

**Herberekening werklĳn Maas
in het kader van WTI2011**



Titel

Herberekening werklijn Maas in het kader van WTI2011

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat WD

Project

1200103-044

Kenmerk

1200103-044-ZWS-0007

Pagina's

31

Trefwoorden

Hydraulische Randvoorwaarden, Wettelijk Toetsinstrumentarium, maatgevende afvoer, werklijn

Samenvatting

Met de invoering van de Wet op de Waterkeringen wordt iedere vijf jaar een randvoorwaardenboek uitgebracht met daarin de hydraulische randvoorwaarden voor alle primaire waterkeringen in Nederland. In het kader van het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2011 (WTI2011) is in deze studie de 1/1250-jaar afvoer voor de Maas (bij Borgharen) en de bijbehorende werklijn bepaald. Daarbij is gebruik gemaakt van gemeten afvoeren van de hydrologische jaren 1911 t/m 2008.

De meetreeks is gehomogeniseerd en vervolgens zijn meerdere verdelingsfuncties gefit. Deze functies zijn vervolgens gemiddeld volgens een procedure die eerder in het kader van de commissie Boertien II, HR2001 en TMR2006 is toegepast. Het resultaat van deze exercitie is een relatie tussen afvoer en herhalingstijd met een bijbehorend betrouwbaarheidsinterval. De maatgevende afvoer (herhalingstijd 1250 jaar) komt uit op 3.845 m³/s, hetgeen een *toename* is in vergelijking met HR2001 van 40 m³/s en een *afname* is in vergelijking met TMR2006 van 120 m³/s. De toename van HR2001 naar TMR2006 wordt veroorzaakt door een aantal forse hoogwaters in de hydrologische jaren 1998-2002. De huidige afname ten opzichte van TMR2006 wordt met name veroorzaakt door correcties van de afvoeren na 20 december 1995. Deze correcties waren in het kader van TMR2006 nog niet doorgevoerd.

De resultaten van bovenstaande analyse zijn in tabelvorm gegeven, waarin voor 13 waarden van de herhalingstijd (variërend van 2 tot 10.000 jaar) de bijbehorende afvoer is weergegeven. Vervolgens is op basis van deze 13 tabelwaarden een functiebeschrijving (werklijn) afgeleid. Met deze werklijn kan de afvoer voor elke willekeurige herhalingstijd tussen de 2 en 10.000 jaar bepaald worden.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
concept	30-10-2009	Annegien Tijssen		Ferdinand Diermanse		A.G. Segeren	
Definitief	26-11-2009	Annegien Tijssen		Ferdinand Diermanse		A.G. Segeren	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Auteurs en organisatie	1
1.3 Leeswijzer	1
2 Samenstellen van de meetreeksen	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Homogeniseren van de meetreeksen	3
2.2.1 Achtergrond	3
2.2.2 Gehanteerde uitgangspunten	3
2.3 Resulterende reeksen	4
3 Frequentieanalyse	5
3.1 Verdelingsfuncties	5
3.2 Resultaten	5
4 Bepalen van de werklijn	9
4.1 Inleiding	9
4.2 Functiebeschrijving	9
4.3 Resultaten	9
4.4 Verdere afronding van de maatgevende afvoer	10
5 Samenvatting en conclusies	13
6 Referenties	15

1 Inleiding

Met de invoering van de Wet op de Waterkeringen wordt iedere vijf jaar een randvoorwaardenboek uitgebracht met daarin de hydraulische randvoorwaarden voor alle primaire waterkeringen in Nederland. Eén van de bepalende factoren is de maatgevende afvoer van onze grote rivieren. De maatgevende afvoer is gedefinieerd als de afvoer met een gemiddelde jaarlijkse overschrijdingsfrequentie van 1/1250. Het volgende randvoorwaardenboek wordt in 2011 (HR2011) uitgebracht.

1.1 Doelstelling

De centrale doelstelling van dit project is om, ten behoeve van het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2011 (WTI2011), op basis van gehomogeniseerde meetreeksen van de meetstations Lobith (Rijn) en Borgharen (Maas) de volgende gegevens af te leiden:

- de 1/1250-jaar afvoer;
- het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval; en
- de werklijn, d.w.z. een functiebeschrijving van de relatie tussen piekafvoeren en herhalingstijden.

Tevens dient het effect van het verlengen van de meetreeksen met 5 jaar op de af te leiden gegevens in kaart gebracht worden.

1.2 Auteurs en organisatie

Dit project is uitgevoerd door Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat. De uitvoering en projectleiding lagen geheel in handen van mevr. A. Tijssen (projectleider). De projectbegeleiding vanuit Rijkswaterstaat is verzorgd door mevr. M. Olieman.

Voor de Rijn en de Maas worden aparte rapporten opgeleverd. Dit rapport beschrijft de resultaten voor de Maas.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe de meetreeksen die ten grondslag liggen aan de analyses zijn verkregen en bewerkt. De frequentieanalyse waarmee de 1/1250-jaar afvoer wordt berekend is omschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens de werklijn afgeleid. Hoofdstuk 5 bevat de belangrijkste conclusies van dit rapport. Verder zijn aan dit rapport twee bijlagen toegevoegd. Bijlage A bevat de tabellen met de gehomogeniseerde meetreeksen. Bijlage B bevat de figuren waarin de verscheidene verdelingsfuncties zijn uitgezet tegen de waargenomen piekafvoeren waarop ze gefit zijn.

2 Samenstellen van de meetreeksen

2.1 Inleiding

Aan de basis van de analyses ligt de meetreeks van het station Borgharen van de hydrologische jaren 1901 t/m 2008. De reeks bestaat uit afvoermaxima die tot het jaar 1973 zijn afgeleid uit 8 uur meetwaarden (d.w.z. afvoeren gemeten om 8 uur 's ochtends) en na 1973 zijn bepaald op basis van uurwaarden.

2.2 Homogeniseren van de meetreeksen

2.2.1 Achtergrond

De maatgevende afvoer voor Borgharen is in 1994 door de Commissie Boertien II vastgesteld. Op basis hiervan zijn de plannen voor de Grens- en Zandmaas opgesteld. Voor de bedijkte Maas is de maatgevende afvoer gehandhaafd die eerder in het kader van Boertien I is vastgesteld. De reden hiervoor was dat door veranderingen in de riviergeometrie, met name daling van het zomerbed, de maatgevende standen als gevolg van een hogere maatgevende afvoer niet zouden veranderen.

In vergelijking met de Commissie Boertien I is door de Commissie Boertien II relatief veel aandacht aan de maatgevende afvoer van de Maas gegeven. Een uitgebreid onderzoek is uitgevoerd, waarbij veel aandacht aan de homogeniteit van de gegevens is besteed. De reeks bij Borgharen is gehomogeniseerd voor uitgevoerde rivierwerken langs de Waalse Maas. Ook is uitgebreid onderzocht wat het effect van de verstedelijking en van mogelijke klimaatveranderingen is.

In HR2001 is uitgebreid aandacht besteed aan de representativiteit van de beschikbare meetreeksen van de Maas bij Borgharen. Uit de analyse van historische hoogwaters van voor 1911 is geconcludeerd dat de aanname dat de meetreeksen vanaf 1911 representatief is, niet verworpen kan worden. In het kader van WT12011 wordt in deze studie onderzocht wat effect van het verlengen van de meetreeksen met vijf hydrologische jaren is op de 1/1250 –jaar afvoer. Er zal binnen dit kader dan ook niet opnieuw naar de representativiteit worden gekeken.

2.2.2 Gehanteerde uitgangspunten

De 1/1250-jaar afvoer en de werklijn worden in deze studie afgeleid op basis van gehomogeniseerde reeksen die door mevr. M. Olieman van Rijkswaterstaat WD beschikbaar zijn gesteld. De gegevens lopen tot 25 mei 2009 en daarmee is het hydrologisch jaar 2008 (dat loopt tot 1 oktober 2009) nog niet compleet. Echter, de kans dat er tijdens het zomerseizoen nog een hoogwater optreedt is gering. Ten tijde van het schrijven van dit rapport is het hydrologisch jaar 2008 afgelopen en zijn er geen hoogwaters opgetreden na 25 mei 2009. Het hydrologisch jaar 2008 wordt daarom mee in de analyses meegenomen. De reeksen zijn opgenomen in bijlage A van dit rapport.

Bij het samenstellen van de meetreeks zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- de meetreeks zoals gehomogeniseerd in TMR2006 wordt gebruikt, met voor de meest recente hoogwaters, vanaf 1995, gecorrigeerde waarden in verband met veranderingen in de QH-relatie van Borgharen. Deze aangepaste QH-relatie heeft te maken met de kades die zijn aangelegd in de Maas na het hoogwater van januari 1995. In de tot juni 2008 gebruikte QH-relatie is wel rekening gehouden met het waterstandsverlagende effecten van de kleiwinputten, ten behoeve van de kades, maar niet met het waterstandsverhogende effect van de kades. Daardoor is jarenlang een te hoge afvoer afgelezen uit de QH-kromme. In 2007 is onderzoek uitgevoerd naar de QH-krommes. Als gevolg daarvan is afvoer bij Borgharen-dorp met terugwerkende kracht aangepast vanaf 20-12-1995. Een toelichting is te vinden op www.actuelewaterdata.nl en in (Aggersloot, 2007) en (RWS Limburg, 2007). Daarnaast zijn er nog kleine correcties in de reeks aangebracht i.v.m. toegenomen onttrekkingen bovenstrooms van Borgharen;
- de reeks wordt aangevuld met de piekafvoeren uit de hydrologische jaren 2004-2008;
- er wordt geen inschatting gemaakt van het effect van geplande rivierwerken in België en Frankrijk;
- veranderingen in het stroomgebied zoals b.v. verstedelijking of andere veranderingen in landgebruik zijn in navolging van HR2001 en TMR2006 niet bij de homogenisering meegenomen. Deze spelen immers bij extreme afvoeren een uitermate kleine rol;
- geplande werken zijn voor zover bekend kleinschalig met alleen lokaal een effect;
- HR2011 betreft een momentopname van de huidige situatie; aan de effecten van klimaatverandering zal geen aandacht worden besteed.

2.3 Resulterende reeksen

Op basis van de in de vorige paragraaf genoemde uitgangspunten zijn in totaal twee meetreeksen samengesteld:

1. Jaarmaxima, gehomogeniseerd naar de huidige toestand.
2. Piekafvoeren boven een drempel van $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$, gehomogeniseerd naar de huidige toestand.

Deze twee reeksen zijn weergegeven in bijlage A van dit rapport. In het volgende hoofdstuk is beschreven op welke wijze de reeksen zijn gebruikt in de uitgevoerde frequentieanalyse.

3 Frequentieanalyse

3.1 Verdelingsfuncties

Na het hoogwater van december 1993 is de commissie Boertien II aangesteld om het "Onderzoek Watersnood Maas" uit te voeren. Eén van de aspecten die tijdens het onderzoek van deze commissie is uitgevoerd is een frequentieanalyse voor de Maas bij Borgharen. De aldaar gehanteerde procedure wordt in het onderhavige onderzoek overgenomen en werkt als volgt:

- Voor herhalingstijden *kleiner* dan 25 jaar zijn de corresponderende afvoeren gebaseerd op een frequentieanalyse van afvoerpieken met de Pareto-verdeling. Deze verdeling is gebaseerd op de reeks van N hoogste afvoerpieken, waarbij N gelijk is aan het aantal jaren in de meetreeks. Dit is de zogenaamde "*partiële reeks*" afvoeren die even lang is als de reeks jaarmaxima en voor een gedeelte dezelfde afvoeren bevat. Voor de Pareto verdeling dient een locatieparameter opgegeven te worden die hier gelijk is genomen aan $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$, hetgeen de afgeronde ondergrens is van de partiële reeks.
- Voor herhalingstijden *groter* dan 25 jaar zijn de corresponderende afvoeren gebaseerd op een middeling van de uitkomsten van een frequentieanalyse met de volgende vier verdelingen:
 - de 3-parameter log-normale verdeling, de Pearson-III verdeling en de Gumbel-verdeling. Hierbij is gebruik gemaakt van de reeks van jaarmaxima, waarbij voor de Gumbel-verdeling een ondergrens gekozen is van $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
 - de exponentiële verdeling, gefit op de partiële reeks.

In HR2001 en TMR2006 is deze procedure toegepast voor zowel de Rijn als de Maas en in het onderhavige onderzoek is dit wederom het geval. Andere procedures zoals ontwikkeld in het kader van Boertien I en HR2001 worden niet toegepast in dit onderzoek.

3.2 Resultaten

Tabel 3.1 bevat de resultaten van de frequentieanalyse voor de gehomogeniseerde afvoerreeks van de Maas bij Borgharen. Bijlage B bevat een grafische weergave van de mate van fit voor elk van deze functies. De tabel bevat tevens de afvoeren en betrouwbaarheidsintervallen die resulteren na middeling volgens de in de vorige paragraaf beschreven procedure. De maatgevende afvoer komt uit op $3.845 \text{ m}^3/\text{s}^1$.

In vergelijking met TMR2006 is de maatgevende afvoer *afgenomen* met $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afname is het gevolg van het verlengen van de meetreeks met vijf extra hydrologische jaren 2004 – 2008. Echter, in vergelijking met HR2001 is de maatgevende afvoer toegenomen met $40 \text{ m}^3/\text{s}$. In Tabel 3.2 is deze vergelijking verder uitgewerkt, d.w.z. voor meerdere herhalingstijden zijn de bijbehorende afvoeren weergegeven voor zowel de huidige analyse als de analyses die in het kader van TMR2006 en HR2001 zijn uitgevoerd. Uit deze tabel blijkt dat voor alle herhalingstijden de afvoer is toegenomen ten opzichte van HR2001 en is afgenomen ten opzichte van TMR2006.

1. Een verdere afronding van het resultaat wordt aan de opdrachtgever overgelaten. De gevolgen die een dergelijke afronding op de werklijn heeft wordt in paragraaf 4.4 besproken.

De geconstateerde toename van HR2001 naar TMR2006 is eenvoudig te verklaren uit het gegeven dat de jaarmaxima van de hydrologische jaren 1999-2002 hoog tot zeer hoog waren. Een dergelijke reeks van hoge afvoeren resulteert onherroepelijk in een toename van de afvoer als functie van de herhalingstijd (WL,2004).

De aanpassing van de QH-relatie voor de situatie na 20 december 1995 heeft geleid tot een aanzienlijke correctie van de hoogwaters na 20 december 1995. Voor hoge jaarmaxima uit de hydrologische jaren 1999-2002 gaat het om verlagende correcties van 59 tot 183 m³/s. Hetgeen onherroepelijk leidt tot een afname van de afvoer als functie van de herhalingstijd. Dit effect wordt versterkt door het feit dat zich in de laatste vijf hydrologische jaren (2004-2008) geen (extreem) hoge jaarmaxima hebben voorgedaan.

Tabel 3.1 Resultaten frequentieanalyse voor de Maas bij Borgharen.

herh.- tijd (jaar)	Pearson III	Lognor- maal	Gumbel Q ₀ =1000	Expo- nentieel	Gemid- deld	Pareto LP=1300	Resulterende afvoer (afgerond)	95% onder- grens	95% boven grens
2	-	-	-	-	-	1.572	1.570	1.510	1.635
5	-	-	-	-	-	1.924	1.925	1.800	2.045
10	-	-	-	-	-	2.185	2.185	2.015	2.355
25	2.516	2.503	2.529	2.525	2.518	2.524	2.520	2.255	2.790
50	2.740	2.728	2.800	2.787	2.764	-	2.765	2.435	3.100
100	2.953	2.944	3.069	3.049	3.004	-	3.005	2.605	3.410
250	3.220	3.217	3.423	3.396	3.314	-	3.315	2.820	3.825
500	3.414	3.418	3.690	3.658	3.545	-	3.545	2.980	4.135
1.000	3.602	3.615	3.957	3.920	3.774	-	3.775	3.130	4.445
1.250	3.661	3.678	4.043	4.004	3.847	-	3.845	3.180	4.545
2.500	3.843	3.872	4.310	4.267	4.073	-	4.075	3.325	4.855
5.000	4.021	4.064	4.577	4.529	4.298	-	4.300	3.470	5.170
10.000	4.196	4.254	4.844	4.791	4.521	-	4.520	3.615	5.485
Q ₀ = Ondergrens Gumbel-verdeling (m ³ /s) LP = Locatieparameter Pareto-verdeling (m ³ /s)									

Tabel 3.2 Resultaten van de huidige frequentieanalyse voor de Maas (Tabel 3.1) bij Borgharen vs. de resultaten in het kader van TMR2006 en HR2001.

herhalings tijd (jaar)	huidig	TMR2006	Toename
2	1.570	1.605	-35
5	1.925	1.980	-55
10	2.185	2.245	-60
25	2.520	2.580	-60
50	2.765	2.840	-75
100	3.005	3.085	-80
250	3.315	3.410	-95
500	3.545	3.650	-115
1.000	3.775	3.885	-110
1.250	3.845	3.965	-120
2.500	4.075	4.200	-125
5.000	4.300	4.430	-130
10.000	4.520	4.665	-145

herhalings tijd (jaar)	huidig	HR2001	Toename
2	1.570	1.550	20
5	1.925	1.885	40
10	2.185	2.140	45
25	2.520	2.490	30
50	2.765	2.740	25
100	3.005	2.975	30
250	3.315	3.280	35
500	3.545	3.510	35
1.000	3.775	3.735	40
1.250	3.845	3.805	40
2.500	4.075	4.030	45
5.000	4.300	4.250	50
10.000	4.520	4.470	50

4 Bepalen van de werklijn

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is de frequentieanalyse uitgevoerd met als voornaamste resultaat voor de Maas een tabel met 13 waarden van de herhalingstijd (variërend van 2 tot 10.000 jaar) en de bijbehorende afvoer. Om een afvoer voor een willekeurige herhalingstijd tussen de 2 en 10.000 jaar te kunnen bepalen, wordt op basis van deze 13 waarden een functiebeschrijving gebaseerd. Voor deze functiebeschrijving is hier de benaming “werklijn” gekozen, analoog aan de benaming in Boertien II en HR2001 en TMR2006.

4.2 Functiebeschrijving

Net als in HR2001 en TMR2006 is gekozen voor een samengestelde functie, bestaande uit twee regressielijnen van de vorm:

$$\begin{aligned} Q &= a_1 \cdot \ln(T) + b_1 & ; 2 \leq T \leq 25 \\ Q &= a_2 \cdot \ln(T) + b_2 & ; 25 \leq T \leq 10.000 \end{aligned}$$

waarin:

T	=	herhalingstijd
Q	=	bijbehorende afvoer
a_1, a_2, b_1, b_2	=	constanten, af te leiden uit de reeds bepaalde 13 combinaties van herhalingstijden en afvoerwaarden.

De twee regressielijnen komen samen bij $T=25$ jaar. De keuze voor de samenkomst bij 25 jaar komt voort uit het feit dat de werklijn met deze keuze optimaal de vastgestelde afvoeren benadert. Aan de functiebeschrijving zijn in deze analyse twee voorwaarden gesteld:

1. De werklijn moet continu zijn, d.w.z. de afvoer voor $T=25$ jaar moet voor beide regressielijnen exact gelijk zijn.
2. Voor $T=1.250$ jaar moet de functiebeschrijving (afgerond) dezelfde afvoer genereren als de oorspronkelijk bepaalde waarde uit Tabel 3.1.

4.3 Resultaten

Onderstaand zijn de functiebeschrijvingen weergegeven van de werklijn van de meetreeks. In Tabel 4.1 wordt voor verschillende herhalingstijden de werklijn vergeleken met de tabelwaarden waarop deze gefit is. Het maximale verschil tussen de werklijn en de tabelwaarden blijkt gelijk aan $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (geconstateerd bij een herhalingstijd van 10.000 jaar).

Werklijn:

$$\begin{aligned} Q &= 380,24 \ln(T) + 1309,08 & ; 2 < T < 25 \\ Q &= 334,83 \ln(T) + 1455,36 & ; 25 < T < 10.000 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Mate van fit van de werklijn

Herhalings tijd (jaar)	werklijn	Tabel 3.1	verschil
2	1575	1570	5
5	1920	1925	-5
10	2185	2185	0
25	2535	2520	15
50	2765	2765	0
100	2995	3005	-10
250	3305	3315	-10
500	3535	3545	-10
1.000	3770	3775	-5
1.250	3845	3845	0
2.500	4075	4075	0
5.000	4305	4300	5
10.000	4540	4520	20

4.4 Verdere afronding van de maatgevende afvoer

In het kader van HR2001 en HR2006 is de maatgevende afvoer van de Maas afgerond naar 3.800 m³/s, mede om de indruk van schijnnaauwkeurigheid te vermijden. Op basis van de resultaten van het huidige onderzoek is een dergelijke afronding wederom te billijken. In dat geval dient wel een nieuwe functiebeschrijving afgeleid te worden voor de werklijn om er zorg voor te dragen dat deze bij een herhalingstijd van 1250 jaar exact gelijk is aan 3.800 m³/s. De functiebeschrijving wordt afgeleid op basis van opgeschaalde waarden van de eerder berekende afvoeren (zie Tabel 4.2). Bij het opschalen is het principe aangehouden dat de procentuele verandering van de afvoer gelijk is aan de verandering bij 1250 jaar als gevolg van het afronden naar een afvoer van 3.800 m³/s. Tot slot wordt opgemerkt dat alle afvoeren van Tabel 4.2 zijn afgerond op vijftallen.

Tabel 4.2 Opschalen van berekende afvoeren

herhalings- tijd (jaar)	afvoer (m ³ /s)	
	berekend	herschaald
2	1.570	1.550
5	1.925	1.900
10	2.185	2.160
25	2.520	2.490
50	2.765	2.735
100	3.005	2.970
250	3.315	3.275
500	3.545	3.505
1.000	3.775	3.730
1.250	3.845	3.800
2.500	4.075	4.025
5.000	4.300	4.250
10.000	4.520	4.465

Onderstaand is de functiebeschrijving weergegeven van de werklijn. In Tabel 4.3 wordt voor verschillende herhalings tijden de werklijn vergeleken met de tabelwaarden waarop deze gefit is. Het maximale verschil tussen de werklijn en de tabelwaarden blijkt gelijk aan 20 m³/s (geconstateerd bij een herhalings tijd van 10.000 jaar).

Werklijn:

$$Q = 376,85 \ln(T) + 1290,96 \quad ; 2 < T < 25$$

$$Q = 330,75 \ln(T) + 1439,44 \quad ; 25 < T < 10.000$$

Tabel 4.3 Mate van fit van de werklijn

Herhalings tijd (jaar)	werklijn	Tabel 4.2	verschil
2	1.550	1.550	0
5	1.895	1.900	-5
10	2.160	2.160	0
25	2.505	2.490	15
50	2.735	2.735	0
100	2.965	2.970	-5
250	3.265	3.275	-10
500	3.495	3.505	-10
1.000	3.725	3.730	-5
1.250	3.800	3.800	0
2.500	4.025	4.025	0
5.000	4.255	4.250	5
10.000	4.485	4.465	20

5 Samenvatting en conclusies

Met de invoering van de Wet op de Waterkeringen wordt iedere vijf jaar een randvoorwaardenboek uitgebracht met daarin de hydraulische randvoorwaarden voor alle primaire waterkeringen in Nederland. In het kader van het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2011 (WTI2011) is in deze studie de 1/1250-jaar afvoer voor de Maas (bij Borgharen) en de bijbehorende werklijn bepaald. Daarbij is gebruik gemaakt van gemeten afvoeren van de hydrologische jaren 1911 t/m 2008.

De meetreeks is gehomogeniseerd en vervolgens zijn meerdere verdelingsfuncties gefit. Deze functies zijn vervolgens gemiddeld volgens een procedure die eerder in het kader van de commissie Boertien II, HR2001 en TMR2006 is toegepast. Het resultaat van deze exercitie is een relatie tussen afvoer en herhalingstijd met een bijbehorend betrouwbaarheidsinterval. De maatgevende afvoer (herhalingstijd 1250 jaar) komt uit op $3.845 \text{ m}^3/\text{s}$, hetgeen een *toename* is in vergelijking met HR2001 van $40 \text{ m}^3/\text{s}$ en een *afname* is in vergelijking met TMR2006 van $120 \text{ m}^3/\text{s}$. De toename van HR2001 naar TMR2006 wordt veroorzaakt door een aantal forse hoogwaters in de hydrologische jaren 1998-2002. De huidige afname ten opzichte van TMR2006 wordt met name veroorzaakt door correcties van de afvoeren na 20 december 1995.

De resultaten van bovenstaande analyse zijn in tabelvorm gegeven, waarin voor 13 waarden van de herhalingstijd (variërend van 2 tot 10.000 jaar) de bijbehorende afvoer is weergegeven. Vervolgens is op basis van deze 13 tabelwaarden een functiebeschrijving (werklijn) afgeleid. Met deze werklijn kan de afvoer voor elke willekeurige herhalingstijd tussen de 2 en 10.000 jaar bepaald worden.

6 Referenties

- Aggersloot, 2007: QH-krommes Maas, WAQUA-simulaties t.b.v. Beheer en Onderhoud QH-krommes Maas, R.C. Aggersloot, Aggersloot Hydraulisch Advies
- Boertien I (Ministerie van verkeer en waterstaat), 1993: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen, deelrapport 2: Maatgevende belastingen.
- Boertien II (Ministerie van Verkeer en Waterstaat), 1994. Onderzoek Watersnood Maas, deelrapport 4, hydrologische aspecten.
- HKV, 1998: Nader onderzoek afvoeren Maas, hoogwaters 1984-1987, deelrapport 4.
- HR, 2001: Hydraulische randvoorwaarden 2001, voor het toetsen van primaire waterkeringen; Rijkswaterstaat DWW, december 2001.
- RIZA, 2001: Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas. RIZA rapport 2002.014, oktober 2001.
- RIZA 2003: Hydraulische randvoorwaarden Maas, RIZA-memo 2003-02(A).
- RWS Limburg, 2007: Beheer & Onderhoud QH-krommes Eijsden, Venlo & Megen, rapport I/RA/12050/07.080/SDO, International Marine & Dredging Consultants N.V
- WL, 1999: Onderzoek 1/1250 jaar afvoer bij Borgharen, N. Lorenz, en J. Kwadijk, rapport WL | Delft Hydraulics.
- WL, 2004: HR2006 herberekening werklijn Maas, F.Diermanse, rapport WL | Delft Hydraulics.

A Tabellen met gehomogeniseerde afvoeren

Deze bijlage bevat de geselecteerde reeks van afvoeren over de hydrologische jaren 1911 – 2008. De gegevens lopen tot en met 25 mei 2009 en daarmee is het hydrologisch jaar 2008 (dat loopt tot 1 oktober 2009) nog niet compleet. Echter, de kans dat er tijdens het zomerseizoen nog een hoogwater optreedt is gering. Ten tijde van het schrijven van dit rapport is het hydrologisch jaar 2008 afgelopen en zijn er geen hoogwaters opgetreden na 25 mei 2009.

Tabel A.1 Gehomogeniseerde reeks jaarmaxima van de Maas bij Borgharen

Jaar	Jaarmaximum (m ³ /s)
1911	1326
1912	1236
1913	1726
1914	1357
1915	2031
1916	1709
1917	1874
1918	1236
1919	2279
1920	662
1921	832
1922	1332
1923	1124
1924	2086
1925	3175
1926	1576
1927	1301
1928	1308
1929	1096
1930	1705
1931	1229
1932	1330
1933	546
1934	1054
1935	1179
1936	1408
1937	1549
1938	1506
1939	2147
1940	1377
1941	1145
1942	1277
1943	752
1944	2022
1945	1737
1946	1524
1947	1572
1948	620
1949	1275

1950	1569
Jaar	Jaarmaximum (m³/s)
1951	1699
1952	1938
1953	671
1954	1366
1955	1863
1956	1441
1957	1989
1958	1269
1959	802
1960	2171
1961	1707
1962	1068
1963	1581
1964	1310
1965	1924
1966	1999
1967	1583
1968	751
1969	2207
1970	937
1971	499
1972	1058
1973	833
1974	1247
1975	691
1976	1219
1977	1090
1978	1358
1979	2142
1980	1345
1981	1415
1982	1120
1983	2316
1984	1583
1985	1680
1986	1522
1987	1925
1988	1269
1989	1444
1990	1837
1991	1654
1992	2281
1993	3039
1994	2746
1995	854
1996	1137
1997	1125
1998	1746
1999	2038
2000	1874
2001	2327
2002	2548

2003	1357
Jaar	Jaarmaximum (m³/s)
2004	1201
2005	1143
2006	1510
2007	1360
2008	1204 ¹⁾

1) Reeks hydrologisch jaar 2008 (1 oktober 2008 – 30 september 2009) niet compleet bij deze analyse; de reeks was tot aan 25 mei 2009 beschikbaar.

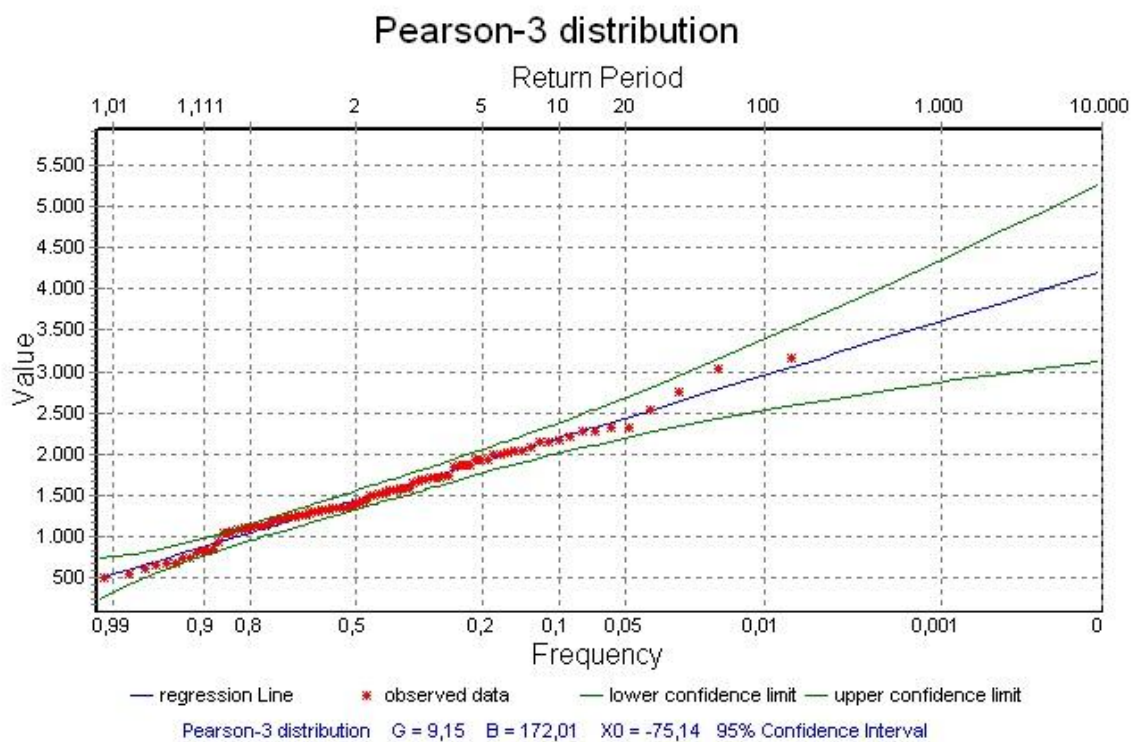
Tabel A.2 Gehomogeniseerde reeks afvoerpieken > 1.3000 m³/s bij Borgharen met een zichtduur van 8 dagen

Jaar	Piekafvoer (m³/s)
1911	1308
1912	1326
1914	1726
1914	1489
1914	1322
1915	1357
1915	2031
1915	1671
1916	1650
1917	1709
1918	1874
1919	1671
1920	2279
1923	1332
1923	1302
1924	2086
1925	1437
1925	1384
1926	3175
1926	1576
1928	1301
1928	1308
1930	1369
1930	1705
1931	1557
1931	1415
1931	1314
1932	1330
1937	1408
1937	1388
1938	1549
1939	1506
1939	2147
1940	1377
1944	1911
1944	1309
1945	2022
1946	1737
1947	1524

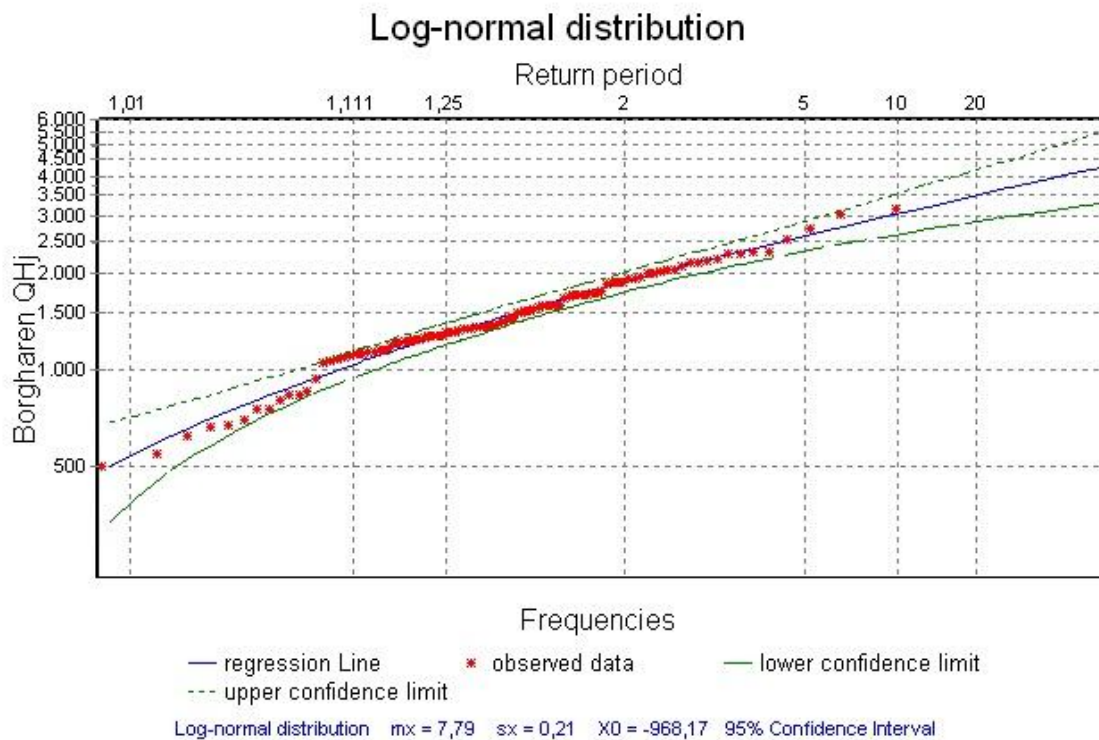
1948	1524
1948	1572
Jaar	Piekafvoer (m³/s)
1951	1569
1952	1421
1952	1699
1952	1450
1952	1938
1955	1366
1956	1863
1957	1441
1957	1370
1958	1989
1960	1607
1961	2171
1962	1707
1963	1581
1965	1310
1965	1914
1965	1924
1966	1700
1966	1300
1966	1999
1966	1339
1967	1583
1968	1362
1970	2207
1979	1358
1979	1467
1980	1467
1980	2142
1981	1345
1981	1376
1982	1415
1984	1415
1984	2316
1984	1583
1986	1680
1987	1522
1988	1925
1990	1444
1991	1837
1991	1654
1993	2281
1993	3039
1994	1654
1994	1367
1995	2746
1998	1746
1999	1416
1999	1389
1999	2038
2001	1874
2001	1831
2002	1975

2002	2327
2002	2051
Jaar	Piekafvoer (m³/s)
2002	1320
2002	1517
2003	2548
2004	1357
2007	1510
2007	1340
2008	1360

B Plots van verdelingsfuncties

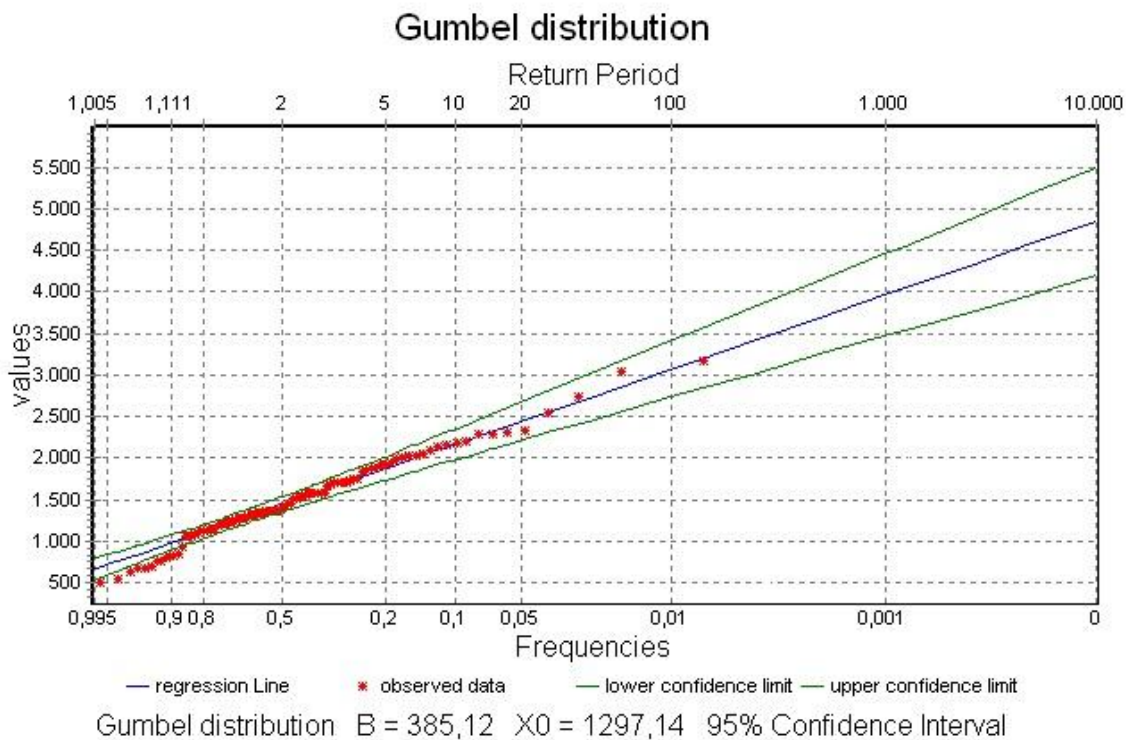


Figuur B.1 Fit van de Pearson-III verdeling op de gehomogeniseerde reeks jaarmaxima van de Maas bij Borgharen.



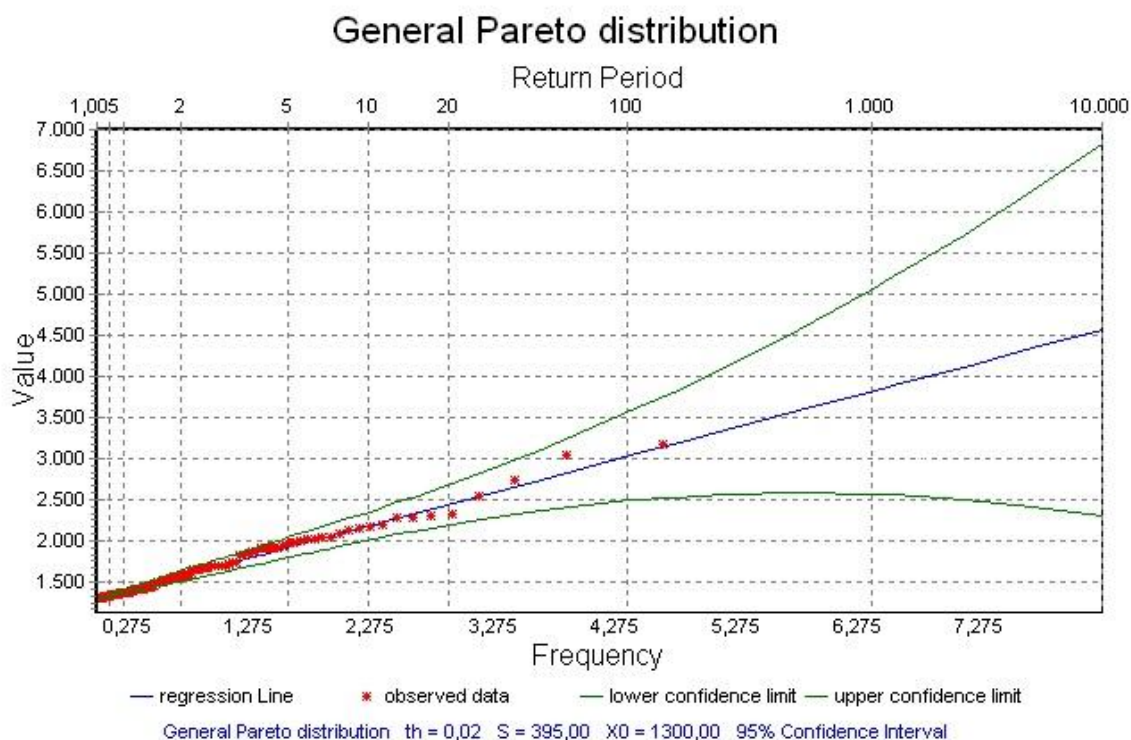
Figuur B.2

Fit van de log-normale verdeling op de gehomogeniseerde reeks jaarmaxima van de Maas bij Borgharen.

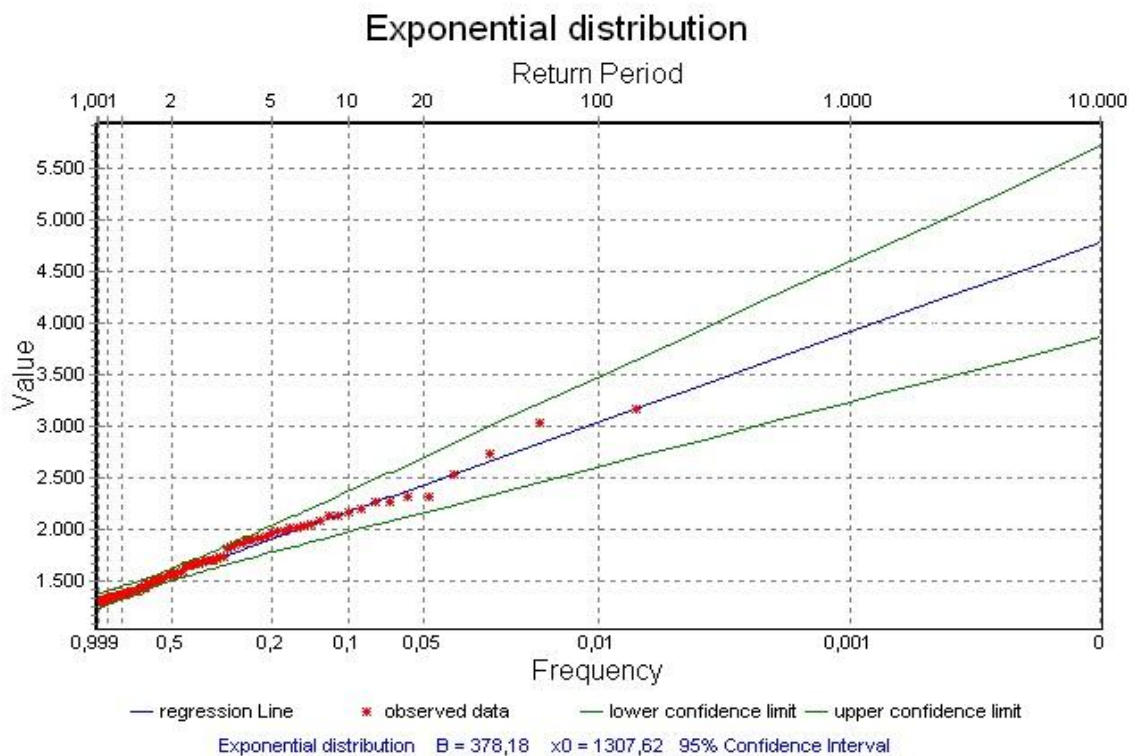


Figuur B.3

Fit van de Gumbel verdeling op de gehomogeniseerde reeks jaarmaxima van de Maas bij Borgharen.



Figuur B.4 *Fit van de Pareto verdeling op de gehomogeniseerde reeks partiële reeks van de Maas bij Borgharen.*



Figuur B.5 *Fit van de exponentiële verdeling op de gehomogeniseerde reeks jaarmaxima van de Maas bij Borgharen.*