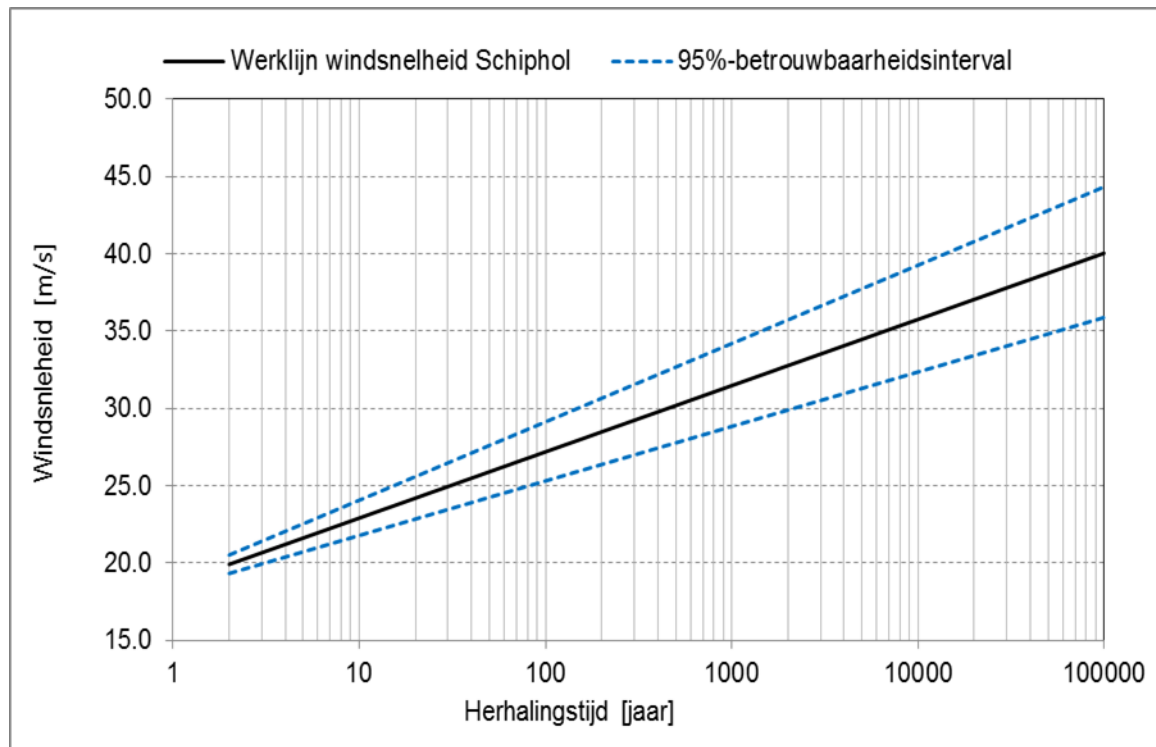
Tabel 3.21 Schattingen van de parameter σ van de exponentiele verdeling, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (bron Caires, 2009)

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, 2.21)	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 3.22 Resultaat 1/10.000 kwantielen U_p inclusief betrouwbaarheidsintervallen, omni-directioneel en richtingsafhankelijk (Bron (Caires, 2009)).

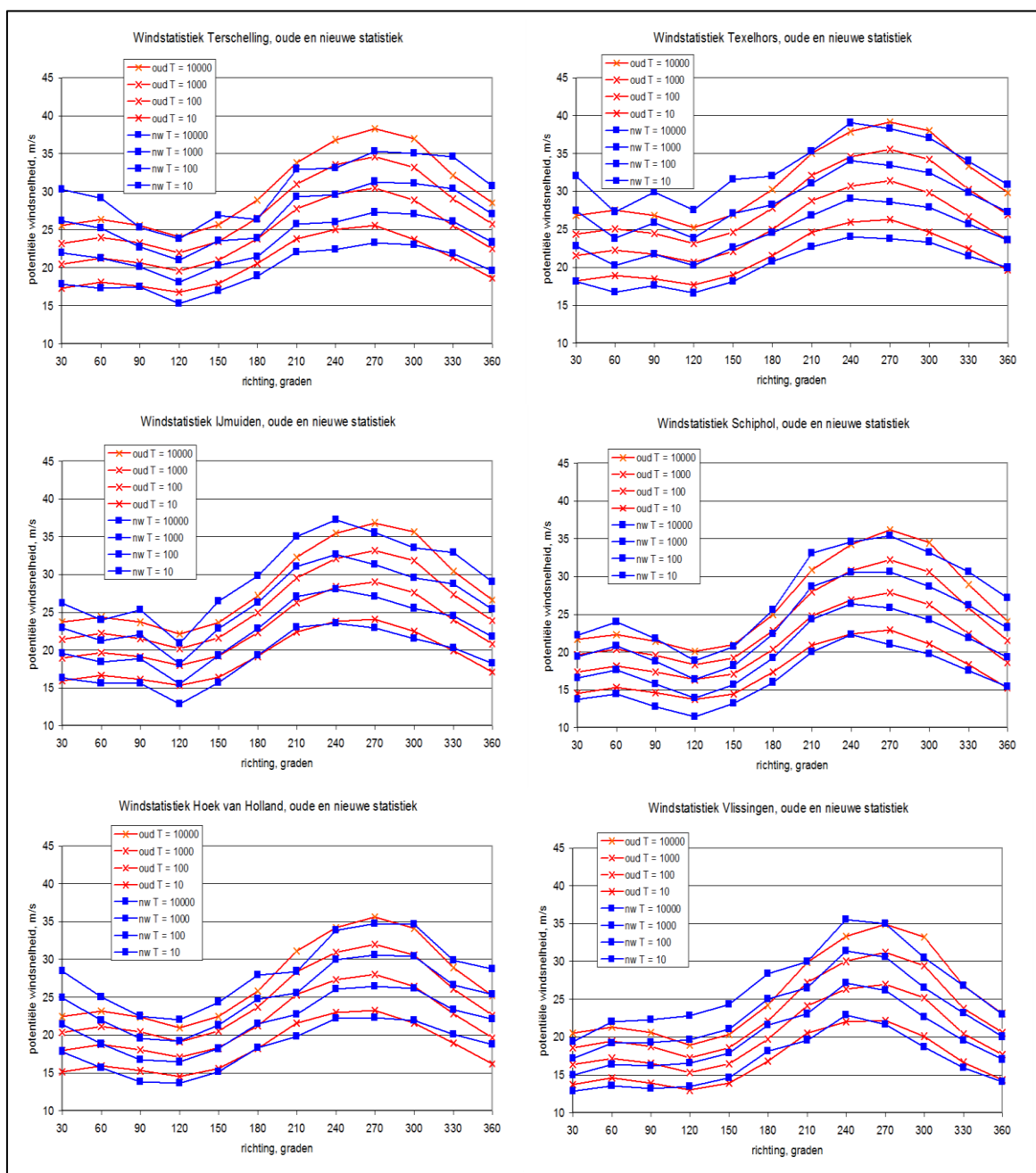
Station \ Sector	omni-directional						
IJmuiden	35.6 (32.9, 38.5)						
Texelhors	38.8 (35.4, 42.6)						
De Kooy	38.4 (35.1, 41.9)						
Schiphol	35.7 (32.4, 39.3)						
De Bilt	31.4 (28.8, 34.1)						
Soesterberg	34.0 (31.3, 36.9)						
Leeuwarden	37.8 (34.4, 41.3)						
Deelen	34.2 (31.2, 37.7)						
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)	

Figuur 3.26 toont de werklijn van de windsnelheid bij station Schiphol voor de omni-directionele situatie (alle windrichtingen).



Figuur 3.26 Werklijn (hoog bereik) windsnelheid station Schiphol, omni-directioneel, inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

De nieuwe windstatistiek zoals hierboven beschreven heeft betrekking op de relatief hoge windsnelheden; dit zijn windsnelheden hoger dan de gekozen drempelwaarden gegeven in Tabel 3.19. 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 3.27 Vergelijking oude (Rijkoort Weibull) en nieuwe (Exponentieel) windstatistiek voor relevante windstations en herhalingsijden.

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 3.23. 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 databases van deze Hydra's als basis fungeren voor WBI-2017. Merk op dat alleen voor het rivierengebied en Ketelmeer/Vossemeer nieuwe productiesommen worden gemaakt in WBI-2017. Voor regio 17, het Europoortgebied, worden geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd.

Tabel 3.23 Windstations Hydra- Ring

Windstation	Regio's
Schiphol	3 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

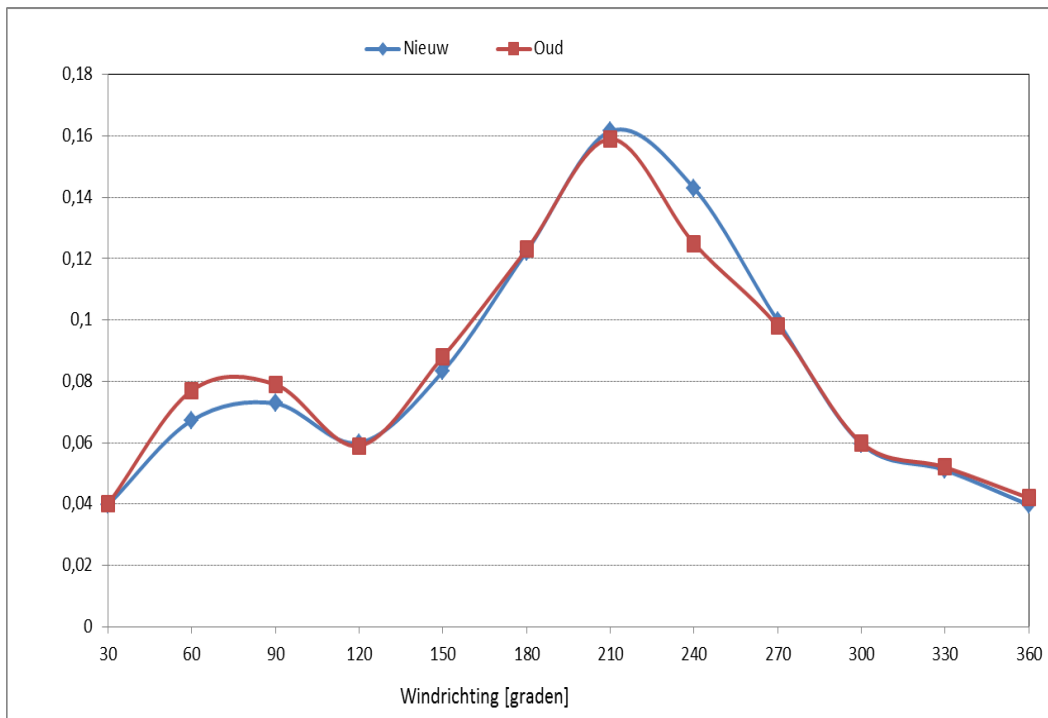
Merk op dat duinen geen regio is maar wordt als zodanig gedefinieerd in Hydra-Ring omdat hiervoor een aparte belastingmodel geldt dan de harde keringen.

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 3.24. 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 onmi-directionele statistiek. Deze aanpak is identiek aan HR-2006.

Tabel 3.24 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 3.28 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 3.28 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 3.25 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 WBI-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 3.25 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-d	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 de zoete regio's (rivieren en meren) met uitzondering van het Markermeer en 12 windrichtingen voor de zoute regio's en het Markermeer. Voor de zoete regio's worden de stations Schiphol en Deelen gebruikt. Voor alle kustgebieden wordt Hoek van Holland gebruikt voor de kansverdeling van windrichtingen. De kansverdelingen van de windrichting bij de stations Schiphol en Deelen

voor 16 sectoren zijn weergegeven in Tabel 3.26. De kansverdelingen van windrichtingen bij Schiphol en Hoek van Holland, beiden voor 12 sectoren, zijn weergegeven in Tabel 3.24.

Tabel 3.26 Kansverdeling windrichtingen van sectoren van 22,5 graden voor de stations Schiphol en Deelen.

Windrichting [Gr]	Schiphol [-]	Deelen [-]
0	0.03074	0.02139
22,5	0.02547	0.02962
45,0	0.03700	0.03976
67,5	0.06078	0.05868
90,0	0.05269	0.06122
112,5	0.04530	0.05284
135,0	0.05171	0.06495
157,5	0.06669	0.06178
180,0	0.09159	0.07705
202,5	0.12332	0.12314
225,0	0.11277	0.13615
247,5	0.10011	0.11307
270,0	0.07520	0.05967
292,5	0.05009	0.04137
315,0	0.03961	0.03244
337,5	0.03693	0.02688

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 3.27. 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° windsectoren¹⁴. 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.

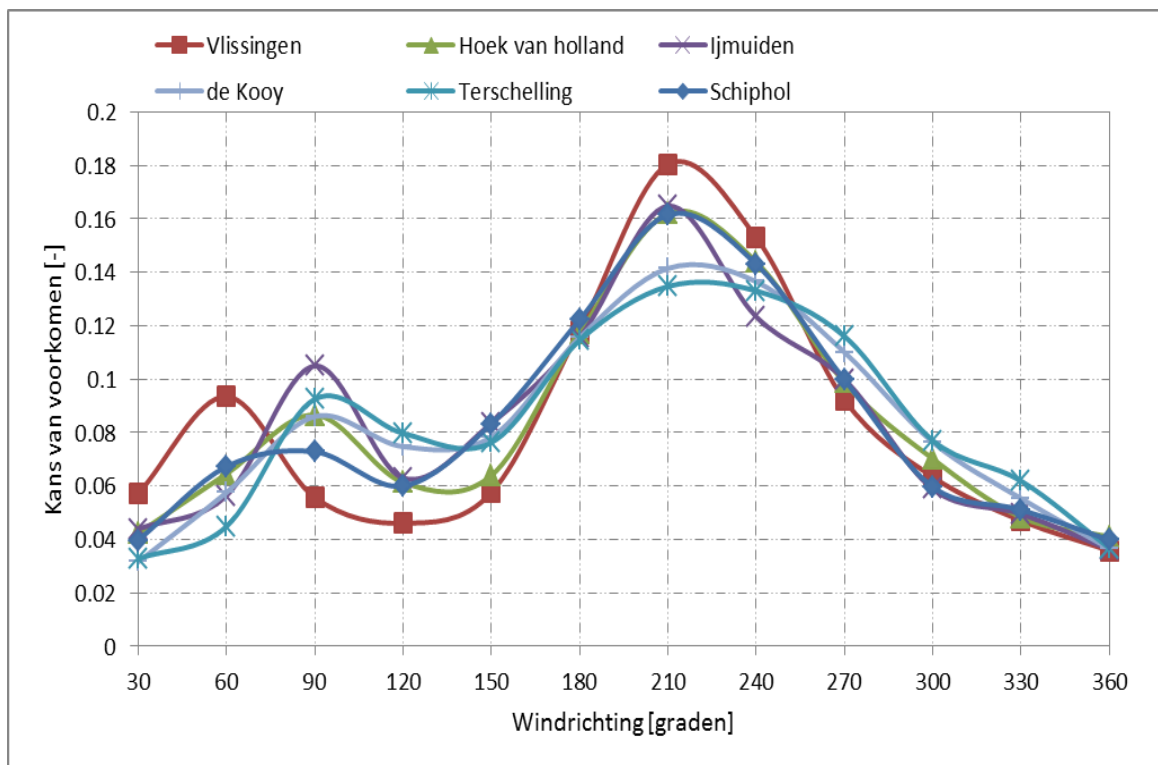
¹⁴ Ten aanzien van de verdeling op basis van 16 richtingen dient een omrekening plaats te vinden van 12 naar 16 richtingen en vervolgens omrekening van een (winter)halfjaar naar een kortere periode (bijvoorbeeld 12 uur of getijperiode).

Tabel 3.27 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 West	1970-2008 1970-1995	Caires (2009) WTI-2011	8 9, 10 en 16	Hoek van Holland	12 uur 12 uur	12 (30°) 12 (30°)
Terschelling 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 eenzelfde¹⁵ zeewaterstandsstation wordt gebruikt voor twee of meer regio's. Daar de richtingsafhankelijke kansverdeling van de zeewaterstand niet verandert t.o.v. WBI-2011, wordt deze aanpak gehandhaafd in WBI-2017. Dit betekent dat voor alle kustgebieden enkel één kansverdeling voor de windrichting wordt gebruikt in Hydra-Ring. Figuur 3.29 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 3.27, 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:

¹⁵ De richtingsafhankelijke zeewaterstandsstatistiek is beschikbaar per windrichting.



Figuur 3.29 Kansverdeling van de windrichting voor 5 windstations: Vlissingen, Hoek van Holland, Schiphol, IJmuiden, de Kooy en Terschelling.

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 winterhalvjaar 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 van 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 uurlijkse waarnemingen 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):

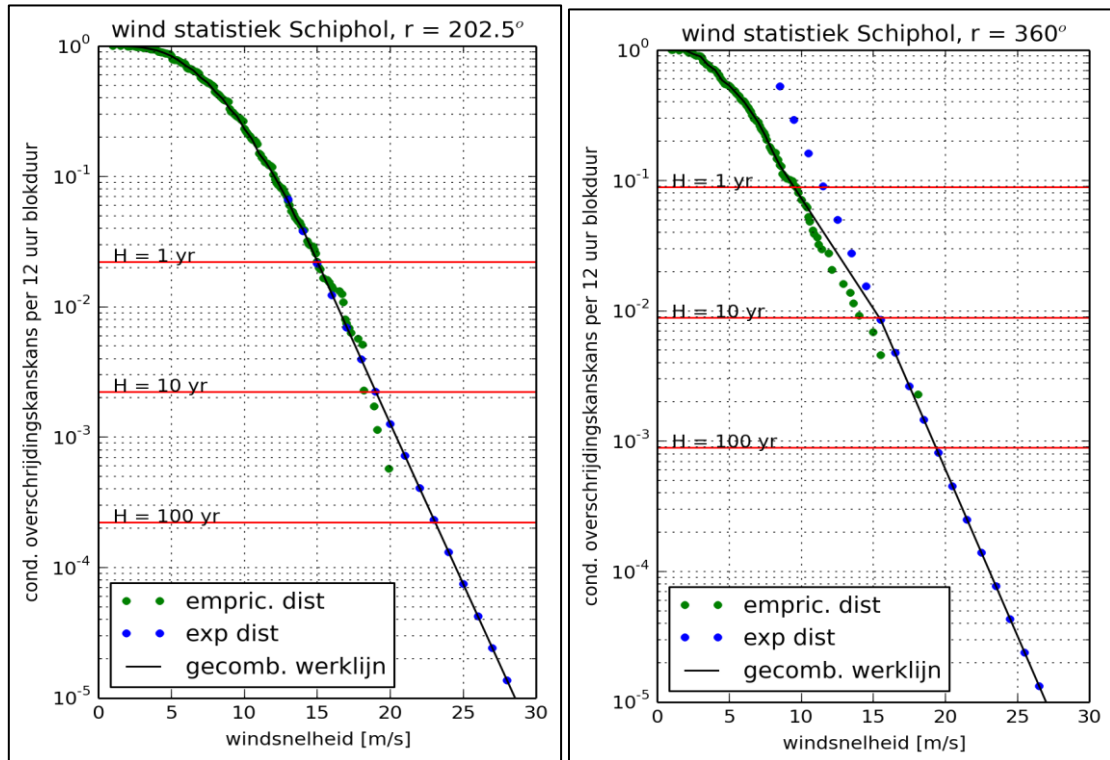
$$P(U_{12} > u | r) = \frac{F(u, r)}{NP(r)} \quad (3.7)$$

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.

3.6.5 Windstatistiek heel bereik

De combinatie van de statistiek voor het extreme bereik (paragraaf 3.6.2) en de statistiek voor het lage bereik (paragraaf 3.6.4) resulteert in windstatistiek voor het hele bereik. Dit geldt voor zowel de omni-directionele als de richtingsafhankelijke windstatistiek. Figuur 3.30 toont een voorbeeld van de gecombineerde windstatistiek voor station Schiphol. Het betreft de richtingsafhankelijke windstatistiek (overschrijdingskansen) van de windrichtingen 202,5 en 360 graden. Het linkerpaneel van Figuur 3.30 laat een perfecte overgang zien van het lage naar het hoge windbereik. Rond de noordelijke windrichtingen, zie het rechter paneel, is de overgang niet perfect. Dit komt onder andere door "statistische ruis", maar ook omdat de exponentiële kansverdelingen 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 3.30 Windstatistiek Schiphol voor het hele bereik voor 2 windrichtingen op basis van de exponentiële verdeling (blauwe punten voor hoog bereik) en via turven (laag bereik, groene punten): windrichting 22,5 graden (links) en 360 graden (rechts).

De windstatistiek zoals beschreven in deze paragraaf wordt in de vorm van tabellen aangeboden aan Hydra-Ring. Tabel 3.28 toont de (richtingsafhankelijke) windstatistiek voor station Schiphol zoals geïmplementeerd in Hydra-Ring. De windstatistiek voor alle gebruikte windstations in Hydra-Ring is beschreven in Bijlage A.

Tabel 3.28 De windstatistiek voor Station Schiphol voor alle 16 windrichtingen zoals geïmplementeerd in Hydra-Ring.

Wind	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
[m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	9.89E-01	9.75E-01	9.92E-01	9.98E-01	9.96E-01	9.92E-01	9.92E-01	9.99E-01	9.96E-01	9.97E-01	9.97E-01	9.98E-01	9.99E-01	9.96E-01	9.95E-01	9.96E-01
3	8.92E-01	9.17E-01	9.53E-01	9.62E-01	9.33E-01	9.29E-01	9.35E-01	9.52E-01	9.65E-01	9.77E-01	9.72E-01	9.89E-01	9.79E-01	9.66E-01	9.45E-01	9.43E-01
4	7.05E-01	7.96E-01	8.40E-01	8.76E-01	7.94E-01	7.70E-01	7.93E-01	8.22E-01	8.75E-01	9.28E-01	9.30E-01	9.49E-01	9.49E-01	9.00E-01	8.60E-01	8.40E-01
5	5.33E-01	6.49E-01	7.19E-01	7.41E-01	6.16E-01	5.56E-01	5.89E-01	6.61E-01	7.45E-01	8.39E-01	8.74E-01	8.93E-01	8.82E-01	8.10E-01	7.66E-01	7.24E-01
6	4.05E-01	4.45E-01	5.82E-01	5.74E-01	4.59E-01	3.82E-01	4.15E-01	4.92E-01	5.98E-01	7.06E-01	7.92E-01	8.19E-01	8.08E-01	7.32E-01	6.54E-01	6.06E-01
7	2.79E-01	2.98E-01	4.28E-01	4.39E-01	3.08E-01	1.91E-01	2.35E-01	3.39E-01	4.30E-01	5.74E-01	6.74E-01	7.31E-01	7.32E-01	6.31E-01	5.26E-01	4.59E-01
8	1.67E-01	2.21E-01	2.87E-01	3.04E-01	1.55E-01	8.22E-02	1.13E-01	1.98E-01	2.97E-01	4.47E-01	5.68E-01	6.44E-01	6.16E-01	5.20E-01	4.00E-01	3.39E-01
9	1.07E-01	1.33E-01	1.86E-01	2.07E-01	7.37E-02	4.09E-02	5.52E-02	1.09E-01	1.94E-01	3.30E-01	4.84E-01	5.36E-01	5.07E-01	4.03E-01	2.68E-01	2.34E-01
10	7.27E-02	8.03E-02	9.42E-02	8.96E-02	3.42E-02	1.91E-02	2.70E-02	5.84E-02	1.18E-01	2.32E-01	3.91E-01	4.25E-01	4.15E-01	3.03E-01	1.81E-01	1.62E-01
11	4.93E-02	4.85E-02	4.99E-02	3.79E-02	1.59E-02	8.88E-03	1.32E-02	2.94E-02	6.84E-02	1.50E-01	3.07E-01	3.27E-01	3.31E-01	2.30E-01	1.33E-01	1.08E-01
12	3.34E-02	2.93E-02	2.65E-02	1.82E-02	7.35E-03	3.74E-03	6.43E-03	1.48E-02	3.69E-02	9.97E-02	2.33E-01	2.47E-01	2.48E-01	1.56E-01	8.99E-02	6.86E-02
13	2.26E-02	1.58E-02	1.32E-02	8.78E-03	3.40E-03	1.58E-03	2.86E-03	6.99E-03	1.88E-02	5.99E-02	1.68E-01	1.72E-01	1.75E-01	9.41E-02	6.07E-02	4.37E-02
14	1.40E-02	8.54E-03	6.20E-03	4.25E-03	1.58E-03	6.70E-04	1.15E-03	3.31E-03	9.60E-03	3.50E-02	1.10E-01	1.13E-01	1.01E-01	6.25E-02	4.10E-02	2.78E-02
15	8.67E-03	4.16E-03	2.91E-03	2.05E-03	7.31E-04	2.86E-04	4.58E-04	1.56E-03	4.69E-03	2.05E-02	6.78E-02	6.75E-02	5.43E-02	4.15E-02	2.76E-02	1.77E-02
16	4.84E-03	2.04E-03	1.37E-03	9.92E-04	3.39E-04	1.23E-04	1.83E-04	7.20E-04	2.28E-03	1.20E-02	4.00E-02	4.01E-02	3.11E-02	2.76E-02	1.87E-02	1.08E-02
17	2.69E-03	1.02E-03	6.46E-04	4.80E-04	1.57E-04	5.30E-05	7.29E-05	3.33E-04	1.11E-03	7.05E-03	2.29E-02	2.54E-02	1.93E-02	1.81E-02	1.21E-02	6.65E-03
18	1.49E-03	5.10E-04	3.05E-04	2.32E-04	7.27E-05	2.31E-05	2.91E-05	1.55E-04	5.41E-04	4.14E-03	1.32E-02	1.62E-02	1.19E-02	1.14E-02	7.78E-03	3.91E-03
19	8.28E-04	2.60E-04	1.44E-04	1.12E-04	3.37E-05	1.01E-05	1.16E-05	7.29E-05	2.64E-04	2.43E-03	7.56E-03	1.03E-02	7.36E-03	6.89E-03	5.03E-03	2.30E-03
20	4.60E-04	1.34E-04	6.83E-05	5.42E-05	1.56E-05	4.43E-06	4.63E-06	3.44E-05	1.28E-04	1.43E-03	4.34E-03	6.51E-03	4.55E-03	4.16E-03	3.01E-03	1.35E-03
21	2.56E-04	6.97E-05	3.24E-05	2.62E-05	7.24E-06	1.96E-06	1.85E-06	1.63E-05	6.25E-05	8.41E-04	2.49E-03	3.91E-03	2.81E-03	2.51E-03	1.80E-03	7.93E-04
22	1.42E-04	3.67E-05	1.54E-05	1.27E-05	3.35E-06	8.71E-07	7.37E-07	7.77E-06	3.05E-05	4.95E-04	1.43E-03	2.30E-03	1.74E-03	1.52E-03	1.07E-03	4.66E-04
23	7.88E-05	1.95E-05	7.31E-06	6.13E-06	1.55E-06	3.89E-07	2.94E-07	3.72E-06	1.48E-05	2.91E-04	8.22E-04	1.32E-03	1.08E-03	9.18E-04	6.39E-04	2.74E-04
24	4.37E-05	1.04E-05	3.48E-06	2.97E-06	7.20E-07	1.74E-07	1.17E-07	1.78E-06	7.22E-06	1.71E-04	4.72E-04	7.60E-04	6.65E-04	5.55E-04	3.81E-04	1.61E-04
25	2.43E-05	5.60E-06	1.66E-06	1.44E-06	3.34E-07	7.84E-08	4.68E-08	8.56E-07	3.52E-06	1.01E-04	2.71E-04	4.37E-04	4.11E-04	3.35E-04	2.28E-04	9.46E-05
26	1.35E-05	3.03E-06	7.92E-07	6.94E-07	1.55E-07	3.54E-08	1.87E-08	4.13E-07	1.71E-06	5.93E-05	1.56E-04	2.52E-04	2.54E-04	2.03E-04	1.36E-04	5.56E-05
27	7.49E-06	1.65E-06	3.79E-07	3.36E-07	7.16E-08	1.60E-08	7.46E-09	1.99E-07	8.34E-07	3.49E-05	8.97E-05	1.45E-04	1.57E-04	1.23E-04	8.10E-05	3.27E-05
28	4.16E-06	8.99E-07	1.81E-07	1.63E-07	3.32E-08	7.29E-09	2.98E-09	9.63E-08	4.06E-07	2.06E-05	5.16E-05	8.37E-05	9.72E-05	7.43E-05	4.83E-05	1.92E-05
29	2.31E-06	4.92E-07	8.67E-08	7.87E-08	1.54E-08	3.32E-09	1.19E-09	4.66E-08	1.98E-07	1.21E-05	2.97E-05	4.83E-05	6.01E-05	4.49E-05	2.88E-05	1.13E-05
30	1.28E-06	2.70E-07	4.15E-08	3.81E-08	7.13E-09	1.52E-09	4.74E-10	2.26E-08	9.64E-08	7.14E-06	1.71E-05	2.79E-05	3.72E-05	2.72E-05	1.72E-05	6.65E-06
31	7.12E-07	1.49E-07	1.99E-08	1.84E-08	3.30E-09	6.93E-10	1.89E-10	1.10E-08	4.70E-08	4.20E-06	9.82E-06	1.61E-05	2.30E-05	1.65E-05	1.03E-05	3.91E-06
32	3.96E-07	8.20E-08	9.56E-09	8.91E-09	1.53E-09	3.18E-10	7.54E-11	5.32E-09	2.29E-08	2.48E-06	5.65E-06	9.34E-06	1.42E-05	9.97E-06	6.13E-06	2.30E-06
33	2.20E-07	4.53E-08	4.59E-09	4.31E-09	7.09E-10	1.46E-10	3.01E-11	2.58E-09	1.11E-08	1.46E-06	3.25E-06	5.41E-06	8.79E-06	6.04E-06	3.66E-06	1.36E-06
34	1.22E-07	2.50E-08	2.21E-09	2.09E-09	3.29E-10	6.70E-11	1.20E-11	1.26E-09	5.42E-09	8.59E-07	1.87E-06	3.14E-06	5.43E-06	3.66E-06	2.18E-06	7.97E-07
35	6.77E-08	1.38E-08	1.06E-09	1.01E-09	1.52E-10	3.08E-11	4.79E-12	6.10E-10	2.64E-09	5.06E-07	1.08E-06	1.82E-06	3.36E-06	2.22E-06	1.30E-06	4.69E-07
36	3.76E-08	7.66E-09	5.10E-10	4.89E-10	7.05E-11	1.42E-11	1.91E-12	2.97E-10	1.29E-09	2.98E-07	6.21E-07	1.06E-06	2.08E-06	1.35E-06	7.78E-07	2.76E-07
37	2.09E-08	4.24E-09	2.46E-10	2.37E-10	3.27E-11	6.54E-12	7.63E-13	1.44E-10	6.27E-10	1.76E-07	3.58E-07	6.16E-07	1.28E-06	8.16E-07	4.64E-07	1.62E-07
38	1.16E-08	2.35E-09	1.18E-10	1.15E-10	1.51E-11	3.02E-12	3.05E-13	7.02E-11	3.05E-10	1.03E-07	2.06E-07	3.59E-07	7.94E-07	4.95E-07	2.77E-07	9.56E-08
39	6.44E-09	1.30E-09	5.70E-11	5.55E-11	7.02E-12	1.39E-12	1.22E-13	3.42E-11	1.49E-10	6.09E-08	1.19E-07	2.10E-07	4.91E-07	3.00E-07	1.65E-07	5.63E-08
40	3.58E-09	7.23E-10	2.75E-11	2.69E-11	3.25E-12	6.43E-13	4.85E-14	1.66E-11	7.24E-11	3.59E-08	6.85E-08	1.23E-07	3.04E-07	1.82E-07	9.88E-08	3.31E-08
41	1.99E-09	4.01E-10	1.33E-11	1.30E-11	1.51E-12	2.97E-13	1.94E-14	8.09E-12	3.53E-11	2.11E-08	3.95E-08	7.17E-08	1.88E-07	1.11E-07	5.90E-08	1.95E-08
42	1.10E-09	2.23E-10	6.40E-12	6.30E-12	6.98E-13	1.37E-13	7.73E-15	3.94E-12	1.72E-11	1.25E-08	2.28E-08	4.20E-08	1.16E-07	6.71E-08	3.52E-08	1.15E-08

3.6.6 Effect nieuwe windstatistiek op de hydraulische belasting

Mogelijke effecten van de nieuwe windstatistiek op de hydraulische belastingen zijn in het kader van WTI-2011 onderzocht en in beeld gebracht (Geerse en Verkaik, 2011). De effecten zijn bepaald met de destijds bestaande 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 zowel de waterstanden als de hydraulische belastingniveaus (HBN) steeds twee berekeningen gemaakt: 1) een referentieberekening met de oude windstatistiek en 2) een berekening met de nieuwe windstatistiek van (Caires, 2009). Het verschil tussen beide berekeningen is dan het effect van de overgang op de nieuwe windstatistiek. Voor de hydraulische belastingniveaus is steeds gerekend met een toelaatbaar overslagdebiet van 1 l/s/m. Voor de kustlocaties 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 waterstanden verschillen per watersysteem. Voor de waterstanden geldt dat een overgang op de nieuwe windstatistiek slechts tot kleine verschillen leidt: 0,02 à 0,03 m verlaging in waterstand. Voor de Vecht- en IJsseldelta en de Benedenrivieren is de spreiding van de verschillen gering: de standaard deviatie σ is slechts 0,01 à 0,02 m. Voor de meren is de spreiding met een $\sigma = 0,07$ m wat groter. Dat is plausibel, omdat zoals bekend de waterstanden 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). Voor de kust zijn er geen verschillen in waterstand., omdat deze in Hydra-K niet afhankelijk zijn van de windstatistiek.

Voor de hydraulische belastingniveaus (benodigde kruinhoogte bij standaardprofiel) zijn de verschillen weergegeven in Tabel 3.29.

Tabel 3.29 Resultaten effect nieuwe windstatistiek op de hydraulische belastingniveaus, 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

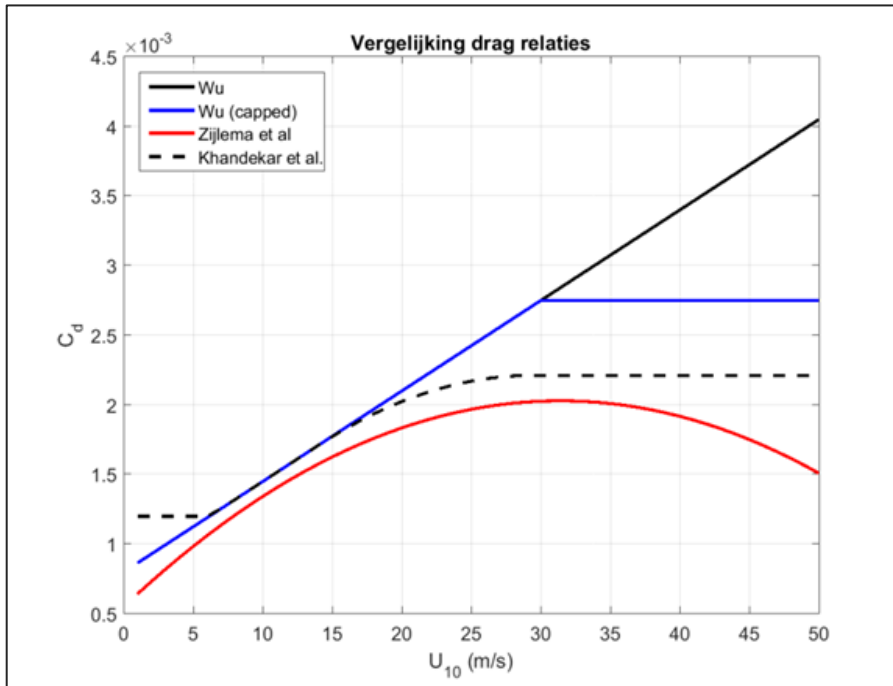
Zoals is te zien in Tabel 3.29, blijven de verschillen voor hydraulische belastingniveaus gemiddeld gezien ook redelijk beperkt, maar komen incidenteel wel duidelijke verhogingen en verlagingen voor, in het bijzonder voor de meren waar golven een belangrijke rol spelen.

3.6.7 Windstatistiek met correctie voor winddrag relatie

3.6.7.1 Winddrag

Winddrag is afhankelijk van de ruwheid van het wateroppervlak. Deze ruwheid wordt voor een groot deel bepaald door windgolven. Bij toenemende windsnelheid worden de golven hoger en daarmee ook de ruwheid. De meest gangbare formulering voor de winddrag-coëfficiënt is die van Wu (1982); deze gaat uit van een lineair verband tussen windsnelheid en ruwheid. De ruwheid neemt dus toe met toenemende windsnelheid. Volgens nieuwe inzichten groeit de drag echter niet lineair met windsnelheid, maar moet er een bovengrens zijn. Het fysisch mechanisme dat hieraan ten grondslag ligt, is dat de wind onder extreme omstandigheden minder grip krijgt op de golven door het afwaaien van de golftoppen waardoor de dalen tussen individuele golven gevuld worden met schuim en waterdruppels. Deze effecten leiden tot een verzadiging en mogelijk zelfs een afname van de winddrag. Verdisconteren van dit effect heeft geresulteerd in verschillende drag relaties. Belangrijkste zijn: de "afgekapte" versie van Wu, de formulering van Zijlema (2012) en de formulering van

Khandekar et al (1993). Figuur 3.31 laat een vergelijking zien van de verschillende winddrag relaties.



Figuur 3.31 Vergelijking drag relaties op basis van W_u (zwarte lijn), afgekapte W_u bij windsnelheid van 30 m/s (blauwe lijn), de Zijlema et al (2012) formulering (rode lijn) en de aanpassing van Khandekar et al (1993) formulering (zwart gestreepte lijn).

Naar verwachting zullen voor extreme windsnelheden waarbij de winddrag niet meegroeit of zelfs afneemt, windopzet en golfcondities, en daarmee de hydraulische belastingen, significant lager zijn. In de wetenschappelijke wereld is er op dit moment consensus dat de winddrag coëfficiënt niet verder toeneemt bij windsnelheden boven de 30 m/s. Ten aanzien van het precieze gedrag van de winddrag bij windsnelheden boven de 30 m/s is er echter nog geen consensus (van Vledder, 2016).

In WBI-2017 is besloten om rekening te houden met de nieuwe inzichten in de dragformulering. Daar een 'capping' van de winddrag bij windsnelheden van 30 m/s een algemeen aanvaarde techniek is, is besloten om voor de regio's waar de hydraulische belasting bepaald wordt door extreme wind de windstatistiek te corrigeren voor effecten van de winddrag.

3.6.7.2 Correctie van de windstatistiek voor winddrag

Effecten van de nieuwe winddrag formulering zijn conform het voorstel van (van Vledder, 2016) verwerkt in de windstatistiek. De windstatistiek dient volgens het voorstel zodanig aangepast te worden dat deze de overschrijdingskans beschrijft van de windsnelheid die bij toepassing van de oude formulering dezelfde winddrag zou geven als bij toepassing van de nieuwe formulering, zie voor meer details (van Vledder, 2016). De aanpassing leidt tot kleinere kansen voor windsnelheden boven de 30 m/s. Merk op dat voor windsnelheden lager dan 30 m/s geen aanpassing geldt. Dit betekent dat aanpassing van de windstatistiek enkel relevant is voor regio's waar windsnelheden hoger dan 30 m/s voorkomen en tegelijkertijd bepalend zijn voor de hydraulische belastingen. Conform (van Vledder, 2016) wordt de windstatistiek aangepast voor het IJsselmeer (regio 7), het Markermeer (regio 8) en de

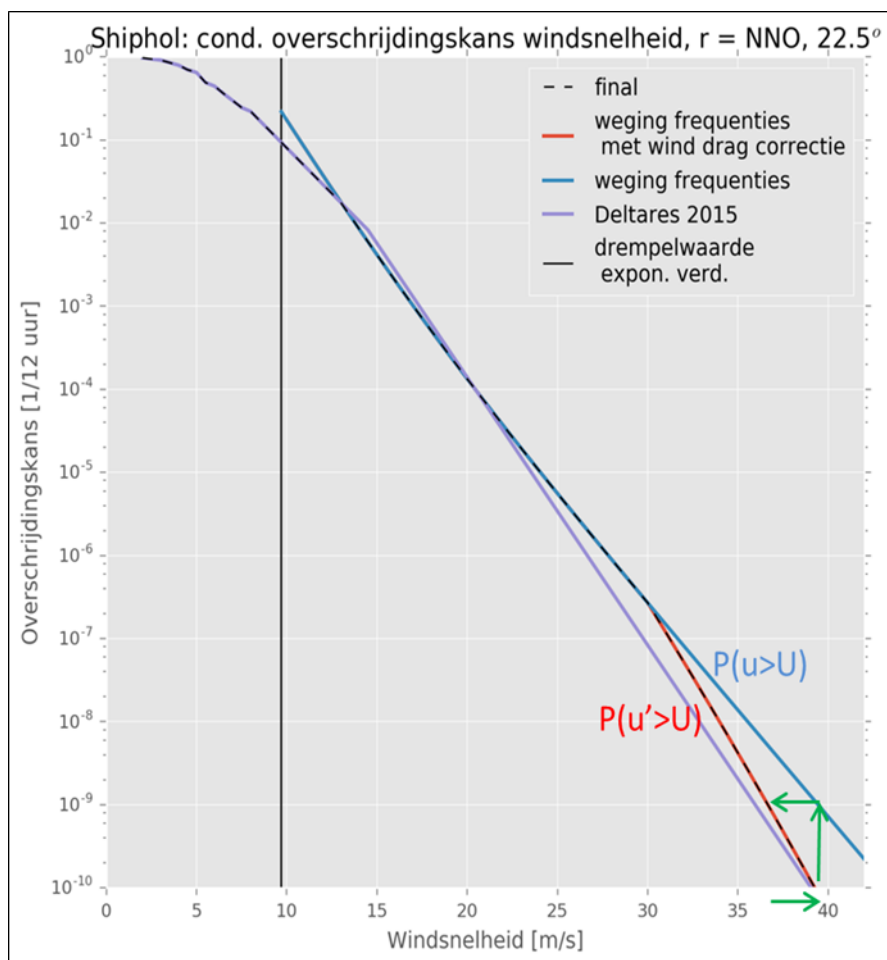
Oosterschelde (regio 14). Voor de Benedenrijn (regio 3), Benedenmaas (regio 4), Europoort (regio 17), IJsseldelta (regio 5) en Vechtdelta (regio 6) hoeft geen aanpassing voor winddrag plaats te vinden omdat windsnelheden van meer dan 30 m/s in deze gebieden nauwelijks een rol spelen. Voor al deze regio's geldt de windstatistiek van station Schiphol¹⁶. Voor de Bovenrijn (regio 1), Bovenmaas (regio 2) en Limburgse Maas (regio 18) geldt de windstatistiek van station Deelen. Ook hier is geen correctie toegepast voor winddrag. Voor de Kust (regio 9 t/m 13 en de regio's 15 en 16) komt de stormopzet niet uit een waterstandsmodel met een aanpasbare winddrag formulering, maar rechtstreeks uit extreme waarden statistiek toegepast op zeewaterstanden. Om deze reden is het effect van een aangepaste winddragrelatie niet eenvoudig te implementeren en vereist een nadere studie (van Vledder, 2016).

Samengevat is de correctie voor winddrag toegepast op de volgende Hydra-Ring bestanden:

- Schiphol (12 windrichtingen): deze windstatistiek wordt gebruikt voor regio 8 (het Markermeer en de Eem).
- Schiphol (16 windrichtingen): deze windstatistiek wordt gebruikt voor regio 7 (het IJsselmeer). Tot deze regio behoren ook het Ketelmeer en het Vossemeer (zie Chbab en Beckers, 2017).
- Vlissingen (12 windrichtingen): deze windstatistiek wordt gebruikt voor regio 14 (de Oosterschelde).

Het principe van de correctie voor winddrag is beschreven in Figuur 3.32. Het principe komt er op het volgende neer: welke windsnelheid zou bij toepassing van de 'oude' dragformulering dezelfde 'wrijvingssnelheid' geven als bij toepassing van de nieuwe dragformulering. Details hierover zijn te vinden in (van Vledder, 2016). Figuur 3.32 laat ook het verschil zien van omrekening van 12 naar 16 richtingssectoren (de legenda 'weging frequenties' betreft de omrekeningsmethode van Geerse en 'Deltares 2015' de gehanteerde omrekening op basis van herhalingstijden in de vorige versie van dit rapport). De correctie voor winddrag en omrekening naar 16 richtingssectoren zijn uitgevoerd voor de kortste periode in Hydra-Ring: 12 uur.

¹⁶ Van station Schiphol wordt in Hydra-Ring de statistiek van zowel 16 als 12 windrichtingen gebruikt. De statistiek van 12 windrichtingen wordt toegepast in het Markermeer en 16 in het IJsselmeer. Dit betekent dat beide windstatistieken (zowel van de 12 als van de 16 richtingen) aangepast worden voor winddrag. Daarnaast is er een windstatistiek nodig met 16 windrichtingen en zonder correctie voor winddrag Deze wordt gebruikt voor de regio's 3, 4, 5, 6 en 17.



Figuur 3.32 Schematische weergave van de verwerking van de winddrag-correctie in de windstatistiek.

Naast de correctie voor aangepaste winddrag is een kleine aanpassing gedaan in de methode voor het omrekenen van 12 naar 16 windrichtingen. De omrekening is uitgevoerd volgens de methode zoals beschreven is (Geerse en Verkaik, 2010). Het verschil met de gebruikte transformatiemethode in eerdere versies van dit rapport heeft betrekking op de manier waarop richtingssectoren van 16 graden samengesteld worden aan de hand van 12 richtingssectoren. In (Geerse en Verkaik, 2010) zijn de richtingssectoren samengesteld op basis van weging van overschrijdingskansen/overschrijdingsfrequenties en in de vorige versie van dit rapport op basis van herhalingstijden. Het verschil tussen deze twee methoden is onderzocht in Geerse (2016) en blijkt klein te zijn. In verband met consistentieoverwegingen is de omrekening naar 16 richtingssectoren aangepast in dit rapport.

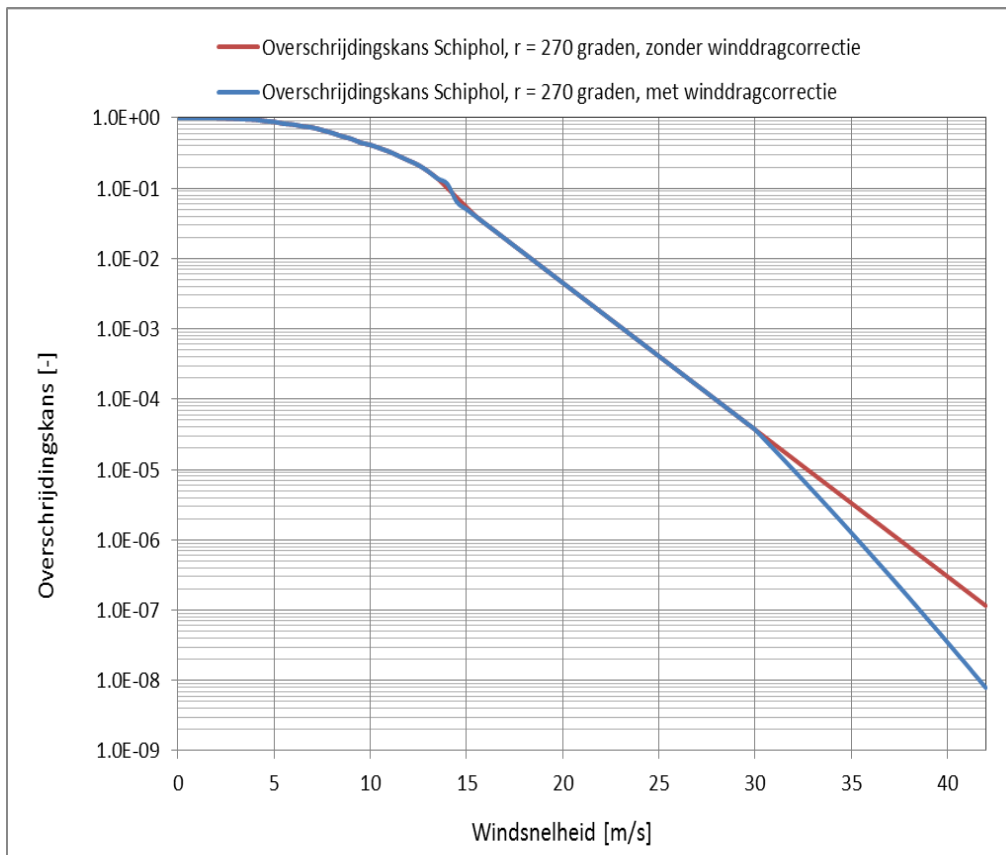
Tabel 3.30 toont het definitieve resultaat voor de richtingsafhankelijke windstatistiek (16 richtingssectoren) voor station Schiphol met correctie voor de winddrag formulering. Figuur 3.33 toont voor windrichting West ($r = 270$ graden) de overschrijdingskansen van de windsnelheid met én zonder winddrag-correctie. Zoals te zien heeft de correctie alleen voor windsnelheden groter dan 30 m/s effect op de overschrijdingskansen. De tabellen voor Schiphol (12 richtingssectoren) en Vlissingen zijn te vinden in Bijlage A.

Het effect van de aanpassing van de windstatistiek is onderzocht voor locaties rond het IJsselmeer, waar de grootste effecten worden verwacht (Chbab en Beckers, 2017). Hierbij is de oude norm (norm T = 4.000 jaar) beschouwd zonder onzekerheden. Als gevolg van de

winddrag-correctie treedt er, zoals verwacht, een verlaging van de HBN berekeningen zonder onzekerheid. De verlaging bij meerpeilgedomineerde locaties zoals Enkhuizen (verschil van 5 cm) is kleiner dan bij wind-gedomineerde locaties zoals Lelystad (verschil 22 cm) en Rotterdamse Hoek (17 cm).

Tabel 3.30 Tabel met overschrijdingskansen van windsnelheid, station Schiphol met correctie voor winddrag, 16 richtingssectoren.

Wind	N	NNO	NO	ONO	O	OZO	ZO	ZZO	Z	ZZW	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW
[m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	9.89E-01	9.75E-01	9.92E-01	9.98E-01	9.96E-01	9.92E-01	9.92E-01	9.99E-01	9.96E-01	9.97E-01	9.97E-01	9.98E-01	9.99E-01	9.96E-01	9.95E-01	9.96E-01
3	8.92E-01	9.17E-01	9.52E-01	9.62E-01	9.33E-01	9.29E-01	9.35E-01	9.51E-01	9.65E-01	9.77E-01	9.72E-01	9.89E-01	9.79E-01	9.66E-01	9.45E-01	9.43E-01
4	7.05E-01	7.96E-01	8.40E-01	8.76E-01	7.94E-01	7.70E-01	7.93E-01	8.22E-01	8.75E-01	9.28E-01	9.30E-01	9.49E-01	9.49E-01	9.00E-01	8.60E-01	8.40E-01
5	5.33E-01	6.49E-01	7.19E-01	7.41E-01	6.15E-01	5.56E-01	5.89E-01	6.61E-01	7.45E-01	8.39E-01	8.74E-01	8.93E-01	8.82E-01	8.10E-01	7.66E-01	7.24E-01
6	4.05E-01	4.45E-01	5.82E-01	5.74E-01	4.59E-01	3.82E-01	4.15E-01	4.92E-01	5.98E-01	7.06E-01	7.92E-01	8.19E-01	8.08E-01	7.32E-01	6.54E-01	6.06E-01
7	2.79E-01	2.98E-01	4.28E-01	4.39E-01	3.08E-01	1.91E-01	2.35E-01	3.39E-01	4.30E-01	5.74E-01	6.74E-01	7.31E-01	7.32E-01	6.31E-01	5.26E-01	4.59E-01
8	1.67E-01	2.21E-01	2.87E-01	3.04E-01	1.62E-01	8.22E-02	1.13E-01	1.98E-01	2.97E-01	4.47E-01	5.68E-01	6.44E-01	6.16E-01	5.20E-01	4.00E-01	3.39E-01
9	1.07E-01	1.33E-01	1.86E-01	2.07E-01	7.38E-02	4.09E-02	5.52E-02	1.09E-01	1.94E-01	3.30E-01	4.83E-01	5.35E-01	5.07E-01	4.03E-01	2.68E-01	2.34E-01
10	7.27E-02	8.03E-02	9.42E-02	9.25E-02	3.42E-02	2.04E-02	2.70E-02	5.84E-02	1.18E-01	2.32E-01	3.91E-01	4.25E-01	4.15E-01	3.03E-01	1.81E-01	1.62E-01
11	4.93E-02	4.85E-02	4.99E-02	4.17E-02	1.59E-02	8.92E-03	1.32E-02	2.94E-02	6.84E-02	1.50E-01	3.07E-01	3.27E-01	3.31E-01	2.30E-01	1.33E-01	1.08E-01
12	3.34E-02	2.92E-02	2.65E-02	1.88E-02	7.35E-03	3.74E-03	6.43E-03	1.48E-02	3.69E-02	1.03E-01	2.33E-01	2.47E-01	2.48E-01	1.56E-01	8.99E-02	6.86E-02
13	2.26E-02	1.77E-02	1.32E-02	8.78E-03	3.40E-03	1.58E-03	2.84E-03	7.44E-03	1.95E-02	6.45E-02	1.68E-01	1.71E-01	1.75E-01	9.41E-02	6.07E-02	4.37E-02
14	1.53E-02	8.59E-03	6.20E-03	4.24E-03	1.58E-03	6.70E-04	1.13E-03	3.44E-03	9.62E-03	3.68E-02	1.10E-01	1.13E-01	1.16E-01	6.25E-02	4.09E-02	2.78E-02
15	8.71E-03	4.16E-03	2.91E-03	2.05E-03	7.31E-04	2.86E-04	4.49E-04	1.57E-03	4.68E-03	2.10E-02	7.80E-02	6.75E-02	5.04E-02	4.15E-02	2.76E-02	1.77E-02
16	4.84E-03	2.04E-03	1.37E-03	9.92E-04	3.39E-04	1.23E-04	1.79E-04	7.20E-04	2.28E-03	1.20E-02	4.62E-02	4.01E-02	3.11E-02	2.76E-02	1.87E-02	1.13E-02
17	2.69E-03	1.01E-03	6.46E-04	4.80E-04	1.57E-04	5.30E-05	7.11E-05	3.33E-04	1.11E-03	7.05E-03	2.61E-02	2.54E-02	1.93E-02	1.83E-02	1.26E-02	6.66E-03
18	1.49E-03	5.10E-04	3.05E-04	2.32E-04	7.27E-05	2.31E-05	2.83E-05	1.55E-04	5.41E-04	4.14E-03	1.46E-02	1.61E-02	1.19E-02	1.14E-02	8.46E-03	3.91E-03
19	8.28E-04	2.60E-04	1.44E-04	1.12E-04	3.37E-05	1.01E-05	1.12E-05	7.29E-05	2.64E-04	2.43E-03	8.04E-03	1.03E-02	7.36E-03	6.89E-03	5.05E-03	2.30E-03
20	4.60E-04	1.34E-04	6.83E-05	5.42E-05	1.56E-05	4.43E-06	4.47E-06	3.44E-05	1.28E-04	1.43E-03	4.43E-03	6.51E-03	4.55E-03	4.16E-03	3.01E-03	1.35E-03
21	2.55E-04	6.97E-05	3.24E-05	2.62E-05	7.24E-06	1.96E-06	1.78E-06	1.63E-05	6.25E-05	8.41E-04	2.49E-03	4.00E-03	2.81E-03	2.51E-03	1.80E-03	7.93E-04
22	1.42E-04	3.67E-05	1.54E-05	1.27E-05	3.35E-06	8.71E-07	7.08E-07	7.77E-06	3.04E-05	4.95E-04	1.43E-03	2.30E-03	1.74E-03	1.52E-03	1.07E-03	4.66E-04
23	7.88E-05	1.95E-05	7.31E-06	6.13E-06	1.55E-06	3.89E-07	2.82E-07	3.72E-06	1.48E-05	2.91E-04	8.22E-04	1.32E-03	1.08E-03	9.18E-04	6.39E-04	2.74E-04
24	4.37E-05	1.04E-05	3.48E-06	2.97E-06	7.20E-07	1.74E-07	1.12E-07	1.78E-06	7.22E-06	1.71E-04	4.72E-04	7.60E-04	6.65E-04	5.55E-04	3.81E-04	1.61E-04
25	2.43E-05	5.60E-06	1.66E-06	1.44E-06	3.34E-07	7.84E-08	4.46E-08	8.56E-07	3.52E-06	1.01E-04	2.71E-04	4.37E-04	4.11E-04	3.35E-04	2.27E-04	9.46E-05
26	1.35E-05	3.03E-06	7.92E-07	6.94E-07	1.55E-07	3.54E-08	1.77E-08	4.13E-07	1.71E-06	5.93E-05	1.56E-04	2.52E-04	2.54E-04	2.03E-04	1.36E-04	5.56E-05
27	7.49E-06	1.65E-06	3.79E-07	3.36E-07	7.16E-08	1.60E-08	7.06E-09	1.99E-07	8.34E-07	3.49E-05	8.97E-05	1.45E-04	1.57E-04	1.23E-04	8.10E-05	3.27E-05
28	4.16E-06	8.99E-07	1.81E-07	1.63E-07	3.32E-08	7.29E-09	2.81E-09	9.63E-08	4.06E-07	2.06E-05	5.16E-05	8.37E-05	9.72E-05	7.42E-05	4.83E-05	1.92E-05
29	2.31E-06	4.92E-07	8.67E-08	7.87E-08	1.54E-08	3.32E-09	1.12E-09	4.66E-08	1.98E-07	1.21E-05	2.97E-05	4.83E-05	6.01E-05	4.49E-05	2.88E-05	1.13E-05
30	1.28E-06	2.70E-07	4.15E-08	3.81E-08	7.13E-09	1.52E-09	4.45E-10	2.26E-08	9.64E-08	7.14E-06	1.71E-05	2.79E-05	3.72E-05	2.72E-05	1.72E-05	6.65E-06
31	5.75E-07	1.20E-07	1.52E-08	1.41E-08	2.49E-09	5.21E-10	1.35E-10	8.41E-09	3.61E-08	3.46E-06	8.02E-06	1.32E-05	1.93E-05	1.37E-05	8.51E-06	3.23E-06
32	2.54E-07	5.25E-08	5.51E-09	5.17E-09	8.59E-10	1.77E-10	3.79E-11	3.09E-09	1.33E-08	1.66E-06	3.73E-06	6.20E-06	9.91E-06	6.85E-06	4.16E-06	1.55E-06
33	1.11E-07	2.28E-08	1.97E-09	1.87E-09	2.92E-10	5.95E-11	1.04E-11	1.12E-09	4.86E-09	7.92E-07	1.72E-06	2.89E-06	5.05E-06	3.39E-06	2.02E-06	7.35E-07
34	4.84E-08	9.87E-09	6.98E-10	6.68E-10	9.81E-11	1.98E-11	2.84E-12	4.04E-10	1.75E-09	3.74E-07	7.87E-07	1.34E-06	2.55E-06	1.67E-06	9.70E-07	3.46E-07
35	2.07E-08	4.21E-09	2.43E-10	2.34E-10	3.23E-11	6.47E-12	7.53E-13	1.43E-10	6.20E-10	1.74E-07	3.55E-07	6.12E-07	1.28E-06	8.10E-07	4.61E-07	1.61E-07
36	8.79E-09	1.78E-09	8.39E-11	8.15E-11	1.05E-11	2.10E-12	1.98E-13	5.00E-11	2.18E-10	8.06E-08	1.59E-07	2.79E-07	6.33E-07	3.91E-07	2.17E-07	7.45E-08
37	3.70E-09	7.49E-10	2.87E-11	2.80E-11	3.40E-12	6.73E-13	5.12E-14	1.73E-11	7.55E-11	3.70E-08	7.08E-08	1.26E-07	3.12E-07	1.87E-07	1.02E-07	3.42E-08
38	1.53E-09	3.10E-10	9.63E-12	9.46E-12	1.07E-12	2.12E-13	1.29E-14	5.90E-12	2.57E-11	1.68E-08	3.10E-08	5.66E-08	1.52E-07	8.87E-08	4.70E-08	1.54E-08
39	6.29E-10	1.27E-10	3.19E-12	3.15E-12	3.35E-13	6.58E-14	3.22E-15	1.98E-12	8.64E-12	7.52E-09	1.35E-08	2.52E-08	7.33E-08	4.17E-08	2.15E-08	6.92E-09
40	2.58E-10	5.20E-11	1.06E-12	1.05E-12	1.04E-13	2.04E-14	7.99E-16	6.66E-13	2.90E-12	3.37E-09	5.86E-09	1.13E-08	3.54E-08	1.96E-08	9.85E-09	3.10E-09
41	1.04E-10	2.09E-11	3.44E-13	3.42E-13	3.18E-14	6.21E-15	1.93E-16	2.19E-13	9.55E-13	1.49E-09	2.51E-09	4.98E-09	1.68E-08	9.06E-09	4.44E-09	1.37E-09
42	4.14E-11	8.33E-12	1.10E-13	1.10E-13	9.54E-15	1.86E-15	4.59E-17	7.10E-14	3.10E-13	6.50E-10	1.06E-09	2.19E-09	7.93E-09	4.16E-09	1.98E-09	5.97E-10



Figuur 3.33 Relatie windsnelheid en overschrijdingskans voor station Schiphol, 16 richtingssectoren, periode van 12 uur: met winddrag correctie (blauw) en zonder (rood).

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 WBI-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.

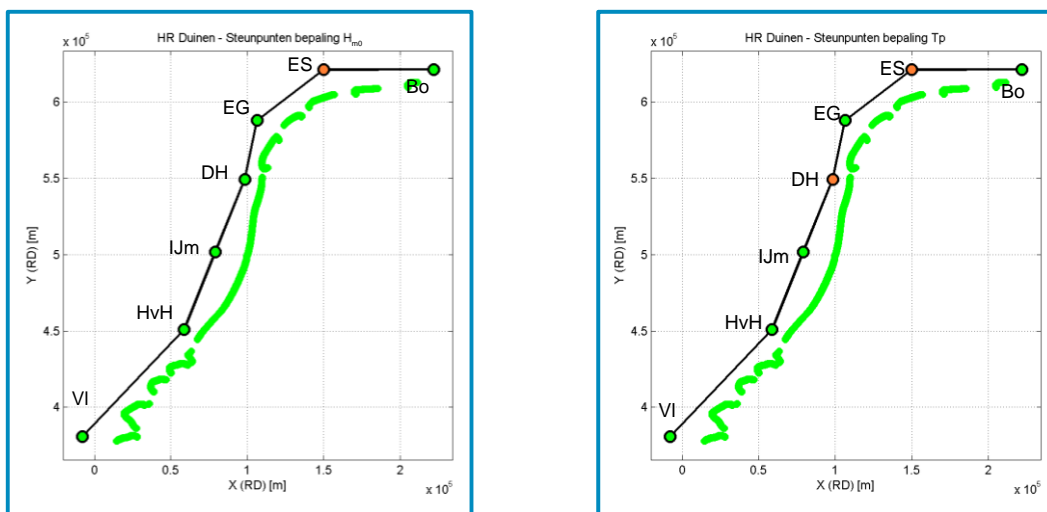
Het duinafslagmodel DUROS+ maakt gebruik van hoge zeewaterstanden op verschillende hoofdstations. Naast de zeewaterstanden zijn golftrandvoorwaarden nodig. Een overzicht van de zeewaterstandsstations in weergegeven in Tabel 2.3. Hoge zeewaterstanden op tussenliggende stations worden verkregen door middel 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 paragraaf 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 golfpiekperiode¹⁷ T_p . Deze worden bepaald op diep water op de doorgaande -20 m + NAP dieptelijn. Voor de berekening van golfhoogten en golfperiodes 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 3.31 en Figuur 3.34.

Tabel 3.31 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.

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

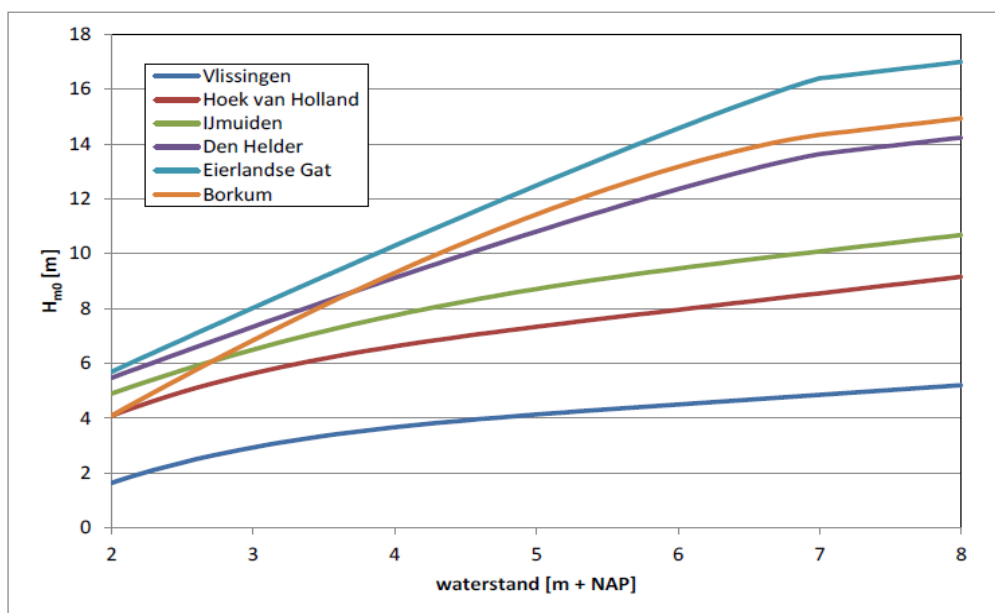
Hierin is H_s de spectrale golfhoogte en h de hoogwaterstand ten opzichte van NAP ter plaatse van het steunpunt. De laatste term in deze vergelijking vertraagt de toename van extreme

¹⁷ 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 3.32. De relaties tussen waterstand en golfhoogte voor de zes steunpunten zijn grafisch weergegeven in Figuur 3.35.

Tabel 3.32 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 WBI-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
- $\lambda = 0,35$

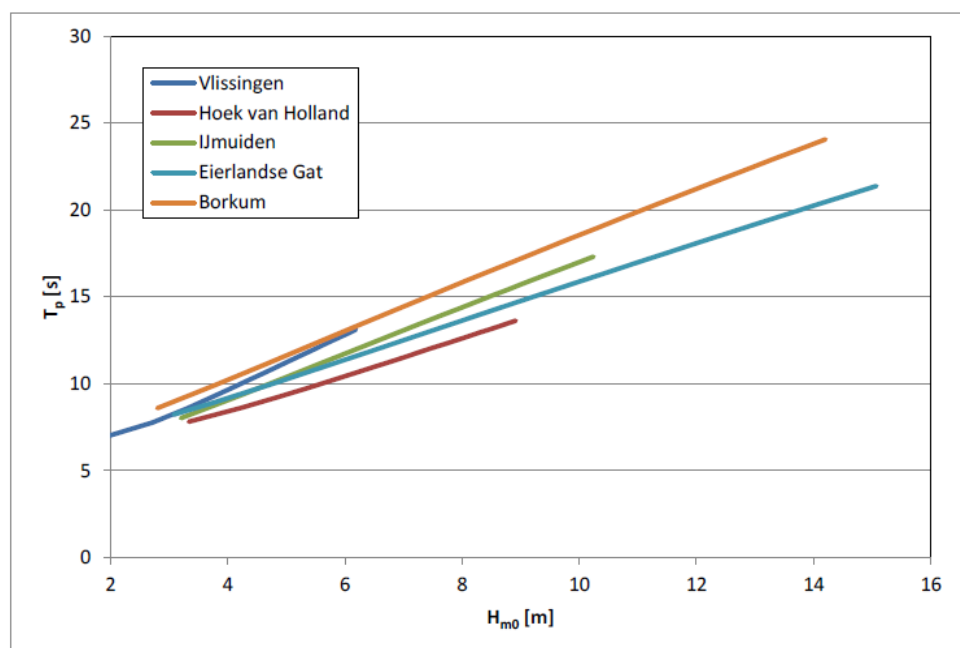
Extra steunpunt

$T_{p;1} = T_p$ 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 de stormvloedkeringen (Maeslant- en Hartelkering) te sluiten gaat gepaard met onzekerheid. Deze onzekerheid werd in WTI-2011 al meegenomen in de HR-bepaling en deze aanpak blijft gehandhaafd en onveranderd in WBI-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 de zogeheten 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 stormvloedvoorspelling 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 WBI-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 WBI-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 WBI-2017. Verder is WTI-2011 aangenomen dat de Hollandse IJsselkering niet faalt (faalkans = 0). In WBI-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 WBI-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 deze correlaties aan de orde.

4.2 Correlatie meerpeil-afvoer (IJssel en Vecht)

In (Diermanse et al, 2013) zijn drie correlatiemodellen beschreven. Deze modellen worden gebruikt om de correlatie tussen twee stochasten te modelleren. Het betreft: 1) het zogenoemde CS model (model met Constante Spreiding), 2) het PCR model (model PC-Ring) en 3) het HES model (model Hetero Scedastic). Het eerste model is geïmplementeerd in Hydra-NL (en Hydra-Zoet) en is eerder gebruikt voor de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden in HR-2006; het tweede model is geïmplementeerd in PC-Ring en is gebruikt in de studie van VNK. De genoemde modellen hebben overeenkomsten, maar er zijn ook enige verschillen; zie (Diermanse et al, 2013) voor nadere details.

De correlatie tussen IJsselmeermeerpeil en afvoer van de IJssel bij Olst is in Hydra-Ring gemodelleerd door middel van het PCR model. Dit model ziet als volgt uit:

$$y = x + us - \frac{s^2}{2} \quad (4.1)$$

waarin:

- x = realisatie van een standaard exponentieel verdeelde variabele X ; dit is de getransformeerde waarde van de onafhankelijke variabele (meerpeil in dit geval)
- u = realisatie van een standaard normaal verdeelde variabele U (U is onafhankelijk van X)
- y = realisatie van variabele Y ; dit is de getransformeerde waarde van de afhankelijke variabele (afvoer in dit geval)
- s = parameter die de mate van correlatie weergeeft tussen X en Y .

Lage waarden van s duiden op een sterke correlatie tussen de afhankelijke en onafhankelijke variabele, hoge waarden van s duiden op een zwakke correlatie. Het PCR-model gaat uit van de benadering dat y , zoals berekend met vergelijking (4.1), net als x een realisatie is uit de standaard exponentiële verdeling, dit in tegenstelling tot het CS model waarin de aanname van een exponentieel verdeelde variabele Y losgelaten wordt, zie (Geerse, 2006).

In Hydra-Ring wordt $s = 1,2$ gehanteerd voor zowel de IJsseldelta (correlatie IJsselafvoer-IJsselmeerpeil) als de Vechtdelta (correlatie Vechtafvoer-IJsselmeerpeil).

Recent is onderzoek gedaan naar de verschillen tussen het CS model en het PCR model (Diermanse, 2016). De conclusie uit dat onderzoek is dat het PCR model een kleine fout (ca. 5%) introduceert in de statistiek van de afvoer bij Olst; dit geldt voornamelijk voor kortere herhalingsstijden (rond 1 jaar). Voor langere herhalingsstijden (> 10 jaar) is de fout

verwaarloosbaar klein ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$). Voor afvoer-gedomineerde locaties langs de IJssel zijn (volgens nieuwe normen) alleen herhalingstijden langer dan 10 jaar relevant en voor die herhalingstijden levert het PCR model dezelfde afvoeren als het CS model. Voor wind/meerpeil gedomineerde locaties zijn afvoeren bij lagere herhalingstijden ook relevant. Geheel benedenstrooms in de IJsseldelta zijn de afvoeren in het illustratiepunt in het bereik van $500\text{-}600 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer wordt jaarlijks overschreden en is minder relevant voor WBI (N.B. voor $T = 1$ jaar geldt een afvoer van ca. $700 \text{ m}^3/\text{s}$). Bij deze afvoer kan de fout in de afvoer dus in de orde van 5% zijn. Echter, de waterstanden in dit gebied worden nauwelijks beïnvloed door de afvoer, een dergelijke fout is daardoor verwaarloosbaar. De Vechtdelta is niet beschouwd in het betreffende onderzoek van (Diermanse, 2016). Daar de problematiek in de Vechtdelta vergelijkbaar is en bovendien overal in de Vechtdelta alleen (extreme) hoge afvoeren relevant zijn, nemen we aan dat de fout verwaarloosbaar klein is.

4.3 Correlatie IJssel- en Vechtafvoer

De correlatie tussen de IJssel- en Vechtafvoer is in Hydra-Ring buiten beschouwing gelaten. Deze aanpak is onveranderd ten opzichte van WTI-2011, omdat voor de IJsseldelta de IJsselafvoer als basisstochast geldt met de Vechtafvoer daaraan gerelateerd en voor de Vechtdelta de Vechtafvoer met de IJsselafvoer daaraan gelinkt.

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 WBI-2017 onveranderd ten opzichte van WTI-2011; zie voor details (Smale, 2014).

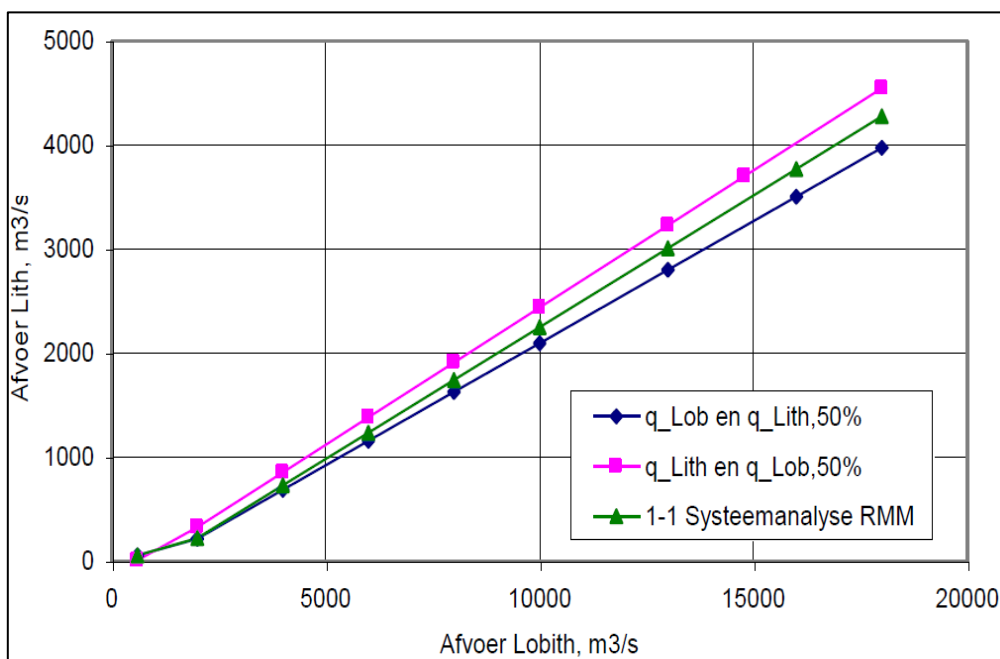
4.4 Correlatie Rijn en Maas

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.

In WTI-2011 werd gebruik gemaakt van de zogenaamde 50%-relaties¹⁸. Deze 50%-lijnen zijn in WBI-2017 verlaten. In plaats daarvan wordt uitgegaan van maximale correlatie tussen Rijn en Maas, ook wel de 1-1 relatie¹⁹ genoemd, zie voor uitgebreide motivatie (Geerse, 2013). De belangrijke reden voor het vervangen van de 50%-lijnen door één lijn is dat het aantal benodigde productieberekeningen met WAQUA wordt gehalveerd. Zowel de 1-1 relatie als de 50%-lijnen zijn gebaseerd op opgetreden dagafvoeren van de Rijn en de Maas (Fioole, 1999). Het gevolg van het gebruik van 1-1 relatie 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).

¹⁸ *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.*

¹⁹ *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 4.1 De 50%-lijnen uit WTI-2011 en de 1-1 lijn zoals gebruikt voor WBI-2017.

De aanname van volledige afhankelijkheid, door middel van de 1 op 1 relatie, maakt een correlatiemodel voor Rijn en Maasafvoer in Hydra-Ring berekeningen overbodig.

Voor onderzoeksdoeleinden en toekomstige toepassingen is in Hydra-Ring het PCR model geïmplementeerd om de correlatie tussen de Rijnafvoer en de Maasafvoer te kunnen modelleren, zie paragraaf 4.2.

4.5 Wind-waterstandstatistiek kustgebieden

Wind en zeewaterstand zijn gecorreleerd. De hydraulische randvoorwaarden uit HR-2006 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 PCR model²⁰, zie ook (Vrouwenvelder et al, 2003).

Hierin worden gereduceerde variabelen gebruikt. 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:

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

²⁰ Dit model is identiek aan het model beschreven in formule (4.1).

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 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 optreed.

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 4.2 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.

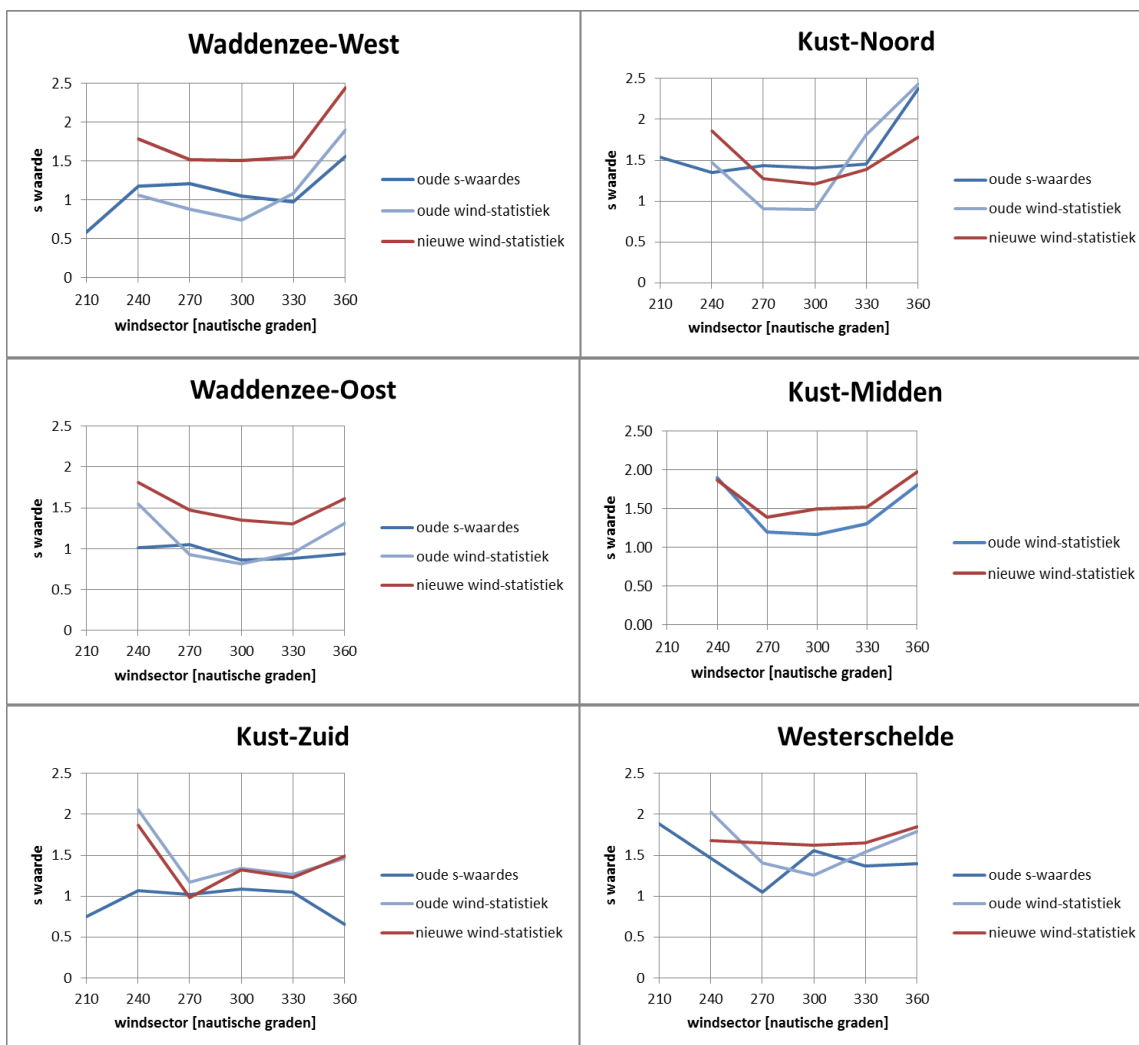
Verwacht wordt dat de mate van correlatie het sterkst is, dus de s-waarde het laagst, voor de windsectoren van 270 of 300 graden. Dit beeld vinden we redelijk terug in de nieuwe s-waarden en s-waarden op basis van de 'oude' windstatistiek, maar niet in de oude s-waarden. Door het gebruik van nieuwe simultane 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 waardes voor de wind of zeewaterstand. Doordat met de nieuwe windstatistiek de gereduceerde waardes 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
Oosterschelde	Vlissingen	OS11	1,68	1,66	1,62	1,65	1,85



Figuur 4.2 Afgeleide en oude s-waarden, als maat voor de correlatie tussen wind en zeewaterstand voor 6 regio's van de kust.

Verwerken van de s-waarden resulteert in de windwaterstandsstatistiek per 12 uren-periodes. Tabel 4.3 toont de aldus ontstane (conditionele) windstatistiek voor station Hoek van Holland gegeven de zeewaterstand bij Hoek van Holland. Deze tabel is geïmplementeerd in Hydra-Ring en geldt als wind-waterstandsstatistiek voor regio 13 (Hollandse Kust Zuid). De wind-waterstandsstatistiek van de andere stations is opgenomen in Bijlage A.

Tabel 4.3 Wind-waterstandsstatistiek station Hoek van Holland gegeven zeewaterstand Hoek van Holland, 12 windrichtingen (geen winddrag correctie), periode 12 uur.

Wind	NOORD	30	60	OOST	120	150	ZUID	210	240	WEST	300	330
[m/s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	9.89E-01	9.90E-01	9.93E-01	9.97E-01	9.90E-01	9.92E-01	9.99E-01	9.99E-01	1.00E+00	1.00E+00	9.97E-01	9.88E-01
3	9.67E-01	9.62E-01	9.67E-01	9.58E-01	9.39E-01	9.51E-01	9.84E-01	9.85E-01	9.92E-01	9.87E-01	9.90E-01	9.73E-01
4	9.12E-01	8.88E-01	9.05E-01	8.60E-01	8.23E-01	8.84E-01	9.39E-01	9.65E-01	9.73E-01	9.66E-01	9.61E-01	9.41E-01
5	8.48E-01	7.94E-01	8.04E-01	7.00E-01	6.81E-01	7.71E-01	8.53E-01	9.18E-01	9.53E-01	9.20E-01	9.31E-01	9.08E-01
6	7.78E-01	7.11E-01	7.01E-01	5.30E-01	5.08E-01	6.04E-01	7.38E-01	8.53E-01	9.14E-01	8.76E-01	8.62E-01	8.46E-01
7	7.05E-01	5.90E-01	5.70E-01	3.74E-01	3.54E-01	4.63E-01	6.03E-01	7.76E-01	8.48E-01	8.08E-01	7.98E-01	7.64E-01
8	6.04E-01	4.67E-01	4.45E-01	2.49E-01	2.32E-01	3.35E-01	4.83E-01	6.85E-01	7.70E-01	7.30E-01	7.18E-01	6.59E-01
9	5.15E-01	3.38E-01	3.19E-01	1.54E-01	1.34E-01	2.23E-01	3.57E-01	5.71E-01	6.82E-01	6.39E-01	6.31E-01	5.46E-01
10	4.02E-01	2.59E-01	2.10E-01	9.14E-02	6.91E-02	1.37E-01	2.56E-01	4.71E-01	5.87E-01	5.25E-01	5.24E-01	4.35E-01
11	3.13E-01	1.92E-01	1.24E-01	3.78E-02	3.22E-02	7.63E-02	1.69E-01	3.53E-01	4.69E-01	4.25E-01	4.23E-01	3.34E-01
12	2.28E-01	1.30E-01	6.46E-02	1.56E-02	1.50E-02	3.77E-02	1.01E-01	2.60E-01	3.55E-01	3.32E-01	3.23E-01	2.50E-01
13	1.52E-01	8.21E-02	3.09E-02	6.47E-03	6.99E-03	1.86E-02	6.27E-02	1.69E-01	2.56E-01	2.63E-01	2.39E-01	1.74E-01
14	9.16E-02	4.83E-02	1.48E-02	2.68E-03	3.26E-03	9.17E-03	3.62E-02	9.47E-02	1.55E-01	1.86E-01	1.76E-01	1.22E-01
15	5.26E-02	2.84E-02	7.09E-03	1.21E-03	1.44E-03	4.53E-03	1.91E-02	6.11E-02	9.98E-02	1.38E-01	1.19E-01	8.17E-02
16	3.02E-02	1.67E-02	3.40E-03	5.48E-04	6.32E-04	2.19E-03	1.01E-02	3.53E-02	6.29E-02	9.10E-02	7.66E-02	4.77E-02
17	1.73E-02	9.83E-03	1.62E-03	2.48E-04	2.79E-04	1.04E-03	5.36E-03	1.60E-02	3.14E-02	5.81E-02	4.91E-02	2.79E-02
18	9.94E-03	5.78E-03	7.72E-04	1.12E-04	1.23E-04	4.92E-04	2.84E-03	7.29E-03	1.83E-02	3.38E-02	2.93E-02	1.63E-02
19	5.70E-03	3.02E-03	3.68E-04	5.06E-05	5.41E-05	2.33E-04	1.44E-03	3.31E-03	1.06E-02	1.89E-02	1.75E-02	9.52E-03
20	2.85E-03	1.58E-03	1.75E-04	2.29E-05	2.38E-05	1.11E-04	7.01E-04	1.50E-03	6.17E-03	1.06E-02	1.04E-02	5.56E-03
21	1.42E-03	8.24E-04	8.36E-05	1.04E-05	1.05E-05	5.25E-05	3.42E-04	6.71E-04	3.58E-03	5.93E-03	6.21E-03	2.99E-03
22	7.10E-04	4.31E-04	3.99E-05	4.68E-06	4.62E-06	2.49E-05	1.66E-04	3.00E-04	2.08E-03	3.32E-03	3.70E-03	1.48E-03
23	3.55E-04	2.25E-04	1.90E-05	2.12E-06	2.04E-06	1.18E-05	8.10E-05	1.34E-04	1.18E-03	1.88E-03	2.15E-03	7.31E-04
24	1.77E-04	1.18E-04	9.06E-06	9.57E-07	8.98E-07	5.59E-06	3.95E-05	5.97E-05	6.53E-04	1.08E-03	1.25E-03	3.62E-04
25	8.84E-05	6.14E-05	4.32E-06	4.33E-07	3.95E-07	2.65E-06	1.92E-05	2.67E-05	3.61E-04	6.19E-04	7.26E-04	1.79E-04
26	4.41E-05	3.21E-05	2.06E-06	1.96E-07	1.74E-07	1.26E-06	9.36E-06	1.19E-05	2.00E-04	3.55E-04	4.21E-04	8.84E-05
27	2.20E-05	1.68E-05	9.82E-07	8.85E-08	7.68E-08	5.96E-07	4.56E-06	5.31E-06	1.11E-04	2.04E-04	2.45E-04	4.37E-05
28	1.10E-05	8.75E-06	4.68E-07	4.00E-08	3.38E-08	2.83E-07	2.22E-06	2.37E-06	6.12E-05	1.17E-04	1.42E-04	2.16E-05
29	5.50E-06	4.57E-06	2.23E-07	1.81E-08	1.49E-08	1.34E-07	1.08E-06	1.06E-06	3.39E-05	6.71E-05	8.25E-05	1.07E-05
30	2.74E-06	2.39E-06	1.06E-07	8.19E-09	6.56E-09	6.35E-08	5.27E-07	4.73E-07	1.88E-05	3.85E-05	4.79E-05	5.29E-06
31	1.37E-06	1.25E-06	5.07E-08	3.70E-09	2.89E-09	3.01E-08	2.56E-07	2.11E-07	1.04E-05	2.21E-05	2.78E-05	2.61E-06
32	6.84E-07	6.52E-07	2.42E-08	1.67E-09	1.27E-09	1.43E-08	1.25E-07	9.42E-08	5.74E-06	1.27E-05	1.62E-05	1.29E-06
33	3.42E-07	3.40E-07	1.15E-08	7.57E-10	5.61E-10	6.77E-09	6.08E-08	4.21E-08	3.18E-06	7.27E-06	9.38E-06	6.39E-07
34	1.71E-07	1.78E-07	5.50E-09	3.42E-10	2.47E-10	3.21E-09	2.96E-08	1.88E-08	1.76E-06	4.17E-06	5.45E-06	3.16E-07
35	8.52E-08	9.29E-08	2.62E-09	1.55E-10	1.09E-10	1.52E-09	1.44E-08	8.38E-09	9.73E-07	2.39E-06	3.16E-06	1.56E-07
36	4.26E-08	4.85E-08	1.25E-09	7.00E-11	4.80E-11	7.22E-10	7.03E-09	3.74E-09	5.39E-07	1.37E-06	1.84E-06	7.73E-08
37	2.12E-08	2.54E-08	5.96E-10	3.16E-11	2.12E-11	3.42E-10	3.42E-09	1.67E-09	2.98E-07	7.88E-07	1.07E-06	3.82E-08
38	1.06E-08	1.32E-08	2.84E-10	1.43E-11	9.32E-12	1.62E-10	1.67E-09	7.46E-10	1.65E-07	4.52E-07	6.20E-07	1.89E-08
39	5.30E-09	6.92E-09	1.35E-10	6.47E-12	4.11E-12	7.69E-11	8.12E-10	3.33E-10	9.13E-08	2.59E-07	3.60E-07	9.35E-09
40	2.65E-09	3.61E-09	6.46E-11	2.93E-12	1.81E-12	3.65E-11	3.95E-10	1.49E-10	5.05E-08	1.49E-07	2.09E-07	4.62E-09
41	1.32E-09	1.89E-09	3.08E-11	1.32E-12	7.97E-13	1.73E-11	1.93E-10	6.64E-11	2.79E-08	8.54E-08	1.21E-07	2.29E-09
42	6.60E-10	9.86E-10	1.47E-11	5.98E-13	3.51E-13	8.20E-12	9.38E-11	2.96E-11	1.55E-08	4.90E-08	7.05E-08	1.13E-09

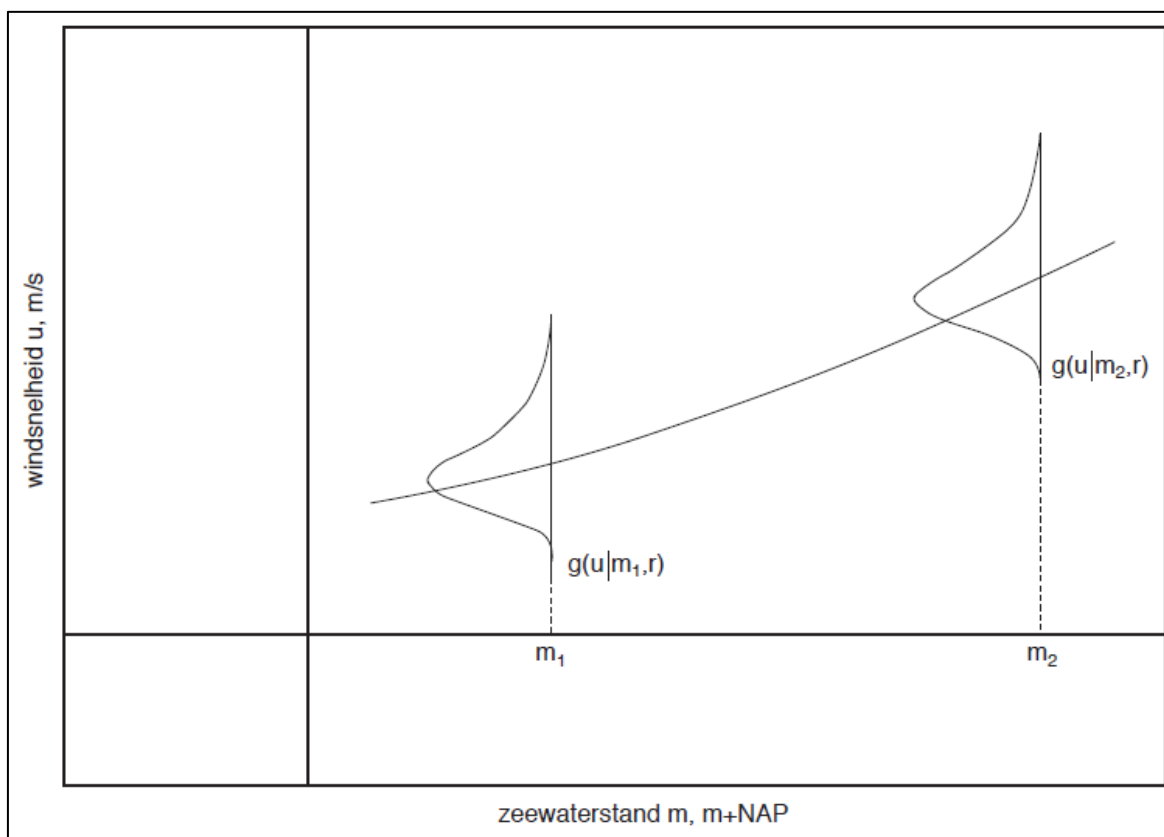
4.6 Wind-watertandstatistiek Maasmond (Benedenrivieren)

In het Benedenrivierengebied (regio 3 en regio 4) is de basisstochast zeewaterstand te Maasmond gecorreleerd met de windsnelheid en windrichting. Voor de westelijke windrichtingen (ZW, WNW, ..., N) dient er rekening te worden gehouden met verhoogde windsnelheden bij verhoogde zeewaterstand. De hoge zeewaterstanden worden immers veroorzaakt door hoge (NW) windsnelheden. Bij de probabilistische berekeningen met Hydra-Ring wordt daarom gebruik gemaakt de gecombineerde wind-waterstandsstatistiek, uitgedrukt als conditionele kansen van de windsnelheid bij Schiphol gegeven de

zeewaterstand bij Maasmond en windrichting (Figuur 4.3). Voor de (overige) oostelijke²¹ richtingen zijn zulke conditionele kansen niet nodig voor probabilistische berekeningen. N.B. de zeewaterstatistiek bij Maasmond volgt eenvoudig uit die voor Hoek van Holland door de zeewaterstanden met een vaste waarde te verschuiven. De zeewaterstanden bij Maasmond liggen 0,02 m lager dan die bij Hoek van Holland (Geerse, 2003). De zeewaterstandsstatistiek bij Hoek van Holland is beschreven in paragraaf 3.5.

Voor het modelleren van de wind-waterstandsstatistiek wordt gebruikt gemaakt van het zogenoemde Volker model (Volker, 1987). De Volker wind-waterstandsstatistiek is in het kader van HR-2006 geactualiseerd (Geerse et al, 2002). Deze geactualiseerde wind-waterstandstatistiek is echter niet meer bruikbaar voor WBI-2017 omdat de windstatistiek in WBI-2017 is aangepast (paragraaf 3.6). Daarom dient de wind-waterstandstatistiek uit (Geerse et al, 2002) nogmaals geactualiseerd te worden.

Een belangrijk element in het Volker model is de zogenoemde Volkerfactor. Deze factor wordt geïntroduceerd om rekening te houden met het feit dat de kans dat een getijtop en de piek van de storm samenvallen circa 50% bedraagt, zie voor meer details (Geerse et al, 2002).



Figuur 4.3 Het principe achter de beschrijving van de wind-waterstandstatistiek in grafische vorm

De kansdichtheid volgens het Volker model voor de wind-waterstandstatistiek bestaat uit twee delen: een deel dat volledig afhankelijk is van de zeewaterstand en een deel dat

²¹ 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.

onafhankelijk is van de zeewaterstand. De formule van het model luidt als volgt, zie (Geerse et al, 2002):

$$F_d(u|m, r) = \begin{cases} \frac{1}{1-d} \exp \left[-\exp \left(\frac{-K_r(u) + \rho_r[m - A_r]}{B_r} \right) \right], & u \leq u_d(m, r) \\ 1, & u > u_d(m, r) \end{cases}$$

Hierin is:

- $F(u|m, r)$: de kansdichtheid van de windsnelheid gegeven de zeewaterstand en windrichting
 m : de zeewaterstand te Hoek van Holland,
 r : de windrichting,
 d : een afknottingspercentage van de hoogste waarnemingen (2%),
 $K_r(u)$: een kwadratische functie van de vorm $K_r(u) = au^2 + bu + c$,
 ρ_r, A_r, B_r en M_r : parameters van de kansverdeling van de zeewaterstand.

De functie $K_r(u)$ vormt het deel in bovengenoemde formule dat onafhankelijk is van de waterstand, het overige deel van de teller is het afhankelijk deel. De zeewaterstandsstatistiek verandert niet in WBI-2017 (paragraaf 3.5). Dit betekent dat de parameters ρ_r, A_r, B_r en M_r niet geactualiseerd hoeven te worden en overgenomen kunnen worden uit (Geerse et al, 2002). Tabel 4.4 toont voor de volledigheid deze parameters.

Tabel 4.4 Parameters van de kansverdeling van de zeewaterstand voor Hoek van Holland (Geerse et al, 2002)

Windrichting	A_r	B_r	ρ_r	M_r
0	0.87	0.24	0.36	0.67
22.5	0.00	1.00	0.00	1.00
45	0.00	1.00	0.00	1.00
67.5	0.00	1.00	0.00	1.00
90	0.00	1.00	0.00	1.00
112.5	0.00	1.00	0.00	1.00
135	0.00	1.00	0.00	1.00
157.5	0.00	1.00	0.00	1.00
180	0.00	1.00	0.00	1.00
202.5	0.00	1.00	0.00	1.00
225	1.23	0.12	0.51	1.00
247.5	1.23	0.17	0.61	1.00
270	1.22	0.23	0.48	0.67
292.5	1.20	0.26	0.61	0.67
315	0.89	0.33	0.77	0.67
337.5	0.90	0.29	0.68	0.67

De functies $K_r(u)$ worden benaderd door kwadratische functies met parameters a_r, b_r en c_r .

Tabel 4.5 en Tabel 4.6 tonen de parameterschattingen van de functies $K_r(u)$ voor de situaties met en zonder Volkerfactor, inclusief het zogenoemde afknottingspercentage d van 0.02. Deze waarde is bepaald door Volker (1987) en is in WBI-2017 onveranderd

overgenomen. Figuur 4.4 toont de fit van $K_r(u)$ voor de windrichting WNW en met de Volkerfactor, door een kwadratische functie met parameters uit

Tabel 4.5. N.B. Hydra-NL berekent zelf de functies $K_r(u)$. Figuur 4.4 is dan ook een vergelijking tussen Hydra-Ring en Hydra-NL.

Tabel 4.5 Parameterschattingen $K_r(u)$, met Volkerfactor, inclusief de afknottingsparameter van 0,02.

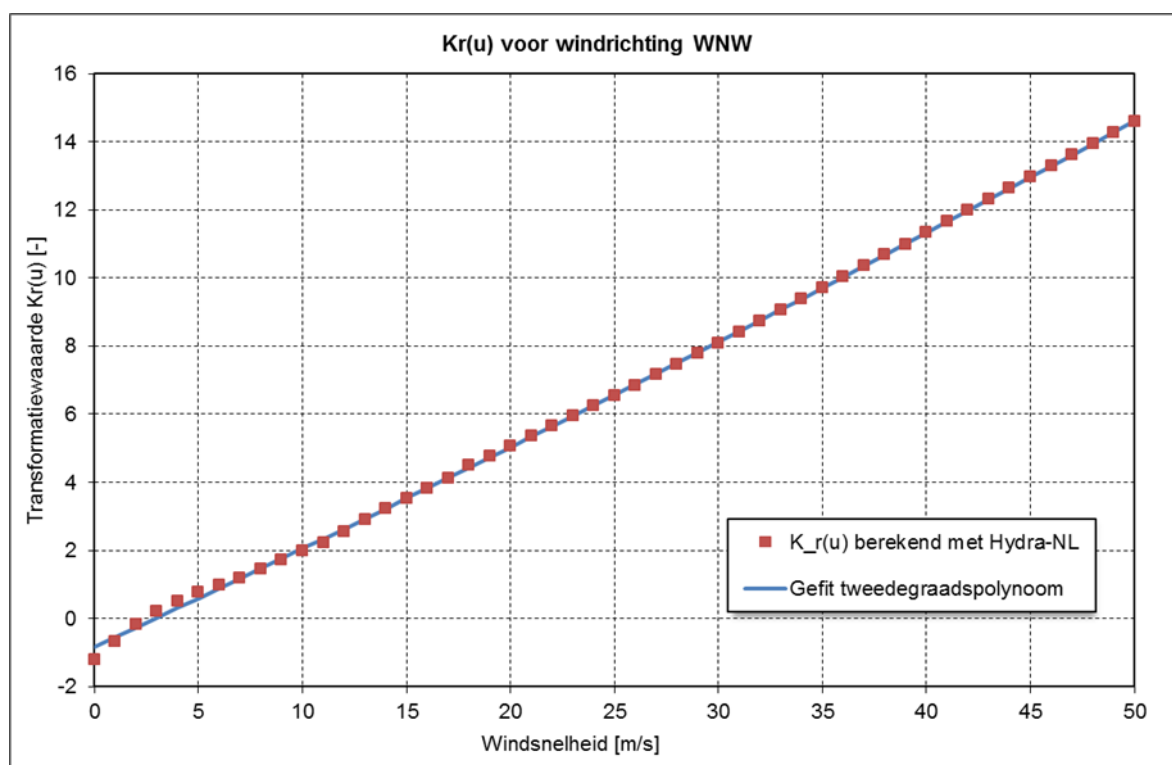
Windrichting [°N]	a_r	b_r	c_r	d
0	-0.001314	0.2903	-0.7554	0.02
22.5	0.001396	0.5542	-2.8221	0
45	0.003102	0.5839	-3.3161	0
67.5	0.002716	0.618	-3.6472	0
90	0.003821	0.6536	-3.4686	0
112.5	-0.001867	0.8251	-3.6599	0
135	0.001806	0.7665	-3.7487	0
157.5	0.000358	0.6988	-3.8532	0
180	0.001973	0.5865	-3.4827	0
202.5	0.001117	0.4576	-3.0232	0
225	-0.000959	0.3701	-1.5357	0.02
247.5	-0.000696	0.3769	-1.6238	0.02
270	-0.000759	0.2859	-1.2586	0.02
292.5	0.00052	0.2828	-0.8312	0.02
315	0.001755	0.3019	-0.4869	0.02
337.5	0.000549	0.3362	-0.7533	0.02

Hydra-Ring berekent de conditionele kansen van de windsnelheid bij Schiphol gegeven windrichting en zeewaterstand bij Maasmond op basis van de formules van Volker en de parameters uit Tabel 4.4 en

Tabel 4.5 respectievelijk Tabel 4.4 en Tabel 4.6 voor de situatie met Volkerfactor respectievelijk zonder Volkerfactor.

Tabel 4.6 Parameterschattingen $K_r(u)$, met Volkerfactor, inclusief de afknottingsparameter van 0,02.

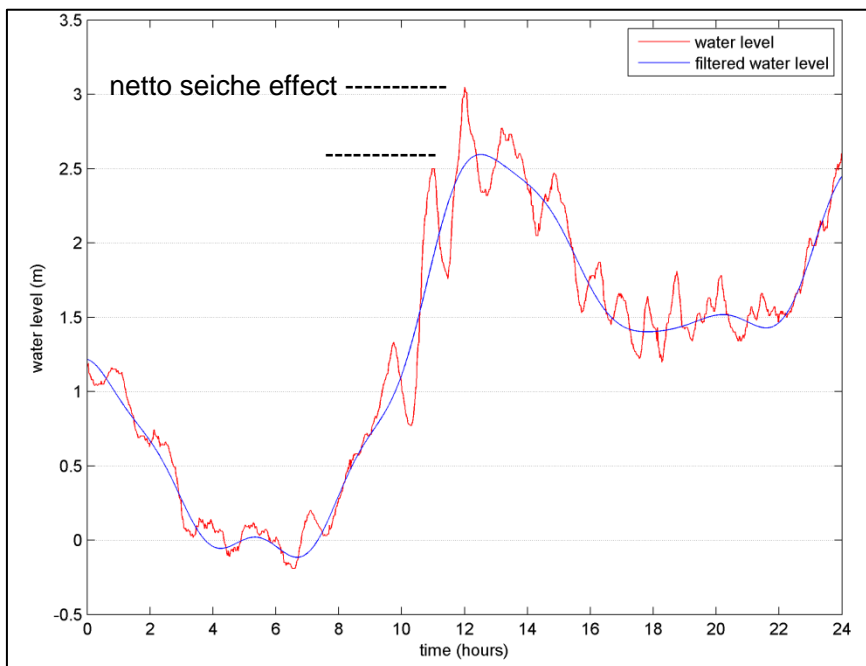
Wind richting [°N]	a_r	b_r	c_r	d
0	-0.001203	0.278	-0.7626	0.02
22.5	0.001396	0.5542	-2.8221	0
45	0.003102	0.5839	-3.3161	0
67.5	0.002716	0.618	-3.6472	0
90	0.003821	0.6536	-3.4686	0
112.5	-0.001867	0.8251	-3.6599	0
135	0.001806	0.7665	-3.7487	0
157.5	0.000358	0.6988	-3.8532	0
180	0.001973	0.5865	-3.4827	0
202.5	0.001117	0.4576	-3.0232	0
225	-0.0009	0.3544	-1.4562	0.02
247.5	-0.000543	0.3574	-1.5463	0.02
270	-0.000478	0.2631	-1.1397	0.02
292.5	0.000779	0.2561	-0.6869	0.02
315	0.002211	0.2661	-0.3706	0.02
337.5	0.000996	0.3033	-0.66	0.02

Figuur 4.4 Benadering $K_r(u)$ door kwadratische functie voor windrichting WNW, gefit op de berekende waarden uit Hydra-NL.

Tabel 4.4 t/m Tabel 4.6 dienen als invoer voor Hydra-Ring.

4.7 Correlatie seiches en zeewaterstand bij Maasmond

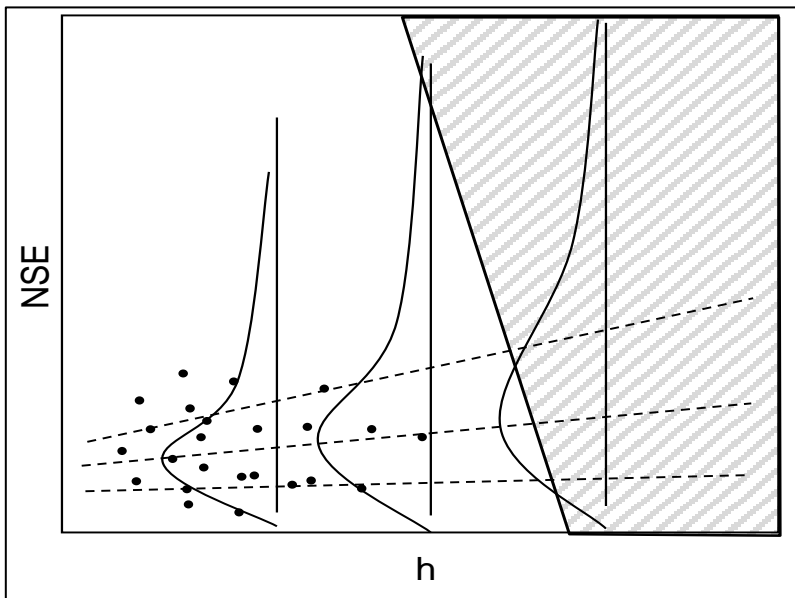
De seiches statistiek, ook de referentiestatistiek seiches genoemd, heeft betrekking op de locatie Rozenburgsesluis²² (ROZ). In het kader van WTI-2011 is deze statistiek opnieuw afgeleid (de Jong, 2010). Hierbij is uitgegaan van een correlatie tussen het netto seiches effect, NSE²³ (Figuur 4.5) en de 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.

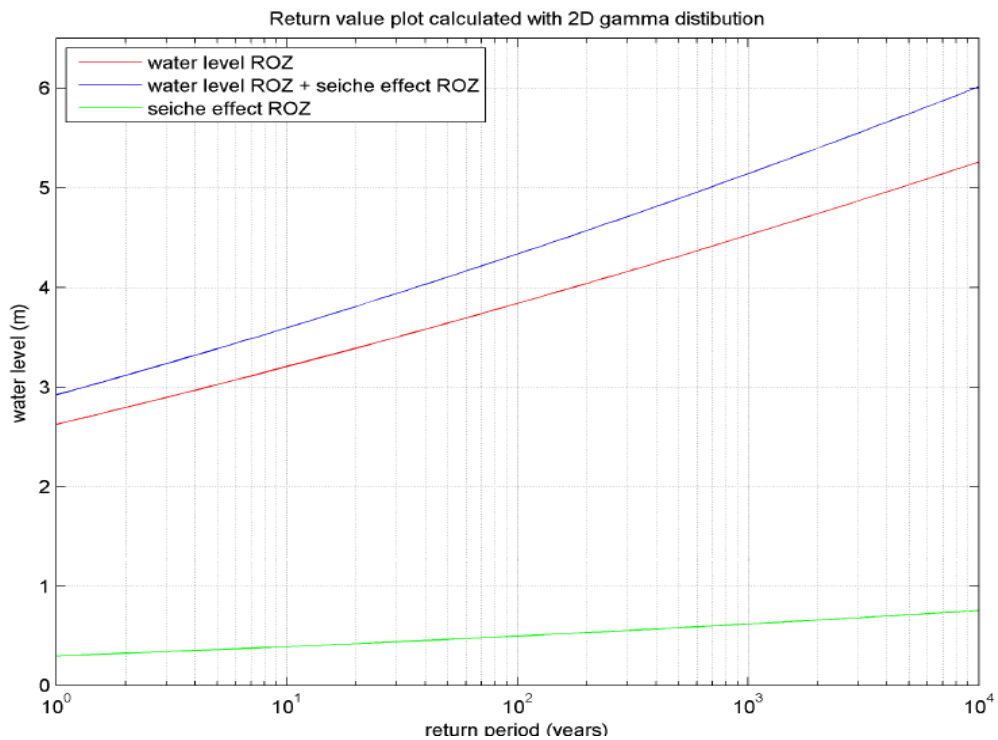
²² Dit is het station waar een lange en betrouwbare meetreeks voor beschikbaar is.

²³ 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 4.7 bevat de berekende waarden van het NSE bij ROZ die behoren bij herhalingstijden 1, 4000 en 10000 jaar.

Tabel 4.7 Netto seiche effect voor enkele terugkeertijden.

Herhalingstijd [jaar]	NSE bij ROZ [m]
1	0.30
4.000	0.70
10.000	0.75

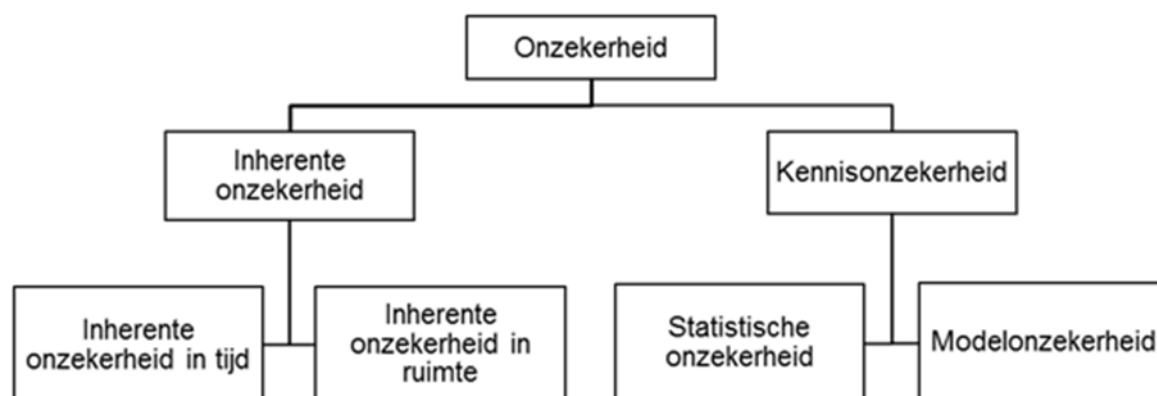
Voor het meenemen van seiche-effecten in de belastingmodellen van Hydra-Ring zijn nieuwe berekeningen uitgevoerd door Reijmerink en de Jong (2014). Met behulp van PHAROS zijn, voor 41 waterstanden tussen NAP +2,40 m en NAP +6,40 m de netto seiche-effecten berekend voor 449 oeverlocaties en 42 as-locaties 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 WBI-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.

Onzekerheden²⁴ 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 WBI 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.

²⁴ 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 belastingen 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 WBI-2017 is besloten om, naast de natuurlijke variabiliteit (inherente onzekerheid), ook de kennisonzekerheid expliciet mee te nemen en te implementeren in Hydra-Ring. 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 onzekerheid relevant is en meegenomen zou moeten worden in Hydra-Ring. De studie heeft geresulteerd 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, 4 en 17
Afvoer Maas	Borgharen	2 en 18
Afvoer Maas	Lith	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, 10 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	9 en 16
IJsselmeerpeil	-	5, 6 en 7
Markermeerpeil	-	8

Naast statistische onzekerheid van de basistochasten zoals weergegeven in Tabel 5.1 is besloten om in WBI-2017 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 windrichtingen²⁵ beschouwd; het zijn alle richtingen uit de hoek zuidwest tot noord, ofwel 210°, 240°, 270°, 300°, 330° en 360°.

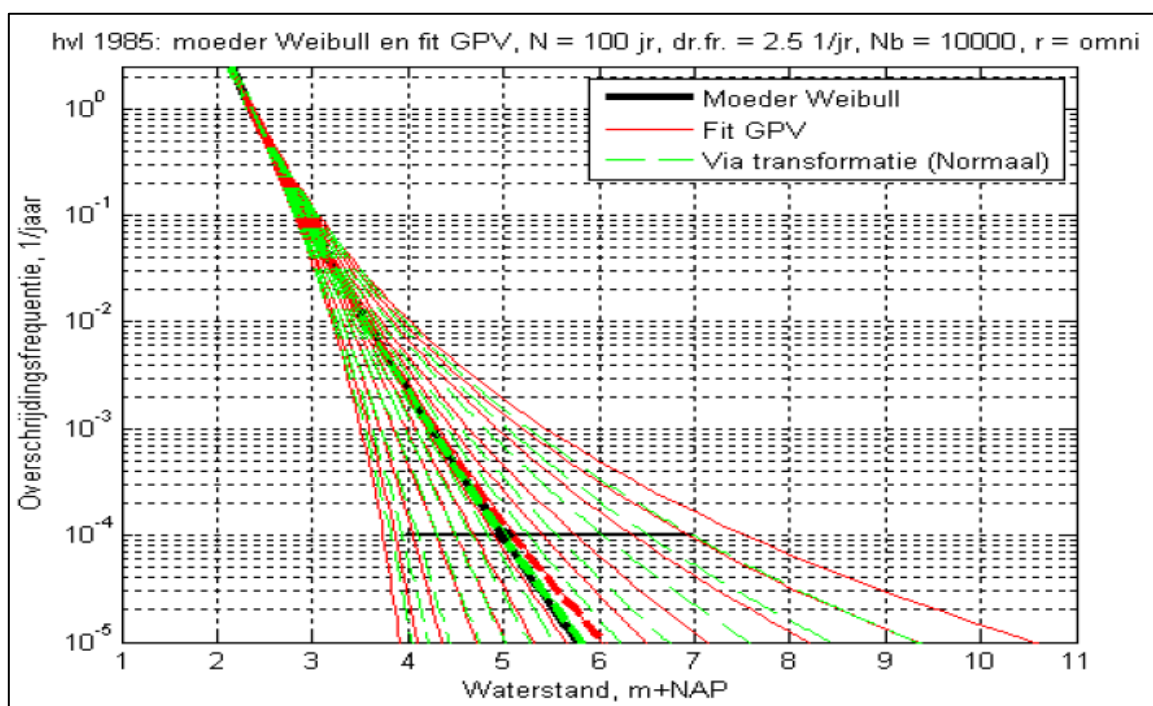
Aanvankelijk zijn betrouwbaarheidsintervallen bepaald voor de zeewaterstand op basis van statistische extrapolatie, zonder daarbij fysische overwegingen te betrekken. De zo verkregen betrouwbaarheidsintervallen blijken echter erg breed te zijn. Voor bijvoorbeeld het 95%-betrouwbaarheidsinterval is het 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

²⁵ 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.

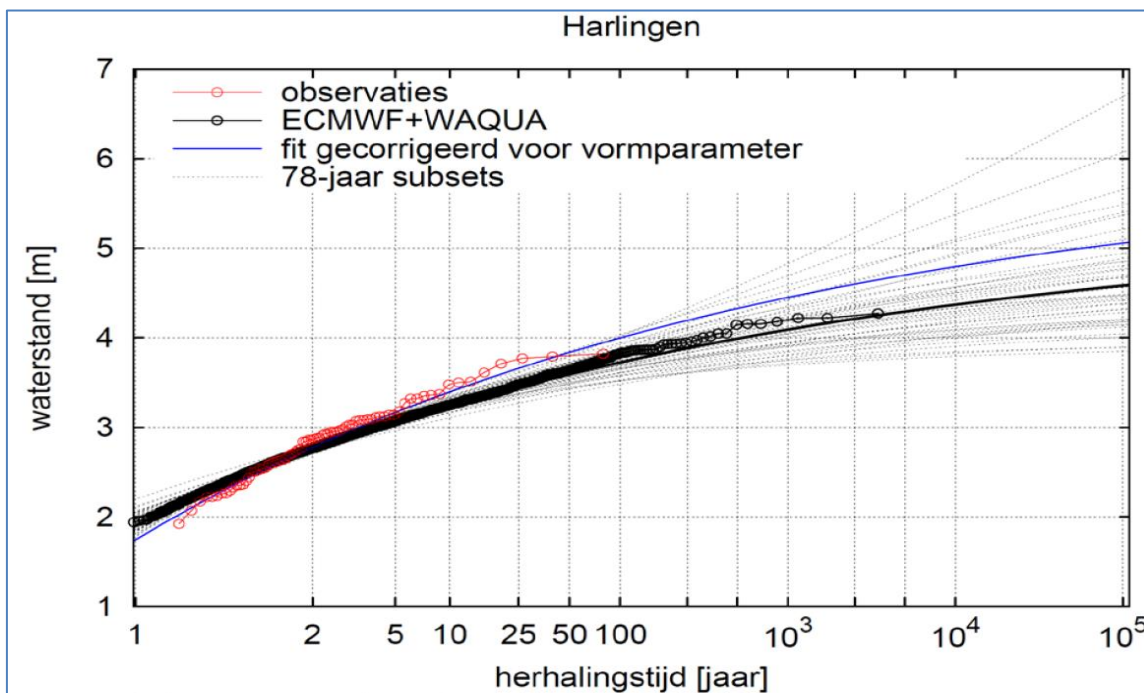
Uit een recente studie van het KNMI zijn simulaties van windgegevens beschikbaar gekomen voor langere synthetische reeksen dan de meetperiode die ten grondslag ligt aan de statistische extrapolaties. De windgegevens beslaan een periode van 3439 jaren en ze zijn afgeleid van seizoensverwachtingen van 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.

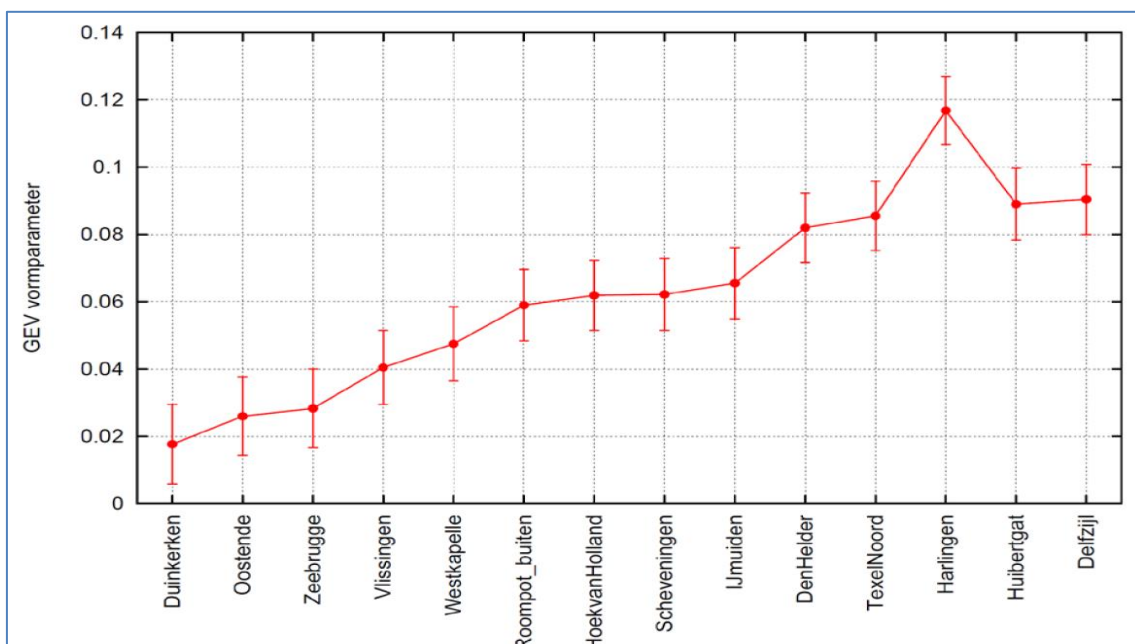


Figuur 5.2 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen voor station Hoek van Holland, omni-directioneel. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

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 WBI-2017 geldende basispeilen, zie paragraaf 3.5.

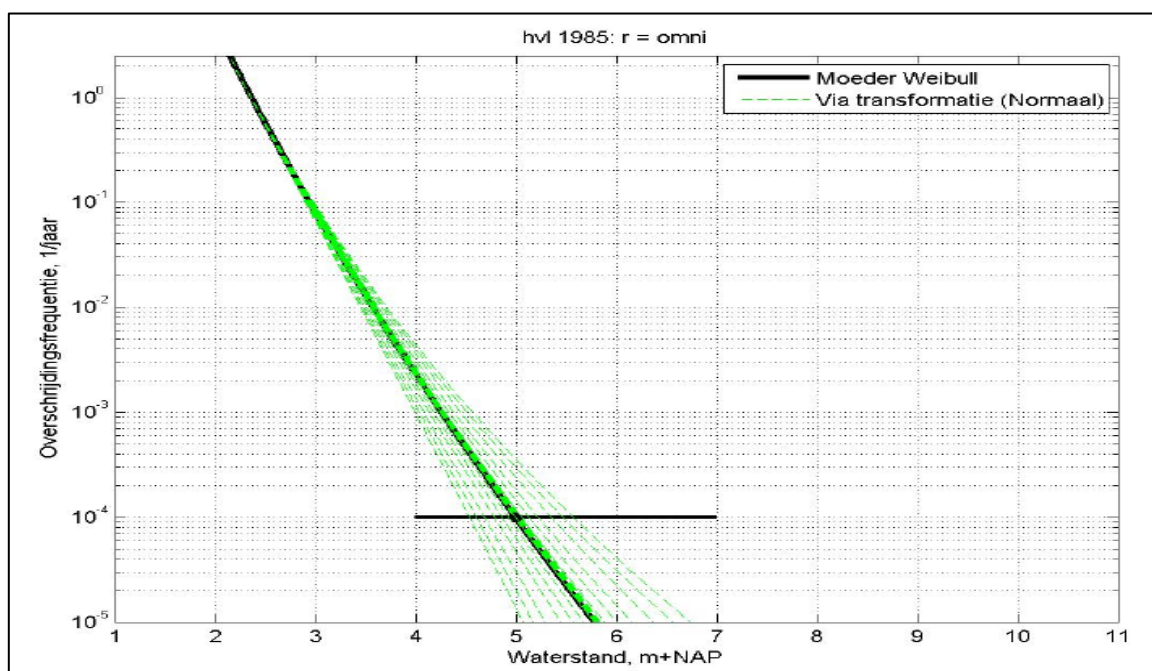


Figuur 5.3 GEV plot van de jaarmaxima bij Harlingen; metingen (rood), model (zwart).



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.



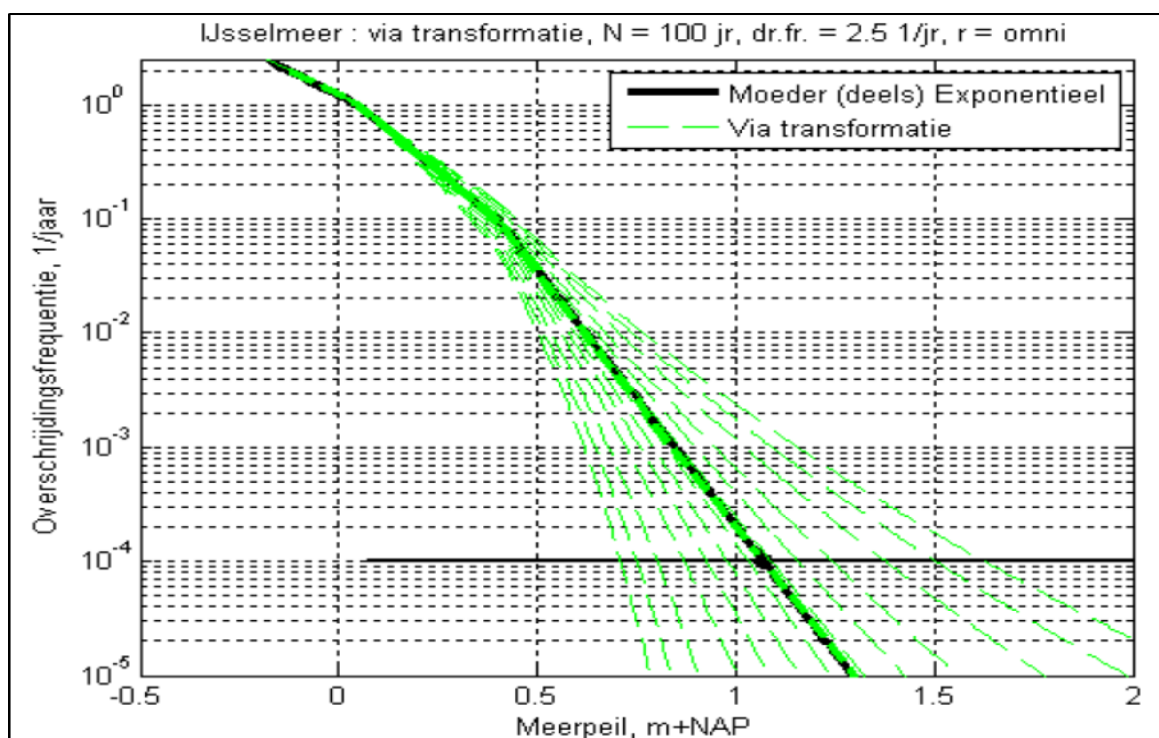
Figuur 5.5 Betrouwbaarheidsintervallen station Hoek van Holland voor de omni-directionele situatie, bepaald op basis van de vormparameter verkregen uit de studie van KNMI. Horizontale zwarte lijn is het interval van de basispeil bij Hoek van Holland (Geerse en Wojciechowska, 2015).

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 95%-BI [m]
	μ [-]	σ [-]	
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).

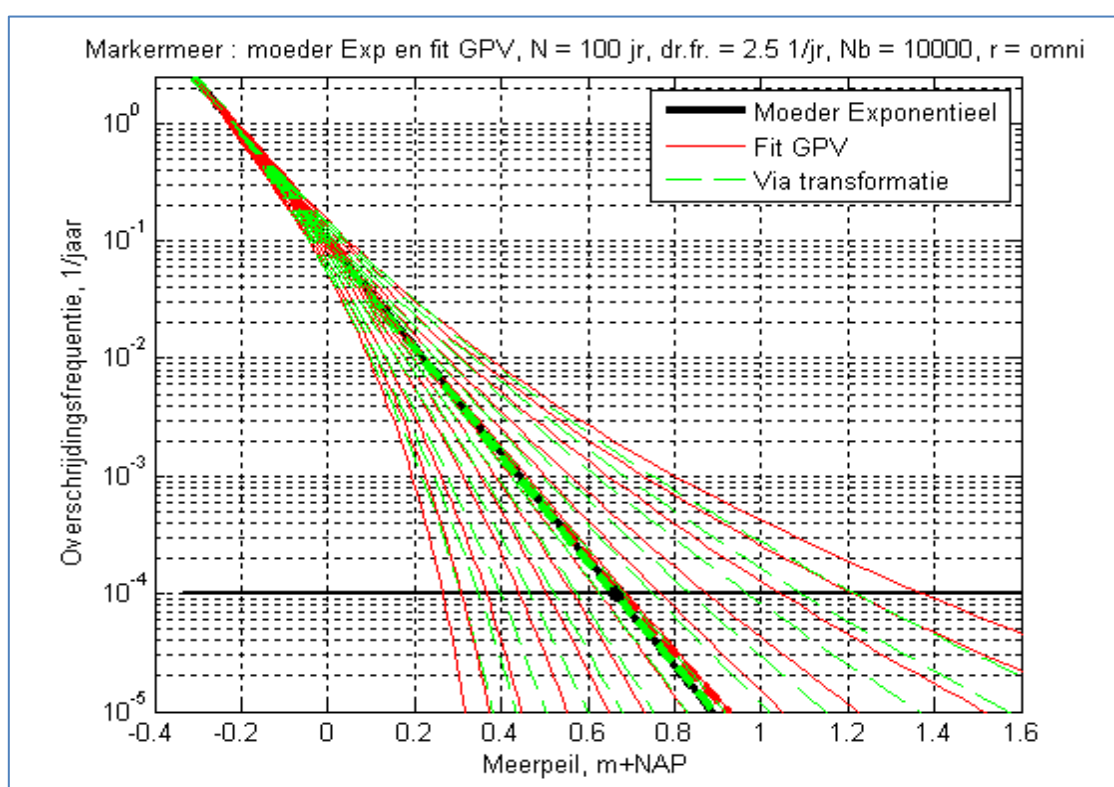
Tabel 5.3 Betrouwbaarheidsintervallen voor verschillende kwantielen en percentielen van het IJsselmeerpeil. Bron: Geerse en Wojciechowska (2014).

$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		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).

$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen 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	



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 extra²⁶ 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 modellen²⁷ 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

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

Model 4: begrensd multiplicatief

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

²⁶ 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).

²⁷ Deze modellen zijn tevens geschikt en worden gebruikt voor het modelleren van modelonzekerheid in lokale waterstand en golfparameters.

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 herhalingsstijd.

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

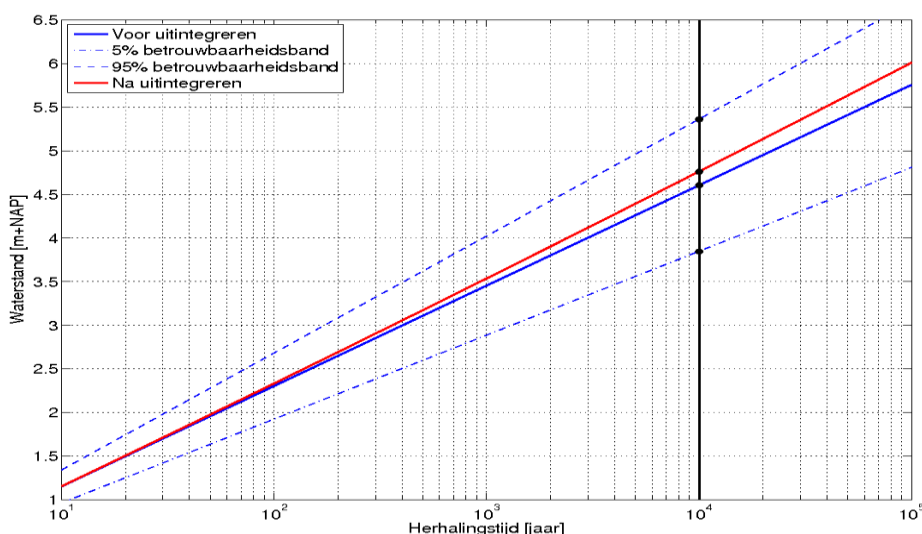
Stel dat we onzeker zijn over een (toekomstige) peilstijging van het IJsselmeer. We kunnen aannemen dat het 0,50 m stijgt, en de onzekerheid negeren, maar we kunnen ook rekening houden met een stijging van 0,25 m of 0,75 m. Elk van de 3 waarden voor de peilstijging is representatief voor een bepaalde 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).

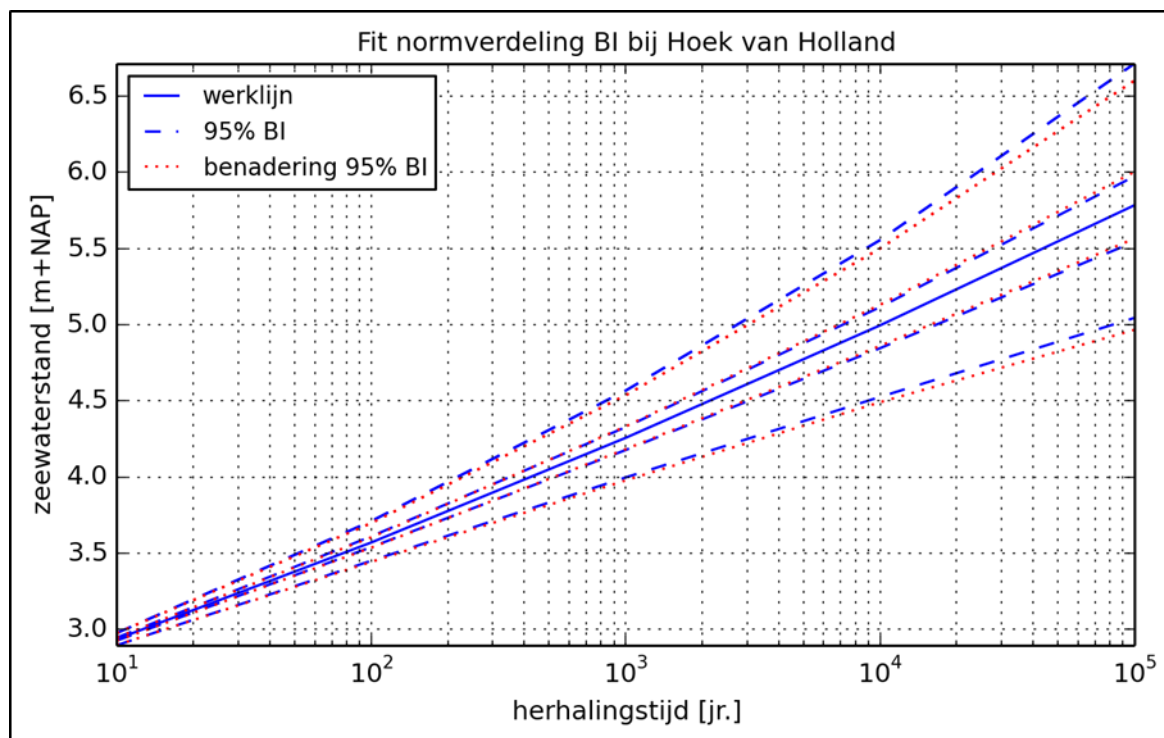


Figuur 5.9 Voorbeeld van werklijn voor (blauw) en na volledig uit-integreren van onzekerheidsbron (rood). Het 95% betrouwbaarheidsinterval is als gestippelde lijnen weergegeven rond de blauwe doorgetrokken lijn.

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.

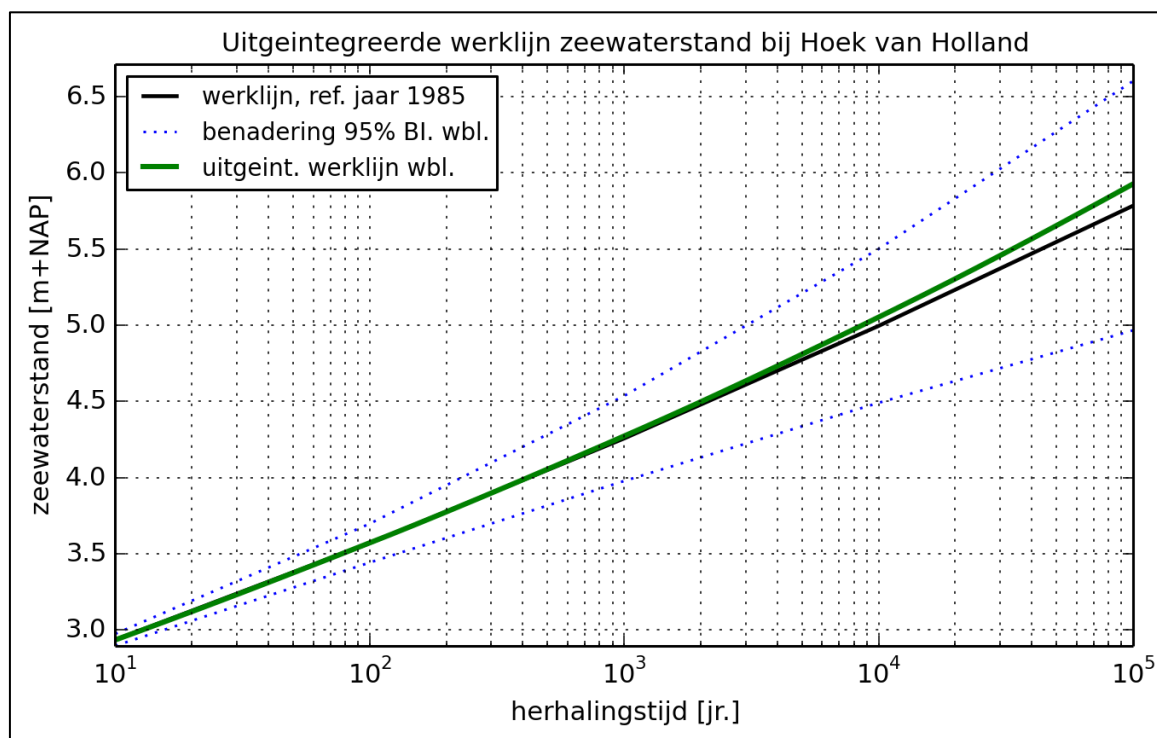


Figuur 5.10 De omni-directionele statistiek van zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (blauw) en schatting door normale verdeling (rood).

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

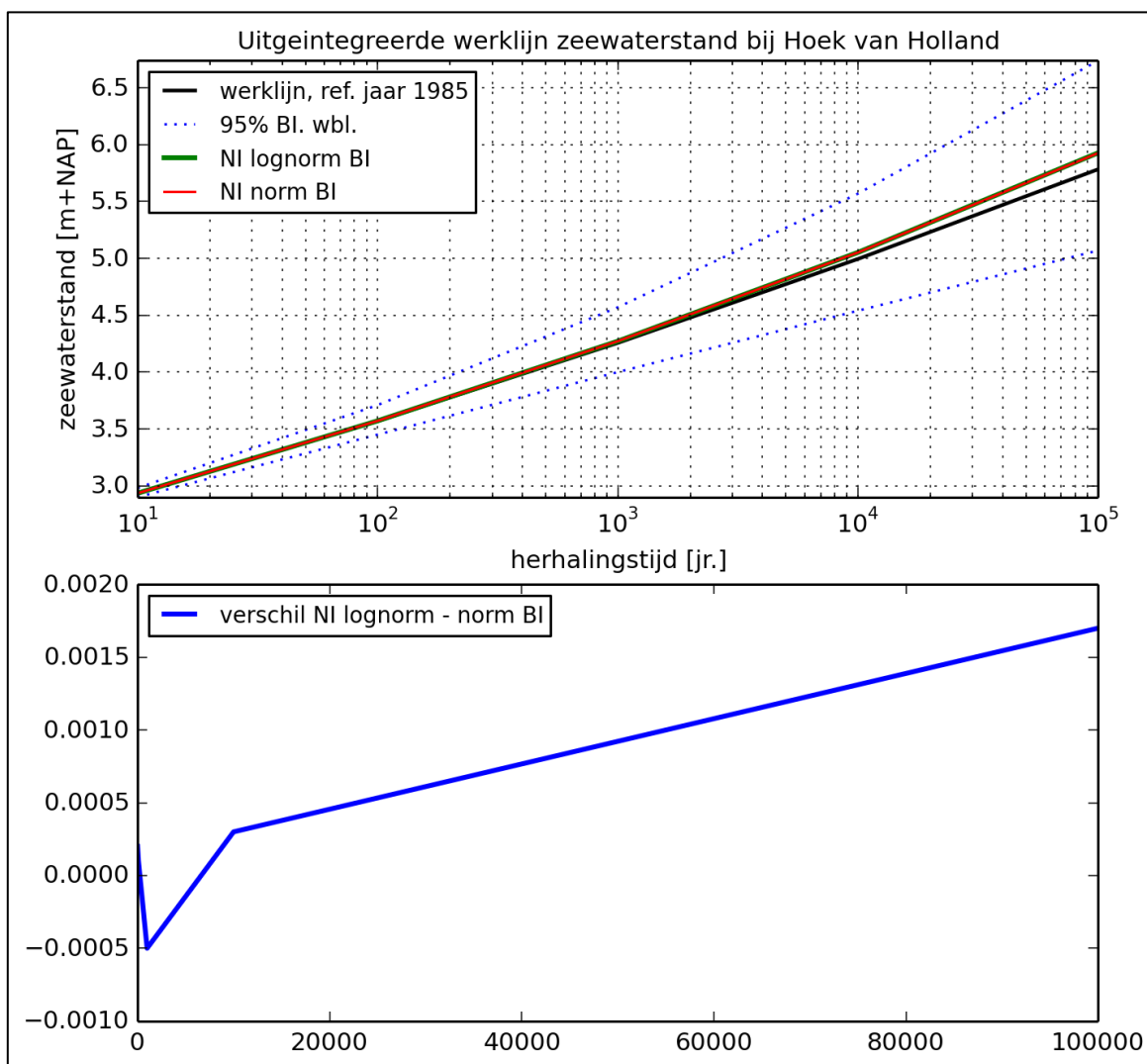
Herhalings-tijd [jaar]	Werklijn [m+NAP]	2.5% BI [m+NAP]	97.5% BI [m+NAP]	μ [m+NAP]	σ [m+NAP]	Uit-geïntegreerde werklijn [m+NAP]
10	2,93	2,90	2,98	0	0,020	2,93
100	3,57	3,45	3,71	0	0,065	3,57
1.000	4,26	4,00	4,57	0	0,143	4,27
10.000	500	4,54	5,57	0	0,258	5,05
100.000	5,78	5,07	6,74	0	0,418	5,93

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.

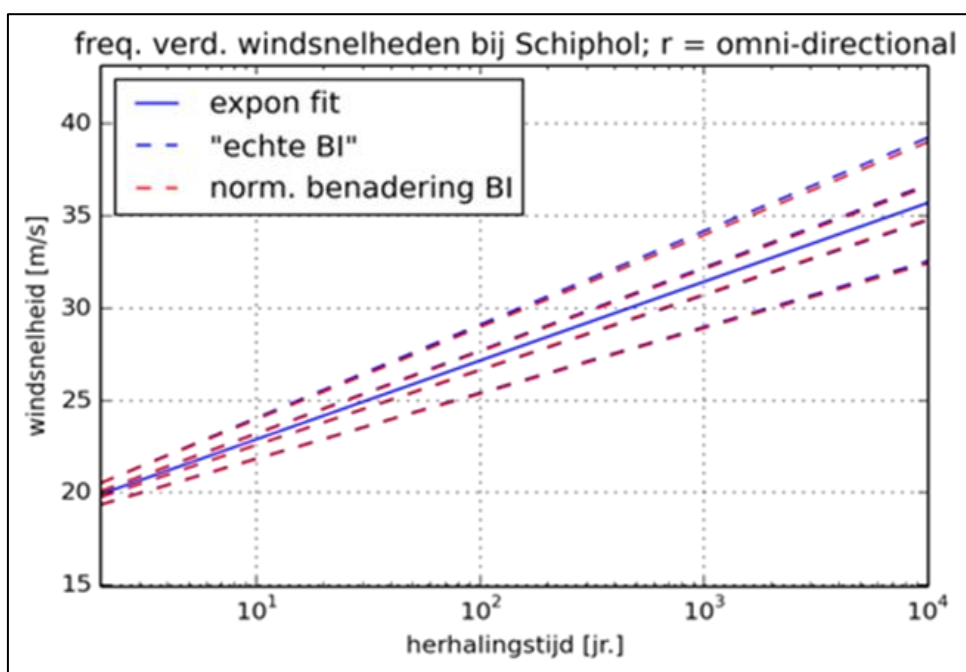
Voorbeeld 2: windstatistiek bij Schiphol

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.

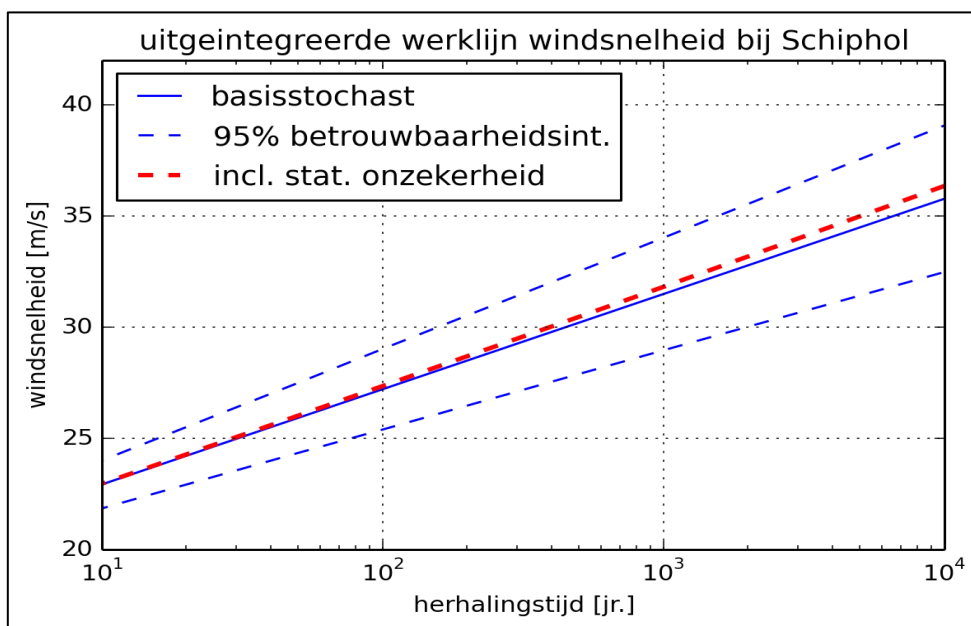
De statistische onzekerheid van de windsnelheid bij Schiphol is in vergelijking met de statistische onzekerheid in zeewaterstandsstatistiek klein; het effect van het uit-integreren van de statistische onzekerheid in windsnelheid is dan ook klein, zie Figuur 5.14.

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.

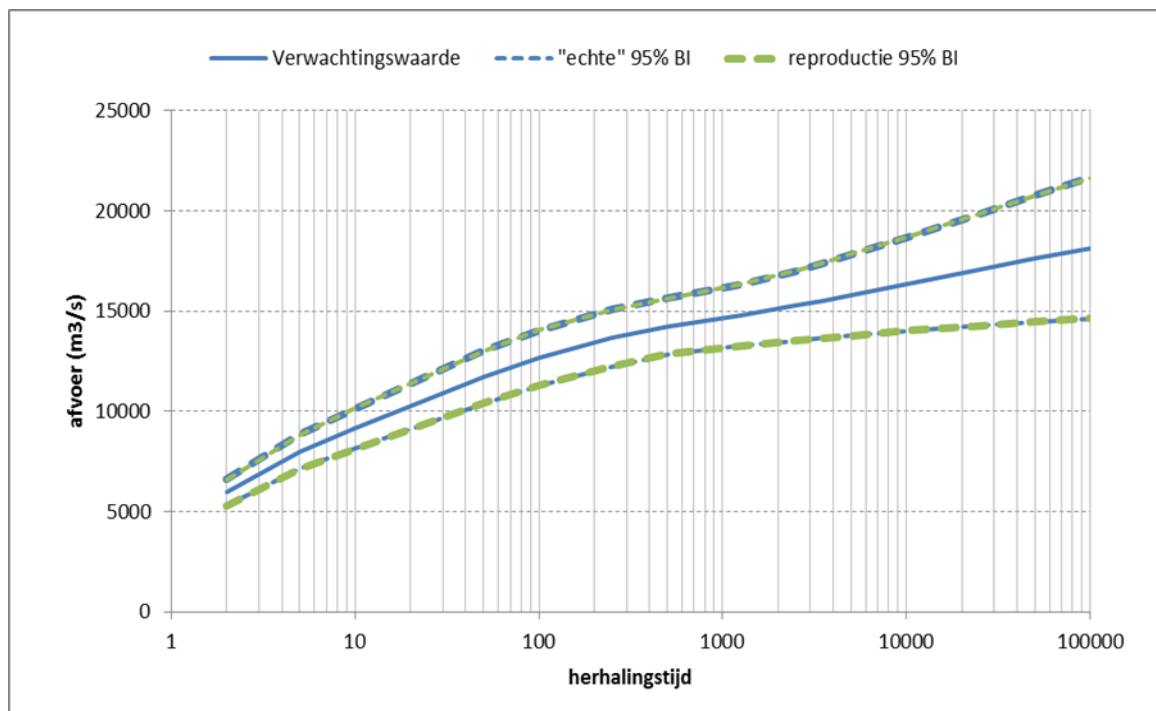
Op basis van de betrouwbaarheidsintervallen van GRADE is een schatting gemaakt van de statistische onzekerheid. Op de betrouwsintervallen is een normale verdeling gefit; de parameterschattingen van de weergegeven in Tabel 5.8. Er geldt een gemiddelde van $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en een standaardafwijking 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 100.000 jaar bedraagt de verhoging ruim 800 m³/s, ofwel 4,35% verhoging.

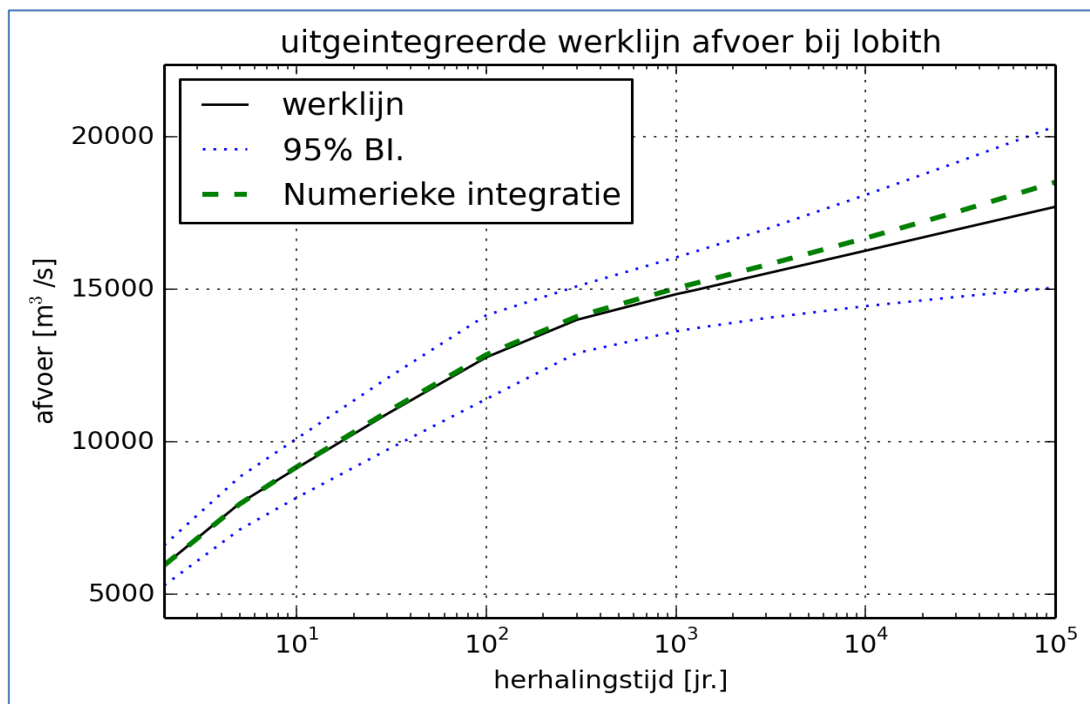
Tabel 5.8 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalingstijd (kolom 6).

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

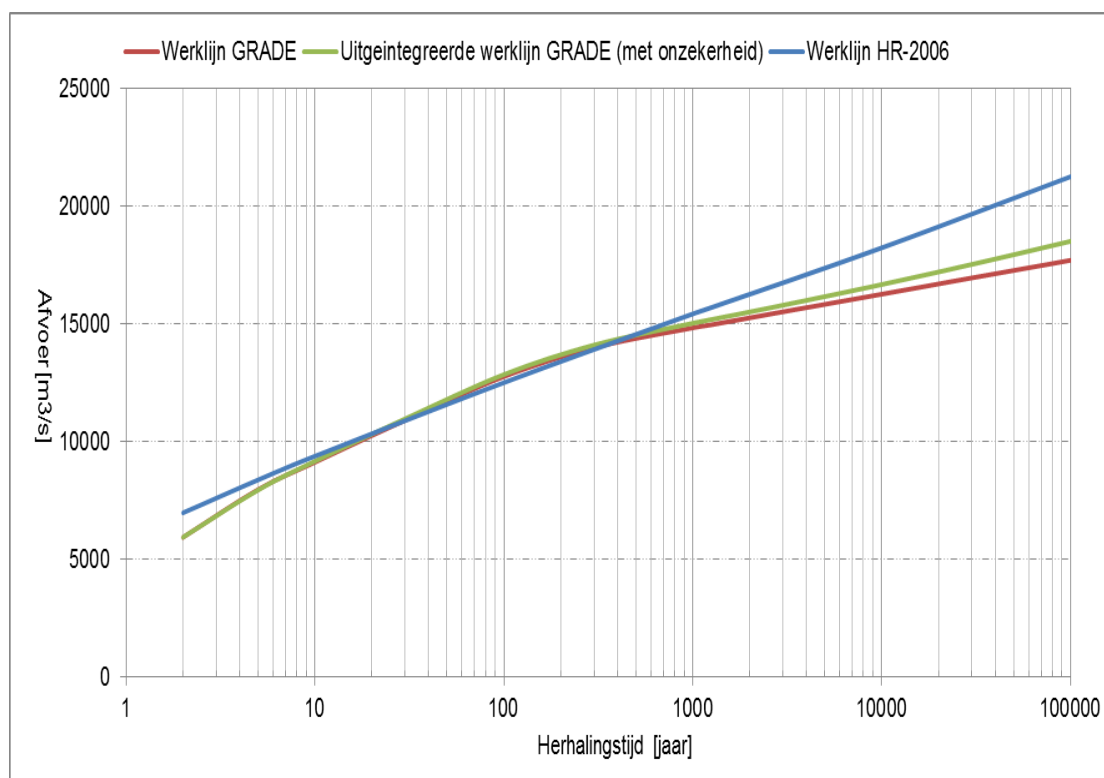


Figuur 5.15 Statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith.

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 (zwart) en de uit-geïntegreerde werklijn (groen gestippeld) van de Rijn bij Lobith, inclusief betrouwbaarheidsintervallen (gestippelde blauwe lijnen)



Figuur 5.17 Vergelijking werklijn HR-2006 (blauw) met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid (groen en rood respectievelijk) voor station Lobith

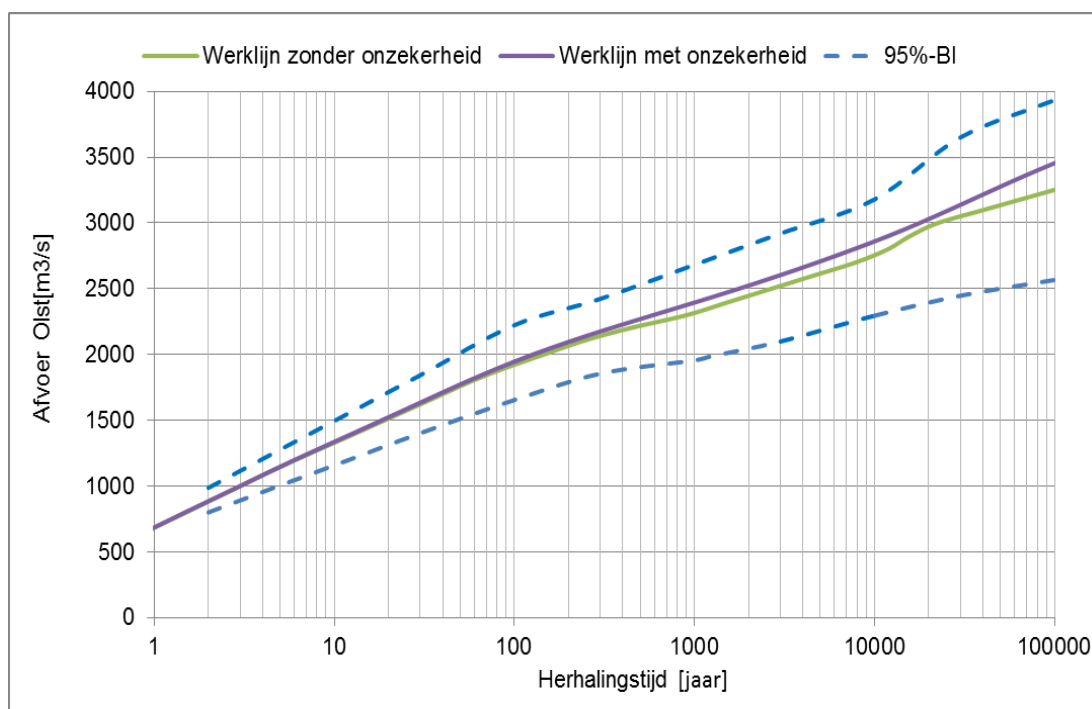
5.5.1.2 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst

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 3.4 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 herhalingstijd.

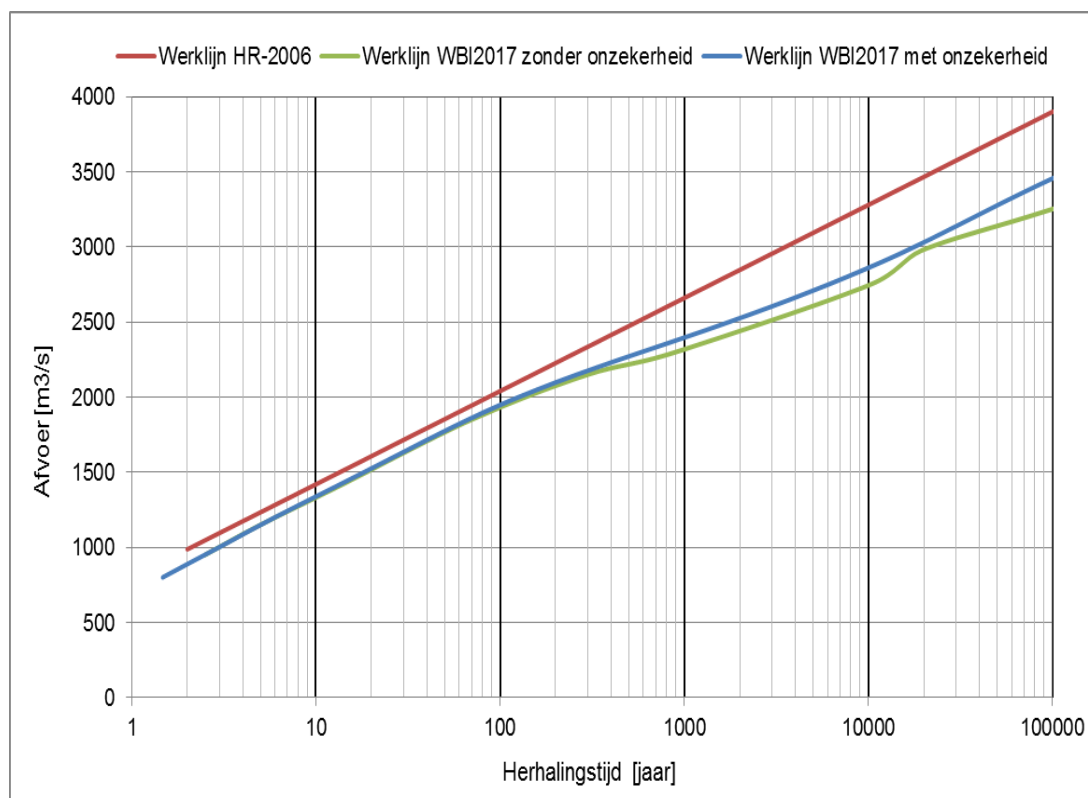
Tabel 5.9 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0 \text{ m}^3/\text{s}$ en σ afhankelijk van herhalingstijd (kolom 6).

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 [m^3/s]	σ [m^3/s]	
2	896	803	989	0	47	897
5	1143	1007	1279	0	69	1145
10	1329	1160	1497	0	86	1345
30	1624	1404	1844	0	112	1635
100	1940	1656	2224	0	145	1950
300	2140	1856	2424	0	145	2180
1000	2320	1957	2683	0	185	2395
1250	2360	1989	2731	0	189	2443
3000	2510	2100	2920	0	209	2600
10000	2738	2296	3179	0	225	2860
30000	3049	2448	3650	0	307	3147
100000	3251	2568	3933	0	348	3450



Figuur 5.18 Werklijnen IJssel bij Olst met (paars) en zonder (groen) statistische onzekerheid inclusief betrouwbaarheidsintervallen (gestippelde blauwe lijnen).

De werklijn met onzekerheden, de uit-geïntegreerde werklijn, is weergegeven in Figuur 5.18. Na uit-integreren van de statistische onzekerheid gaat de afvoer met een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar naar $2443 \text{ m}^3/\text{s}$ van $2360 \text{ m}^3/\text{s}$; een verhoging van ca. 3,5%. Voor een gemiddelde terugkeertijd van 100000 jaar gaat de afvoer met $200 \text{ m}^3/\text{s}$ omhoog; dit is ruim 6%.



Figuur 5.19 Huidige werklijn en werklijnen van GRADE (met en zonder statistische onzekerheid) bij Olst.

Figuur 5.19 laat een vergelijking zien tussen enerzijds de werklijn uit HR-2006 en anderzijds de werklijnen van GRADE in WBI-2017, met en zonder statistische onzekerheid, voor station Olst. Zoals te zien liggen beide werklijnen van GRADE onder de werklijn uit HR-2006. Het verschil is het kleinste voor herhalingstijden tussen 1 en 100 jaar. Het verschil tussen de werklijn uit HR-2006 en de werklijn van GRADE met onzekerheid bedraagt ca. $95 \text{ m}^3/\text{s}$; dit verschil geldt voor herhalingstijden tot 100 jaar. Vanaf herhalingstijden van 100 jaar loopt het verschil tussen deze 2 werklijnen gestaag op, tot ca. $450 \text{ m}^3/\text{s}$ voor $T = 100.000$ 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.

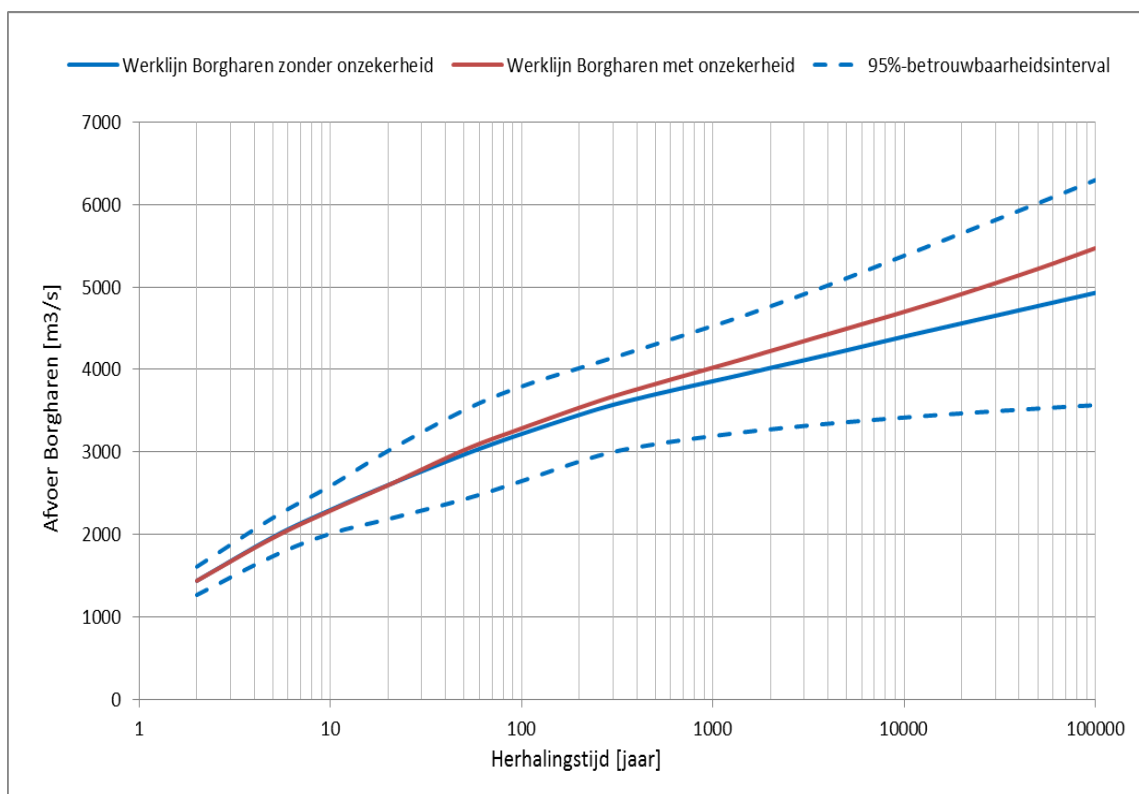
Op basis van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van GRADE gegeven in Tabel 3.5 is de statistische onzekerheid van de afvoerstatistiek van de Maas gemodelleerd door een normale verdeling. Tabel 5.10 omvat de parameterschattingen van deze verdeling. De uit-geïntegreerde werklijn is weergegeven in Figuur 5.20. Na uit-integreren van de statistische onzekerheid gaat de afvoer bij Borgharen met een gemiddelde terugkeertijd van 1250 jaar met $177 \text{ m}^3/\text{s}$ omhoog, van $3910 \text{ m}^3/\text{s}$ naar $4087 \text{ m}^3/\text{s}$; een verhoging van ruim 4%. Voor een

gemiddelde terugkeertijd van 100.000 jaar is het verschil groter en bedraagt ca. 540 m³/s; dit is ca. 11%. Het relatieve effect van het meenemen van de statistische onzekerheid is voor de Maas bij Borgharen 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 in Duitsland en maatregelen om deze overstromingen te beperken.

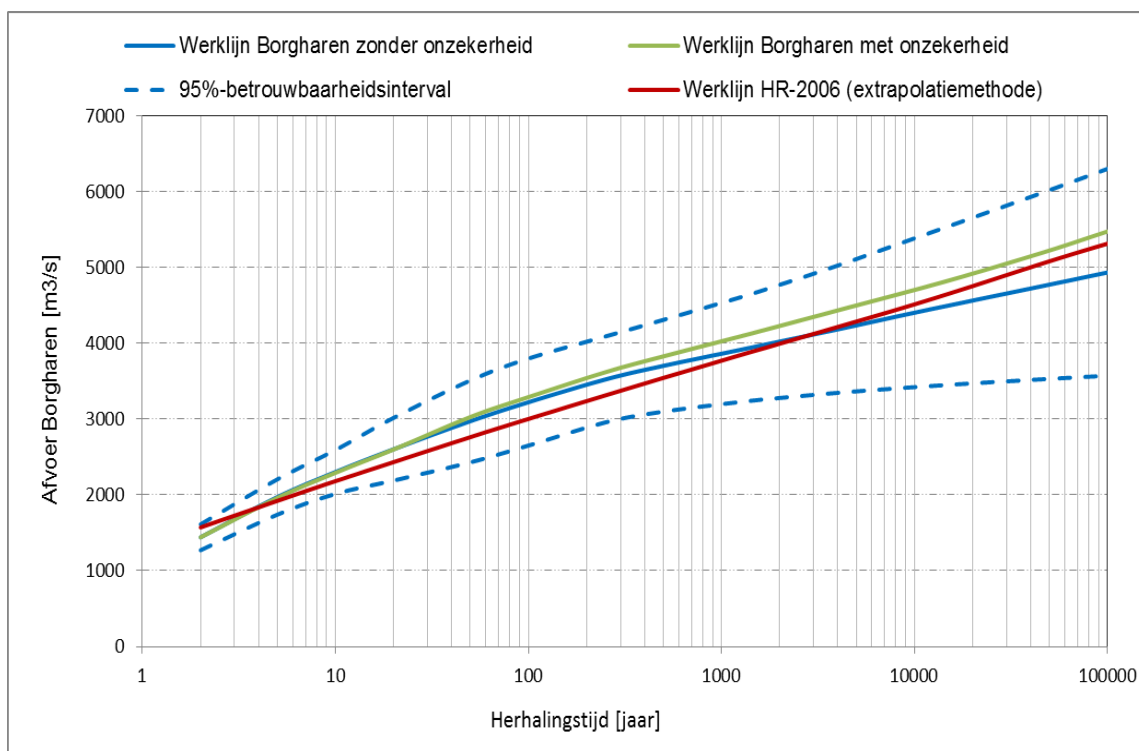
Tabel 5.10 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Borgharen: additief model, normale verdeling met $\mu = 0,0$ m³/s en σ afhankelijk van herhalings-tijd (kolom 6).

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	2,5% grens [m ³ /s]	97,5% grens [m ³ /s]	Mean [m ³ /s]	st. dev [m ³ /s]	afvoer incl. st. onzek. [m ³ /s]
2	1440	1269	1611	0	87	1440
5	1970	1738	2203	0	119	1960
10	2300	2012	2590	0	148	2290
20	2600	2188	3014	0	211	2598
50	2970	2428	3507	0	274	3025
100	3220	2649	3796	0	294	3288
250	3520	2954	4086	0	289	3615
500	3700	3096	4306	0	309	3825
1250	3910	3223	4602	0	353	4087
2000	4020	3276	4767	0	381	4225
4000	4180	3344	5021	0	429	4430
10000	4400	3419	5380	0	500	4700
20000	4560	3469	5652	0	557	4915
50000	4770	3528	6015	0	635	5220
100000	4930	3569	6296	0	697	5471

Ter vergelijking zijn in Figuur 5.21 de werklijn uit HR-2006, de werklijn en de uitgeïntegreerde werklijn van GRADE bij Borgharen in WBI-2017 afgebeeld. De uitgeïntegreerde werklijn van GRADE ligt hoger dan de werklijn van GRADE zonder statistische onzekerheid; de werklijn uit HR-2006 ligt onder beide werklijnen van GRADE tot een herhalings-tijd van ca. 2000 jaar en tussenin voor hogere herhalings-tijden. 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 5.20 De werklijnen, met en zonder onzekerheid, bij Borgharen inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 5.21 Vergelijking werklijn HR-2006 (rood) met werklijnen van GRADE met en zonder onzekerheid in WBI-2017 (groen en blauw respectievelijk) voor station Borgharen. Gestippelde blauwe lijnen beschrijven het 95%-betrouwbaarheidsinterval van GRADE.

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 bij Dalfsen.

Analoog aan de Rijn en de Maas is voor de Vecht aangenomen dat de statistische onzekerheid rondom de werklijn normaal verdeeld is. Als basis voor de schatting van de parameters van deze normale kansverdeling zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de situatie met overstromen gebruikt. Deze intervallen zijn tot stand gekomen door de transformatie uit Tabel 3.8 toe te passen op de 95%-betrouwbaarheidsintervallen uit HR-2006, welke weergegeven zijn in Tabel 3.9. Een uitgebreide beschrijving van de aanpak om tot schatting te komen van de parameters van de normale verdeling is te vinden in (Geerse, 2017). Dit is als bijlage toegevoegd aan dit rapport, zie Bijlage G.

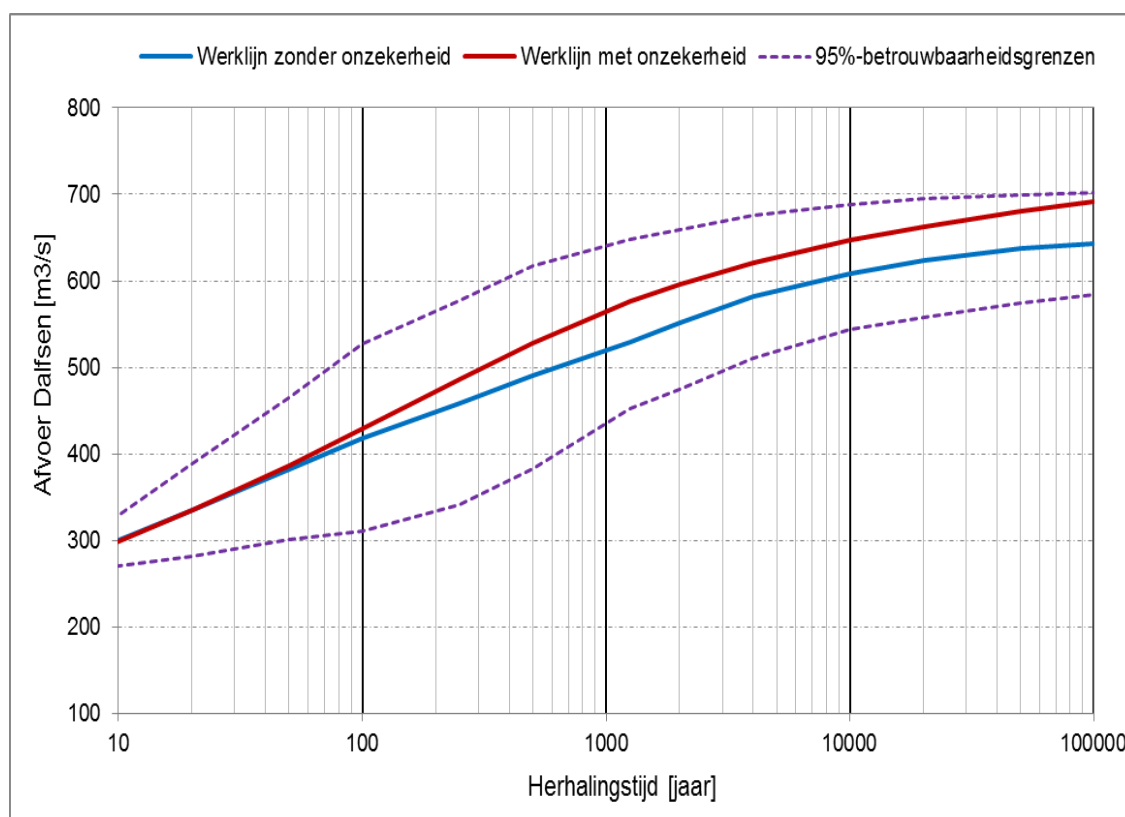
Tabel 5.11 omvat de parameterschattingen van de normale kansverdeling voor de statistische onzekerheid van de Vecht bij Dalfsen. De werklijnen, met en statistische onzekerheid, zijn afgebeeld in Figuur 5.22. Hierin is ook het geschatte 95%-betrouwbaarheidsinterval afgebeeld.

Als gevolg van het meenemen van de statistische onzekerheid gaat de afvoer van de Vecht bij Dalfsen omhoog. Voor een terugkeertijd van 1250 jaar gaat de afvoer omhoog naar (afgerond) 575 m³/s van 530 m³/s. Door rekening te houden met overstromen neemt de onzekerheid en het effect ervan niet toe.

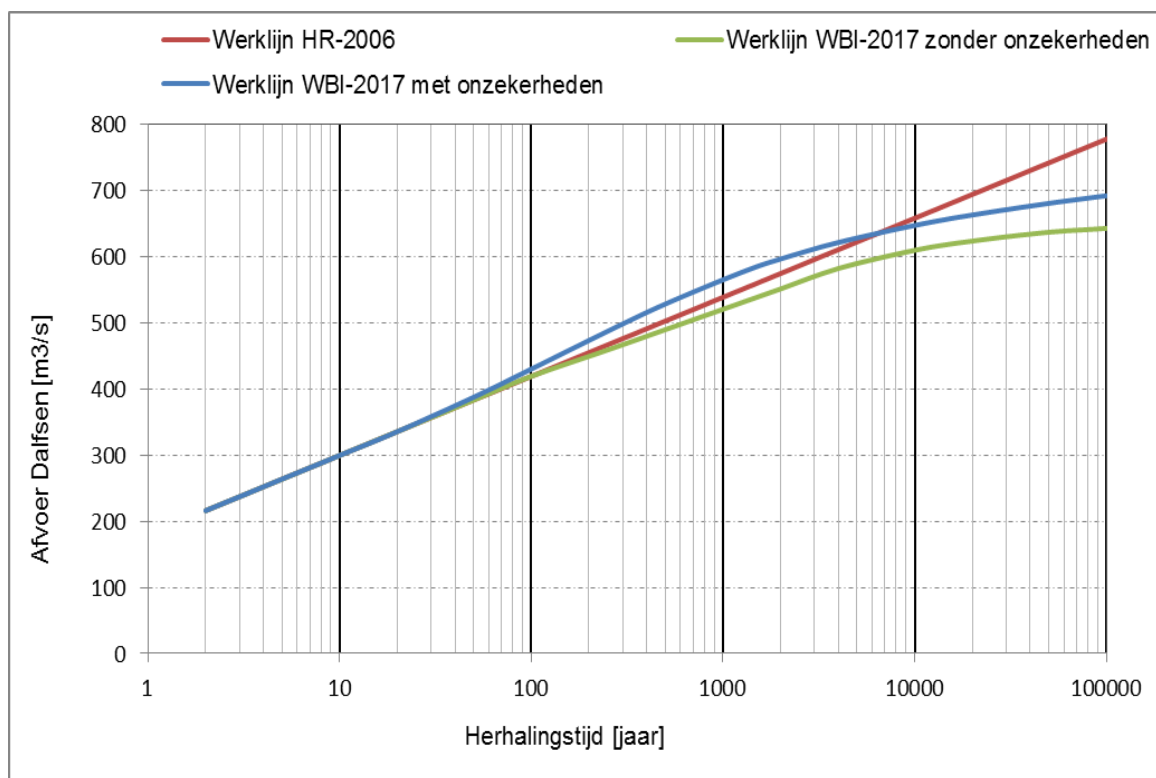
Figuur 3.23 toont een vergelijking tussen enerzijds de werklijn uit HR-2006 en anderzijds de werklijnen, met en zonder statistische onzekerheid, uit WBI-2017. De werklijn met statistische onzekerheid uit WBI-2017 ligt tot herhalingstijd van ca. 70.000 jaar op of boven de werklijn uit HR-2006 en voor herhalingstijden vanaf 70.000 jaar daaronder. Dit betekent dat, ten opzichte van HR-2006/WTI-2011, de situatie met overstromen in combinatie met rekeninghouden met onzekerheden een verhogend effect heeft op de waterstanden tot herhalingstijden tot ca. 70.000 jaar en verlagend voor herhalingstijden daarboven. Het grootse effect treedt op voor herhalingstijden van rond 1000 jaar.

Tabel 5.11 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen: additief model, normale verdeling met gemiddelde μ en standaarddeviatie σ afhankelijk van herhalings-tijd (kolom 5 en 6). Inclusief 95%-betrouwbaarheidsinterval en werklijn met onzekerheden (kolom 7)

Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	95%-interval		Mean μ [m ³ /s]	St. dev. σ [m ³ /s]	Afvoer incl stat. onz. [m ³ /s]
		ondergrens	bovengrens			
2	216	200	232	0	8	216
5	264	240	288	0	12	264
10	300	271	329	0	15	299
20	335	282	388	0	27	335
50	383	301	465	0	42	387
100	419	311	527	0	55	430
250	459	341	577	0	60	487
500	490	382	618	10	60	528
1250	530	452	648	20	50	576
2000	551	475	659	16	47	596
4000	582	511	675	11	42	621
10000	609	543	689	7	37	647
20000	623	558	696	4	35	663
50000	637	574	700	0	32	680
100000	643	584	702	0	30	692



Figuur 5.22 Werklijnen Vecht bij Dalfsen: zonder statistische onzekerheid (blauw) en met statistische onzekerheid (rood). Gestreepte paarse lijnen beschrijven het 95%-betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 5.23 Werklijnen Dalfsen met (blauwe lijn) en zonder statistische onzekerheid (groene lijn), inclusief de werklijn uit HR-2006 (rode lijn).

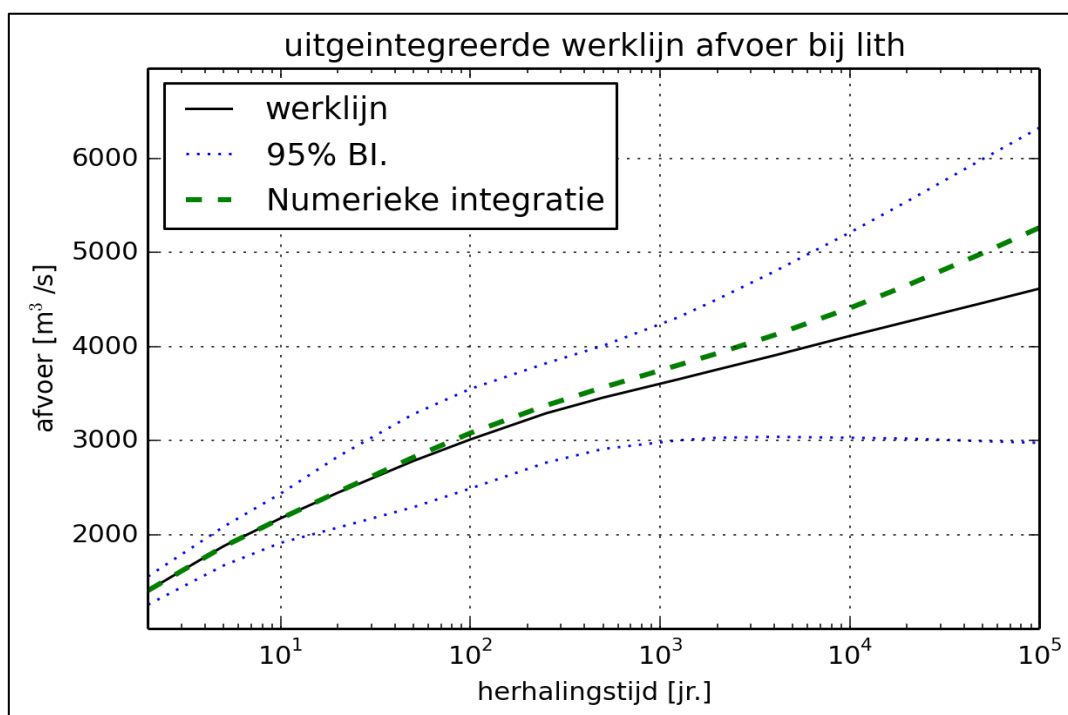
5.5.1.5 Statistische onzekerheid afvoerstatistiek van de Maas bij Lith

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 herhalingstijd (kolom 6).

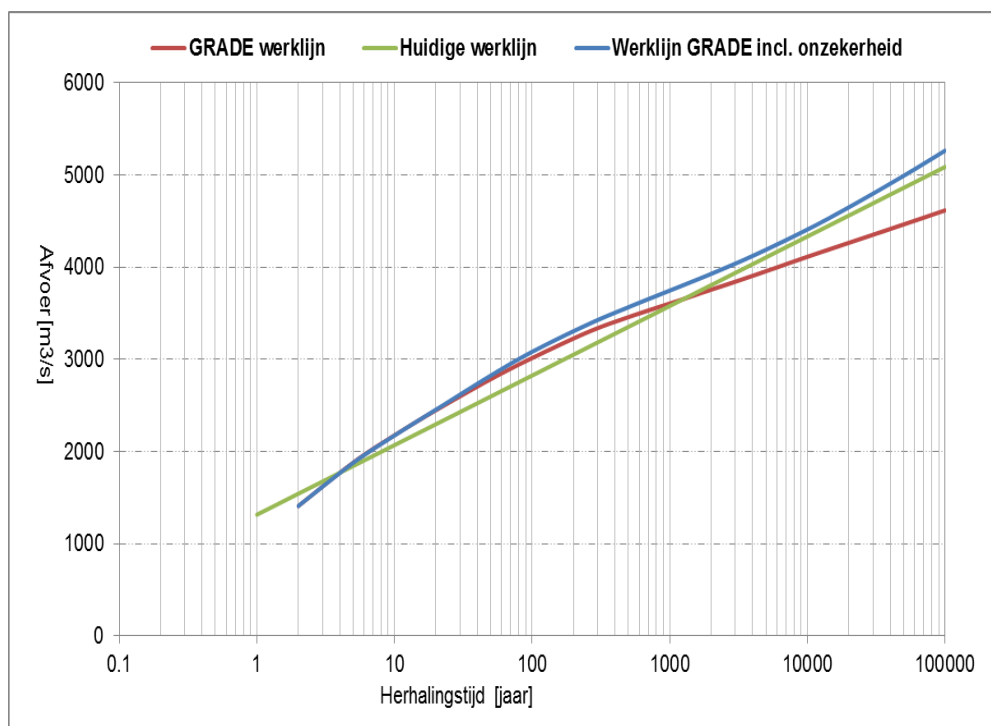
Herhalings-tijd [jaar]	Afvoer [m ³ /s]	2,5% grens [m ³ /s]	97,5% grens [m ³ /s]	Mean [-]	St. dev [-]	Afvoer incl. stat. onz. [m ³ /s]
2	1409	1258	1560	0	77	1400
5	1880	1672	2089	0	106	1875
10	2177	1916	2439	0	133	2183
20	2448	2074	2825	0	191	2450
50	2785	2297	3279	0	251	2835
100	3014	2487	3547	0	270	3080
250	3291	2770	3818	0	267	3300
500	3458	2899	4024	0	287	3580
1250	3653	3012	4304	0	329	3820
2000	3756	3063	4460	0	356	3940
4000	3906	3124	4703	0	403	4120
10000	4113	3198	5047	0	472	4399
20000	4264	3243	5309	0	527	4600
50000	4463	3296	5662	0	604	4900
100000	4616	3331	5937	0	665	5130

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 herhalingstijd. De werklijn van Maas bij Lith, na verdisconteren van de statistische onzekerheid is weergegeven in Figuur 5.24. 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 5.24 Uit-geïntegreerde werklijn van de Maas bij Lith.

Figuur 5.25 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 5.25 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.

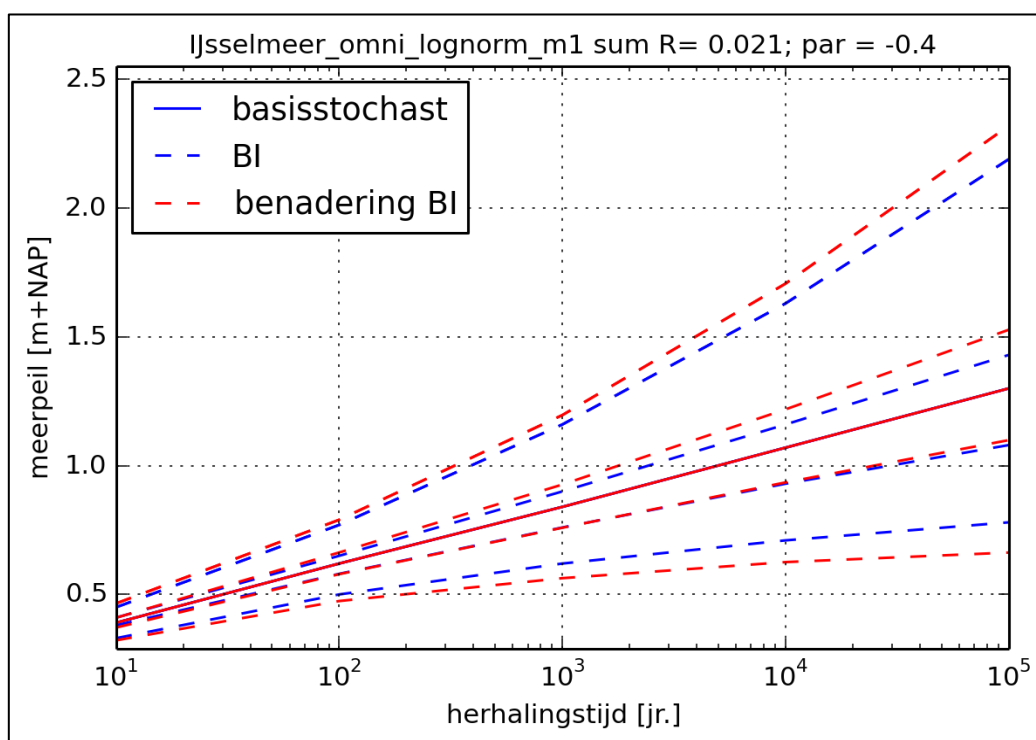
$\mu = -0.0077351$ $\sigma = 0.04614$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen [m+NAP] bij gegeven percentages [%]														
T [jaar]	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	2,5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97,5%	
10	0,40	0,39	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	
100	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 5.26. 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

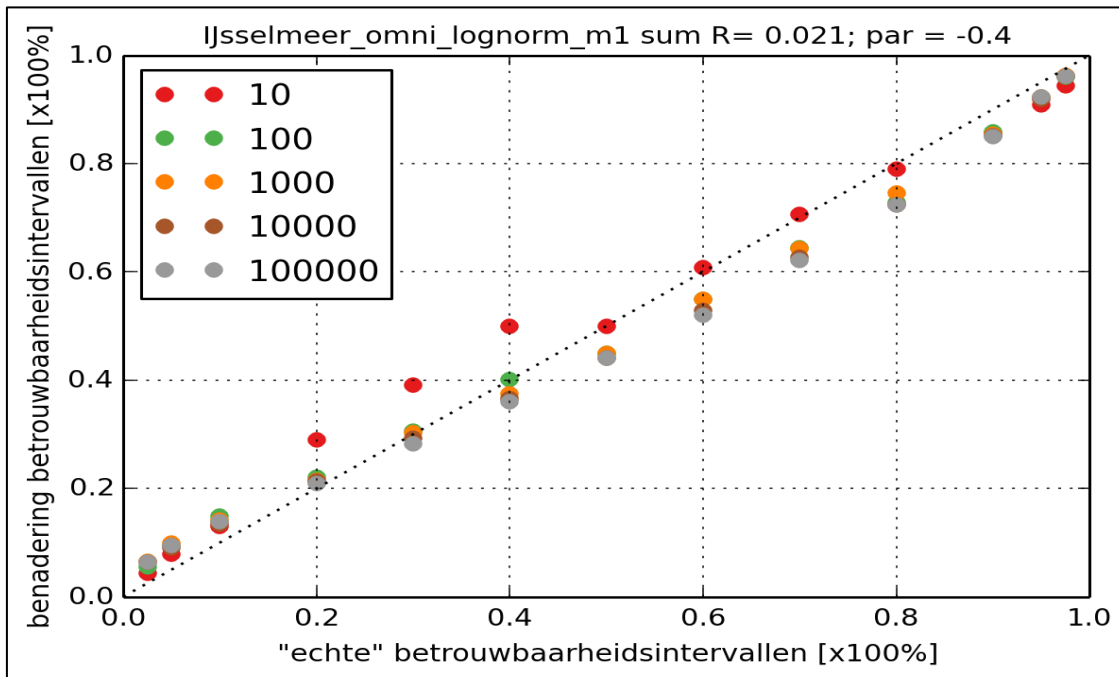
gemiddelde (μ) en de locatieparameter van de lognormaalverdeling vooraf vastgesteld, terwijl de standaardafwijking, de parameter σ , is gefit met behulp van de 'maximum likelihood' methode. De parameter μ is gelijk aan nul gekozen zodat de mediaan van de onzekerheid overeenkomt met nul. De locatieparameter 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 5.27.

Tabel 5.14 Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid

Herhalings-tijd [jaar]	Meerpeil [m+NAP]	Mean μ [m+NAP]	St. dev σ [m+NAP]	Eps [m+NAP]	Location par. [m+NAP]	Shape par. [m+NAP]	Meerpeil 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
1.000	0,84	0	0,136	-1,24	0,209	0,110	0,89
10.000	1,07	0	0,231	-1,47	0,373	0,156	1,20
100.000	1,30	0	0,350	-1,70	0,510	0,204	1,59

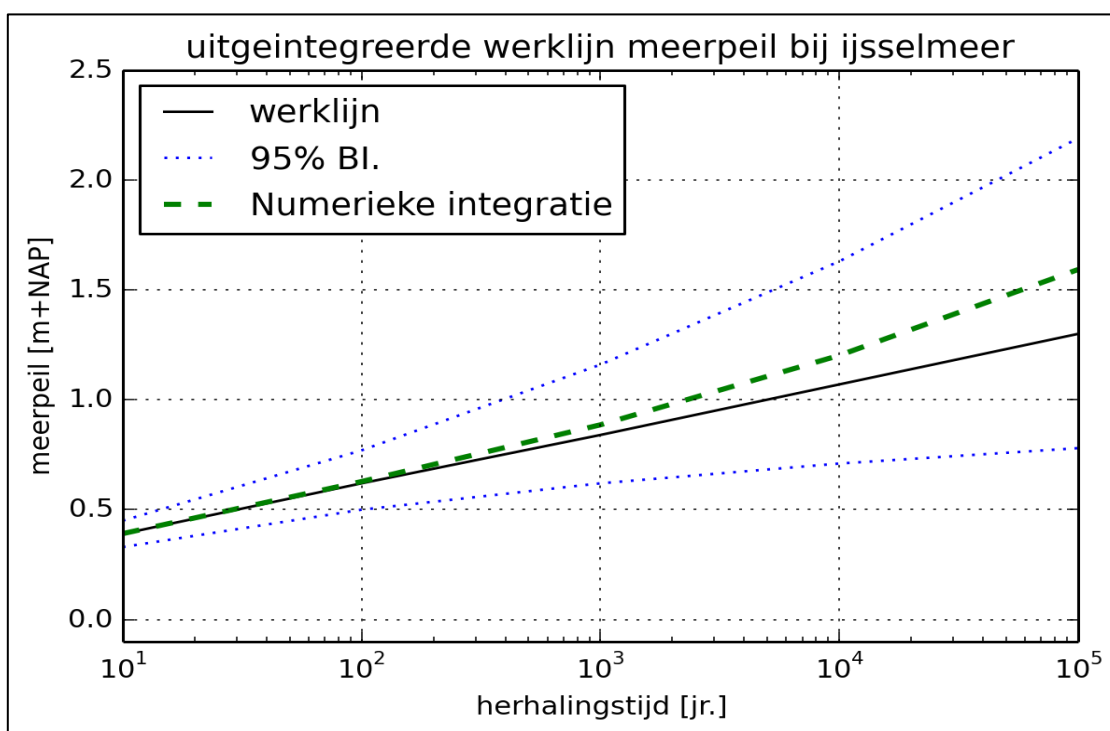


Figuur 5.26 Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.



Figuur 5.27 Verschil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het IJsselmeer voor verschillende terugkeertijden.

Figuur 5.28 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 5.28 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.

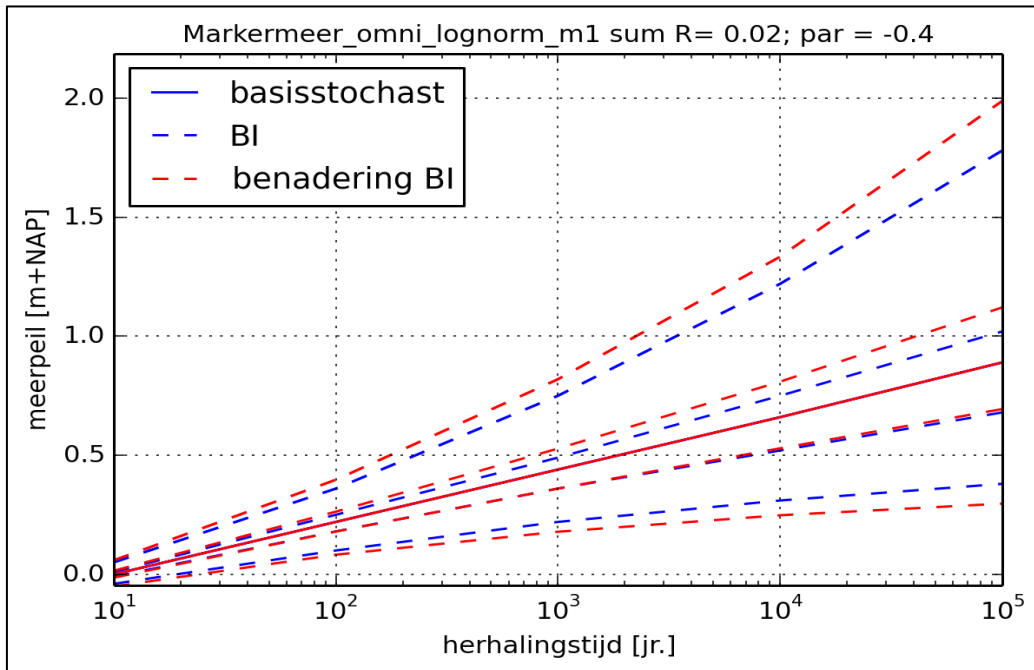
Tabel 5.15 Betrouwbaarheidsintervallen meerpeilstatistiek Markermeer, verschillende kwantilen

T [jaar]	Exp. [m+NAP]	Gem. TR [m+NAP]	Grenzen betrouwbaarheidsintervallen [m+NAP] 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	

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 5.29. De residuschattingen zijn weergegeven in Figuur 5.30 en de uitgeïntegreerde werklijn in Figuur 5.31.

Tabel 5.16 laat zien dat het effect van het meenemen van de statistische onzekerheid groot is, vooral voor extreme hoge Markermeerpeilen. Voor een herhalingsstijd van 1.000 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 hiermee ca. 11%. Voor een herhalingsstijd van 100.000 jaar leidt het uit-integreren

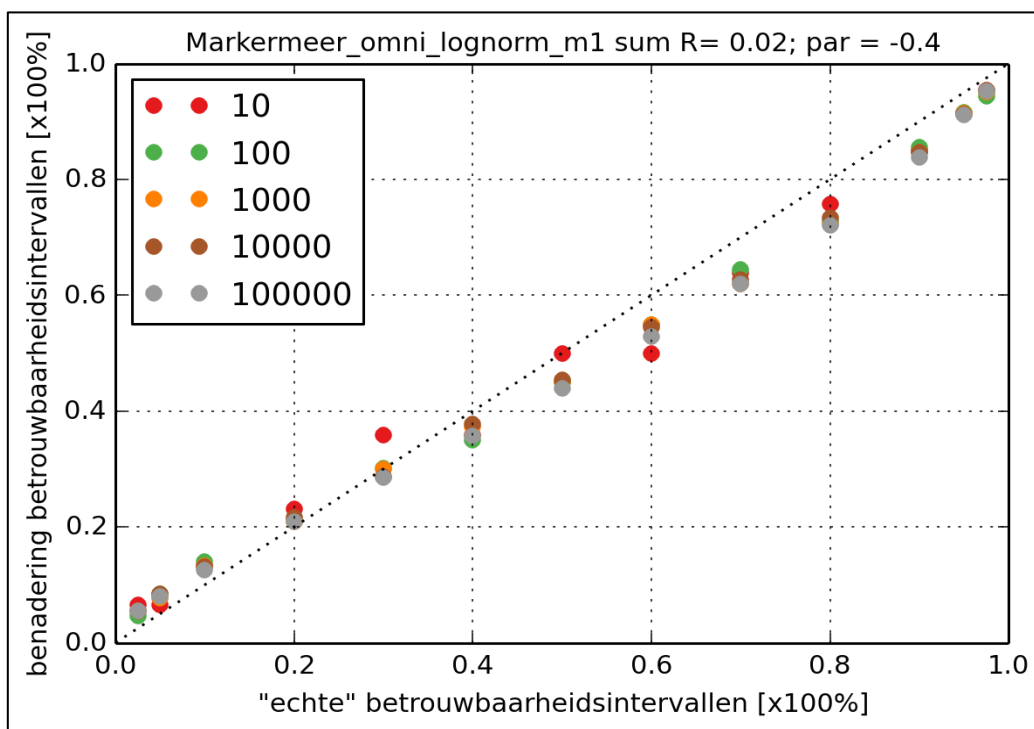
van de statistische onzekerheid tot een verhoging van ruim 33%. Het Markermeerpeil gaat namelijk naar 1,19 m+NAP van 0,89 m+NAP. Vooral in gebieden waar het Markermeerpeil een dominante rol speelt boven de wind, zullen de maatgevende waterstanden soortgelijke verhogingen ondervinden.



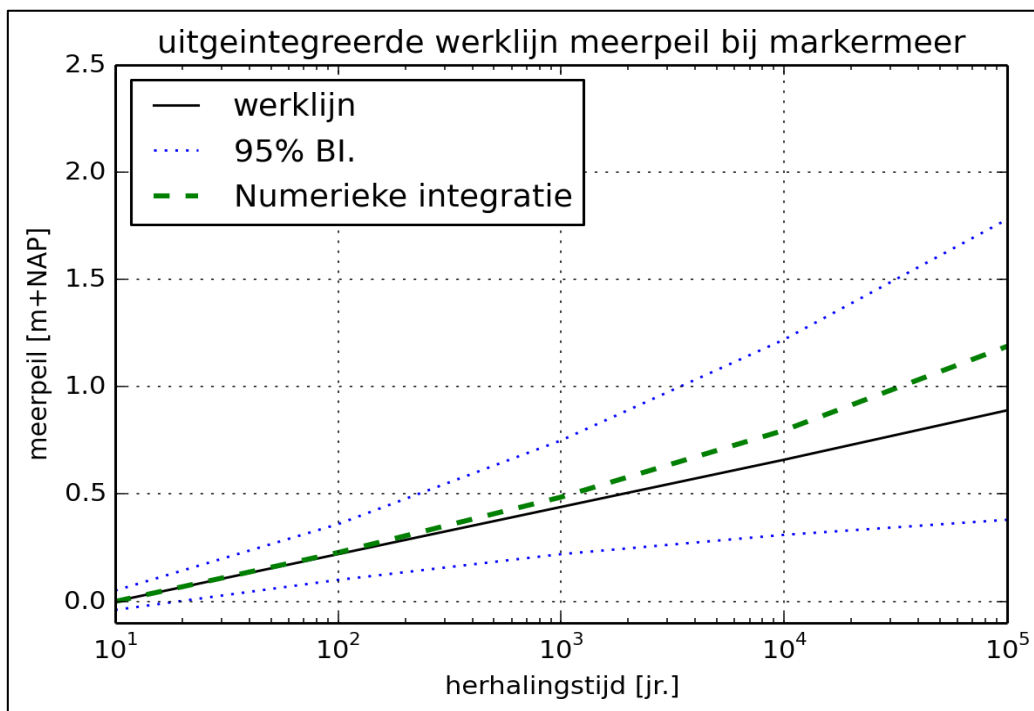
Figuur 5.29 Statistische onzekerheid IJsselmeerpeil: verschillende percentielen en hun schattingen.

Tabel 5.16 Parameters statistische onzekerheid IJsselmeerpeil, inclusief peil met onzekerheid

Herhalings tijd [jaar]	Meerpeil [m+NAP]	Mean μ [m+NAP]	St. dev σ [m+NAP]	Eps [m+NAP]	Location [m+NAP]	Shape [-]	Meerpeil 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
1.000	0,44	0	0,136	-0,84	-0,187	0,161	0,49
10.000	0,66	0	0,226	-1,06	0,036	0,211	0,80
100.000	0,89	0	0,348	-1,29	0,220	0,265	1,19



Figuur 5.30 .Verskil 'echte' en 'benadering' betrouwbaarheidsintervallen van het Markermeer voor verschillende terugkeertijden.



Figuur 5.31 Uit-geïntegreerde werklijn van het Markermeerpeil.

5.5.3 Statistische onzekerheid zee­water­stands­statistiek

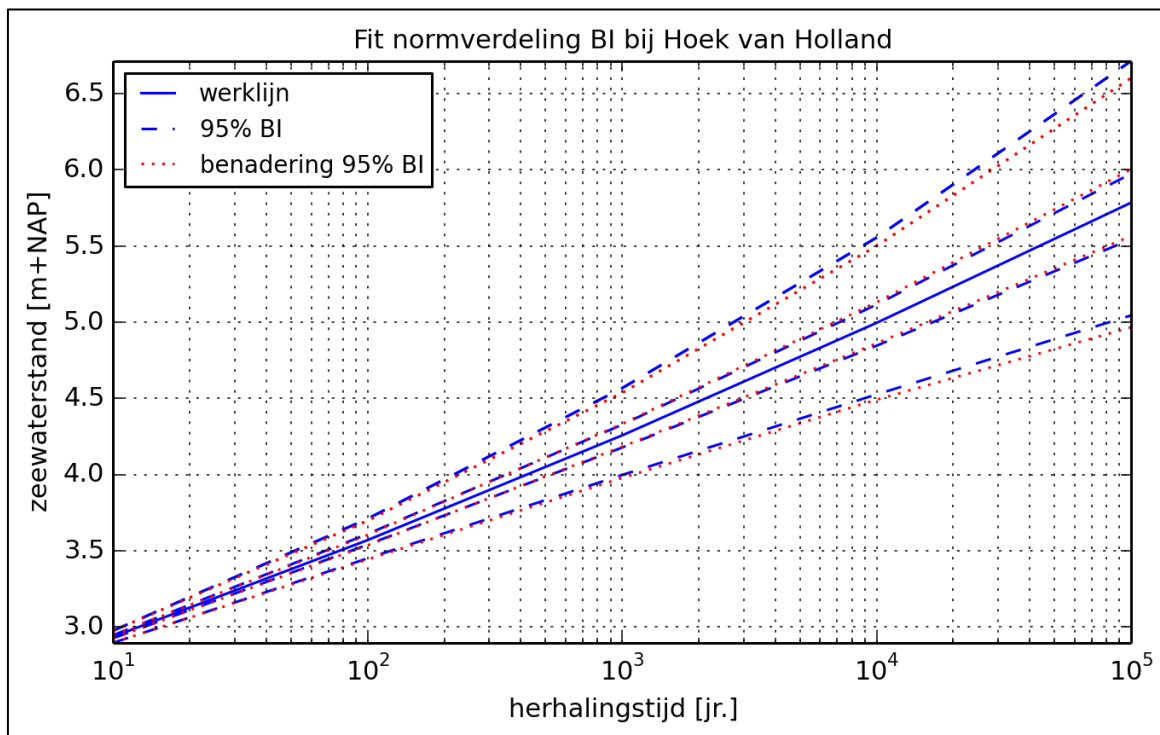
De zee­water­stands­statistiek op ver­schil­len­de sta­tions langs de kust is be­schre­ven in pa­ra­graaf 3.5. De per­centi­elen be­ho­ren­de bij ver­schil­len­de kwanti­elen kwa­men aan de or­de in pa­ra­graaf 5.3. Op ana­loge wij­ze als voor meer­pei­len zijn op ba­sis van de per­centi­elen van de

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

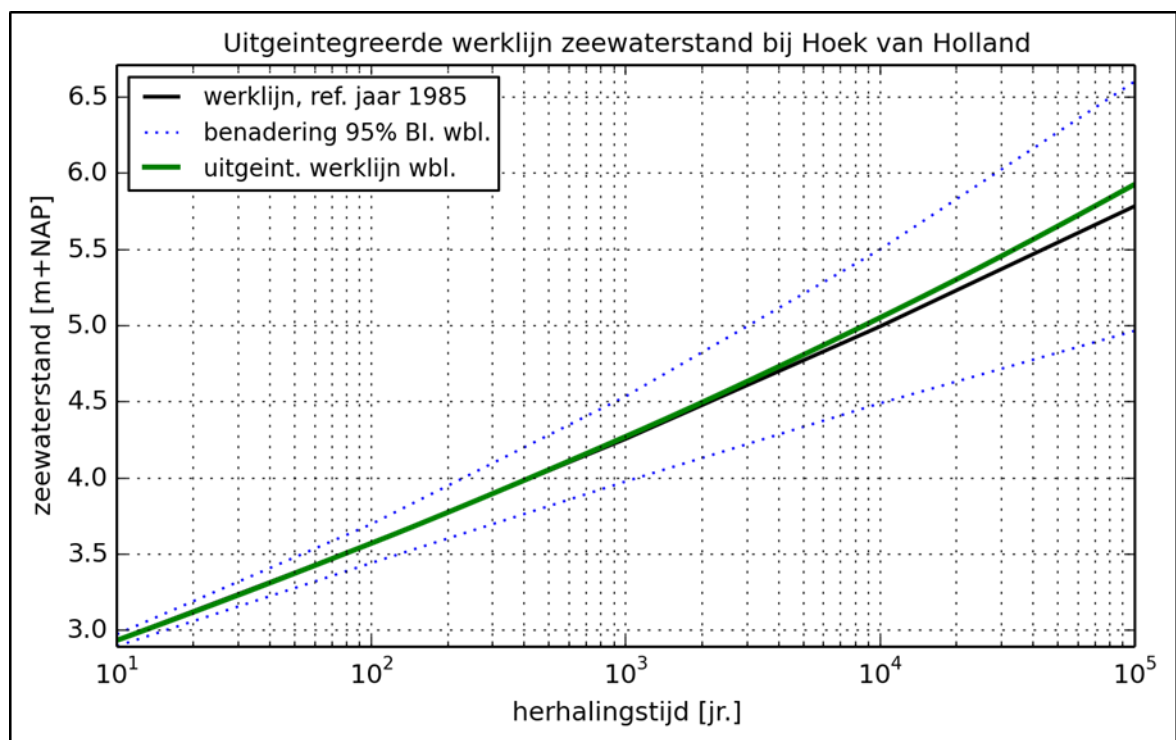
Op analoge wijze als hierboven (zie sub-paragraaf 5.5.1.1) zijn voor elke station op basis van de percentielen van de zeewaterstand schattingen gemaakt van de statistische onzekerheid, door middel van het fitten van een normale verdeling. Het gemiddelde van de normale verdeling is vooraf vastgesteld 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 [m+NAP]	σ [m+NAP]	Werklijn met onzekerheid [m+NAP]
10	2,93	2,90	2,98	0	0,0200	2,93
100	3,57	3,45	3,71	0	0,0650	3,57
1.000	4,26	4,00	4,57	0	0,1425	4,27
10.000	5,00	4,54	5,57	0	0,2575	5,05
100.000	5,78	5,07	6,74	0	0,4175	5,93



Figuur 5.32 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.



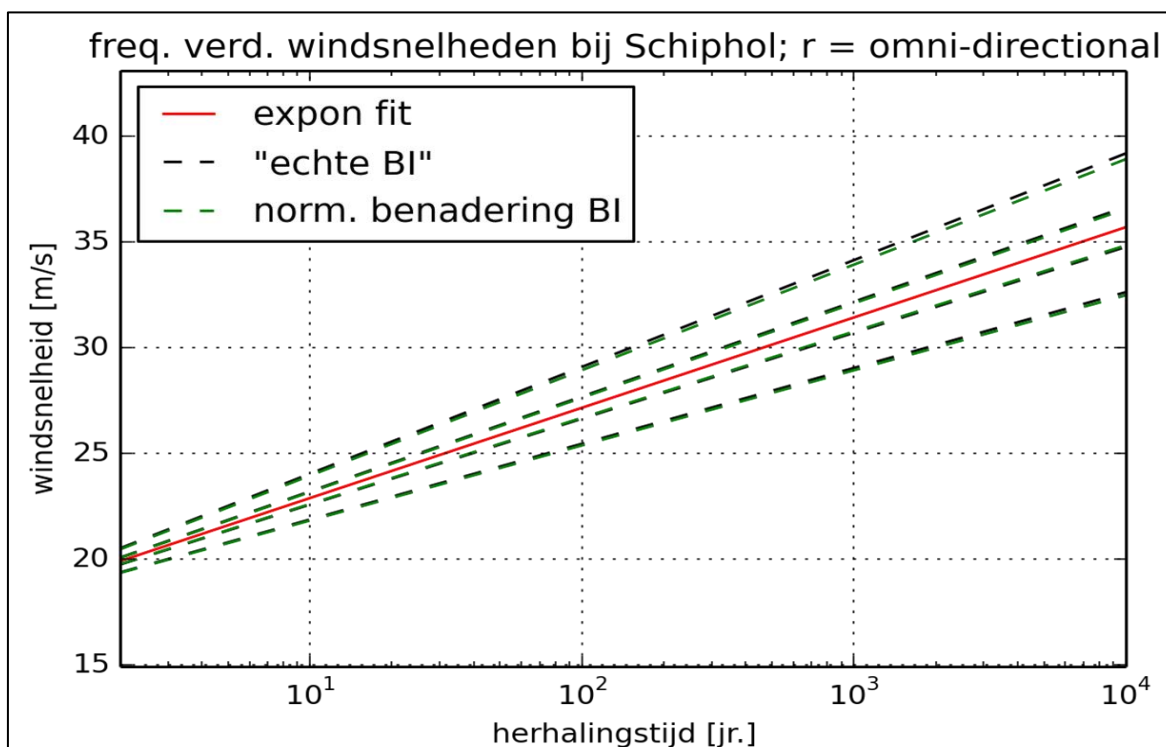
Figuur 5.33 Werklijn en uit-geïntegreerde werklijn zeewaterstand bij Hoek van Holland, inclusief betrouwbaarheidsintervallen.

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 5.34 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 5.34 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 5.34 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.

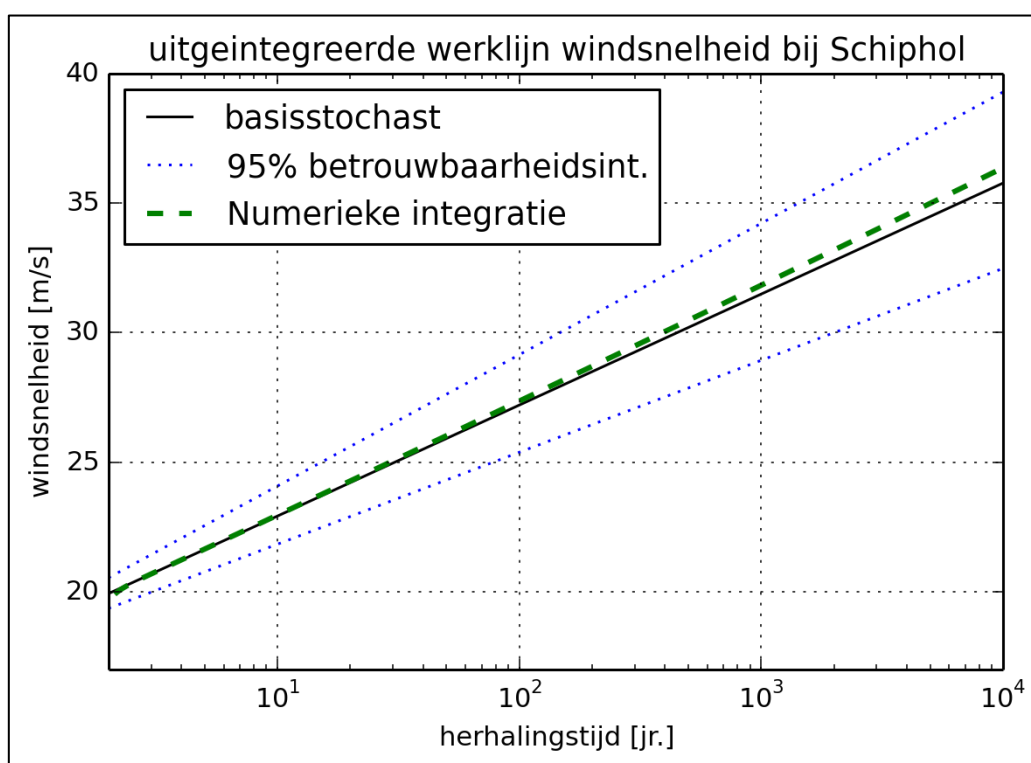
Tabel 5.18 Modelparameters statistische onzekerheid bij Schiphol, omni-directional.

Herhalings-tijd [jaar]	Windsnelheid [m/s]	2.5% grens [m/s]	97% grens [m/s]	μ [m/s]	σ [m/s]	Windsnelheid met onz. [m/s]
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 et al, 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 10.000-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 kwantielen (herhalingstijden), dus niet alleen voor de omni-directionele maar ook de richtingsafhankelijke windstatistiek. Dit is gedaan voor alle windstations die gebruikt worden voor probabilistische berekeningen in Hydra-Ring, zie Tabel 5.19.



Figuur 5.35 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 [m/s]	σ [m/s]
Schiphol (16 richtingen)	1 t/m 7 en 17	1	0,047
Schiphol (12 richtingen)	8	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

Zoals beschreven in paragraaf 3.6.7 gelden voor de regio's 7, 8 (IJsselmeer en Markermeer) en 14 (Oosterschelde) aangepaste windstatistieken bij Schiphol (12 en 16 windrichtingen) en Vlissingen (12 windrichtingen). In de aangepaste windstatistiek zijn correcties aangebracht voor winddragformulering. In WBI-2017 is besloten om voor de aangepaste windstatistiek dezelfde parameters te hanteren voor statistische onzekerheid als de niet aangepaste windstatistiek. In Hydra-Ring is bijvoorbeeld de windstatistiek bij station Schiphol met en

zonder correctie voor winddragformulering geïmplementeerd. Voor beide statistieken geldt conform Tabel 5.19 een multiplicatief model met parameters $\mu = 1$ m/s en $\sigma = 0,047$ m/s.

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 zeewaterstand²⁸ bij Maasmond, variërend tussen +2.40 m+NAP en +6.40 m+NAP, zijn voor het gehele Eurpoortgebied daarom seiches toeslagen 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 langere herhalings tijden (orde 10,000 jaar) fors groter kunnen zijn dan de onzekerheden in de seiches, zal de seiche-onzekerheid bij deze herhalings tijden 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 kortere herhalings tijden (orde 100 jaar), waar de onzekerheden van de seiches wel degelijk een grote invloed hebben dienen deze toch te worden meegenomen.

In Beckers (2014) wordt een voorstel gedaan voor het meenemen van de onzekerheden. Dit voorstel is in WBI-2017 overgenomen. Het voorstel is om deze onzekerheid uit te drukken in een multiplicatief model van het berekende seichestoelag. Het model is een stochast met een normale verdeling met gemiddelde 1 en standaard afwijking 0,3 m. 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). Onzekerheden in seiches worden als niet gecorreleerd met onzekerheden in waterstanden aangenomen.

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).

²⁸ De zeewaterstand bij Maasmond wordt verkregen door een verschuiving met -0.02 m van zeewaterstand bij Hoek van Holland

6 Samenvatting en conclusies

Dit rapport beschrijft de basisstochasten die voor de deelsystemen van primaire waterkeringen in WBI-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 de onzekerheid in de afvoerverdeling op de splitsingspunten) als modelonzekerheden achteraf in rekening gebracht op de waterstand en golfcondities. Het beschrijven van deze modelonzekerheden valt echter 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.

Van de basisstochasten zeewaterstand (verschillende zee stations) en meerpeil (IJsselmeer en Markermeer) waren vanuit WTI-2011 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 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.

De onzekerheid in Seiches is als een multiplicatief model op de met PHAROS berekende seiches toeslagen toegevoegd aan Hydra-Ring. Het model is een normale verdeling met gemiddelde 1 m en standaard afwijking van 0.3 m.

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

Stochast/grootheid	Verandering t.o.v. WT12011/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-meerpeil	Onveranderd	Geen effect
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.
-------------------	---------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

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, 2017. Modelonzekerheid Hydra-Ring. Wettelijk toetsinstrumentarium WTI-2017. Deltares rapport 1209433-008-HYE-0007. Delft 2014.

Chbab, E.H. en Beckers J. 2017. Aanpassing statistiek Hydra-Ring en analyse overgangen watersystemen. Deltaresrapport 1230087-011-HYE-0002. Delft 2017

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,

Deltares, 2016. WAQUA productieberekeningen bovenrivieren Rijntakken. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0013 (R. Agtersloot en A.J. Paarlberg).

Deltares, 2016b. WAQUA productieberekeningen bovenrivieren Maas. Deltares rapport

1220082-001-HYE-0012 (R. Agtersloot en A.J. Paarlberg).

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).

Diermanse, F. 2016. Analyse correlatiemodel Vecht- en IJsseldelta. Deltares memo 1230087-000-HYE-0003.

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 produktieberekeningen 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 op- en 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., Buisland, 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.

Hegnauer, M. en van den Boogaard, H. (2016). GPV verdeling en keuze Weissman drempel in de GRADE onzekerheidsanalyse voor de Maas. Deltares rapport 1230045-006-ZWS-0001.

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 WBI-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

Geerse, C.P.M.(2016) Voorstel voor aanpassing Vechtstatistiek en modelonzekerheid waterstand. HKV memo PR3280.20. 12 september 2016. Lelystad.

Geerse, C. (2017) Memo ten behoeve van de implementatie van nieuwe werklijnen voor Vechtafvoer bij OIst. HKV lijn in water, 2017. In opdracht van Deltares.

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

Langenheem, H, van de en Berger, H.E.J. (2002), Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas. W. van de Langenheem, 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. Waterstandsrekwenties 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 rivierverruiming. HKV en Arcadis rapport PR1542. 2009.

Vledder, van. G. (2016). Stappenplan aanpassing hydraulische randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag. Memo vc55m1r3. Van Vledder Consulting.

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.

Vuik, V., Collard, E., Rotsaert, M. en da Silva, J. 2011. WAQUA-productieberekeningen IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta voor WTI-2011. Rapportage fase. HKV rapport PR1878.10. September, 2011.

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

Paramaters 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

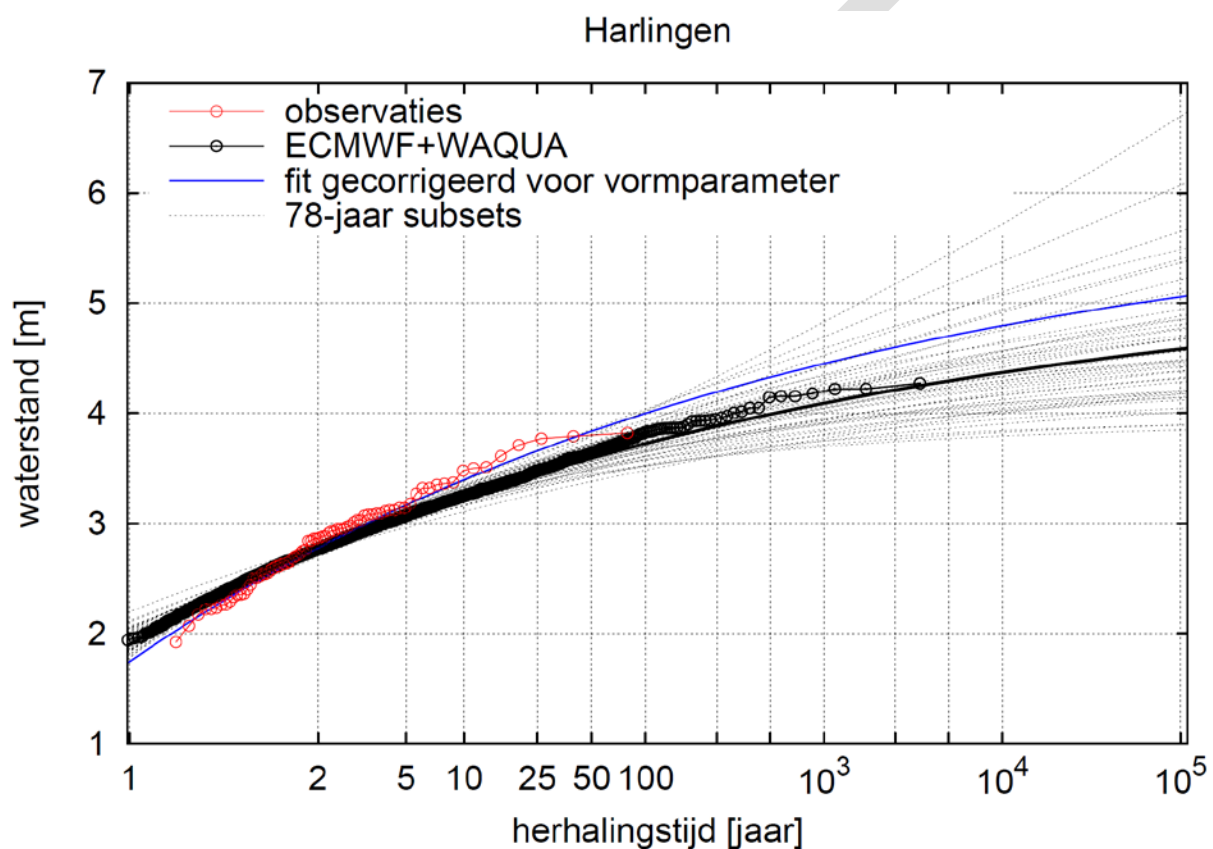
Van den Brink & Können (2008, 2011) hebben aangetoond dat reeksen die korter zijn dan 100 jaar niet nauwkeurig geëxtrapolerd kunnen worden met een 3-parameter verdeling. Om de neerwaartse kromming van de verdeling voor het Waddengebied toch te honoreren, onderzoeken we of de dataset van 3439 jaar, gebaseerd 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).

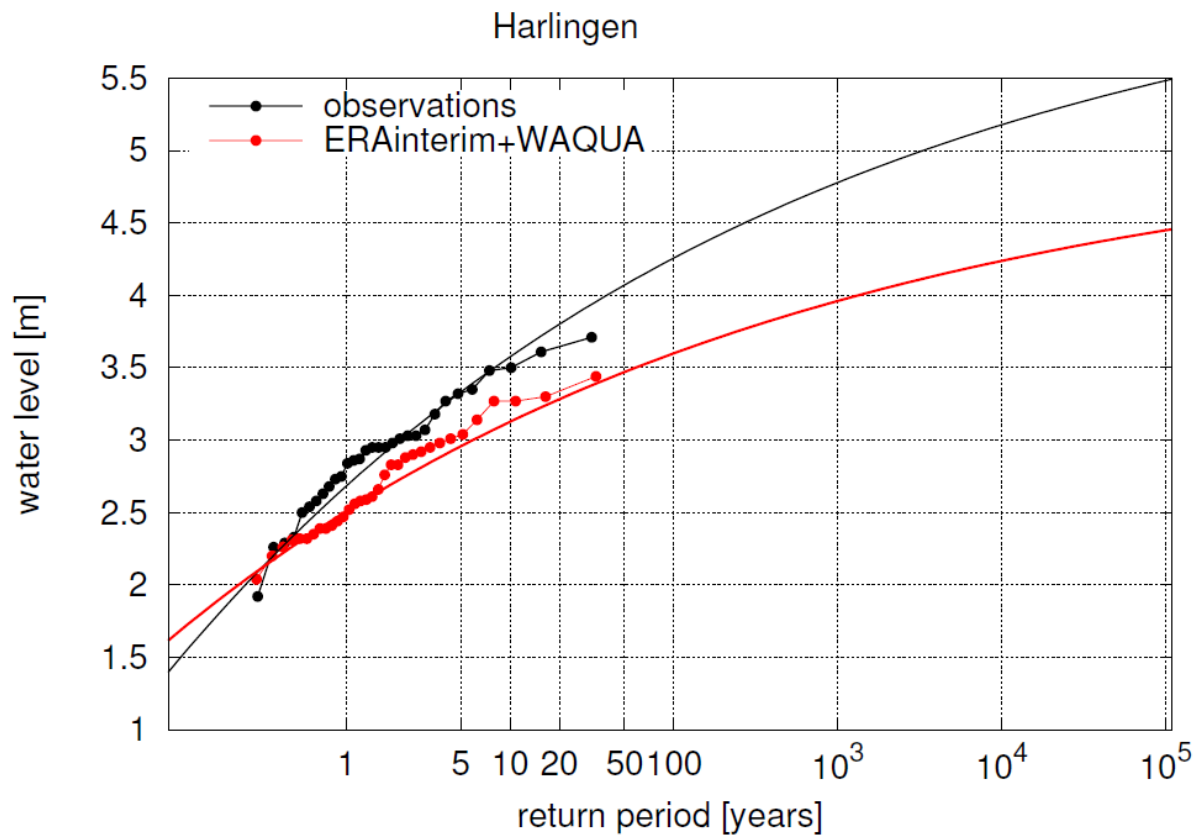


Figuur 1: Gumbelplot van de jaarmaxima in Harlingen. Rood: 78 jaar observaties, zwart: 3439 jaar ECMWF+WAQUA, stippelijnen: GEV extrapolaties vanuit 45 subsets van elk 78 jaar. Blauw: GEV fit aan de observaties met de vormparameter van het model,

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

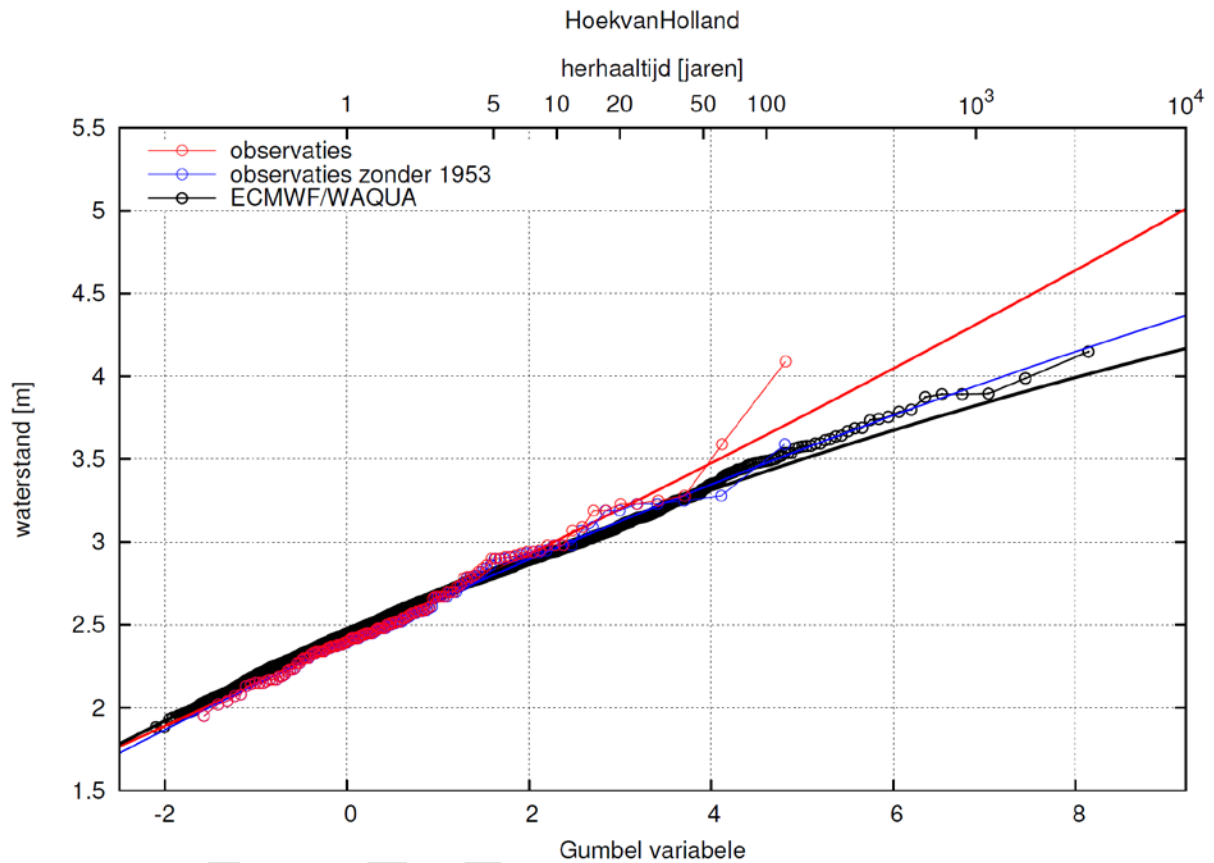
Hollandse kust, maar de waterstanden in het Waddengebied zijn veel gevoeliger voor de lokale wind dan die langs de Hollandse kust.



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

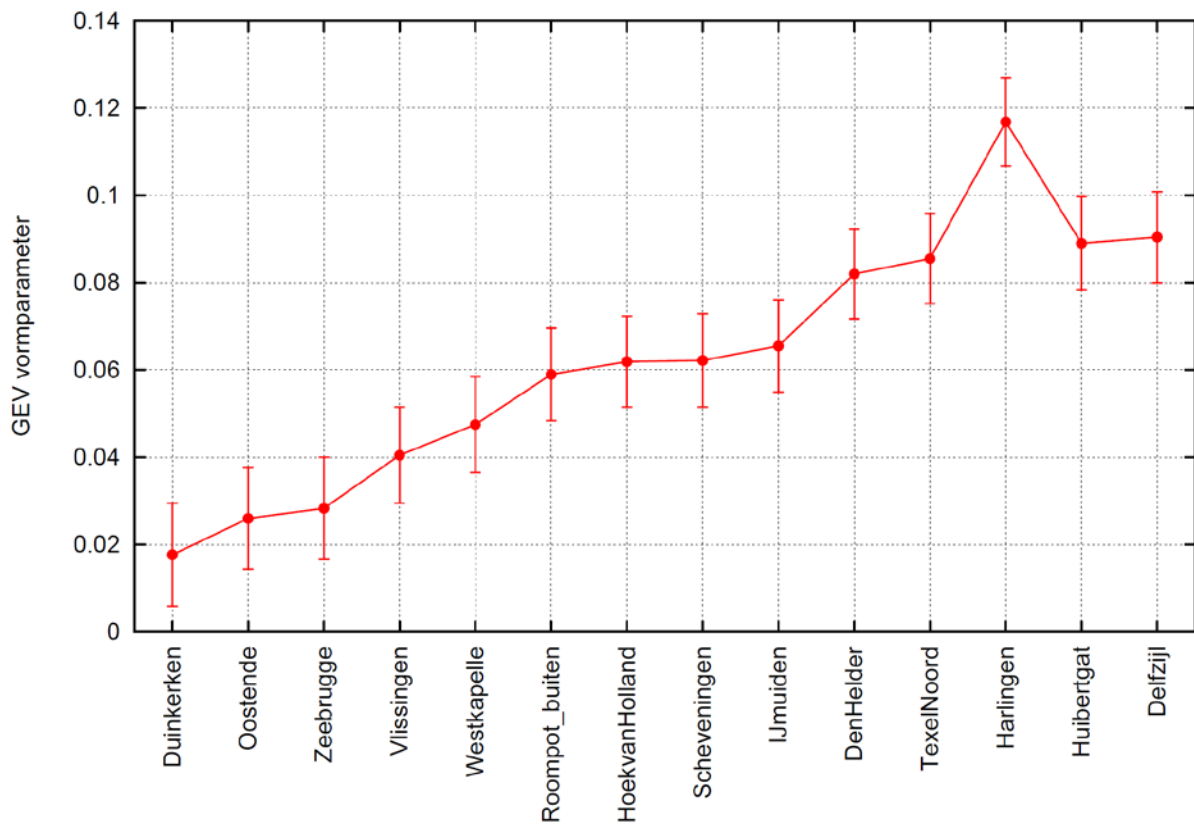
Figuur 3 geeft de Gumbelplot voor de waterstand in Hoek van Holland. De observaties geven een hogere fit dan het model, maar dit kan volledig toegeschreven worden aan de grote invloed die de waterstand van 1953 heeft, zowel op de fit als op de visuele weergave in een Gumbelplot. Om dit te illustreren, 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.

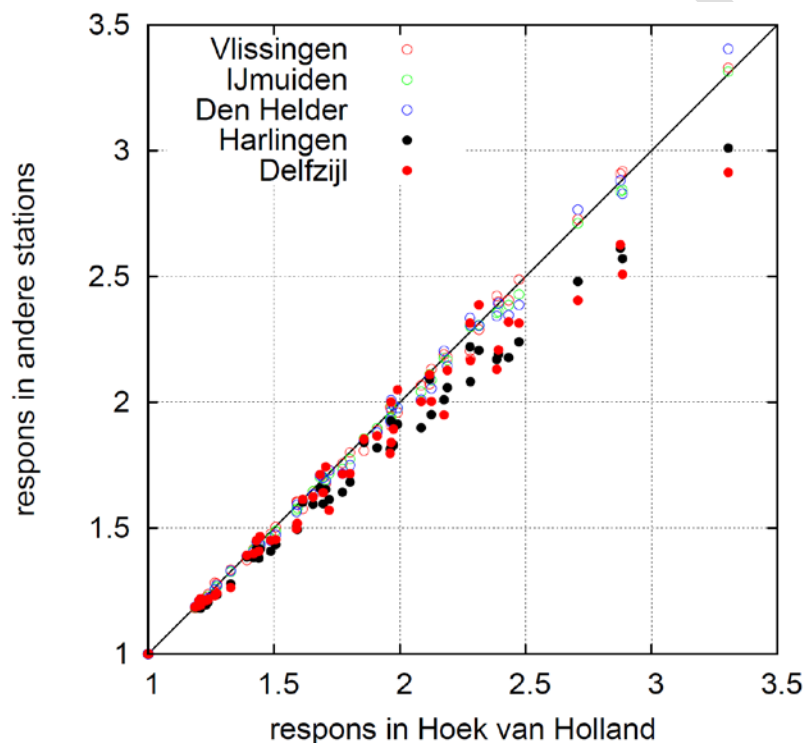


Figuur 4: GEV vormparameter ("krommingsterm") van de waterstand voor verschillende locaties langs de kust. Een vormparameter van 0 correspondeert met een lineaire extrapolatie. De verticale lijnen geven de standaard fout weer.

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 analogoos 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
- Huijbertgat
- 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

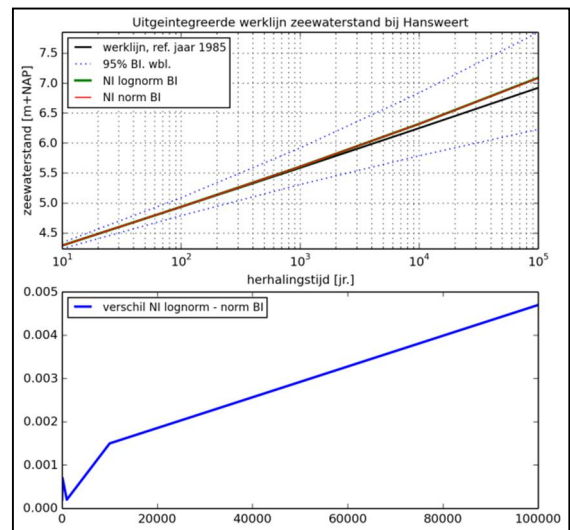
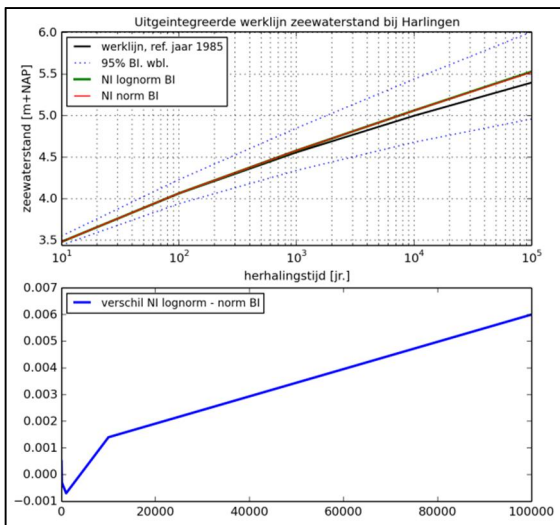
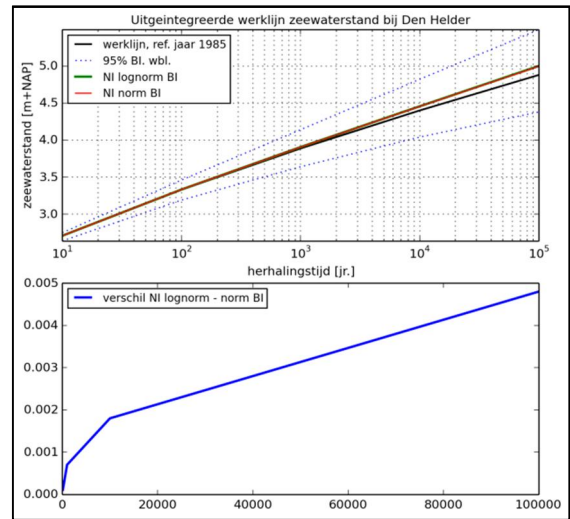
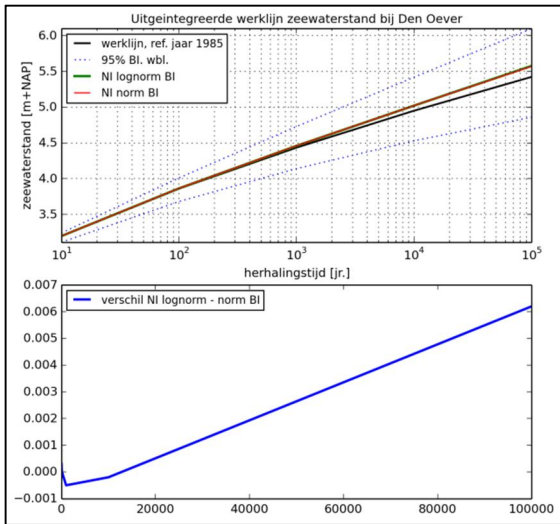
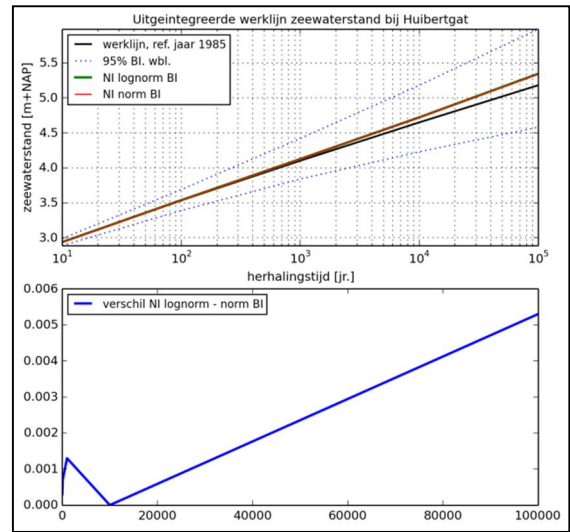
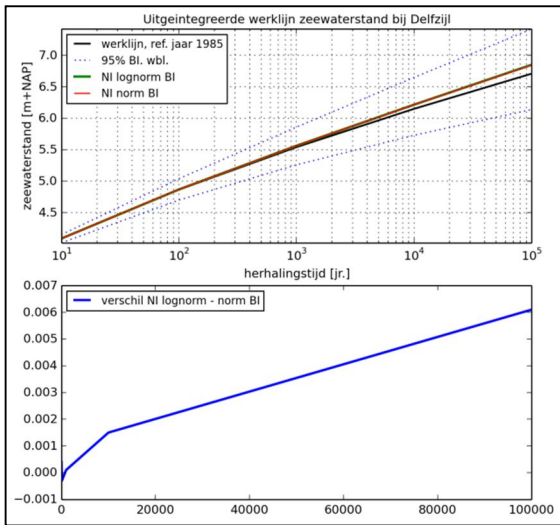
Lauwersoog															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	3.48	3.48	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47	3.48	3.49	3.49	3.50	3.52	3.53	3.53
100	4.10	4.10	3.97	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

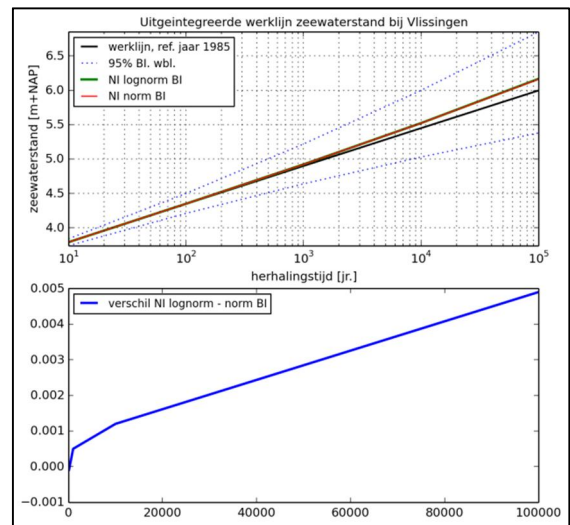
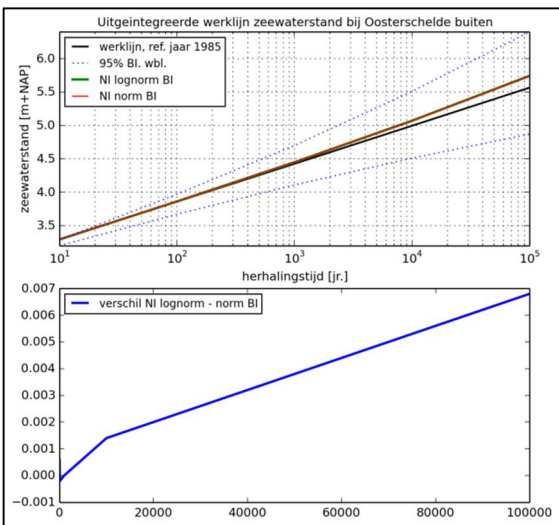
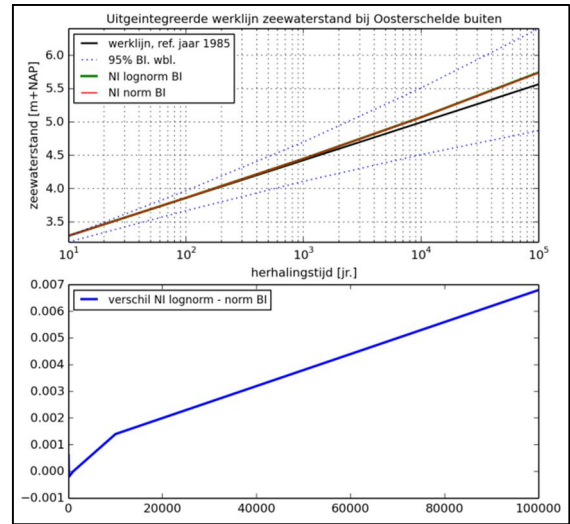
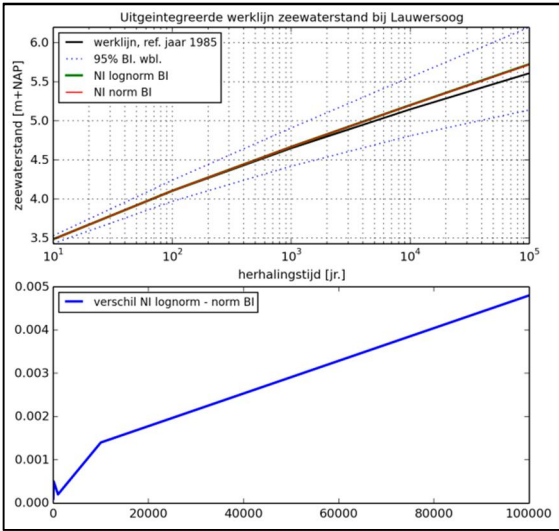
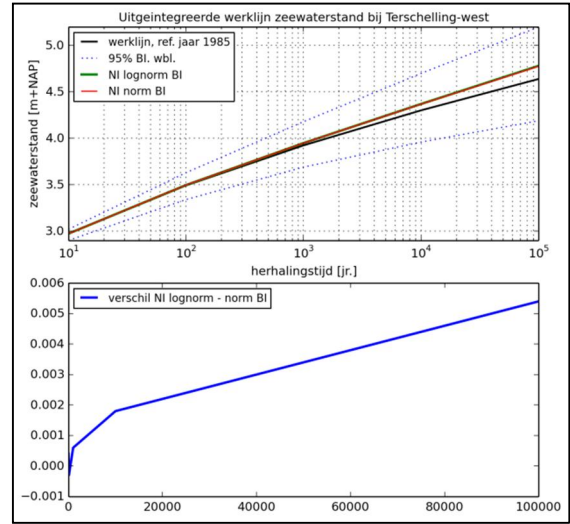
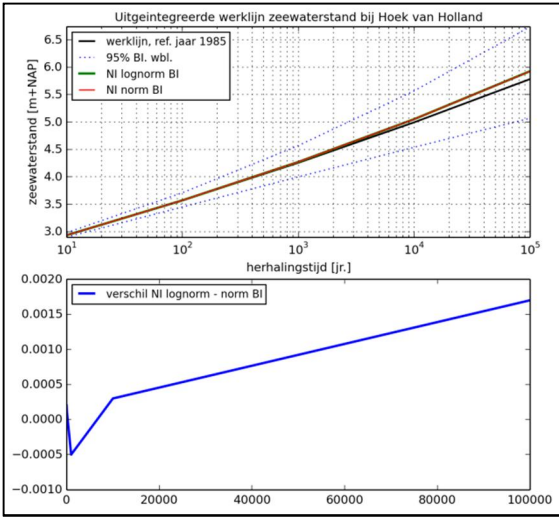
Huibertgat															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.02$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	2.94	2.94	2.89	2.89	2.90	2.92	2.92	2.93	2.94	2.95	2.95	2.96	2.97	2.99	2.99
100	3.53	3.54	3.39	3.41	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

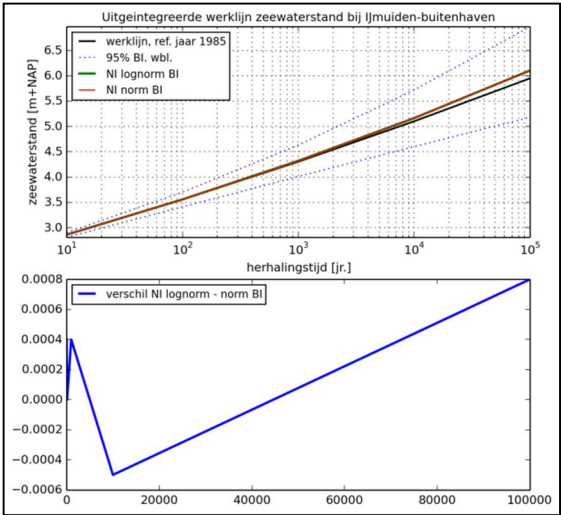
Delfzijl															
$\mu = 0$	$\sigma = 0.017867$		Grenzen betrouwbaarheidsintervallen bij gegeven percentages												
r = omni	Wbl.	Gem. TF	2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	97.5%
10	4.08	4.08	4.02	4.03	4.04	4.05	4.07	4.07	4.08	4.09	4.10	4.11	4.13	4.14	4.15
100	4.86	4.86	4.70	4.73	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



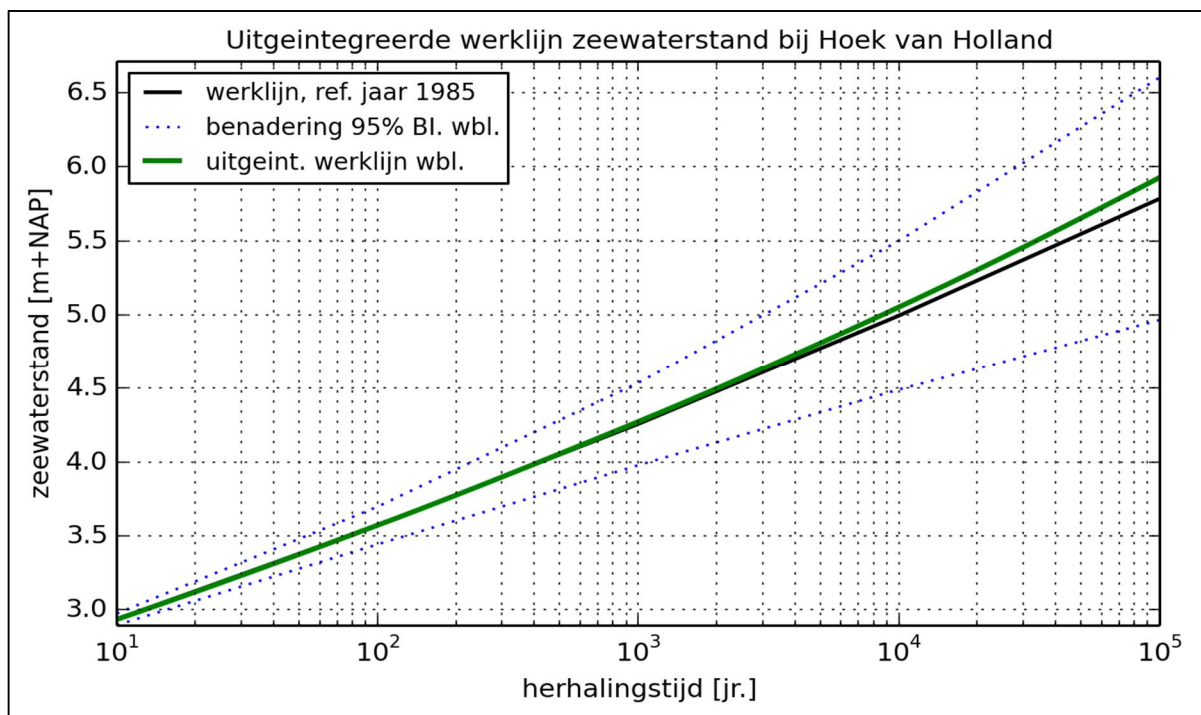
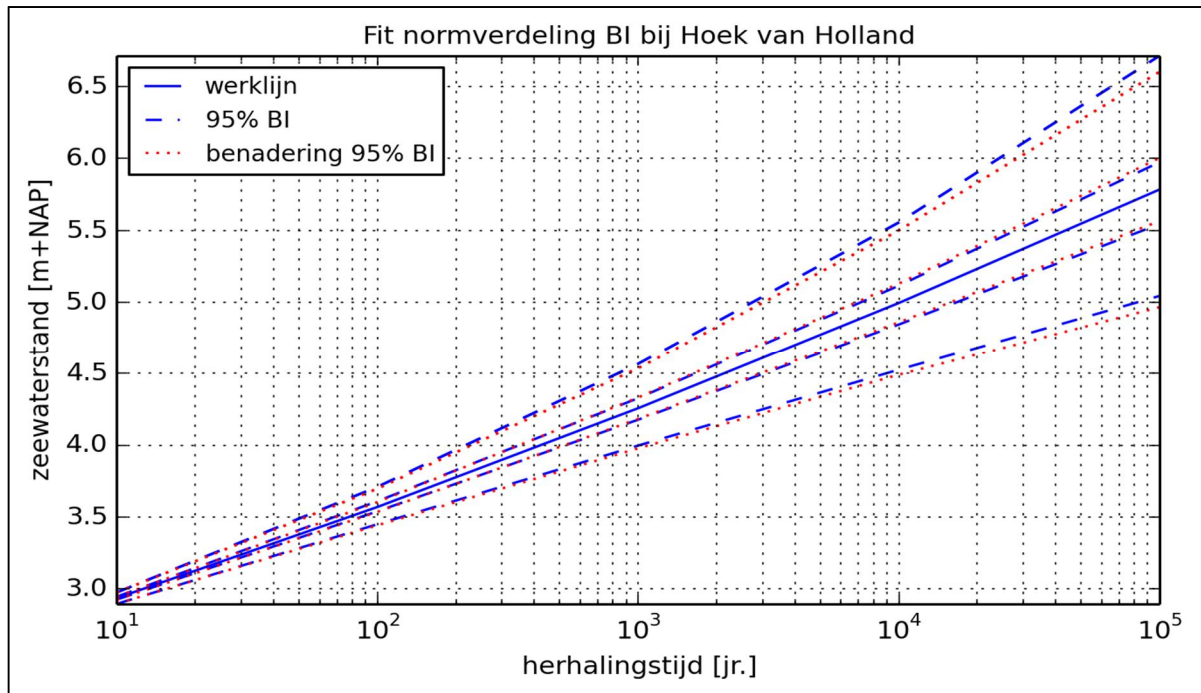




E Uit-geïntegreerde werklijnen zeewaterstanden

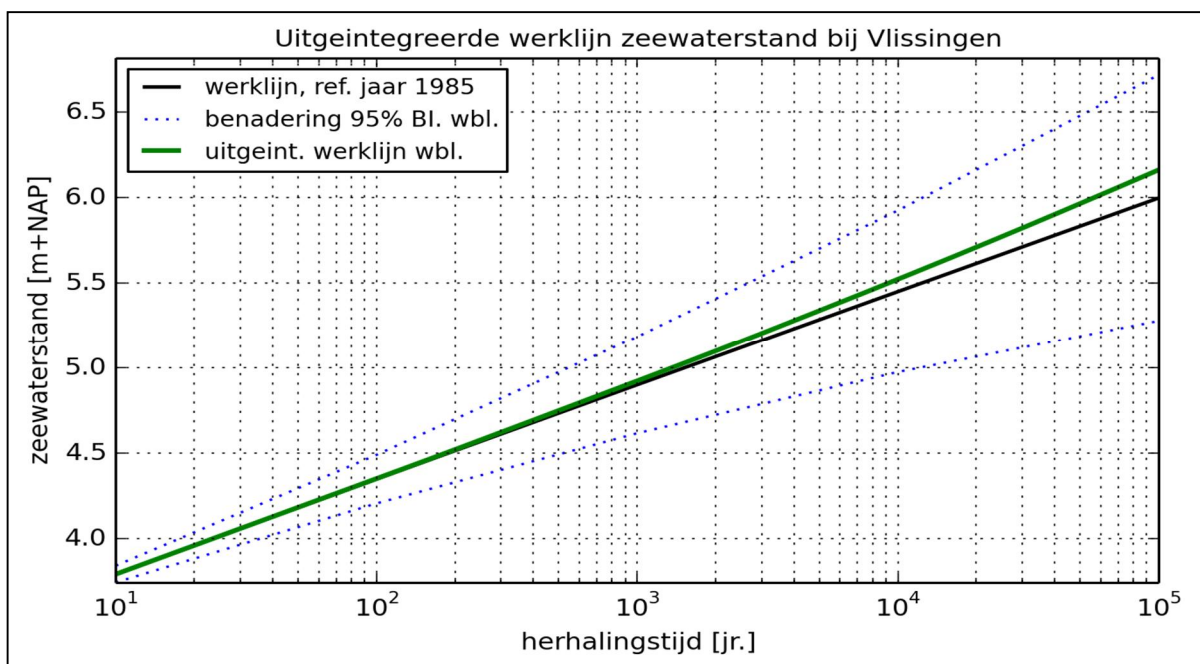
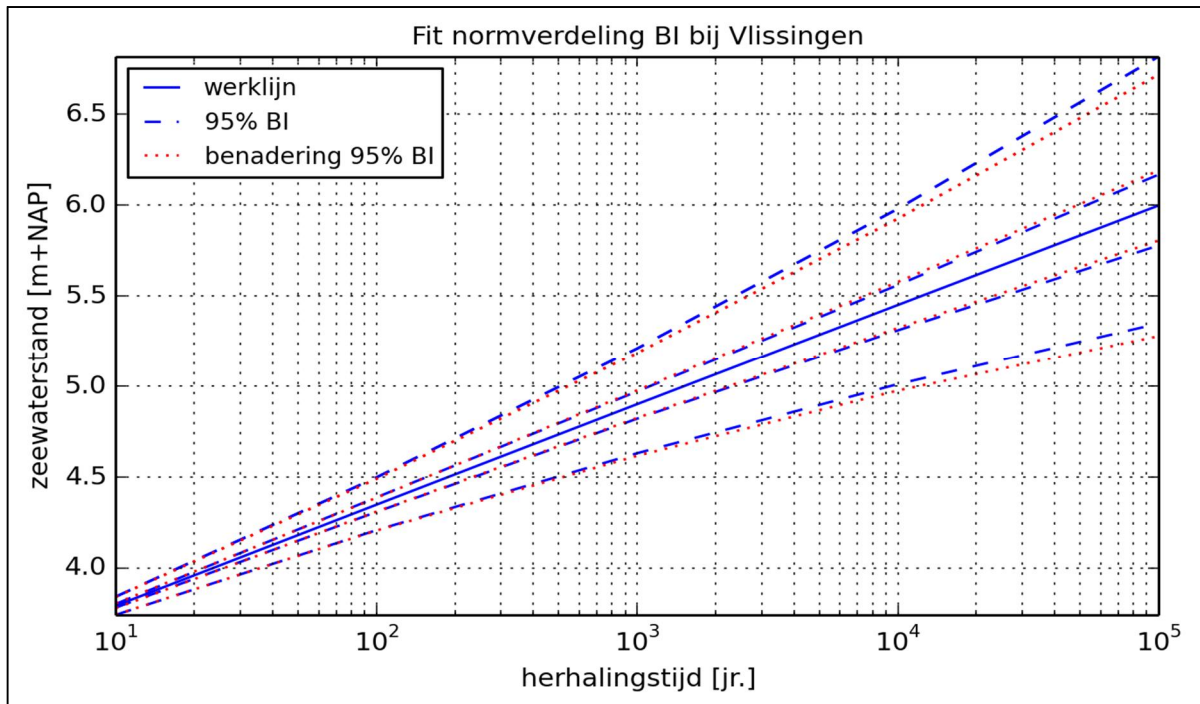
Station Hoek van Holland

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



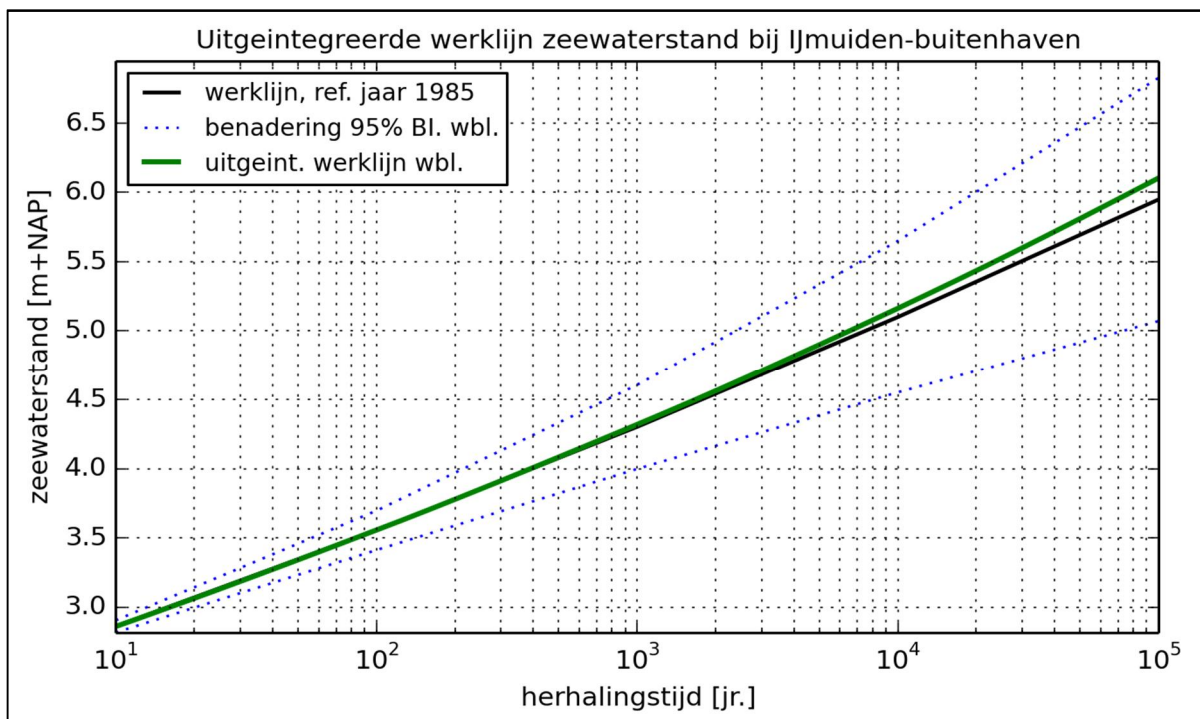
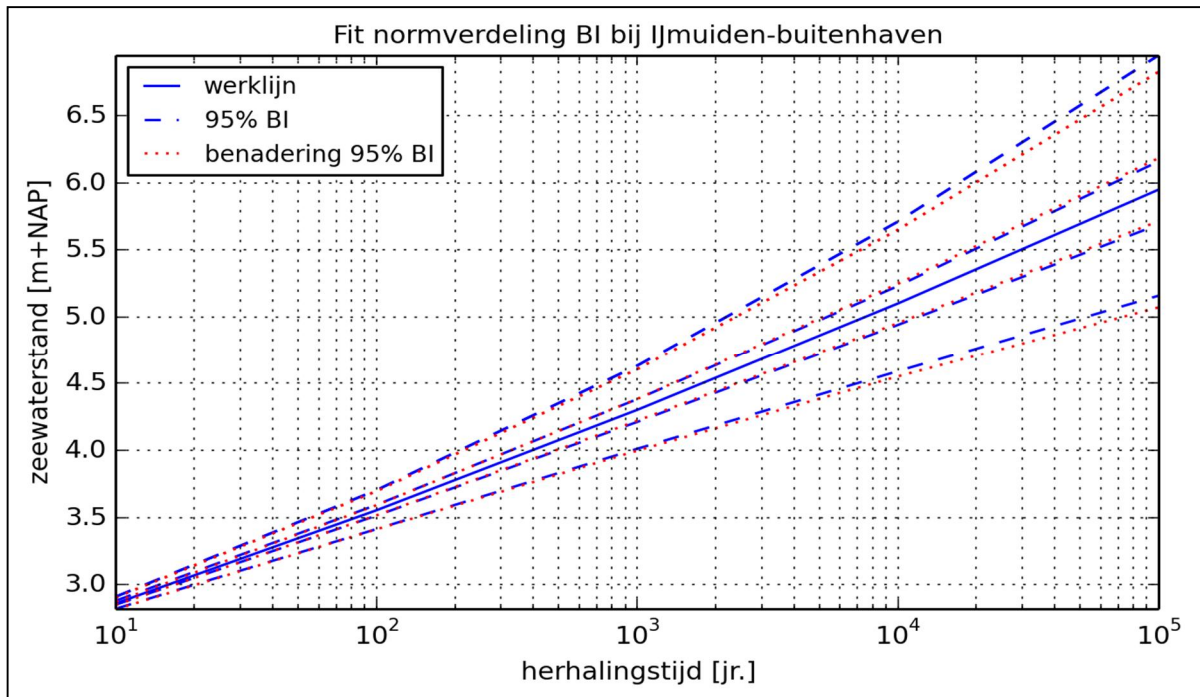
Station Vlissingen

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



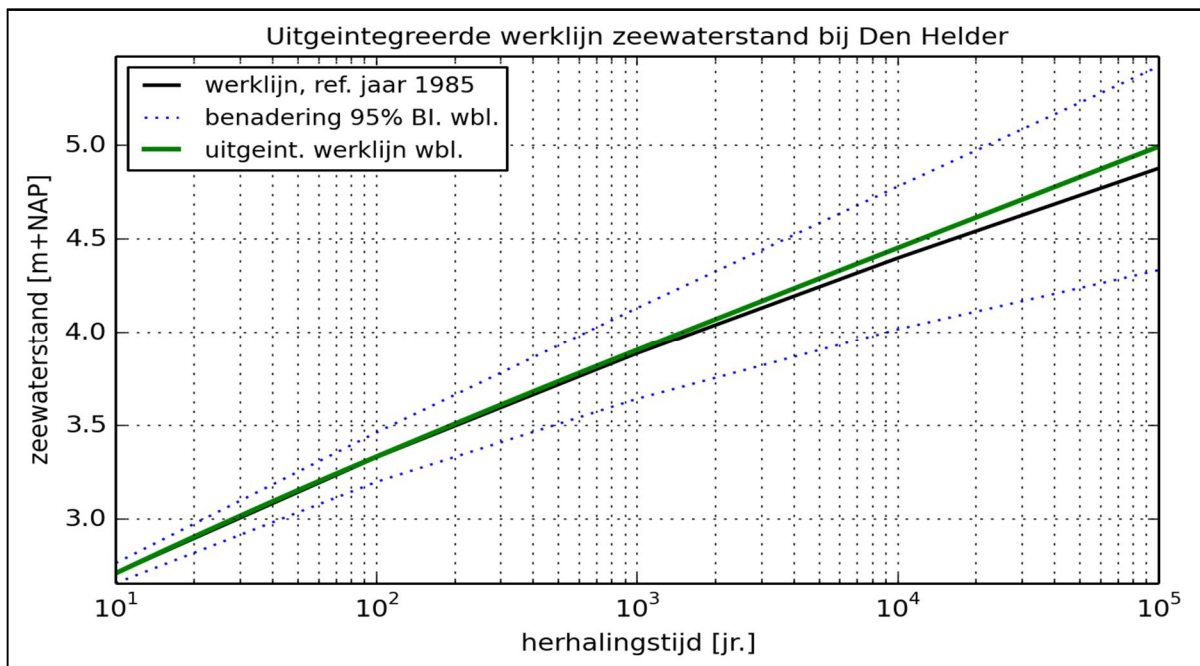
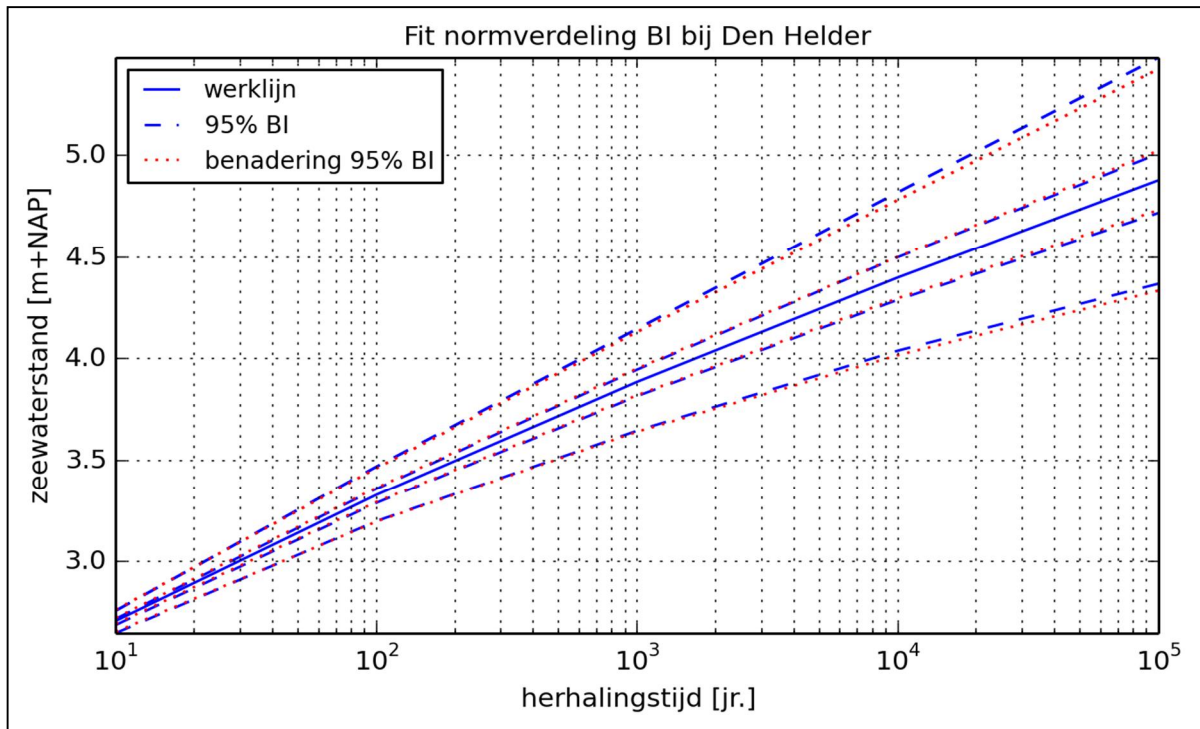
Station IJmuiden

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



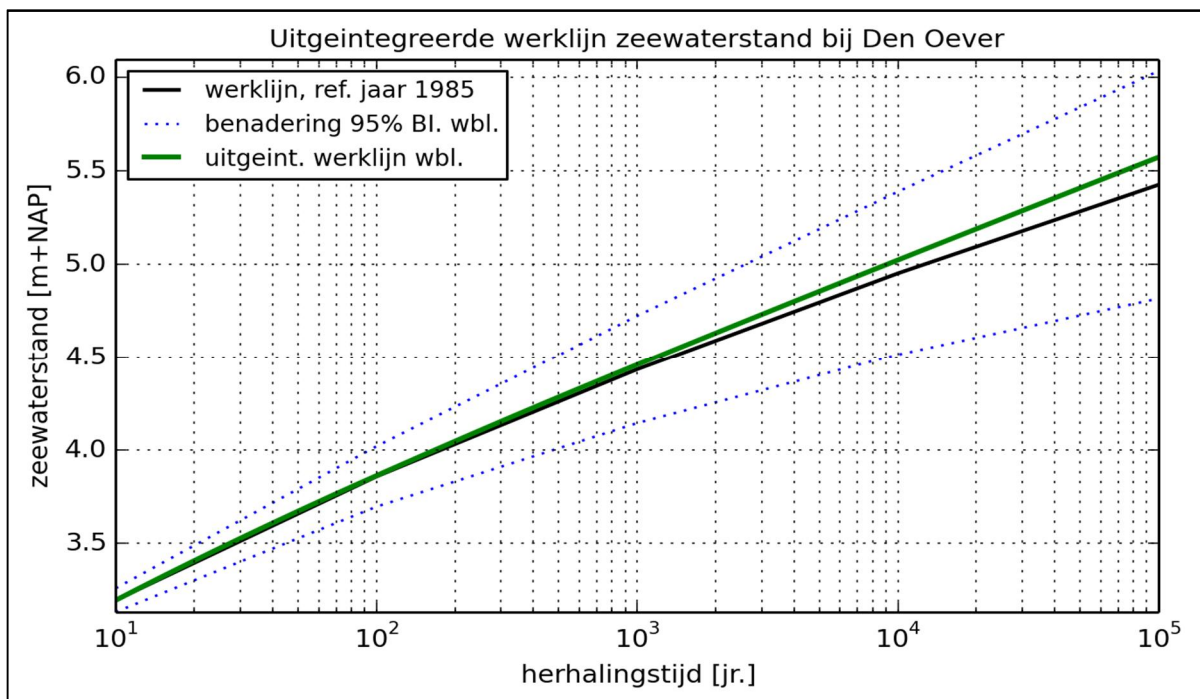
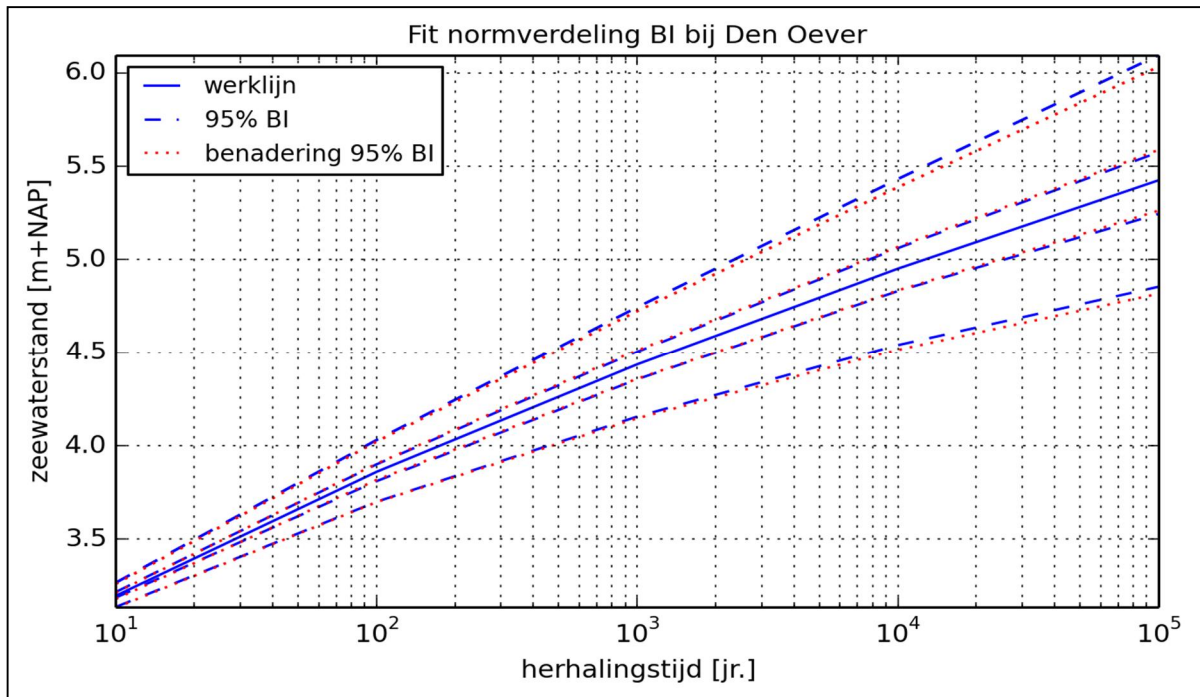
Station Den Helder

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



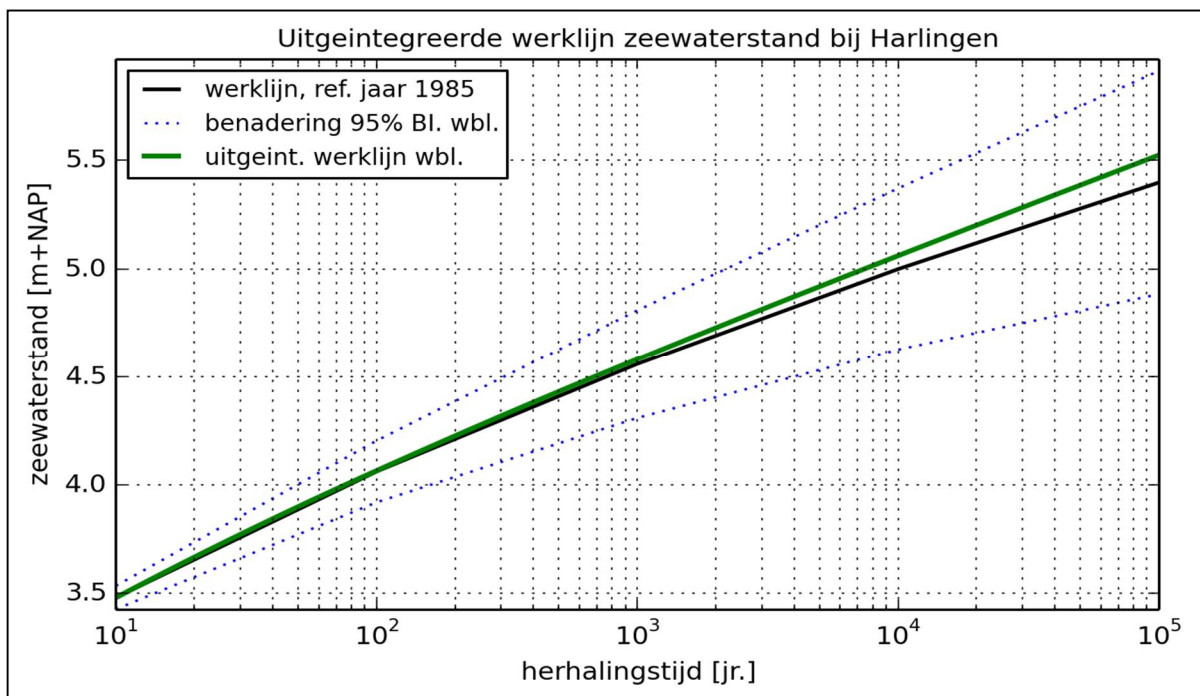
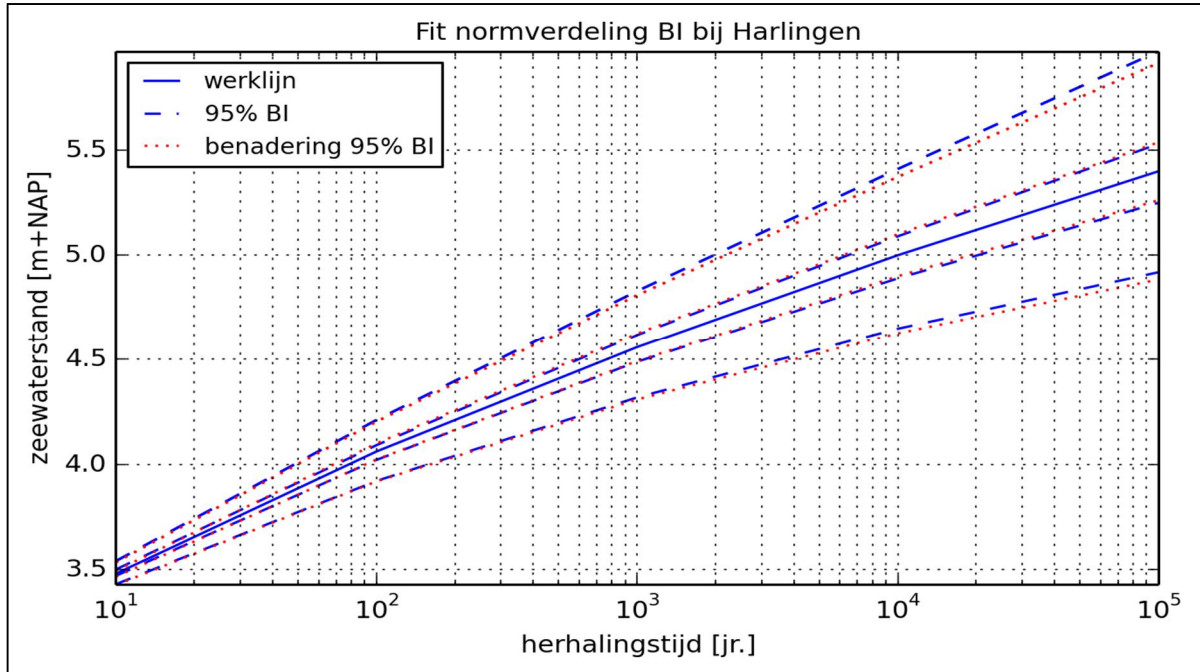
Station Den Oever

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



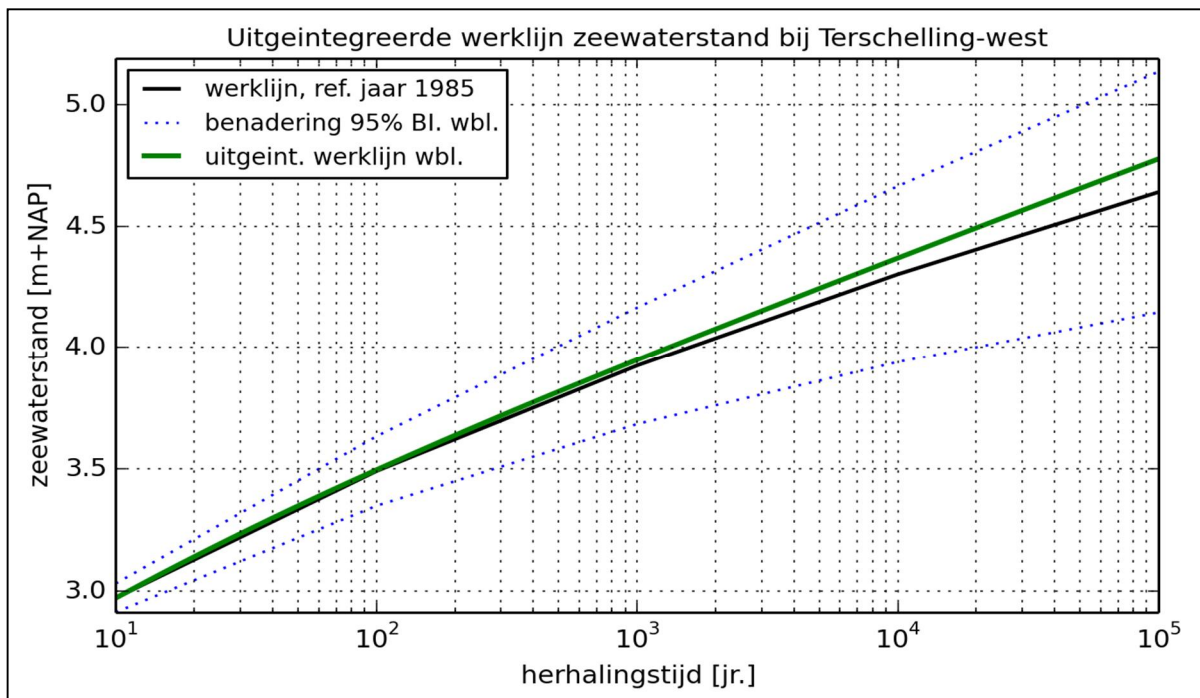
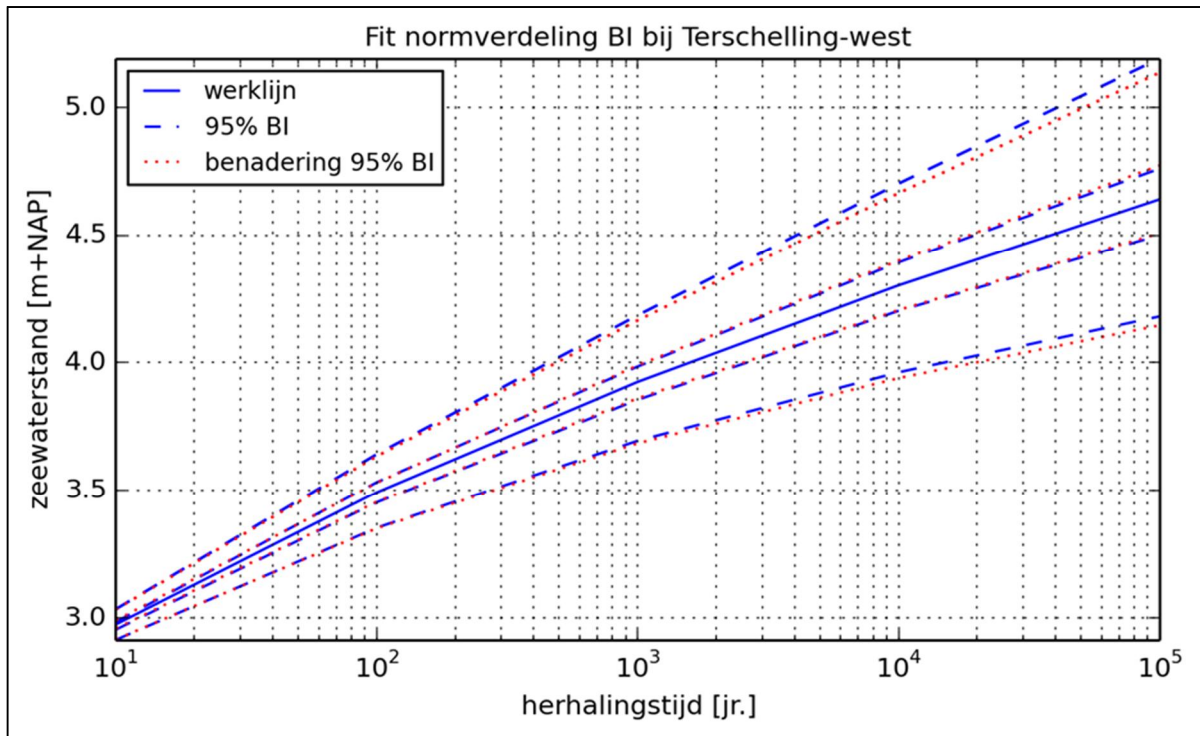
Station Harlingen

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



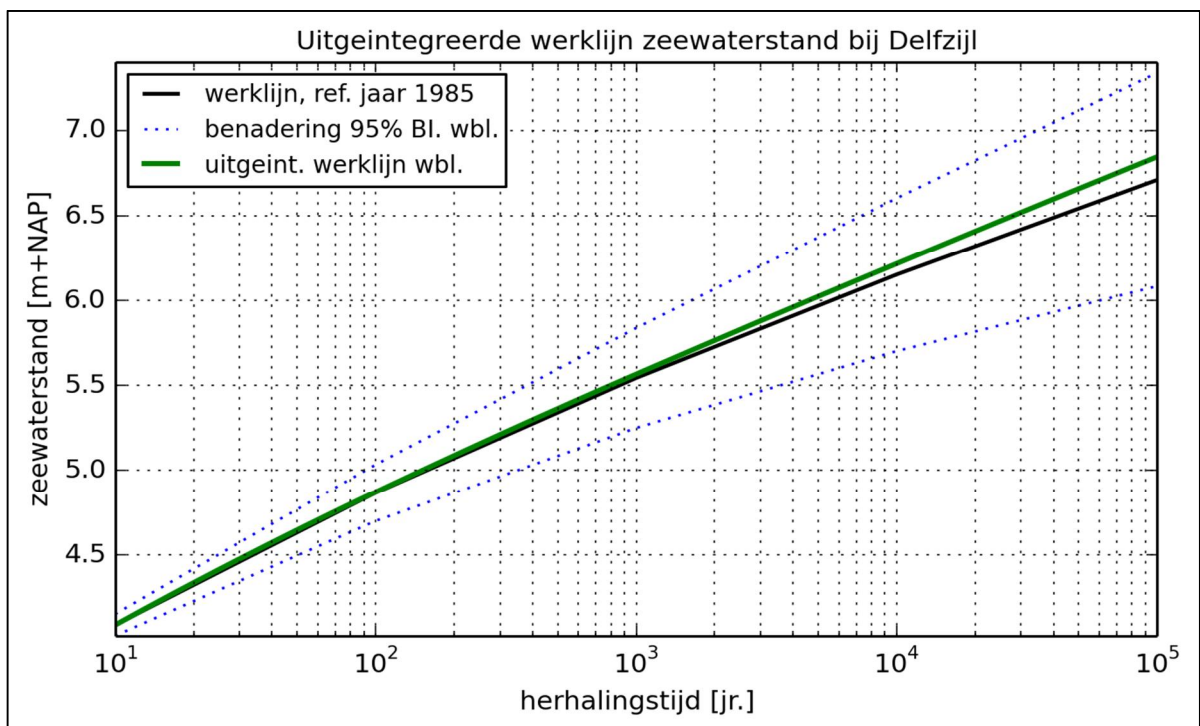
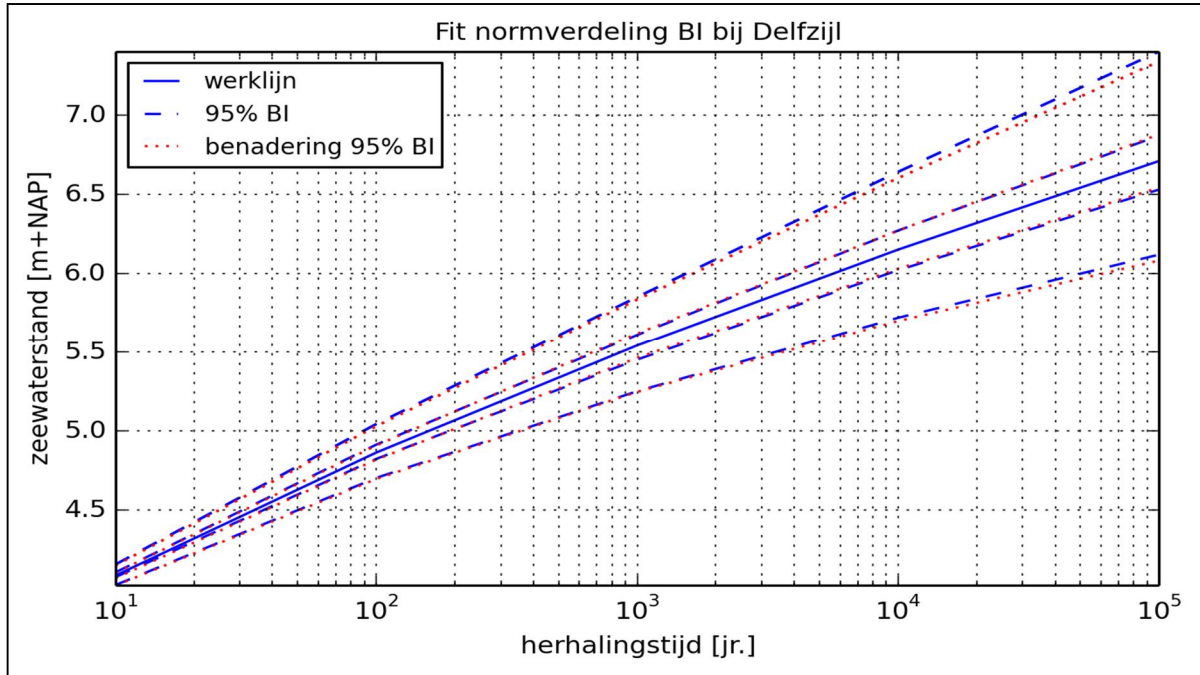
Station Terschelling

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



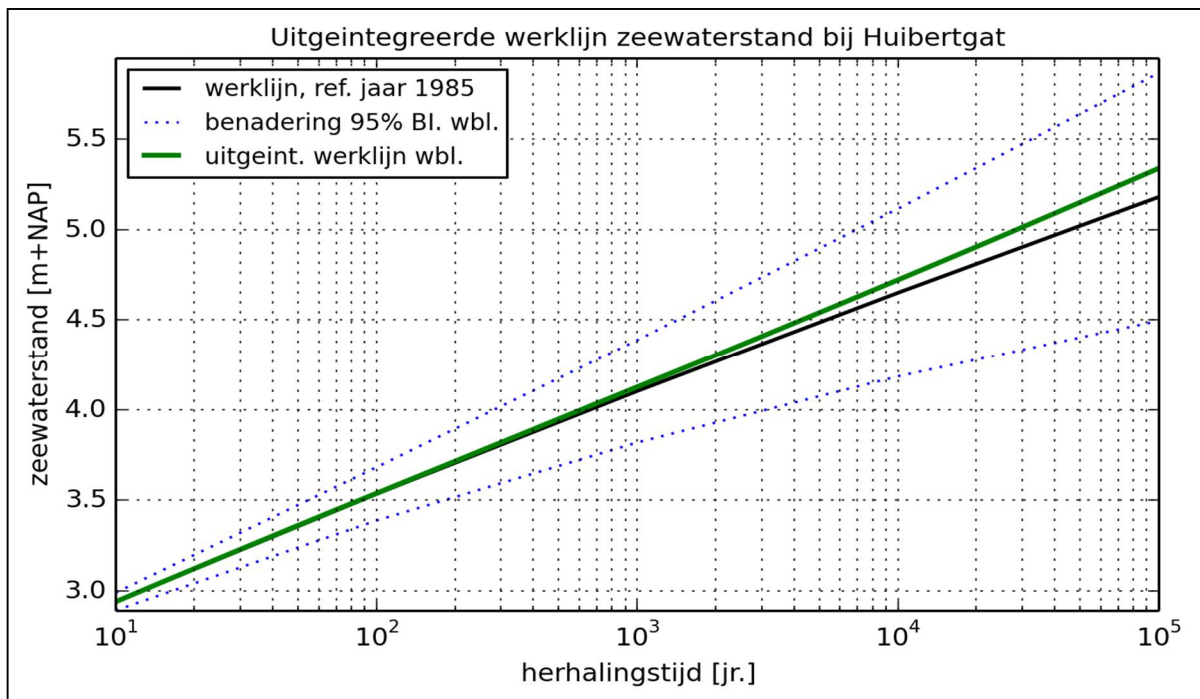
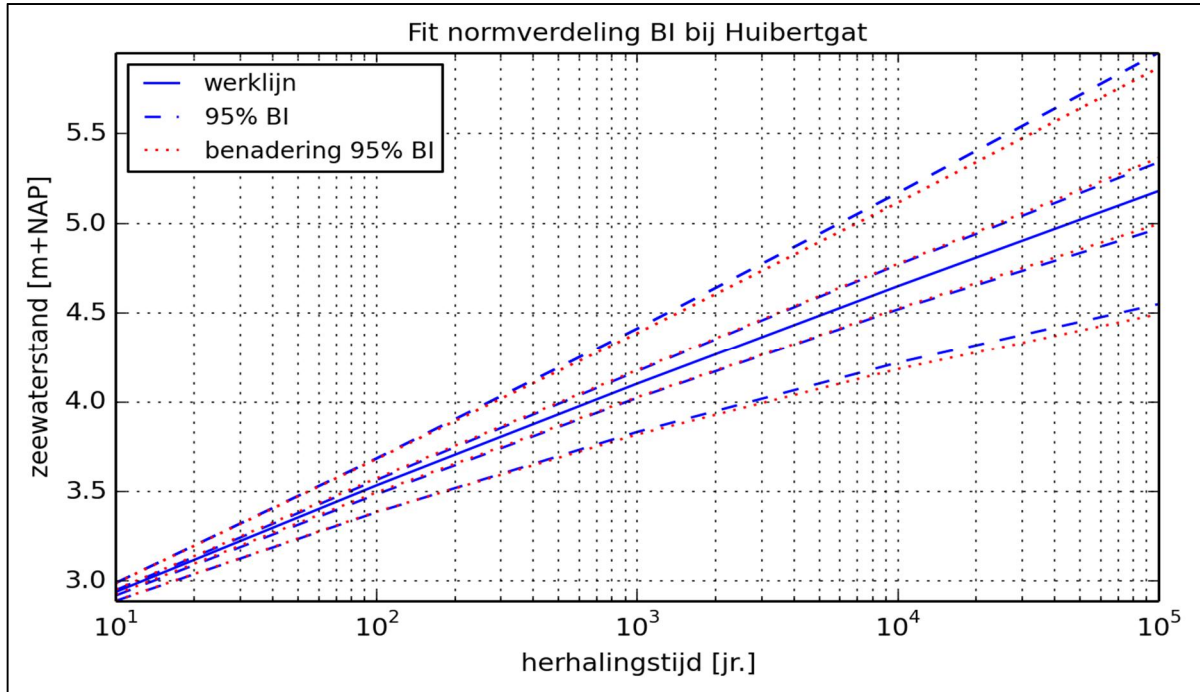
Station Delfzijl

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



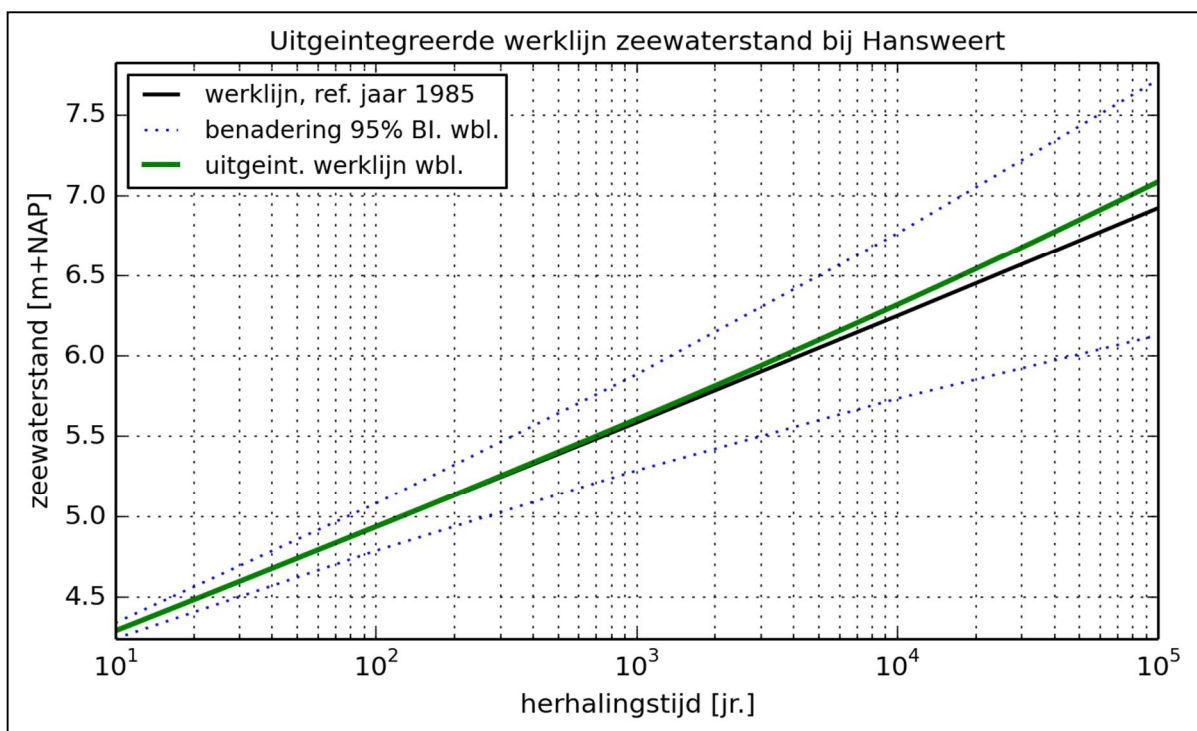
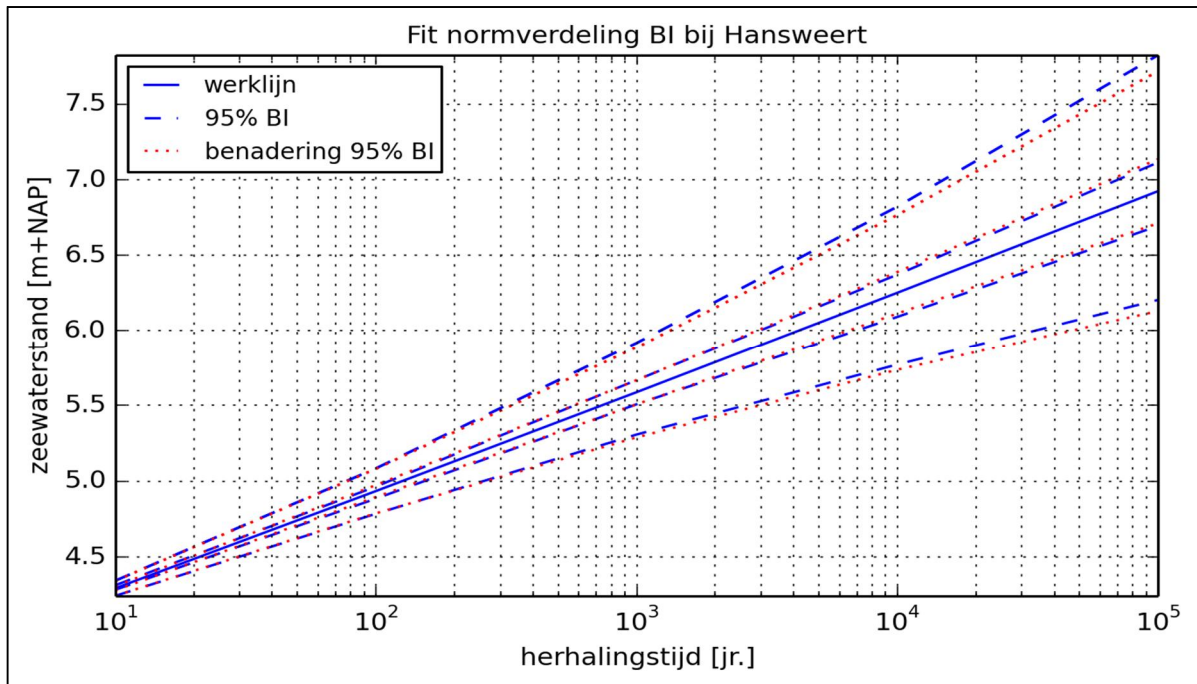
Station Huibertgat

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



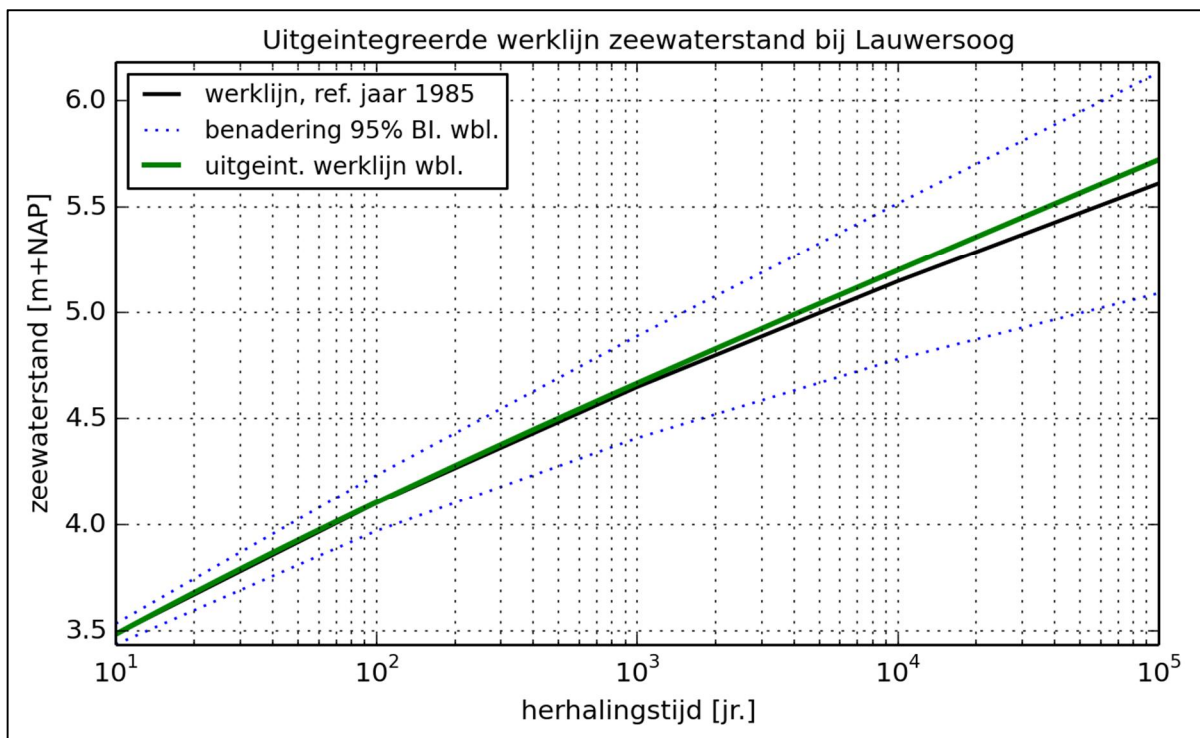
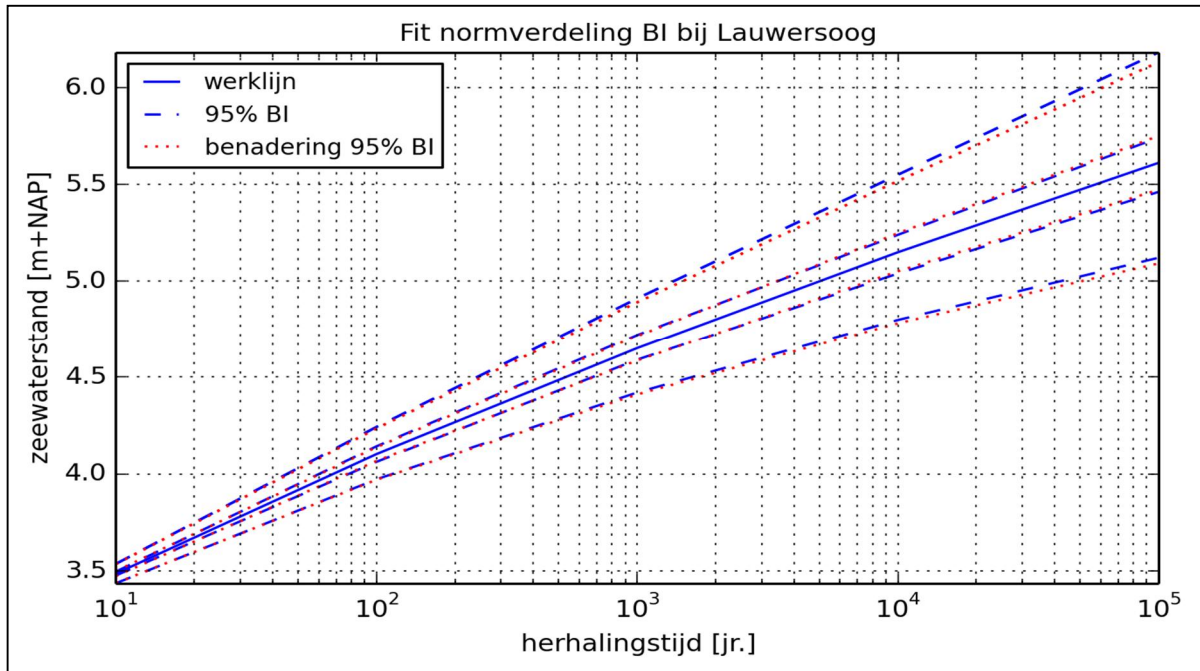
Station Hansweert

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



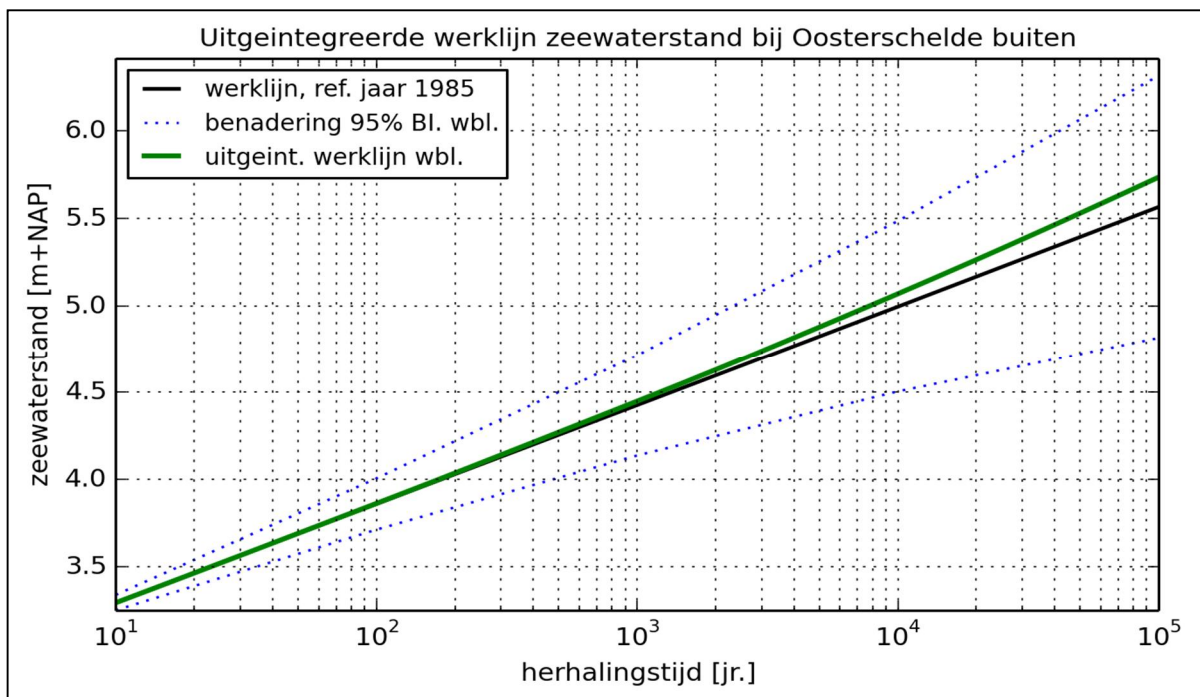
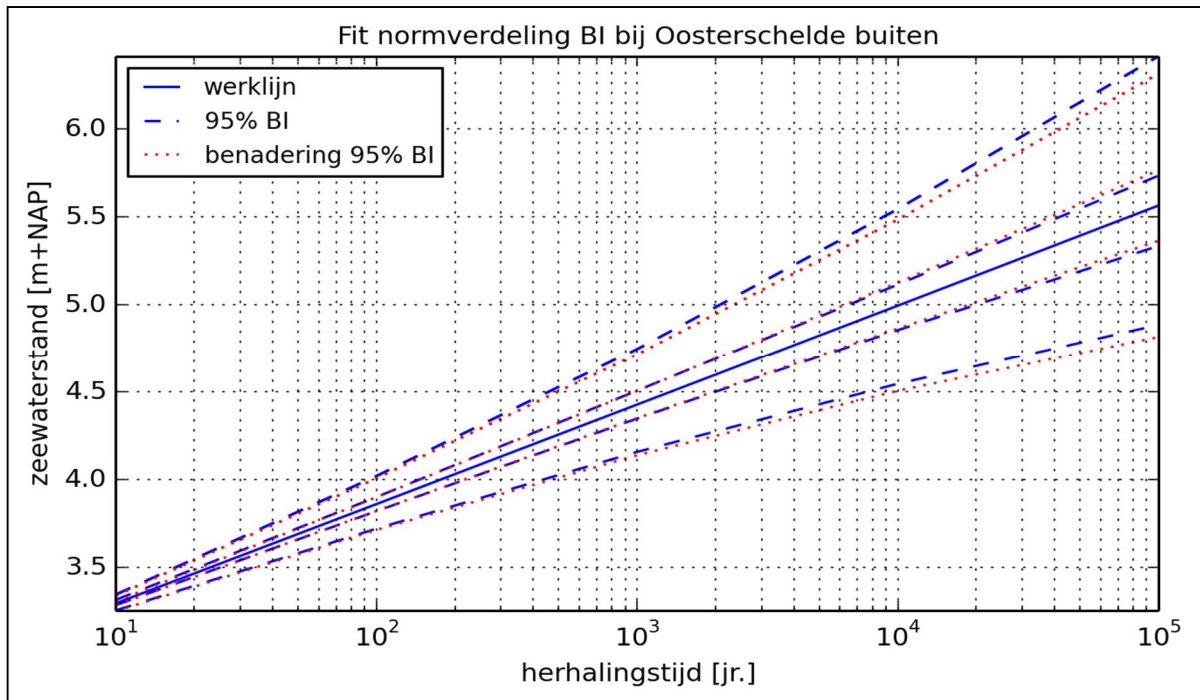
Station Lauwersoog

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

