

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat, RIZA

## Bepaling van de maatgevende afvoer bij Borgharen

Representativiteit meetreeks, verdelingsfuncties en statistische extrapolatie

rapport

oktober 2000

postadres  
postbus 177  
2600 MH Delft

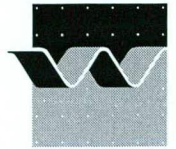
telefoon  
015 285 85 85

e-mail adres  
info@wldelft.nl

telefax  
015 285 85 82

internet  
www.wldelft.nl

bezoekadres  
Rotterdamseweg 185  
Delft



**WL | delft hydraulics**

*uw brief*

*uw kenmerk*

*in behandeling bij*

Ferdinand Diermanse

*doorkiesnummer*

8748

*ons kenmerk*

Q2705

*onderwerp*

Instrumentarium maatgevende afvoeren

*datum*

1 december 2000

Geachte Heer van de Langemheen

Hierbij sturen we u twee exemplaren van een document waarin het onderzoek wordt beschreven naar het "instrumentarium maatgevende afvoeren", zoals dat momenteel bij WL wordt uitgevoerd. Benadrukt dient te worden dat het een werkdocument betreft en derhalve verre van compleet is.

De inhoud van het document zal mede als basis dienen van de bijeenkomst van 6 December a.s. Verder zal de inhoud toegelicht worden middels een korte presentatie van onze zijde. In die presentatie zullen tevens de onderzoeksplannen voor volgend jaar gepresenteerd worden. Inbreng van uw zijde ten aanzien van deze plannen wordt daarbij op prijs gesteld.

Met vriendelijke groet

Bob van Kappel en Ferdinand Diermanse

*bijlage(n)*



*Gespecialiseerd advies: van beleidsondersteuning tot ontwerp en technische assistentie*

De Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan de Stichting Waterloopkundig Laboratorium, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Arrondissementsrechtbank te 's-Gravenhage en de Kamer van Koophandel en Fabrieken te Delft, zijn van toepassing op alle opdrachten aan de Stichting Waterloopkundig Laboratorium.



Rijkswaterstaat/RIZA  
Rijksinstituut voor  
Integraal Zoetwaterbeheer en  
Afvalwaterbehandeling  
Documentatie  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

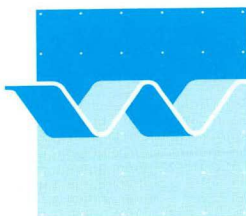
## Bepaling van de maatgevende afvoer bij Borgharen

Representativiteit meetreeks, verdelingsfuncties en statistische extrapolatie

N.N. Lorenz, J.C.J. Kwadijk, F.L.M. Diermanse

rapport

oktober 2000



**wL | delft hydraulics**



OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat, RIZA

TITEL: Onderzoek 1/1250 jaar afvoer bij Borgharen

**SAMENVATTING:**

Rijkswaterstaat heeft recent het project Randvoorwaardenboek 2001 opgestart. Ten behoeve van dit project worden onder andere de maatgevende afvoer voor de Maas bij Borgharen vastgesteld. Het onderliggende deelrapport beschrijft de resultaten van het onderzoek naar de representativiteit van de meetreeks en de statistische extrapolatie ten behoeve van de bepaling van de maatgevende afvoer bij Borgharen en de bijbehorende werklijn. De gevolgde werkwijze komt nagenoeg overeen met de werkwijze gevolgd bij het Boertien II-onderzoek.

Voor de bepaling van de werklijn voor de Maas is de volgende procedure gehanteerd:


- Voor herhalingstijden kleiner dan 25 jaar wordt de werklijn gebaseerd op een frequentieanalyse van afvoertoppen met de Pareto verdeling;
- Voor herhalingstijden groter dan 25 jaar wordt de werklijn gebaseerd op een middeling van de uitkomsten van een frequentie-analyse met de volgende vier verdelingen:
  1. de 3-parameter log-normale verdeling, de Pearson-III verdeling en de Gumbel-verdeling. Hierbij is gebruik gemaakt van de jaarmaxima, waarbij voor de Gumbel-verdeling een ondergrens van 1000 m<sup>3</sup>/s wordt toegepast op de data;
  2. de exponentiële verdeling op de afvoertoppen (partiële serie).
- Bij elke verdeling is een 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend.

Voor de berekeningen in het rapport is in eerste instantie gebruik gemaakt van afvoeren uit de hydrologische jaren 1911-1996 (d.w.z. de reeks van 1 oktober 1911 tot en met 30 september 1997). Daarbij is voor de afvoeren uit de periode 1984-1992 een correctie uitgevoerd op basis van de nieuwe Q(h) relatie. Omdat in november 1998 een piekafvoer op de Maas is opgetreden, is in appendix C een herberekening uitgevoerd met de reeks afvoeren uit de hydrologische jaren 1911-1998. Daarbij zijn berekeningen uitgevoerd voor zowel de oorspronkelijke meetreeks als de reeks met de genoemde correctie voor de jaren 1984-1992. De berekende 1/1250 jaar afvoer voor de drie varianten is als volgt:

- Meetreeks 1901-1996, met correctie voor de jaren 1984-1992: 3830 m<sup>3</sup>/s
- Meetreeks 1901-1998, zonder correctie voor de jaren 1984-1992: 3850 m<sup>3</sup>/s
- Meetreeks 1901-1998, met correctie voor de jaren 1984-1992: 3805 m<sup>3</sup>/s

Verder is een analyse uitgevoerd van historische hoogwatergegevens met als doel om de representativiteit van de meetreeks van negentig jaar van de Maas te onderzoeken. Geconcludeerd wordt dat de aanname, dat de meetreeks vanaf 1911 representatief is, *niet* verworpen kan worden, aangezien zeer extreme hoogwaters (>3000 m<sup>3</sup>/s) in het verleden een overeenkomstige frequentie vertonen als die berekend volgens de werklijn. De herhalingstijden van afvoeren in de klasse 2500-3000 m<sup>3</sup>/s vallen ruim binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval rondom de werklijn. Hoogwaters met afvoeren tussen 2000 en 2500 m<sup>3</sup>/s blijken niet geschikt voor deze analyse, omdat de registratie van dergelijke hoogwaters in het verleden slecht is geweest.

**REFERENTIES:**

VER.	AUTEUR		DATUM		OPMERK.	REVIEW		GOEDKEURING	
	Natalie Lorenz		3-12-1998			Jaap Kwadijk		Karel Heynert	
	Natalie Lorenz		11-03-1999			Jaap Kwadijk		Karel Heynert	
	Natalie Lorenz		07-09-1999			Jaap Kwadijk		Karel Heynert	
	Ferdinand Diermanse	fn	19-10-2000			Natalie Lorenz		Karel Heynert	kh
PROJECTNUMMER:			R3310						
TREFWOORDEN:			Maatgevende afvoer, Maas						
INHOUD:	TEKST	39	TABELLEN	22	FIGUREN	14	APPENDICES	3	
STATUS:		<div><input type="checkbox"/> VOORLOPIG</div> <div><input type="checkbox"/> CONCEPT</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF</div>							



# Inhoud

<b>Samenvatting .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
<b>2 Doelstelling .....</b>	<b>2-1</b>
<b>3 Methodiek .....</b>	<b>3-1</b>
<b>4 Statistische extrapolatie.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 Samenstellen van de meetreeks .....	4-1
4.2 Herhalingstijden volgens verschillende verdelingen .....	4-7
4.3 Afleiding van de werklijn .....	4-12
<b>5 Representativiteit van de meetreeks bij Borgharen .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 Indeling van historische hoogwaters.....	5-1
5.2 Methodiek .....	5-3
5.3 Resultaten .....	5-4
5.4 Conclusies.....	5-7
<b>6 Conclusies .....</b>	<b>6-1</b>
<b>7 Referenties .....</b>	<b>7-1</b>

## Bijlagen

<b>A Methode schatten parameters</b>	<b>A-1</b>
<b>B Betrouwbaarheidsintervallen</b>	<b>B-1</b>
<b>C Herberekening op basis series t/m 1998</b>	<b>C-1</b>

## Samenvatting

Op grond van de afvoerreeks voor de Maas bij Borgharen is een 1/1250 jaar afvoer vastgesteld. Daarbij is een werklijn afgeleid, waarmee afvoeren met herhalingstijden tussen de 2 en 10.000 jaar kunnen worden berekend. Rondom de werklijn is een 95%-betrouwbaarheidsband aangegeven. De werklijn is op representativiteit onderzocht met behulp van historische afvoeren. De 1/250 afvoer met de werklijn vormen één van de varianten waarop de definitieve werklijn zal worden gebaseerd.

Voor de bepaling van de 1/1250 afvoer is gebruik gemaakt van dezelfde methode als in de Boertien II-studie. Voor de berekening van de afvoeren met herhalingstijden groter dan 25 jaar zijn de 3-parameter log-normale verdeling, de Pearson-III verdeling, de Gumbel-verdeling en de exponentiële verdeling gebruikt. Bij de eerste drie verdelingen is gebruik gemaakt van de jaarmaxima voor hydrologische jaren, 1 oktober - 30 september, waarbij voor de Gumbel-verdeling een ondergrens van 1000 m<sup>3</sup>/s is toegepast op de data. Bij de exponentiële verdeling wordt gebruik gemaakt van een partiële serie. Deze partiële serie is gebaseerd op de afvoertoppen tussen 1911 en 1997 met een zichtduur van 8 dagen. Voor afvoeren kleiner dan 25 jaar is gebruik gemaakt van de Pareto-verdeling, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de partiële serie. Voor alle verdelingen is een 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend. De afvoeren met herhalingstijden tussen 2 en 10.000 jaar zijn bepaald door middeling van de uitkomsten uit de verschillende verdelingen. Op deze wijze is ook een gemiddeld 95%-betrouwbaarheidsinterval bepaald.

Voor de berekeningen in het rapport is in eerste instantie gebruik gemaakt van de gemeten reeks afvoeren van de hydrologische jaren 1911-1996 (d.w.z. de reeks van 1 oktober 1911 tot en met 30 september 1997). Daarbij is voor de afvoeren uit de periode 1984-1992 een correctie uitgevoerd op basis van de nieuwe Q(h) relatie. Omdat in november 1998 een piekafvoer op de Maas is opgetreden, is in Bijlage C een herberekening uitgevoerd met de reeks afvoeren uit de hydrologische jaren 1911-1998. Daarbij zijn berekeningen uitgevoerd voor zowel de oorspronkelijke meetreeks als de reeks met de genoemde correctie voor de jaren 1984-1992. In totaal zijn derhalve drie varianten doorgerekend. De berekende 1/1250 jaar afvoer voor de drie varianten is als volgt:

- Meetreeks 1901-1996, met correctie voor de jaren 1984-1992: 3830 m<sup>3</sup>/s
- Meetreeks 1901-1998, zonder correctie voor de jaren 1984-1992: 3850 m<sup>3</sup>/s
- Meetreeks 1901-1998, met correctie voor de jaren 1984-1992: 3805 m<sup>3</sup>/s

Op grond van de onderzochte varianten is een voorlopige werklijn vastgesteld door een samengestelde functie van twee logaritmische regressielijnen te fitten door de gemiddelde uitkomsten van de verschillende verdelingen. Deze voorlopige werklijn waarmee afvoeren Q met herhalingstijden T tussen de 2 en 10 000 jaar kan worden berekend, is een samengestelde functie van twee logaritmische regressielijnen. Deze twee lijnen zijn van de onderstaande vorm:

$$Q = a * \ln(T) + b$$



Hierin zijn  $a$  en  $b$  de af te leiden regressie-constanten. Voor het gemiddelde 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn ook de regressielijnen bepaald. De herberekende 1/1250 afvoer, de bijbehorende werklijn en het 95%-betrouwbaarheidsinterval vormen samen één van de varianten op basis waarvan de definitieve maatgevende afvoer en de definitieve werklijn worden vastgesteld.

De gebruikte reeks is onderzocht op zijn representativiteit. Deze representativiteit is beoordeeld door middel van een analyse van hoogwaters die in het verleden zijn voorgekomen. Met behulp van deze analyse is de verwachte frequentie van hoogwaters groter dan  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ , afgeleid uit de werklijn, beoordeeld. Uit de analyse van historische afvoeren kan worden geconcludeerd dat de aanname, dat de meetreeks vanaf 1911 representatief is, *niet* verworpen kan worden, aangezien de meest extreme hoogwaters in het verleden in grootte orde dezelfde frequentie vertonen als die berekend volgens de werklijn. Het in beschouwing nemen van minder hoge historische afvoeren, tussen  $2000$  en  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ , is niet zinvol, daar deze minder extreme hoogwaters in de geschiedenis slechts incidenteel zijn geregistreerd.

# I Inleiding

Rijkswaterstaat heeft recent het project Randvoorwaardenboek 2001 opgestart. Dit is in het kader van de Wet op de Waterkeringen, waarin staat vastgelegd dat iedere vijf jaar een randvoorwaardenboek wordt uitgebracht met daarin de maatgevende hydraulische belastingen voor alle primaire waterkeringen in Nederland. Ten behoeve van dit project worden onder andere de maatgevende afvoer voor de Rijn bij Lobith, de Maas bij Borgharen en de Overijsselse Vecht bij Dalfsen vastgesteld.

RIZA heeft het initiatief voor dit onderdeel en heeft WL | Delft Hydraulics, HKV-Lijn in water en de Bundesanstalt für Gewässerkunde gevraagd diverse aspecten die relevant zijn voor de bepaling van de maatgevende afvoeren nader te onderzoeken. In onderstaande Tabellen 1.1 t/m 1.3 is een overzicht gegeven van de benodigde werkzaamheden en is aangegeven welke onderdelen door de diverse instituten worden uitgevoerd. Met een grijze arcering zijn de onderwerpen van het voorliggende rapport aangegeven.

Tabel 1.1 Werkzaamheden ter bepaling van de maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith

Onderdeel	Uitvoering	Kwaliteitscontrole
1. representativiteit gemeten afvoeren	WL	RIZA
2. homogeniseren gemeten afvoeren	BfG / RIZA	WL
3. statistische extrapolatie en bepaling van de werklijn	WL	RIZA
4. golfvorm	HKV	WL
5. effecten klimaat-verandering	RIZA	WL
6. effecten maatregelen rivier	BfG / RIZA	WL
7. eindrapportage	RIZA / WL	

Tabel 1.2 Werkzaamheden ter bepaling van de maatgevende afvoer van de Maas bij Borgharen

Onderdeel	Uitvoering	Kwaliteitscontrole
1. representativiteit gemeten afvoeren	WL	RIZA
2. homogeniseren gemeten afvoeren	HKV	RIZA/DL
3. Statistische extrapolatie en bepaling van de werklijn	WL	RIZA
4. golfvorm	HKV	WL
5. effecten klimaat-verandering	RIZA	WL
6. eindrapportage	RIZA / WL	



Tabel 1.3 Werkzaamheden ter bepaling van de maatgevende afvoer van de Vecht in Dalfsen

Onderdeel	Uitvoering	Kwaliteitscontrole
1. representativiteit van de gemeten afvoeren	WL	RIZA
2. Statistische extrapolatie en bepaling van de werklijn	WL	RIZA
3. golfvorm	WL	RIZA
4. effecten klimaatverandering	WL	RIZA
5. effect maatregelen rivier	WL	RIZA
6. SOBEK berekeningen en werklijn/golfvorm Dalfsen	HKV	WL
7. eindrapportage	RIZA / WL	

De offerteaanvraag is beschreven in de bijlage bij de brief van RIZA, RIZA 98/181, d.d. 24-06-1998. De voorgestelde uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven in de gezamenlijke WL | Delft Hydraulics, HKV-Lijn in water offerte aangeboden d.d. 17-08-1998 als bijlage bij het schrijven RBM6288/R3310.95.

Het onderliggende deelrapport beschrijft de resultaten van het onderzoek naar de representativiteit van de meetreeks en de statistische extrapolatie (werkzaamheden 1 en 3 in Tabel 1.2), ten behoeve van de bepaling van de maatgevende afvoer van de Maas bij Borgharen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten van deelrapport 2, waarin de homogenisatie wordt beschreven. Op grond van de resultaten wordt een werklijn opgesteld waarmee afvoeren bij verschillende herhalingstijden kunnen worden berekend. Dit rapport vormt daarmee deelrapport 3 (offerte pag. 8-3). De definitieve werklijn voor het komende randvoorwaardenboek wordt in de eindrapportage vastgesteld.

Het rapport is als volgt ingedeeld: hoofdstuk 2 behandelt de doelstelling van het gehele project 'Randvoorwaardenboek 2001' en de specifieke doelstelling van deze deelstudie. De gehanteerde methodiek voor de statistische analyse wordt in hoofdstuk 3 uiteengezet. In hoofdstuk 4 worden de meetreeksen, waarop sinds het Boertien II-onderzoek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994) correcties zijn toegepast, samengesteld en gebruikt in de statistische extrapolatie. Hiermee wordt vervolgens opnieuw een werklijn afgeleid. Hoofdstuk 5 behandelt de representativiteit van de meetreeks bij Borgharen, waarbij historische afvoeren van vóór 1911 worden geklassificeerd om herhalingstijden te kunnen schatten. De hoofdstukken 6, 7 en 8 bevatten respectievelijk de conclusies, referenties en de samenvatting.

Voor de berekeningen in het rapport is in eerste instantie gebruik gemaakt van de hydrologische jaren 1911-1996 (d.w.z. de reeks van 1 oktober 1911 tot en met 30 september 1997). Daarbij is voor de afvoeren uit de periode 1984-1992 een correctie uitgevoerd op basis van de nieuwe  $Q(h)$  relatie. Omdat in november 1998 een piekafvoer op de Maas is opgetreden is in Bijlage C een herberekening uitgevoerd met de reeks afvoeren uit de hydrologische jaren 1911-1998.

## 2 Doelstelling

De centrale doelstelling van het nevenproject “Maatgevende afvoer Lobith, Borgharen en Dalfsen” van het project Randvoorwaardenboek 2001 is de bepaling van de beste schatting voor de maatgevende afvoer, de vorm van de maatgevende afvoergolf en de werklijn voor de meetstations Lobith, Borgharen en Dalfsen aan respectievelijk de Rijn, Maas en Overijsselse Vecht. De maatgevende afvoergolf is daarbij gedefinieerd als de afvoergolf, behorende bij een maximale afvoer die met een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar voor kan komen.

De doelstellingen van dit deelonderzoek zijn:

- Bepalen van één van de varianten voor de maatgevende afvoer bij Borgharen en een bijbehorende werklijn, die de herhalingstijd van afvoeren bij Borgharen in de tijd representeert en waarmee afvoeren kunnen worden vastgesteld met herhalingstijden tussen 2 en 10.000 jaar.
- Een schatting van de betrouwbaarheid van deze werklijn in de vorm van een bijbehorend 95 %-betrouwbaarheidsinterval.
- Beoordelen van de representativiteit van de beschikbare afvoermeetreeksen Borgharen.

### Uitgangspunten

De gevolgde werkwijze voor de bepaling van de 1/1250 afvoer bij Borgharen komt nagenoeg overeen met de werkwijze gevolgd bij het Boertien II-onderzoek. Deze werkwijze staat beschreven in Deelrapport 4, Hydrologische aspecten van het Onderzoek Watersnood Maas (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994). In het vervolg van dit rapport zal hiernaar worden gerefereerd als het Boertien II-onderzoek. De verschillen bestaan daarin dat de beschouwde meetreeks langer is, 1911-1997 in plaats van 1911-1993, en dat een aanpassing is toegepast op afvoeren tussen 1984 en 1987 door vertaling van de nieuwe  $Q/h$  relatie waarbij rekening gehouden is met de bodemdaling (HKV, 1998). Voor het onderzoek naar de representativiteit zijn behalve historische afvoeren groter dan 2500 m<sup>3</sup>/s ook historische afvoeren tussen de 2000 m<sup>3</sup>/s en 2500 m<sup>3</sup>/s zijn meegenomen.

De 1/1250 afvoer en bijbehorende werklijn zoals in dit deelrapport wordt beschreven, is één van de bouwstenen voor de eindrapportage op basis waarvan de definitieve maatgevende afvoer en de definitieve werklijn worden vastgesteld. Bij deze keuze zullen, naast de analyse in dit deelrapport, ook analyses van 1/1250 afvoeren worden meegenomen die gebaseerd zijn op:

- het in beschouwing nemen van de meetreeks tot en met 1998 (zie Bijlage C);
- het niet achteraf corrigeren van de meetreeks voor de periode 1984-1992;
- het gebruik maken van alternatieve statistische technieken.

Het moet dan ook benadrukt worden dat wanneer in dit deelrapport van een “1/1250 afvoer” en “werklijn” wordt gesproken, dit niet de definitieve maatgevende afvoer en definitieve werklijn zijn.



### 3 Methodiek

Voor de bepaling van de werklijn in dit deelrapport voor de Maas is de volgende procedure gehanteerd:

- Voor herhalingstijden kleiner dan 25 jaar wordt de werklijn gebaseerd op een frequentieanalyse van afvoertoppen met de Pareto-verdeling.
- Voor herhalingstijden groter dan 25 jaar wordt de werklijn gebaseerd op een middeling van de uitkomsten van een frequentie-analyse 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 jaarmaxima, waarbij voor de Gumbel-verdeling een ondergrens van 1000 m<sup>3</sup>/s wordt toegepast op de data;
  - de exponentiële verdeling op de afvoertoppen (partiële serie).
- Bij elke verdeling is een 95%- betrouwbaarheidsinterval berekend.
- Voor de twee bereiken 2-250 jaar en 250 -10.000 jaar zijn functies bepaald waarmee voor iedere willekeurige herhalingstijd de bijbehorende afvoer kan worden bepaald, mits die herhalingstijd binnen het geldigheidsbereik ligt van de werklijn (2 - 10.000 jaar).
- De twee bereiken zijn samengevoegd tot één werklijn.
- Daarnaast is een 95%-betrouwbaarheidsinterval *rondom de werklijn* geschat, met behulp van de uitkomsten van de intervallen per verdeling. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval rondom de werklijn is volgens dezelfde procedure gemiddeld als bij de bepaling van de werklijn: voor herhalingstijden tot 25 jaar is deze gebaseerd op het betrouwbaarheidsinterval van de Pareto-verdeling, voor herhalingstijden groter dan 25 jaar is deze gebaseerd op het gemiddelde van de betrouwbaarheidsintervallen van de log-normale, Pearson-III-, Gumbel- en de exponentiële verdeling. Dit betekent dat in feite de betrouwbaarheidsgrenzen niet echte statistische 95%-boven- en ondergrens zijn. Ze vormen echter wel een goede maat voor de nauwkeurigheid van de afvoeren van de werklijn.

Bij elk van de statistische verdelingen worden de bijbehorende parameters zo berekend dat de frequentielijn zo goed mogelijk fit op de metingen. In Tabel 1.3 zijn de daarbij gebruikte methoden gegeven, met de bijbehorende serie waarop de verdeling wordt toegepast. Deze methoden om te fitten zijn gelijk aan die gebruikt in het Boertien II-onderzoek. In Bijlage A wordt de gemodificeerde 'maximum likelihood'-schattingmethode toegelicht.

Tabel 3.1 Gebruikte methoden om te fitten behorende bij de statistische verdelingen

Statistische verdeling	Type serie	Methode om te fitten
Gumbel-verdeling	serie jaarmaxima	gemodificeerde 'maximum likelihood'- schattingsmethode met weglating van waarden onder een drempelwaarde van 1000 m <sup>3</sup> /s
Pearson-III-verdeling	serie jaarmaxima	3-parameter verdeling, gemodificeerde 'maximum likelihood'-schattingsmethode
3 parameter Log-normale verdeling	serie jaarmaxima	3-parameter verdeling, gemodificeerde 'maximum likelihood'-schattingsmethode
Exponentiële verdeling	partiële serie	parameters bepaald uit 1e en 2e moment, geen drempelwaarde
Pareto-verdeling	partiële serie	drempelwaarde in de verdeling van 1300 m <sup>3</sup> /s, vormparameter $\theta < 0$ , gemodificeerde 'maximum likelihood'-schattingsmethode



## 4 Statistische extrapolatie

### 4.1 Samenstellen van de meetreeks

Voor de herberekening van de werklijn in dit deelrapport is gebruik gemaakt van de afvoerreeks van 1 okt. 1911 tot en met 30 sept. 1997 (dit zijn de hydrologische jaren 1911-1996), gemeten te Borgharen. De datareeks die hierbij wordt gebruikt, bestaat uit:

- de gebruikte reeks van het Boertien II-onderzoek van de hydrologische jaren 1911 tot en met 1993;
- de aanvulling van afvoergegevens voor de hydrologische jaren 1994 tot en met 1996.

In Boertien II zijn tot 1973 de reeksen van maximale afvoeren gebaseerd op de gegevens opgenomen in de jaarboeken. Bij het ontbreken van de maximale afvoer is gebruik gemaakt van de 8-uur topafvoer, dit is de afvoer afgelezen om 8 uur 's morgens, dan wel van de daggemiddelde topafvoer. In Boertien II zijn correcties toegepast voor het verschil tussen de maximale afvoer en respectievelijk de gemiddelde dagwaarde en de 8-uur topafvoer. Vanaf 1973 zijn het afvoeren afgeleid uit een uurlijkse registratie van waterstanden welke zijn opgenomen in het DONAR-bestand.

De gebruikte meetreeks tot en met hydrologisch jaar 1993 heeft een tweetal veranderingen ondergaan sinds het Boertien II-onderzoek:

- op basis van een nieuwe  $Q(h)$ -relatie vanaf 01-01-1993 zijn nieuwe afvoerwaarden afgeleid voor de hydrologische jaren 1992 en 1993 (RWS, 1998);
- de afvoerwaarden tussen 1984 en 1987 zijn gecorrigeerd op grond van de vertaling van de nieuwe  $Q(h)$ -relatie, rekening houdend met bodemdaling. De achtergronden en resultaten van de correcties op de afvoeren tussen 1984 en 1987 zijn beschreven in het rapport "Nader onderzoek afvoeren Maas, hoogwaters 1984-1987" (HKV Lijn in water, 1998 concept).

De afvoerpieken uit de serie van de hydrologische jaren 1995 en 1996 zijn afgeleid uit uurlijks gemeten waterstanden, omgezet in afvoeren met behulp van de  $Q(h)$ -relatie van Borgharen Dorp geldig vanaf 01-01-1993.

Correcties van de afvoerwaarden voor de Maas voor het effect van rivierwerken zijn achterwege gebleven, omdat deze al waren bepaald in het kader van de Boertien II-studie. Een eventuele correctie voor de effectiviteit van bovenstroomse retentiemaatregelen onder maatgevende omstandigheden in Borgharen is niet uitgevoerd, omdat hoogwaterbescherming slechts een gedeelte van de functie betreft van deze retentiebekkens bovenstrooms van Borgharen. De sturing van de aanwezige bekkens vindt voor lokale situaties plaats (Berger, 1992).

Uit de samengestelde en gecorrigeerde afvoerreeks zijn twee series gegenereerd:

- serie van jaarmaxima gebaseerd op hydrologische jaren;
- serie van afvoerpieken (partiële serie) boven een drempelwaarde van 1300 m<sup>3</sup>/s met een zichtduur van 8 dagen.

De serie van jaarmaxima bestaat uit de jaarlijks hoogste afvoer in een hydrologisch jaar (van 1 oktober tot en met 30 september), bij een reeks van N jaar. De partiële serie bestaat uit de N hoogste afvoerwaarden boven een bepaalde drempelwaarde bij een serie van N jaar. De drempelwaarde van de partiële serie wordt derhalve zodanig gekozen dat het aantal afvoerpieken gelijk is aan het aantal jaren metingen (86). Dit is de gebruikelijke procedure voor het afleiden van een partiële serie (bijv. Bras, 1990). De drempelwaarde blijft dezelfde als de waarde die in het Boertien II-onderzoek is gebruikt: bij de aanvulling van drie jaar (1994, 1995 en 1996) komen er precies drie extra hoogste afvoerwaarden bij (twee maal in 1994 en één in 1995).

In Tabel 4.1 zijn de correcties als gevolg van de nieuwe Q(h)-relatie op de afvoerpieken van 1984-1987 weergegeven. In het Boertien II-onderzoek is een homogenisatie uitgevoerd in de vorm van meerdere correcties op de historische gemeten afvoerreeks bij Borgharen. Voor de periode 1984-1987 is daarbij alleen een correctie toegepast voor de effecten van uitgevoerde rivierwerken (baggerwerkzaamheden) in de Waalse Maas (Boertien II-rapport). In Tabel 4.1 is deze correctie weer toegepast, ná de correctie van de gemeten afvoeren als gevolg van de veranderde Q(h)-relatie. De Tabellen 4.2 en 4.3 tonen de uitgangsgegevens voor de maximale en de partiële serie, zoals ze voor de berekening zijn gebruikt.

Tabel 4.1 Correcties toegepast op de afvoerenwaarden van 1984-1987 door toepassing nieuwe Q(h)-relatie (in m<sup>3</sup>/s)

Datum	Gemeten afvoer (Q <sub>hist</sub> , Boertien II)	Gecorrigeerde afvoer op basis van nieuwe Q(h)-relatie	Correctie rivierwerken Waalse Maas (Boertien II)	Gehomogeniseerde afvoer, gecorrigeerd
18-01-1984 09:00	1418	1389	+3	1392
08-02-1984 04:00	2550	2280	+20	2300
24-11-1984 10:00	1635	1578	+6	1584
01-04-1986 16:00	1760	1677	+5	1682
03-01-1987 12:00	1575	1524	+2	1526

Ten behoeve van de definitieve bepaling van de maatgevende afvoer zal ook gerekend worden met de reeks t/m 1998 (zie Bijlage C) en met een reeks waarbij de afvoeren van 1984-1987 *niet* zijn gecorrigeerd (Tabel 4.4).



Tabel 4.2 Jaarmaxima te Borgharen, periode 1911-1996 (in m<sup>3</sup>/s)

Jaarmaxima (hydrologische jaren 1 okt.-30 sept.)				
Jaar	Gehomogeniseerde afvoer (Boertien II)	Gehomogeniseerde afvoer, gecorrigeerd	Verschil Boertien II en nieuwe waarden	Nieuwe aangevulde reeks
1911	1333	-	-	1333
1912	1243	-	-	1243
1913	1733	-	-	1733
1914	1364	-	-	1364
1915	2031	-	-	2031
1916	1716	-	-	1716
1917	1874	-	-	1874
1918	1243	-	-	1243
1919	2279	-	-	2279
1920	669	-	-	669
1921	839	-	-	839
1922	1339	-	-	1339
1923	1131	-	-	1131
1924	2086	-	-	2086
1925	3175	-	-	3175
1926	1582	-	-	1582
1927	1309	-	-	1309
1928	1315	-	-	1315
1929	1103	-	-	1103
1930	1712	-	-	1712
1931	1236	-	-	1236
1932	1338	-	-	1338
1933	553	-	-	553
1934	1061	-	-	1061
1935	1186	-	-	1186
1936	1415	-	-	1415
1937	1556	-	-	1556
1938	1513	-	-	1513
1939	2147	-	-	2147
1940	1384	-	-	1384
1941	1152	-	-	1152
1942	1284	-	-	1284
1943	759	-	-	759
1944	2022	-	-	2022
1945	1744	-	-	1744
1946	1527	-	-	1527
1947	1575	-	-	1575
1948	627	-	-	627
1949	1282	-	-	1282
1950	1576	-	-	1576
1951	1706	-	-	1706
1952	1938	-	-	1938
1953	678	-	-	678
1954	1373	-	-	1373
1955	1863	-	-	1863
1956	1448	-	-	1448
1957	1989	-	-	1989
1958	1276	-	-	1276
1959	809	-	-	809
1960	2171	-	-	2171

Jaarmaxima (hydrologische jaren 1 okt.-30 sept.)				
Jaar	Gehomogeniseerde afvoer (Boertien II)	Gehomogeniseerde afvoer, gecorrigeerd	Verskil Boertien II en nieuwe waarden	Nieuwe aangevulde reeks
1961	1714	-	-	1714
1962	1075	-	-	1075
1963	1588	-	-	1588
1964	1317	-	-	1317
1965	1924	-	-	1924
1966	1999	-	-	1999
1967	1590	-	-	1590
1968	758	-	-	758
1969	2207	-	-	2207
1970	944	-	-	944
1971	506	-	-	506
1972	1065	-	-	1065
1973	839	-	-	839
1974	1253	-	-	1253
1975	697	-	-	697
1976	1225	-	-	1225
1977	1096	-	-	1096
1978	1364	-	-	1364
1979	2142	-	-	2142
1980	1351	-	-	1351
1981	1421	-	-	1421
1982	1126	-	-	1126
1983	2570	2300 <sup>1)</sup>	-270	2300
1984	1641	1584 <sup>1)</sup>	-57	1584
1985	1765	1682 <sup>1)</sup>	-83	1682
1986	1577	1526 <sup>1)</sup>	-51	1526
1987	1922	-	-	1922
1988	1275	-	-	1275
1989	1449	1450 <sup>1)</sup>	+1	1450
1990	1845	1843 <sup>1)</sup>	-2	1843
1991	1660	-	-	1660
1992	2388	2280 <sup>2)</sup>	-108	2280
1993	3120	3039 <sup>2)</sup>	-81	3039
1994	-	2746 <sup>2)</sup>	-	2746
1995	-	837	-	837
1996	-	1124	-	1124

<sup>1)</sup> Gecorrigeerde cijfers tussen 1984 en 1992 door vertaling van de nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 bij Borgharendorp rekening houdend met bodemdaling (HKV Lijn in Water, concept 1998).

<sup>2)</sup> Nieuwe cijfers op basis van Q(h)-relatie Borgharendorp vanaf 01-01-1993 (RWS, 1998)



Tabel 4.3 Afvoerpieken >1300 m<sup>3</sup>/s te Borgharen, met een zichtduur van 8 dagen, periode 1911-1996 (in m<sup>3</sup>/s)

Afvoerpieken > 1300 m <sup>3</sup> /s (kalenderjaren)				
Jaar	Gehomogeniseerde afvoer (Boertien II)	Gehomogeniseerde afvoer, gecorrigeerd	Verschil Boertien II en nieuwe waarden	Nieuwe aangevulde reeks
1911	1315	-	-	1315
1912	1333	-	-	1333
1914	1733	-	-	1733
1914	1496	-	-	1496
1914	1327	-	-	1327
1915	1364	-	-	1364
1915	2031	-	-	2031
1915	1677	-	-	1677
1916	1657	-	-	1657
1917	1716	-	-	1716
1918	1874	-	-	1874
1919	1677	-	-	1677
1920	2279	-	-	2279
1923	1339	-	-	1339
1923	1303	-	-	1303
1924	2086	-	-	2086
1925	1443	-	-	1443
1925	1390	-	-	1390
1926	3175	-	-	3175
1926	1582	-	-	1582
1928	1309	-	-	1309
1928	1315	-	-	1315
1930	1376	-	-	1376
1930	1712	-	-	1712
1931	1564	-	-	1564
1931	1421	-	-	1421
1931	1320	-	-	1320
1932	1338	-	-	1338
1937	1415	-	-	1415
1937	1395	-	-	1395
1938	1556	-	-	1556
1939	1513	-	-	1513
1939	2147	-	-	2147
1940	1384	-	-	1384
1944	1911	-	-	1911
1944	1316	-	-	1316
1945	2022	-	-	2022
1946	1744	-	-	1744
1947	1527	-	-	1527
1948	1527	-	-	1527
1948	1575	-	-	1575
1951	1576	-	-	1576
1952	1428	-	-	1428
1952	1706	-	-	1706
1952	1457	-	-	1457
1952	1938	-	-	1938
1955	1373	-	-	1373
1956	1863	-	-	1863
1957	1448	-	-	1448
1957	1377	-	-	1377

Afvoerpieken > 1300 m <sup>3</sup> /s (kalenderjaren)				
Jaar	Gehomogeniseerde afvoer (Boertien II)	Gehomogeniseerde afvoer, gecorrigeerd	Vershil Boertien II en nieuwe waarden	Nieuwe aangevulde reeks
1958	1989	-	-	1989
1960	1614	-	-	1614
1961	2171	-	-	2171
1962	1714	-	-	1714
1963	1588	-	-	1588
1965	1317	-	-	1317
1965	1914	-	-	1914
1965	1924	-	-	1924
1966	1704	-	-	1704
1966	1304	-	-	1304
1966	1999	-	-	1999
1966	1343	-	-	1343
1967	1590	-	-	1590
1968	1369	-	-	1369
1970	2207	-	-	2207
1979	1364	-	-	1364
1979	1473	-	-	1473
1979	1473	-	-	1473
1980	2142	-	-	2142
1981	1351	-	-	1351
1981	1382	-	-	1382
1982	1421	-	-	1421
1984	1421	1392 <sup>1)</sup>	-30	1391
1984	2570	2300 <sup>1)</sup>	-270	2300
1984	1641	1584 <sup>1)</sup>	-57	1584
1986	1765	1682 <sup>1)</sup>	-83	1682
1987	1577	1526 <sup>1)</sup>	-51	1526
1988	1922	-	-	1922
1990	1449	1450 <sup>1)</sup>	+1	1450
1991	1845	1843 <sup>1)</sup>	-2	1843
1991	1660	-	-	1660
1993	2388	2280 <sup>2)</sup>	-108	2280
1993	3120	3039 <sup>2)</sup>	-81	3039
1994	-	1664 <sup>2)</sup>	-	1664
1994	-	1373	-	1373
1995	-	2746	-	2746

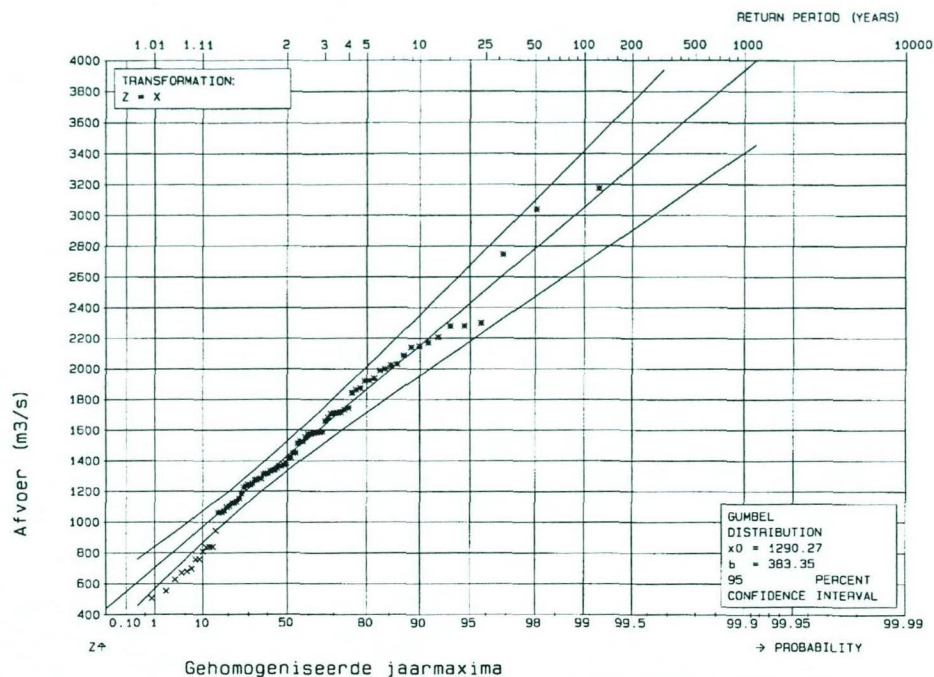
<sup>1)</sup> Gecorrigeerde cijfers tussen 1984 en 1992 door vertaling van de nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 bij Borgharendorp rekening houdend met bodemdaling (HKV Lijn in Water, concept 1998).

<sup>2)</sup> Nieuwe cijfers op basis van Q(h)-relatie Borgharendorp vanaf 01-01-1993 (RWS, 1998)

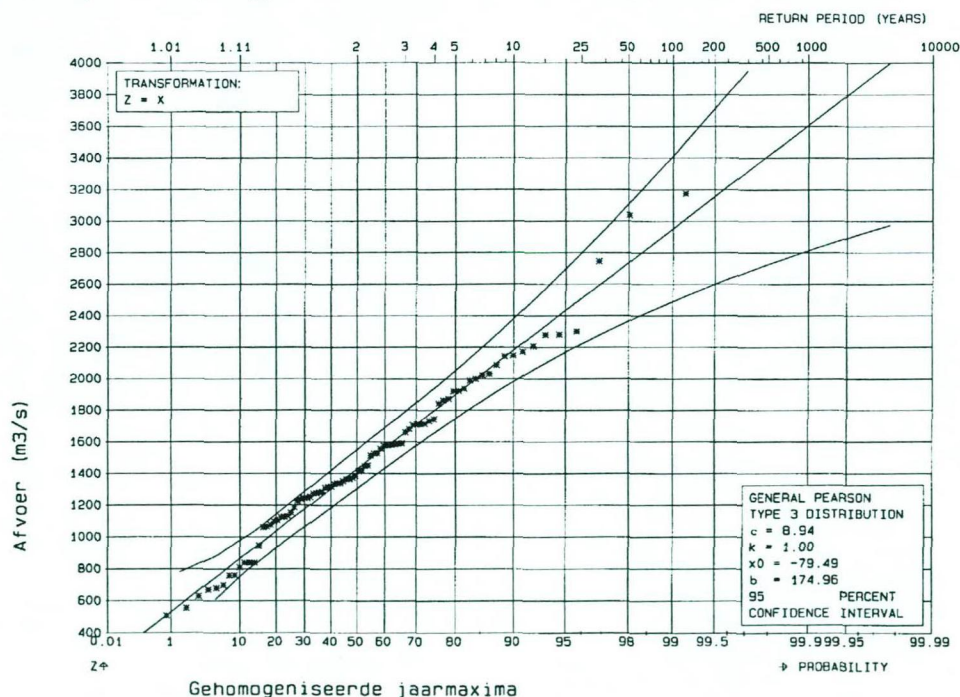


## 4.2 Herhalingstijden volgens verschillende verdelingen

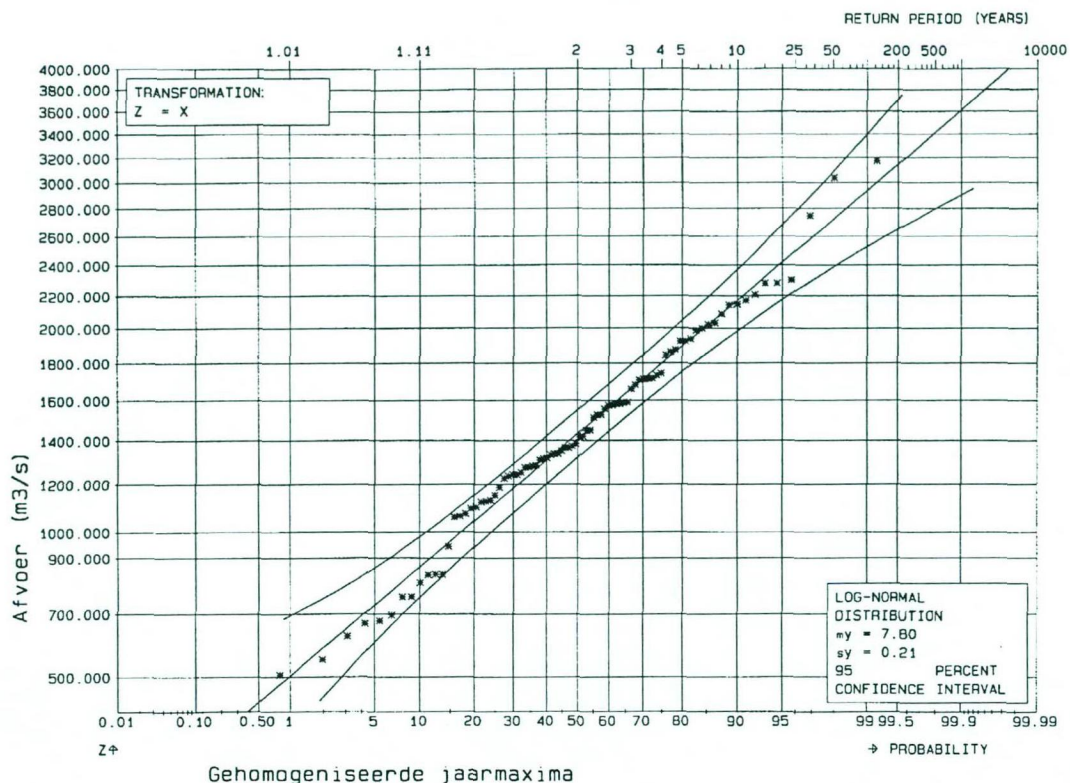
De Figuren 4.1 tot en met 4.5 geven de resultaten van de frequentieanalyse berekend met behulp van verschillende verdelingen.



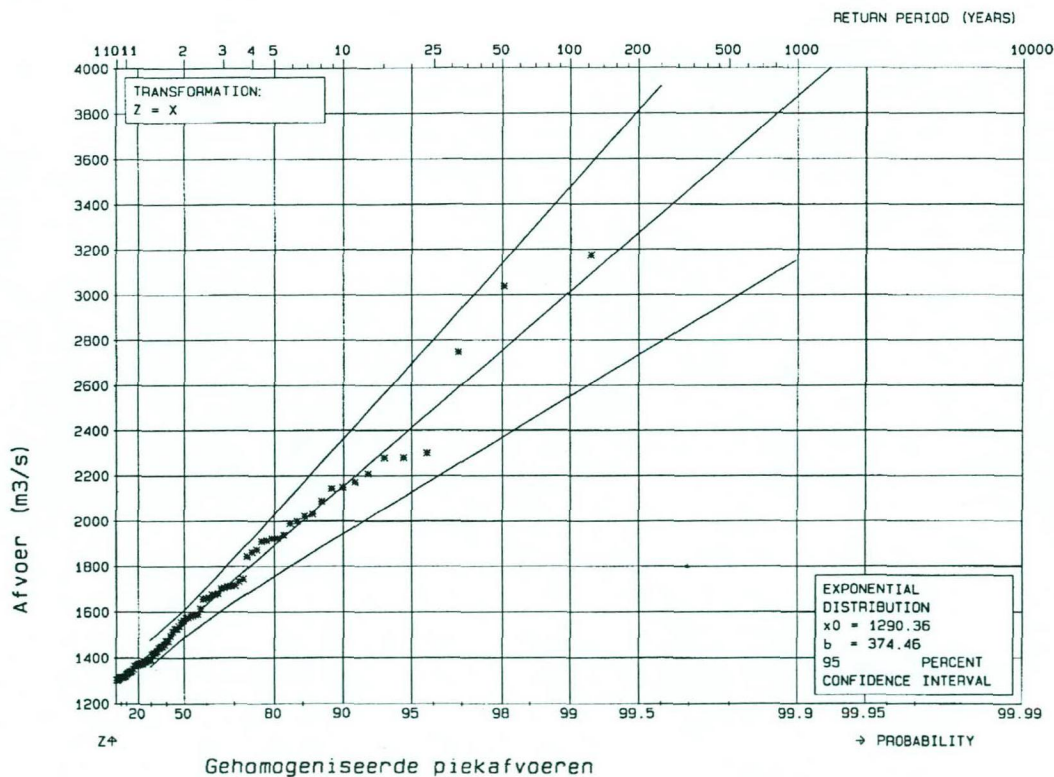
Figuur 4.1 Frequentie-analyse op jaarmaxima met de Gumbel-verdeling (ondergrens op 1000 m<sup>3</sup>/s)



Figuur 4.2 Frequentie-analyse op jaarmaxima met de Pearson-III verdeling

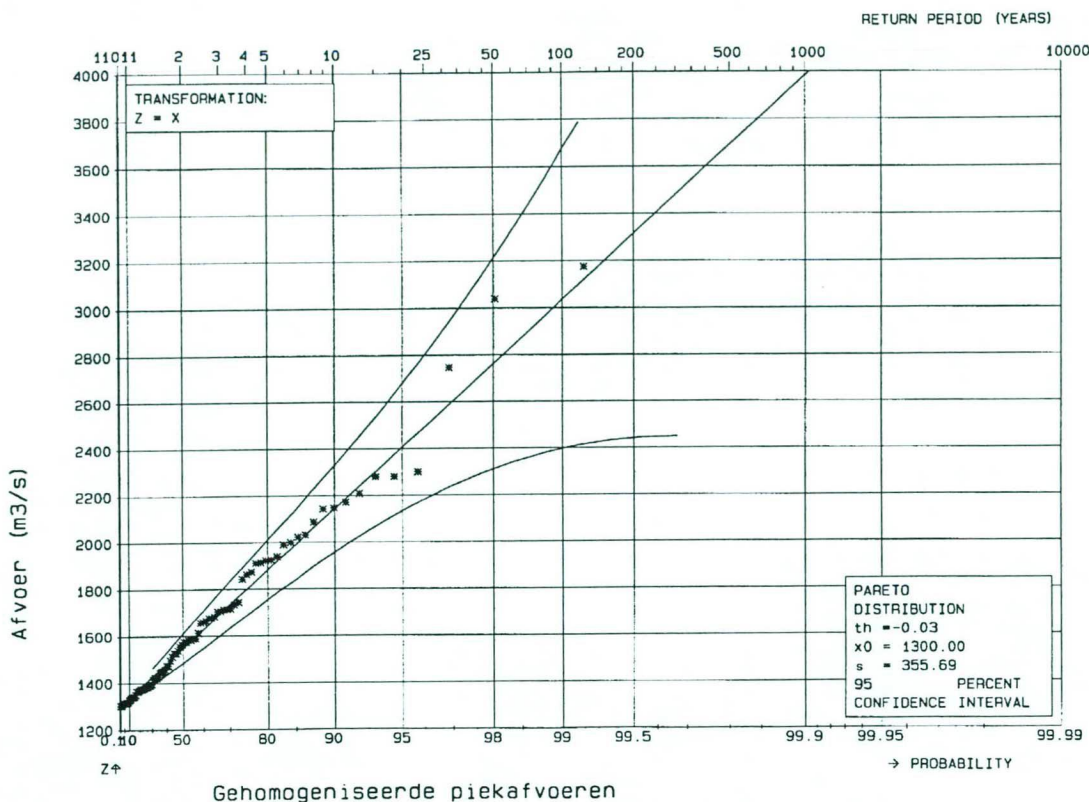


Figuur 4.3 Frequentie-analyse op jaarmaxima met de 3-parameter log-normale verdeling



Figuur 4.4 Frequentie-analyse op piekafvoeren met de exponentiële verdeling





Figuur 4.5 Frequentie-analyse op piekafvoeren met de algemene Pareto-verdeling

De herberekening leidt tot afvoerwaarden behorende bij de herhalingstijden zoals gegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Afvoeren met bijbehorende herhalingstijd bij Borgharen op grond de herberekening met de nieuwe aangevulde reeksen (Tabellen 4.2 en 4.3)

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log- III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Pareto	Afvoer	Afge- rond	95%-betrouwbaar heidsinterval	
									2,5%- onder- grens	97,5%- boven- grens
2	1431	1427	1433	1550	-	1548	1548	1550	1485	1610
5	1865	1900	1895	1893	-	1884	1884	1885	1755	2010
10	2153	2182	2171	2153	-	2143	2143	2145	1955	2330
25	2516	2510	2495	2496	2504	2492	2498	2500	2205	2795
50	2786	2737	2721	2755	2750	-	2750	2750	2400	3110
100	3054	2952	2937	3015	2989	-	2989	2990	2565	3425
250	3406	3221	3211	3358	3299	-	3299	3300	2770	3845
500	3672	3417	3412	3618	3530	-	3530	3530	2925	4160
1000	3938	3607	3610	3877	3758	-	3758	3760	3070	4480
<b>1250</b>	<b>4024</b>	<b>3667</b>	<b>3673</b>	<b>3961</b>	<b>3831</b>	-	<b>3831</b>	<b>3830</b>	<b>3115</b>	<b>4580</b>
2500	4290	3851	3867	4220	4057	-	4057	4055	3260	4900
5000	4555	4031	4059	4480	4281	-	4281	4280	3400	5220
10000	4821	4208	4250	4739	4504	-	4504	4505	3535	5540

Voor herhalingstijden groter dan 25 jaar zijn hierbij de uitkomsten van een frequentie-analyse met de Gumbel-, Pearson-III-, 3-parameter log-normaal en de exponentiële verdeling gemiddeld. Voor herhalingstijden kleiner dan 25 jaar is voor maatgevende afvoer de Pareto-verdeling gebruikt. Voor een herhalingstijd van 25 jaar is voor de maatgevende afvoer het gemiddelde van de eerste vier verdelingen berekend en vervolgens is het gemiddelde tussen deze berekende waarde en de afvoer volgens de Pareto-verdeling berekend. Voor elke verdeling zijn de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval berekend.

De 1/1250 afvoer varieert volgens de verschillende verdelingen tussen de 4024 en 3667 m<sup>3</sup>/s. De gemiddelde schatting is 3831 m<sup>3</sup>/s. Afgerond op 5 m<sup>3</sup>/s betekent dit 3830 m<sup>3</sup>/s. Tabel 4.5 geeft de resultaten van de Boertien II-studie weer.

Tabel 4.5 Afvoeren met bijbehorende herhalingstijd en 1/1250 afvoer volgens het Boertien II-onderzoek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994)

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log-III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Pareto	Afvoer	95%- betrouwbaar heidsinterval	
								2,5%- onder- grens	97,5%- boven- grens
2	1439	1435	1440	1549	-	1548	1550	1490	1620
5	1866	1903	1899	1891	-	1882	1880	1760	2020
10	2149	2182	2171	2150	-	2140	2140	1960	2330
25	2506	2504	2487	2492	-	2488	2490	2190	2780
50	2774	2727	2708	2751	2739	-	2740	2390	3100
100	3035	2938	2918	3010	2975	-	2970	2550	3410
250	3381	3202	3184	3352	3280	-	3280	2750	3820
500	3643	3393	3379	3611	3506	-	3510	2900	4130
1000	3905	3579	3570	3870	3731	-	3730	3040	4440
<b>1250</b>	<b>3989</b>	<b>3678</b>	<b>3630</b>	<b>3953</b>	<b>3802</b>	-	<b>3800</b>	<b>3090</b>	<b>4540</b>
2500	4250	3817	3817	4212	4024	-	4020	3230	4850
5000	4512	3993	4001	4471	4244	-	4240	3360	5160
10000	4773	4165	4184	4729	4463	-	4460	3490	5470

## Verschillen met Boertien II

De verlenging van de reeks, samen met de correcties op een aantal afvoerwaarden, heeft consequenties voor de ligging van de punten in de plots ten opzichte van de berekende frequentieverdelingen. De veranderingen ten opzichte van de geplote verdelingen in het Boertien II-onderzoek zijn als volgt:

- de nieuwe afvoerwaarde van het hydrologisch jaar 1993 is, als gevolg van de nieuwe Q(h)-relatie (RWS, 1998), verlaagd van 3120 naar 3039 m<sup>3</sup>/s, en is daarmee dichter bij alle frequentie-verdelingslijnen komen te liggen;
- het hoogwater van het hydrologisch jaar 1994 levert een extra punt in de hoge categorie van de grafiek;



- de correcties van de afvoerwaarden tussen 1984 en 1987 (HKV Lijn in Water, 1998) leiden tot een verlaging van de afvoeren. In Tabel 4.7 is de berekening gedaan, waarbij de reeksen alleen zijn gecorrigeerd tussen 1984-1987 en de reekslengte gelijk is gehouden. Het effect van de correcties geeft een verlaging van de oorspronkelijke maatgevende afvoer van 3800 m<sup>3</sup>/s in Boertien II naar 3715 m<sup>3</sup>/s (Tabel 4.7). Het afvoermaximum van het hydrologisch jaar 1983, dat met 270 m<sup>3</sup>/s verlaagd is, ligt nu verder van de frequentielijn af dan voorheen.

De 1/1250 afvoer wordt volgens de nieuwe berekeningen met de reeks tot en met 1996, en met aanpassingen vanaf 1984, 30 m<sup>3</sup>/s groter (Tabel 4.4). Indien *geen* nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 zou zijn toegepast, zouden de correcties tussen 1984 en 1987 een verlaging opleveren van 45 m<sup>3</sup>/s ten opzichte van het Boertien II-onderzoek. Het effect van de nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 zelf levert een verlaging op van 40 m<sup>3</sup>/s. Het verhogende effect op de 1/1250 afvoer door *alleen* de reeksverlenging ten opzichte van Boertien II is +115 m<sup>3</sup>/s. Resultierend is het effect +30 m<sup>3</sup>/s.

In Tabel 4.6 en Tabel 4.7 zijn de effecten weergegeven van respectievelijk alleen de reeksverlenging, en alleen de correctie tussen 1984 en 1992, waarbij bij beide varianten gebruik gemaakt van de nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993. Door alleen de reeksverlenging wordt de 1/1250 afvoer +75 m<sup>3</sup>/s groter (Tabel 4.6). De correctie van afvoerwaarden tussen 1984 en 1992 geeft een verlaging van 85 m<sup>3</sup>/s (Tabel 4.7).

Tabel 4.6 Afvoeren met bijbehorende herhalingstijd uitgaande van alleen een verlenging van de meetreeks ten opzichte van Boertien II met nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 (echter zonder correctie van afvoeren tussen 1984 en 1992)

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log- III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Pareto	Afvoer	Afge- rond	95%- betrouwbaar- heidsinterval	
									2,5%- onder- grens	97,5%- boven- grens
2	1434	1431	1436	1554	-	1552	1552	1550	1490	1615
5	1875	1910	1905	1902	-	1893	1893	1895	1765	2025
10	2167	2196	2185	2166	-	2156	2156	2155	1965	2345
25	2536	2530	2515	2515	2524	2512	2518	2520	2215	2820
50	2810	2761	2746	2779	2774	-	2774	2775	2415	3140
100	3081	2980	2967	3042	3018	-	3018	3020	2585	3465
250	3439	3255	3248	3391	3333	-	3333	3335	2795	3890
500	3709	3455	3455	3655	3568	-	3568	3570	2950	4210
1000	3979	3649	3658	3919	3801	-	3801	3800	3100	4535
<b>1250</b>	<b>4066</b>	<b>3711</b>	<b>3723</b>	<b>4004</b>	<b>3876</b>	-	<b>3876</b>	<b>3875</b>	<b>3145</b>	<b>4640</b>
2500	4335	3899	3922	4268	4106	-	4106	4105	3290	4965
5000	4605	4083	4120	4531	4335	-	4335	4335	3435	5290
10000	4875	4263	4317	4795	4562	-	4562	4560	3575	5620

Tabel 4.7 Afvoeren met bijbehorende herhalingstijd uitgaande van alleen een correctie tussen 1984 en 1992 met nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 (echter zonder verlenging reeks ten opzichte van Boertien II)

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log- III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Pareto	Maatgev. Afvoer	Afge- rond	95%-betrouwbaar- heidsinterval	
									2,5%- onder- grens	97,5%- boven- grens
2	1434	1432	1438	1545	-	1545	1545	1545	1480	1610
5	1852	1888	1885	1875	-	1870	1870	1870	1745	1995
10	2128	2157	2146	2125	-	2119	2119	2120	1940	2300
25	2478	2466	2449	2455	2462	2451	2456	2455	2175	2740
50	2737	2679	2659	2705	2695	-	2695	2695	2355	3040
100	2994	2880	2857	2955	2922	-	2922	2920	2515	3340
250	3333	3131	3107	3285	3214	-	3214	3215	2710	3735
500	3589	3313	3289	3535	3432	-	3432	3430	2855	4030
1000	3844	3489	3467	3785	3646	-	3646	3645	2990	4330
<b>1250</b>	<b>3927</b>	<b>3544</b>	<b>3523</b>	<b>3866</b>	<b>3715</b>	-	<b>3715</b>	<b>3715</b>	<b>3035</b>	<b>4425</b>
2500	4182	3714	3697	4116	3927	-	3927	3925	3170	4720
5000	4438	3880	3867	4366	4137	-	4137	4135	3300	5020
10000	4693	4042	4035	4615	4346	-	4346	4345	3425	5320

De verandering in de 1/1250 afvoer is klein, zeker in vergelijking met de bandbreedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval. De breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval is ondanks de verlenging van de meetreeks iets toegenomen, de verschillen zijn echter zeer klein. Ook de veranderingen in de andere berekende afvoeren van de werklijn zijn klein. Bij de Pareto-verdeling, waarmee het onderste bereik wordt geschat, worden de afvoeren wat groter, ook deze veranderingen zijn echter klein. De verschillen rond de overgang bij T = 25 jaar zijn klein, ca. 10 m<sup>3</sup>/s. Afvoeren met een grotere herhalingstijd (10.000 jaar) worden ook iets groter, ca. 40 m<sup>3</sup>/s. De exponentiële verdeling laat vrijwel geen verandering in de afvoerwaarden zien.

In Bijlage B worden de frequentieverdelingen ten opzichte van elkaars 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven, samen met de waarden van de boven- en ondergrens per verdeling. Alle frequentielijnen liggen binnen de intervallen van de andere frequentieverdelingen.

### 4.3 Afleiding van de werklijn

Voor het bepalen van de afvoer Q voor een willekeurige herhalingstijd T tussen T=2 en T=10.000 jaar wordt een functie afgeleid tussen deze beide grootheden. Aangezien het niet mogelijk is met één lijn het volledige bereik van de afvoeren te benaderen zonder relatief grote fouten te introduceren, wordt gekozen voor een samengestelde functie. Net als in het Boertien II-onderzoek is een werklijn vastgesteld die bestaat uit twee logaritmische regressielijnen. Deze regressielijnen hebben de vorm:

$$Q = a * \ln(T) + b$$

hierin is Q de afvoer, behorend bij een herhalingstijd T; a en b zijn parameters die zijn gefit voor de twee bereiken. De waarden voor deze parameters worden gegeven in Tabel 4.8.



Tabel 4.8 Constanten a en b ter bepaling van de werklijn en de bijbehorende betrouwbaarheidsgrenzen

	Werklijn		Gemiddelde 2,5%- betrouwbaarheidsondergrens		Gemiddelde 97,5%- betrouwbaarheidsbovengrens	
	T<250	T>250	T<250	T>250	T<250	T>250
<b>a</b>	358,0	327,9	257,8	212,7	465,4	455,3
<b>b</b>	1325,6	1491,6	1348,8	1597,8	1277,6	1333,3

De vergelijking voor de herberekende werklijn wordt:

voor T= 2 tot 250 jaar:  $Q = 358,0 * \ln(T) + 1325,6$

voor T= 250 tot 10.000 jaar:  $Q = 327,9 * \ln(T) + 1491,6$

De regressielijnen voor het gemiddelde 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn als volgt:

voor T= 2 tot 250 jaar: 2,5%-grens:  $Q = 257,8 * \ln(T) + 1348,8$

voor T= 250 tot 10.000 jaar: 2,5%-grens:  $Q = 212,7 * \ln(T) + 1597,8$

voor T= 2 tot 250 jaar: 97,5%-grens:  $Q = 465,4 * \ln(T) + 1277,6$

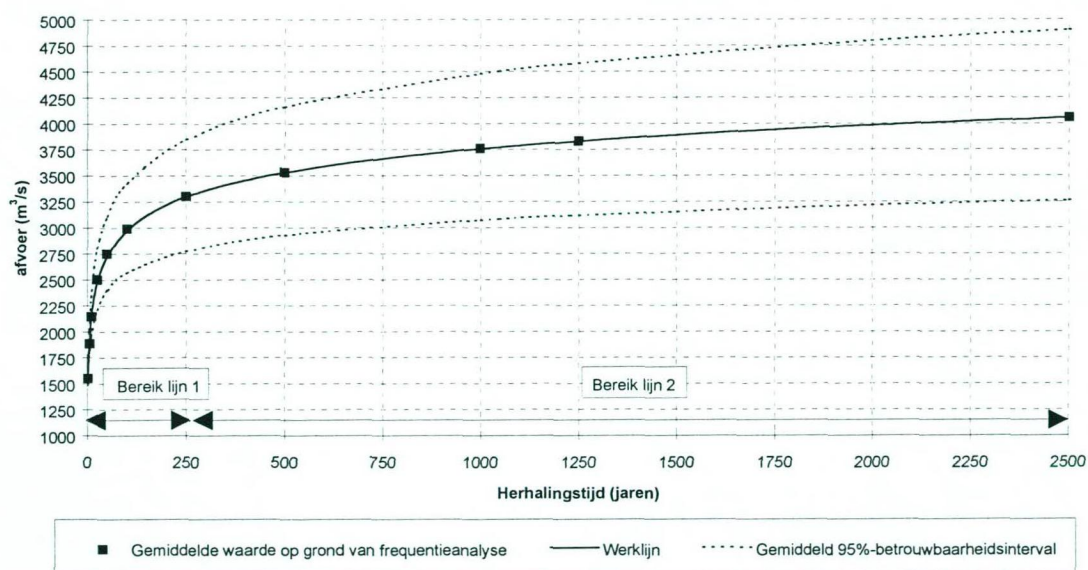
voor T= 250 tot 10.000 jaar: 97,5%-grens:  $Q = 455,3 * \ln(T) + 1333,3$

De parameters zijn zo gekozen dat rond een herhalingstijd van 250 jaar beide lijnen in elkaar overgaan. De werklijn voor herhalingstijden groter dan 250 jaar is zo nauwkeurig mogelijk gefit op de berekende afvoerwaarde voor T = 1250 jaar. In Figuur. 4.6 is de werklijn voor de Maas te Borgharen weergegeven voor het volledige bereik 2 - 10.000 jaar. In Figuur 4.7 is deze aangegeven voor lagere herhalingstijden, waarbij de overgang van de beide lijnen duidelijker wordt weergegeven. Figuur 4.8 is de herberekende werklijn voor de Maas te Borgharen weergegeven met het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval, samen met de werklijn uit het Boertien II-onderzoek. Figuur 4.9 geeft de ligging van de frequentieverdelingen ten opzichte van de herberekende werklijn weer. Zoals ook uit Tabel 4.2 valt af te leiden, zijn de verschillen met Pearson III- en de Gumbel-verdeling het grootst.

De afwijking met de gemiddelde waarden berekend via middeling van de verschillende verdelingen is maximaal 2 %. Uit Tabel 4.7 blijkt dat de werklijn een goede representatie geeft van de waarden berekend op grond van de frequentieanalyse.

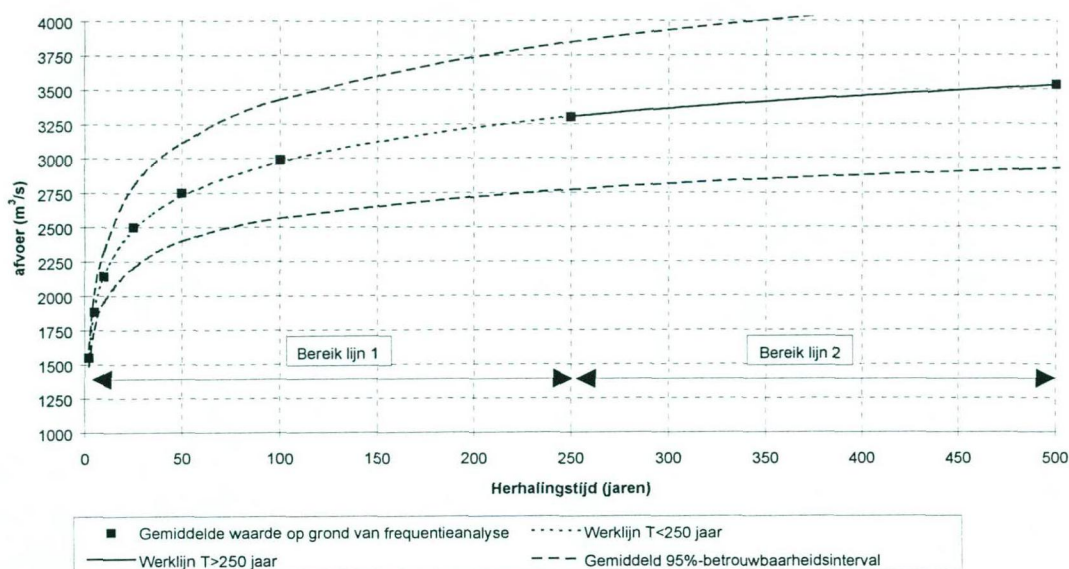
Tabel 4.9 Berekende werklijn en berekende waarden op grond van de frequentie-analyse ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

T	Samengestelde werklijn	1/1250 afvoer op grond van de frequentie verdelingen	Vershil in $\text{m}^3/\text{s}$	Percentage verschil
2	1550	1575	+25	+2
5	1885	1900	+15	+1
10	2145	2150	+5	0
25	2500	2480	-20	-1
50	2750	2725	-25	-1
100	2990	2975	-15	-1
<b>250</b>	<b>3300</b>	<b>3300</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
500	3530	3530	0	0
1000	3760	3755	-5	0
<b>1250</b>	<b>3830</b>	<b>3830</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2500	4055	4055	0	0
5000	4280	4285	+5	0
10000	4505	4510	+5	0

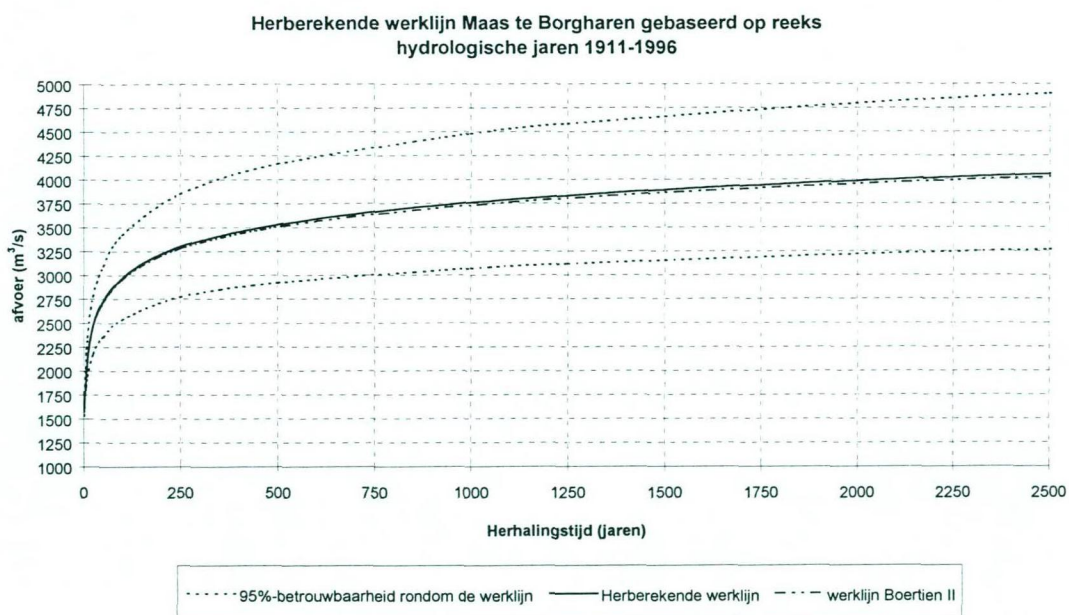


Figuur 4.6 Herberekende werklijn Maas te Borgharen

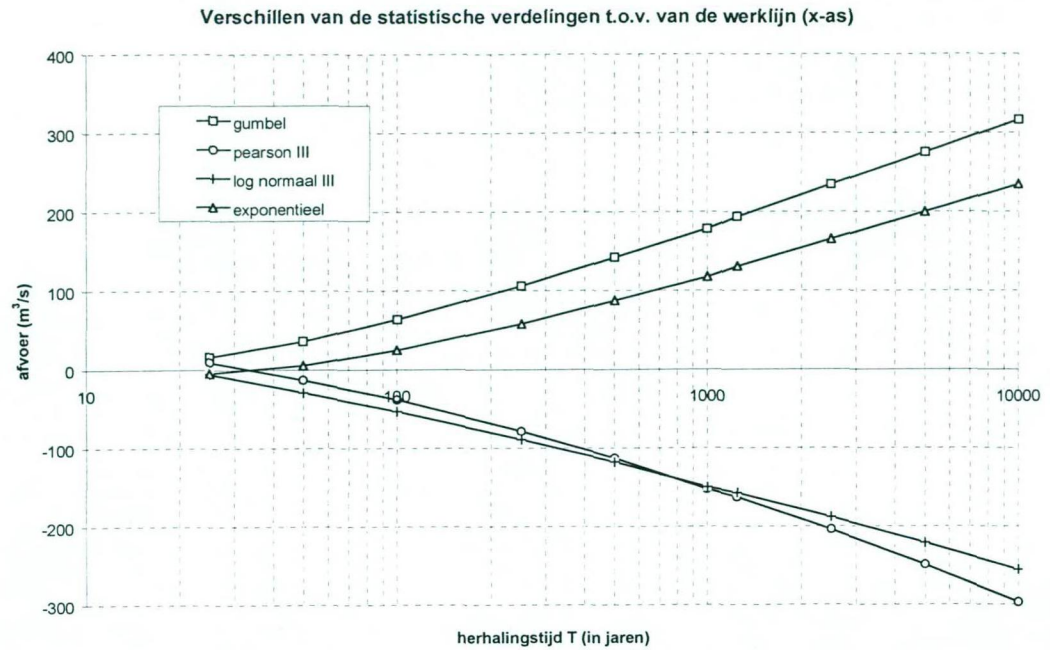




Figuur 4.7 Overgang herberekende werklijn Maas te Borgharen



Figuur 4.8 Werklijn Maas te Borgharen met 95%-betrouwbaarheidsinterval



Figuur 4.9 Ligging frequentieverdelingen ten opzichte van herberekende werklijn (x-as)



## 5 Representativiteit van de meetreeks bij Borgharen

Met behulp van de gemeten reeks afvoeren van de kalenderjaren 1911 tot en met 1997 is een 1/1250 afvoer bij Borgharen, samen met de werklijn, afgeleid. Hiervoor zijn gemiddelde herhalingstijden voor bepaalde afvoeren berekend. Volgens de huidige veiligheidsnorm heeft de maatgevende afvoer een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar. Bij de bepaling van deze 1/1250 afvoer is de gemeten reeks met behulp van statistische methodieken geëxtrapoleerd naar een overschrijdingsfrequentie van eens in de 1250 jaar. Deze extrapolatie impliceert dat de gebruikte meetreeks van negentig jaar *representatief* is voor een veel langere periode van *tenminste* 1250 jaar. Zekerheid over deze representativiteit van de afvoerreeks heeft men echter niet.

Deze representativiteit zou men kunnen beoordelen door middel van een analyse van hoogwaters die in het verleden zijn voorgekomen, voordat afvoeren werkelijk gemeten werden. Met behulp van een dergelijke analyse kan de verwachte frequentie van hoogwaters met een bepaalde afvoer, afgeleid uit de werklijn, worden beoordeeld. Met deze beoordeling kan de aanname, dat de huidige meetreeks representatief is, wel of niet verworpen worden.

### 5.1 Indeling van historische hoogwaters

Voor de Maas is ten tijde van de Boertien II-studie uitgebreid onderzoek verricht naar historische hoogwaters vóór 1911. Een inventarisatie is daarbij gemaakt van historische hoogwaters in het verleden gebaseerd op literatuurbeschrijvingen. De precieze omvang van historische hoogwaters is onzeker, omdat ze zijn afgeleid uit waterstanden zonder dat het bijbehorende dwarsprofiel van de rivier goed bekend is. Daarom zijn de hoogwaters ingedeeld in afvoerklassen met een tamelijk ruime klassebreedte en is een inventarisatie gemaakt van hoogwaters vanaf rond het jaar 1000. De klasse-indeling die in Boertien II is aangehouden is:

normaal	< 1500 m <sup>3</sup> /s
hoog	1500-2000 m <sup>3</sup> /s
zeer hoog	2000 - 2500 m <sup>3</sup> /s
extreem	2500- 3000

In de Boertien II-studie is de analyse van herhalingstijden, afgeleid uit de frequentie van voorkomen van de historische hoogwaters, beperkt gebleven tot de hoogwaters boven de 2500 m<sup>3</sup>/s. Voor het onderzoek in het kader van het Randvoorwaardenboek 2001 worden nu ook de hoogwaters boven de 2000 m<sup>3</sup>/s in de analyse meegenomen. De informatie over de hoogwaters van de klasse 2000-2500 m<sup>3</sup>/s is overgenomen uit de Boertien II-studie.

Verder zijn de hoogwaters uit deze eeuw meegenomen in de analyse en de periode tussen de kalenderjaren 1993 en 1997. Voor de indeling van hoogwaters voor 1993 is uitgegaan van de gehomogeniseerde afvoerwaarden zoals gegeven in de Boertien II-studie (Tabellen 7.7 en 7.8), voor de waarden na 1993 is uitgegaan van de waarden op grond van de nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 (RWS, 1998). De onderstaande klassenindeling is aangehouden, waarbij de klasse 'zeer extreem' ten opzichte van het Boertien II-onderzoek is toegevoegd:

normaal	< 1500 m <sup>3</sup> /s
hoog	1500-2000 m <sup>3</sup> /s
zeer hoog	2000 - 2500 m <sup>3</sup> /s
extreem	2500- 3000
zeer extreem	> 3000 m <sup>3</sup> /s

Ondanks de grote klassebreedte zijn er twijfelgevallen. Enerzijds kan een zeer summiere omschrijving van het hoogwater tot twijfel omtrent de omvang leiden. Van dergelijke hoogwaters mag echter verwacht worden dat ze ook niet extreem hoog zijn geweest. Anderzijds kan de geschatte omvang van een hoogwater dicht bij een klassegrens liggen. Deze hoogwaters zijn in de Tabellen 5.1 tot en met 5.3 als twijfelgevallen aan de onderkant van de klassegrens ingedeeld.

In de loop van de afgelopen eeuwen zijn er veel aanpassingen in de rivier geweest. Dit betekent dat een zelfde hoogwater onder de huidige riviercondities tot een andere piekafvoer kan leiden dan voorheen. De reeks van de historische afvoerpieken is derhalve niet homogeen. De reeks van hoogwaters van vóór 1911 kan niet daadwerkelijk gehomogeniseerd worden, omdat de geometrie van de rivier voor deze periode hiervoor te onbekend is. Uitgaande van de homogeniseringsresultaten van Boertien II is het echter aannemelijk dat historische hoogwaters onder de huidige condities tot hogere afvoeren zouden leiden. De veranderingen in de riviergeometrie van de Maas in deze eeuw heeft geleid tot een grotere voortplantingssnelheid van hoogwatergolven en hogere piekafvoeren bij Borgharen. In het Boertien II-onderzoek werd geschat dat de hoogwaters 1571, 1643 en 1740, naast die van 1926 en 1993 boven 3000 m<sup>3</sup>/s zouden zijn uitgekomen. De hoogwaters van 1571, 1643 en 1740 zijn dientengevolge ingedeeld bij de klasse 'zeer extreem' (>3000 m<sup>3</sup>/s) in plaats van extreem (2500-3000 m<sup>3</sup>/s).

Tabel 5.1 Geselecteerde hoogwaters klasse 'zeer extreem'

Klasse 'zeer extreem' >3000 m <sup>3</sup> /s	Kalenderjaar (top)afvoer:
selectie	1571, 1643, 1740, 1926, 1993 (3039 m <sup>3</sup> /s)
twijfelgevallen onderkant klassegrens	-

Tabel 5.2 Geselecteerde hoogwaters klasse 'extreem'

Klasse 'extreem' 2500-3000 m <sup>3</sup> /s	Kalenderjaar (top)afvoer:
selectie	1850, 1880, 1995
twijfelgevallen bovenkant klassegrens	-
twijfelgevallen onderkant klassegrens	1614, 1799



Tabel 5.3 Geselecteerde hoogwaters klasse 'zeer hoog'

Klasse 'zeer hoog' 2000-2500 m <sup>3</sup> /s	Kalenderjaar (top)afvoer:
selectie	1572, 1642, 1651, 1658, 1784, 1844, 1910*), 1915, 1920, 1924, 1939, 1945, 1961, 1970, 1980, 1984, 1993 (2280 m <sup>3</sup> /s)
twijfelgevallen bovenkant klassegrens	1614, 1799
twijfelgevallen onderkant klassegrens	1619, 1634, 1661, 1693, 1704, 1778, 1810, 1820, 1830

\*) In Boertien I, aanvullende rapport 1 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993) wordt een afvoer geschat van 2400 m<sup>3</sup>/s.

## 5.2 Methodiek

Om tot overschrijdingsfrequenties te komen, worden de historische hoogwaters ingedeeld in hoogwaters met afvoeren >2000 m<sup>3</sup>/s, >2500 m<sup>3</sup>/s en >3000 m<sup>3</sup>/s. Als schatting voor het aantal hoogwaters in een bepaalde periode is de helft van de twijfelgevallen aan de onderkant van de klassegrens meegeteld. Voor de bepaling van de herhalingstijd is ook de periode waarin de hoogwaters zijn voorgekomen van belang. Onzeker is vanaf welk tijdstip hoogwaters geregistreerd werden. Het ontbreken van extreme afvoeren in de categorie zeer extreem voor 1571 kan komen omdat dergelijke afvoeren hiervoor niet hebben plaatsgevonden, of omdat ze niet geregistreerd werden. De enige zekerheid die we hebben is dat *vanaf* 1571 dergelijke hoogwaters zijn geregistreerd en dat het hoogwater van 1571 de eerste in die categorie is geweest. Gekozen is daarom om de periode vanaf het eerste hoogwater te kiezen, maar dit hoogwater zelf niet mee te tellen. Daarom is, anders dan in de Boertien II-studie, het kalenderjaar 1572 gekozen als beginjaar voor de historische analyse.

De herhalingstijden van afvoeren te Borgharen die uit deze analyse naar voren komen willen we vergelijken met de herhalingstijden van de in dit deelrapport bepaalde werklijn. Belangrijk daarbij is dat de reeks van historische afvoeren, zoals hier samengesteld wordt, op een andere wijze tot stand gekomen is dan de afvoerreeks van de kalenderjaren 1911-1997. De reeks in deze analyse van historische hoogwaters bestaat uit alle hoogwaters waarvan de afvoer boven een bepaalde drempelwaarde is uitgekomen, waardoor het mogelijk is dat er meerdere hoogwaters in hetzelfde jaar voorkomen. De 1/1250 afvoer en de werklijn daarentegen zijn gebaseerd op zowel een continue reeks van jaarmaxima (één afvoerwaarde per jaar) als een continue reeks met de hoogste afvoerwaarden boven een bepaalde drempelwaarde. Verder bestaat de reeks van deze eeuw uit 'continu' gemeten afvoerwaarden, terwijl de informatie van de vorige eeuw bestaat uit het wel of niet voorkomen van één (of meerdere) gebeurtenis(sen) in een jaar. Dit betekent dat op twee verschillende manieren uit dezelfde populatie getrokken wordt.

De frequenties afgeleid uit de huidige meetreeks kunnen worden vergeleken met de frequenties afgeleid uit de reeks van hoogwaters van vóór 1911. De meetwaarden van deze eeuw dienen dan niet meegenomen te worden in de bepaling van herhalingstijden van hoogwaters vóór 1911. Men kiest dan voor de vergelijking tussen twee reeksen waarbij de ene bestaat uit relatief betrouwbare meetgegevens en de andere uit relatief zeer grove schattingen.

Men kan er ook voor kiezen de huidige meetreeks te 'verlengen' met de historische gegevens, en de daaruit voortvloeiende werklijn te vergelijken met de werklijn gebaseerd op de reeks van deze eeuw. In deze analyse worden beide methoden toegepast.

De vergelijking in herhalingstijden met de opgestelde werklijn is derhalve semi-kwantitatief. In deze studie hebben we op grond van de historische afvoerpieken de verwachte herhalingstijd van een afvoer groter dan de ondergrens van de afvoerklasse vastgesteld. Deze herhalingstijd kan worden vergeleken met de herhalingstijden van de werklijn zoals bepaald in hoofdstuk 4.

## 5.3 Resultaten

De gevolgde werkwijze leidt tot de indeling in hoogwaterpieken zoals getoond in de Tabellen 5.4 t/m 5.6. Hierin worden de historische hoogwaters van de klassen 'zeer extreem', 'extreem', en 'zeer hoog' opgesomd, tot en met kalenderjaar 1997, samen met de twijfelgevallen.

Tabel 5.4 Historische hoogwaters boven 3000 m<sup>3</sup>/s

Afvoer >3000 m <sup>3</sup> /s	
<b>Kalenderjaren:</b>	1643, 1740, 1926, 1993
<b>Twijfelgevallen:</b>	-
<b>Aantal hoogwaters meegeteld:</b>	4
<b>Periode:</b>	vanaf 1572 (426 jaar)

Tabel 5.5 Historische hoogwaters boven 2500 m<sup>3</sup>/s

Afvoer >2500 m <sup>3</sup> /s	
<b>Kalenderjaren:</b>	1643, 1740, 1850, 1880, 1926, 1993, 1995
<b>Twijfelgevallen:</b>	1614, 1799
<b>Aantal hoogwaters meegeteld:</b>	8
<b>Periode:</b>	vanaf 1572 (426 jaar)

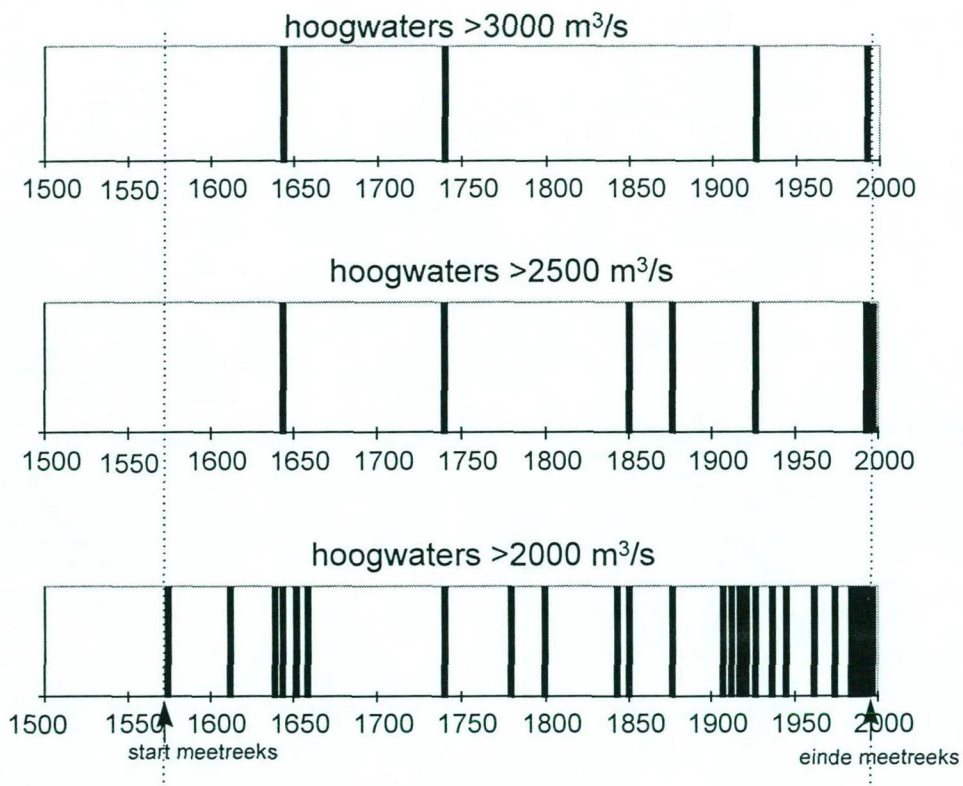
Tabel 5.6 Historische hoogwaters boven 2000 m<sup>3</sup>/s

Afvoer >2000 m <sup>3</sup> /s	
<b>Kalenderjaren:</b>	1572, 1614, 1642, 1643, 1651, 1658, 1740, 1784, 1799, 1844, 1850, 1880, 1910*), 1915, 1920, 1924, 1926, 1939, 1945, 1961, 1970, 1980, 1984, 1993 (2x), 1995
<b>Twijfelgevallen:</b>	1619, 1634, 1661, 1693, 1704, 1778, 1810, 1820, 1830
<b>Aantal hoogwaters meegeteld:</b>	30
<b>Periode:</b>	vanaf 1572 (426 jaar)

\*) In Boertien I, aanvullende rapport 1 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993) wordt een afvoer geschat van 2400 m<sup>3</sup>/s.



Men kan deze gebeurtenissen chronologisch uitzetten in de tijd (Figuur 5.1). De frequentie van zeer extreme hoogwaters lijkt vrij gelijkmatig te zijn over de hele periode van ongeveer vierhonderd jaar. De hoogwaters met afvoeren boven  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$  komen in deze eeuw al wat vaker voor dan in de periode ervoor. De registratie van deze hoogwaters lijkt daarom wat minder goed te zijn dan die van de meest extreme hoogwaters, want hoe extremer een gebeurtenis, hoe meer ervan vastgelegd werd in de literatuur. De hogere frequentie wordt ook door de twee hoogwaters van de kalenderjaren 1993 en 1995 veroorzaakt, die direct achter elkaar optraden. Verder is in Figuur 5.1 te zien dat de frequentie van afvoeren boven  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  in deze eeuw duidelijk hoger is dan in de vorige eeuwen. De registratie van dergelijke hoogwaters is mogelijk slecht geweest, omdat deze hoogwaters niet als bijzondere gebeurtenissen zijn onderkend, en daarom minder vaak zijn opgenomen in de geschiedkundige bronnen.



Figuur 5.1 Frequentie geregistreerde hoogwaters in het verleden

De gemiddelde herhalingstijden, afgeleid uit de frequentie van historische hoogwaters, zijn in Tabel 5.7 weergegeven, afgerond op  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , samen met de herhalingstijden volgens de in hoofdstuk 4 bepaalde werklijn. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de bepaling van herhalingstijden, waarbij de reeks verlengd wordt met de informatie van de periode voorafgaande aan deze eeuw, en herhalingstijden die zijn bepaald slechts op grond van de historische afvoeren voorafgaande aan deze eeuw.

Tabel 5.7 Herhalingstijden historische hoogwaters in jaren

	Herhalingstijden volgens werklijn hoofdstuk 4:	Herhalingstijden op grond van de reeks 1572-1997	Herhalingstijden op grond van de reeks 1572-1911
Afvoer > 3000 m <sup>3</sup> /s	110	105	170
Afvoer > 2500 m <sup>3</sup> /s	27	55	80
Afvoer > 2000 m <sup>3</sup> /s	7	15	25

### Discussie gevoeligheid

Zeer extreme hoogwaters zijn uitzonderlijk, dat betekent dat bij berekening van de herhalingstijd de keuze van de periode grote invloed kan hebben op het resultaat. Als we deze analyse bijvoorbeeld in 1992 hadden uitgevoerd, waardoor het hoogwater van 1993 niet zou zijn meegenomen, zou de berekende herhalingstijd (incl. metingen deze eeuw) ca. 140 jaar zijn geweest. Wanneer zowel het hoogwater van 1571 als dat van 1993 wordt meegenomen in de berekening is de geschatte herhalingstijd van zeer extreme afvoeren rond de 90 jaar. Deze schattingen blijven redelijk in de buurt van de berekende herhalingstijd van 110 jaar.

Hetzelfde geldt voor de klasse 'extreem': zonder hoogwater 1993 zouden we een herhalingstijd van 60 jaar hebben berekend (in plaats van 55 jaar). Met het hoogwater 1571 erbij gerekend wordt de herhalingstijd 50 jaar.

Tabel 5.8 Herhalingstijden (in jaren) werklijn en 95%-betrouwbaarheidsintervallen

	Werklijn hoofdstuk 4:	ondergrens 95% betrouwbaarheids- interval:	bovengrens 95% betrouwbaarheids- interval:
Afvoer > 3000 m <sup>3</sup> /s	110	730	40
Afvoer > 2500 m <sup>3</sup> /s	27	90	15
Afvoer > 2000 m <sup>3</sup> /s	7	13	5

In Tabel 5.8 zijn de 95%-onzekerheidsbanden rondom de werklijn aangegeven, uitgedrukt in herhalingstijd (afgeleid uit de formules voor de betrouwbaarheidsbanden van de nieuwe werklijn). Duidelijk wordt hoe groot de onzekerheid is rondom de bepaling van de overschrijdingsfrequentie van hoogwaters groter dan 3000 m<sup>3</sup>/s. Het al dan niet in beschouwing nemen van één hoogwater bij de afvoerclassen >2500 m<sup>3</sup>/s en >3000 m<sup>3</sup>/s heeft niet een zodanig effect dat de herhalingstijd buiten het 95%-betrouwbaarheidsinterval komt te liggen.



### **Herhalingstijden voor de afvoerpieken boven 3000 m<sup>3</sup>/s**

Rekening houdend met het geringe aantal van dergelijke hoogwaters, valt uit Tabel 5.7 op hoe dicht de herhalingstijd van afvoeren >3000 m<sup>3</sup>/s, geschat uit historische hoogwaters, in de buurt ligt van de herhalingstijd op grond van de werklijn (110 jaar). Dit geldt zeker voor de herhalingstijd afgeleid uit de verlenging van de huidige meetreeks (105 jaar) en in mindere mate voor de herhalingstijd afgeleid uit de informatie van vóór deze eeuw (170 jaar). De orde grootte van deze herhalingstijden komen met elkaar overeen. Verlenging van de huidige meetreeks levert een kleiner verschil op met de werklijn omdat de verlengde reeks deels de informatie bevat van de huidige meetreeks.

### **Herhalingstijden voor de afvoerpieken tussen 2500 en 3000 m<sup>3</sup>/s**

De hoogwaters met afvoeren >2500 m<sup>3</sup>/s hebben een ca. twee keer zo hoge herhalingstijd (55 jaar) als die berekend volgens de werklijn (27 jaar). Dit is het geval bij de verlenging van de reeks. Wanneer alleen de informatie van de voorgaande eeuwen wordt gebruikt is de herhalingstijd zelfs ongeveer drie maal zo hoog (80 jaar). Deze schatting ligt echter nog wel binnen het huidige 95%-betrouwbaarheidsinterval.

### **Herhalingstijden voor de afvoerpieken tussen 2000 en 2500 m<sup>3</sup>/s**

De berekende herhalingstijd van afvoeren in de klasse 'zeer hoog' (2000-2500 m<sup>3</sup>/s) op grond van de historische reeks blijkt sterk af te wijken van de herhalingstijd berekend op grond van de gegevens van deze eeuw. In Figuur 5.1 is duidelijk het verschil in frequentie te zien. Het aantal hoogwaters dat in de afgelopen eeuw in deze klasse viel is 14. Het aantal geregistreerde hoogwaters van een dergelijke omvang in de 5 eeuwen voor 1900 is 16. Op grond van het aantal hoogwaters in deze eeuw is de verwachte herhalingstijd 7 jaar, terwijl op grond van de historische reeks van voor 1911 een herhalingstijd van 25 jaar wordt berekend. Zoals gesteld in par. 5.3 worden deze verschillen veroorzaakt doordat dergelijke hoogwaters in het verleden slechts incidenteel zijn geregistreerd.

## **5.4 Conclusies**

Het doel van de analyse van historische hoogwaterinformatie is te onderzoeken in hoeverre de gemeten afvoerreeks van zes en tachtig jaar van de Maas als representatief beschouwd kan worden. Getracht is hierbij zoveel mogelijk informatie uit het verleden mee te nemen, die nog als betrouwbaar gezien kan worden. De inventarisatie van historische hoogwaters, die in Boertien II al eerder was uitgevoerd, vormt de basis van deze analyse. De analyse is semi-kwantitatief, en kan daardoor niet direct met de berekende werklijn vergeleken worden. De vergelijking van de resultaten geeft wel een aanduiding, of de aanname dat de reeks representatief is, verworpen kan worden of niet.

De berekende herhalingstijd van hoogwaters met een afvoer  $>3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , die uit deze historische analyse volgt, ligt relatief dicht bij de werklijn. De afvoeren  $>2500 \text{ m}^3/\text{s}$  vallen ook nog binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval rondom de werklijn, het verschil in berekende herhalingstijd, met die van hoogwaters van vóór 1911, is echter veel groter (factor 3). De frequentie van historische hoogwaters vóór 1911 met afvoeren  $>2000 \text{ m}^3/\text{s}$  blijkt erg af te wijken van de frequentie van diezelfde afvoerklasse in deze eeuw, hetgeen de veronderstelling, dat de registratie van deze hoogwaters in het verleden slecht is geweest, doet versterken.

Uit deze analyse van historische hoogwaters van vóór 1911 kan worden geconcludeerd dat de aanname, dat de meetreeks vanaf 1911 representatief is, *niet* verworpen kan worden, aangezien de meest extreme hoogwaters in het verleden een overeenkomstige frequentie vertonen als die berekend volgens de werklijn.



## 6 Conclusies

Op grond van een gecorrigeerde afvoerreeks voor de Maas bij Borgharen voor de periode 1 oktober 1911 tot en met 30 september 1997 (hydrologische jaren 1911-1996) is de 1/1250 afvoer berekend. Daarbij is een werklijn bepaald, waarmee afvoeren met herhalingstijden tussen de 2 en 10.000 jaar kunnen worden afgeleid. Rondom deze werklijn is een betrouwbaarheidsband aangegeven. De werklijn is op representativiteit onderzocht met behulp van historische afvoeren.

Het 1/1250 hoogwater voor de Maas bij Borgharen wordt volgens deze nieuwe werklijn geschat op 3830 m<sup>3</sup>/s. Dit is een verhoging van 30 m<sup>3</sup>/s ten opzichte van het maatgevend hoogwater bepaald in 1994 in de Boertien II-studie. De correcties tussen 1984 en 1987 (HKV Lijn in water, concept 1998) leveren een verlaging op van 45 m<sup>3</sup>/s ten opzichte van het Boertien II-onderzoek. De nieuwe Q(h)-relatie vanaf 01-01-1993 (RWS, 1998) levert een verlaging op van 40 m<sup>3</sup>/s. Het verhogende effect op de 1/1250 afvoer door *alleen* de reeksverlenging (ten opzichte van Boertien II) is +115 m<sup>3</sup>/s. Resultierend is het effect +30 m<sup>3</sup>/s.

De werklijn waarmee afvoeren Q met herhalingstijden T tussen de 2 en 10.000 jaar kunnen worden berekend, is een samengestelde functie van twee logaritmische regressielijnen. Deze heeft de onderstaande vergelijking:

$$\text{voor } T=2 \text{ tot } 250 \text{ jaar:} \quad Q = 358,0 \cdot \ln(T) + 1325,6$$

$$\text{voor } T=250 \text{ tot } 10.000 \text{ jaar:} \quad Q = 327,9 \cdot \ln(T) + 1491,6$$

De regressielijnen voor het gemiddelde 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn:

$$\text{voor } T=2 \text{ tot } 250 \text{ jaar:} \quad 2.5\text{-grens:} \quad Q = 257,8 \cdot \ln(T) + 1348,8$$

$$\text{voor } T=250 \text{ tot } 10.000 \text{ jaar:} \quad 2.5\text{-grens:} \quad Q = 212,7 \cdot \ln(T) + 1597,8$$

$$\text{voor } T=2 \text{ tot } 250 \text{ jaar:} \quad 97.5\text{-grens:} \quad Q = 465,4 \cdot \ln(T) + 1277,6$$

$$\text{voor } T=250 \text{ tot } 10.000 \text{ jaar:} \quad 97.5\text{-grens:} \quad Q = 455,3 \cdot \ln(T) + 1333,3$$

De herberekende 1/1250 afvoer, de bijbehorende werklijn en het 95%-betrouwbaarheidsinterval kunnen beschouwd worden als één van de varianten op basis waarvan de definitieve maatgevende afvoer en de definitieve werklijn kan worden vastgesteld.

De berekende herhalingstijd voor zeer extreme hoogwaters (>3000 m<sup>3</sup>/s), die uit de analyse van hoogwaters sinds 1572 volgt, valt binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval rondom de berekende werklijn. Ook de herhalingstijd van afvoeren in de klasse 2500-3000 m<sup>3</sup>/s valt binnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval rondom de werklijn. Dit geldt bij beide afvoerclassen zowel voor de herhalingstijd, waarbij de reeks verlengd wordt met de historische gegevens, als voor de herhalingstijd gebaseerd op de historische gegevens van vóór 1911.

Uit de analyse van historische hoogwaters vóór en na 1911 kan worden geconcludeerd dat de aanname, dat de meetreeks vanaf 1911 representatief is, *niet* verworpen kan worden, aangezien de meest extreme hoogwaters in het verleden een overeenkomstige frequentie vertonen als die berekend volgens de werklijn.

Het in beschouwing nemen van minder hoge historische afvoeren, tussen 2000 en 2500 m<sup>3</sup>/s is niet zinvol daar deze minder extreme hoogwaters in de geschiedenis vermoedelijk slechts incidenteel gemeld zijn. Dit valt op te maken uit de veel lagere frequentie van deze geregistreerde hoogwaters vóór 1911 en gedurende deze eeuw.



## 7 Referenties

Berger, H.E.J., 1992: Flow forecasting for the river Meuse. Dissertatie Technische Universiteit Delft.

Bras, L. Rafael, 1990: Hydrology, an introduction to hydrologic science. Massachusetts Institute of hydrology.

Parmet, B., 1998: Projectplan Maatgevende afvoer Lobith, Borgharen en Dalfsen. Werkpakket A, Nevenproject Maatgevende afvoeren Rijn, Maas en Vecht.

HKV Lijn in water, concept 1998: Nader onderzoek afvoeren Maas, hoogwaters 1984-1987, deelrapport 4.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen, aanvullend rapport 1: Maatgevende afvoer Maas.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994: Onderzoek Watersnood Maas, deelrapport 4, hydrologische aspecten van het onderzoek watersnood Maas.

Rijkswaterstaat Directie Limburg, 1998: QH-relatie Borgharen-Dorp, Ontwikkeling vanaf 1993, Barneveld H.J. en Bastings A.J.T.

## A Methode schatten parameters

Als de parameters van een verdeling samenvallen met de momenten (gemiddelde, variatie, etc.) kunnen deze rechtstreeks worden bepaald door de momenten van het statistisch materiaal uit te rekenen, zoals in deze studie voor de exponentiële verdeling. Dit wordt de 'methode der momenten' (method of moments) genoemd.

Als de parameters niet samenvallen met de momenten wordt een variant toegepast: de momenten van de waarnemingen worden bepaald en deze worden omgerekend naar de gewenste parameters. Een voorbeeld is de 'maximum likelihood'-schattingmethode. In deze studie is, net als in het Boertien II-onderzoek, gekozen voor de gemodificeerde 'maximum likelihood'-schattingmethode. Daarbij wordt één parameter geschat volgens de schattingmethode der momenten, de andere parameters worden geschat met behulp van de 'maximum likelihood'-schattingmethode.



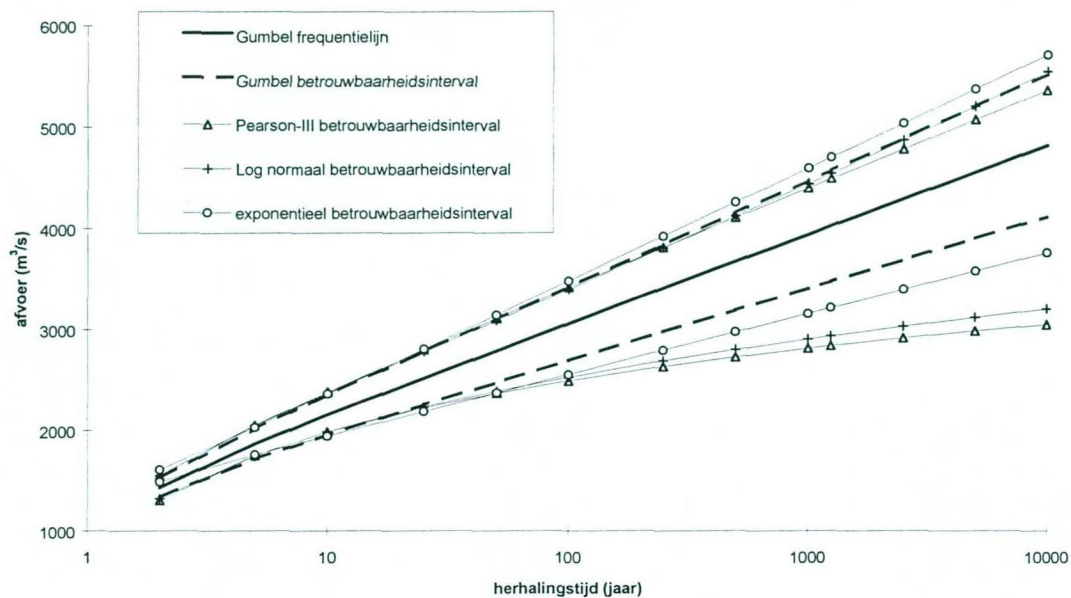
## B Betrouwbaarheidsintervallen

In de volgende figuren zijn de frequentieverdelingen en het bijbehorend 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven binnen de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de drie andere verdelingen. Verder zijn de berekende waarden opgegeven van de boven- en ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval per verdeling. Te zien is dat allen frequentielijnen binnen de andere drie betrouwbaarheidsintervallen liggen. Bij de 3-parameter lognormale verdeling ligt de frequentielijn net binnen de intervallen van de Gumbel-verdelingen.

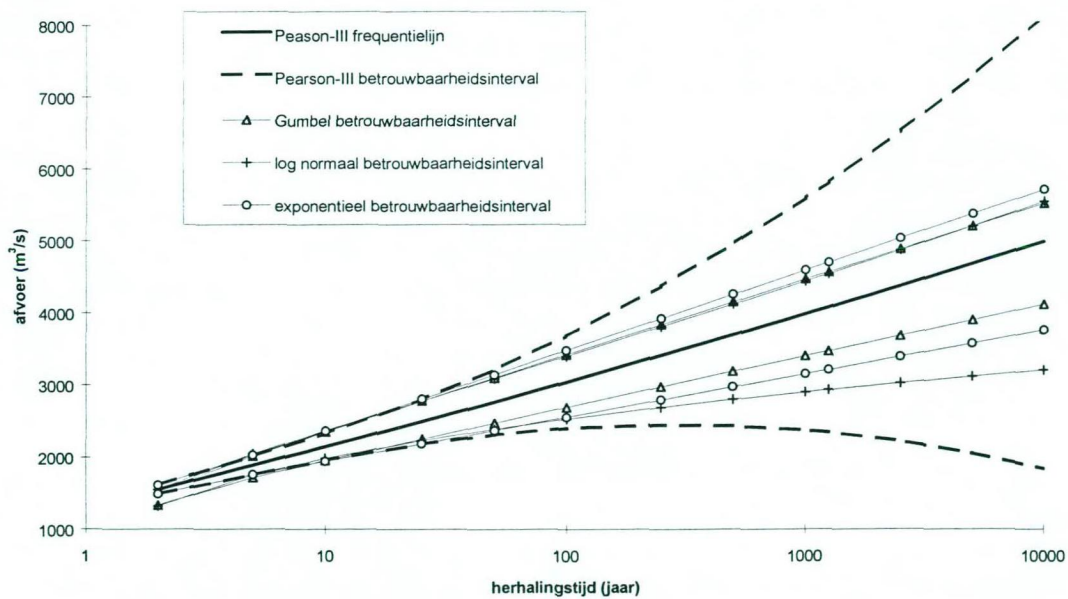
Tabel B.1 Betrouwbaarheidsintervallen per verdeling in m<sup>3</sup>/s

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000		Pearson III		Log-III		Exponentiële	
	2.5%- ondergrens	97.5%- bovengrens	2.5%- ondergrens	97.5%- bovengrens	2.5%- ondergrens	97.5%- bovengrens	2.5%- ondergrens	97.5%- bovengrens
2	1335	1526	1304	1551	1321	1550	1490	1610
5	1715	2016	1749	2052	1752	2047	1757	2029
10	1954	2352	1984	2380	1985	2369	1943	2362
25	2252	2780	2221	2798	2231	2780	2186	2805
50	2472	3100	2366	3108	2387	3087	2369	3141
100	2690	3418	2490	3413	2526	3395	2552	3478
250	2975	3837	2633	3810	2689	3807	2793	3923
500	3191	4154	2728	4107	2800	4122	2975	4260
1000	3406	4471	2814	4401	2904	4443	3158	4597
<b>1250</b>	3475	4573	2840	4495	2936	4547	3216	4705
2500	3689	4890	2916	4786	3032	4875	3398	5042
5000	3904	5207	2987	5076	3122	5209	3581	5379
10000	4118	5524	3052	5364	3207	5550	3763	5716

### Gumbel-verdeling

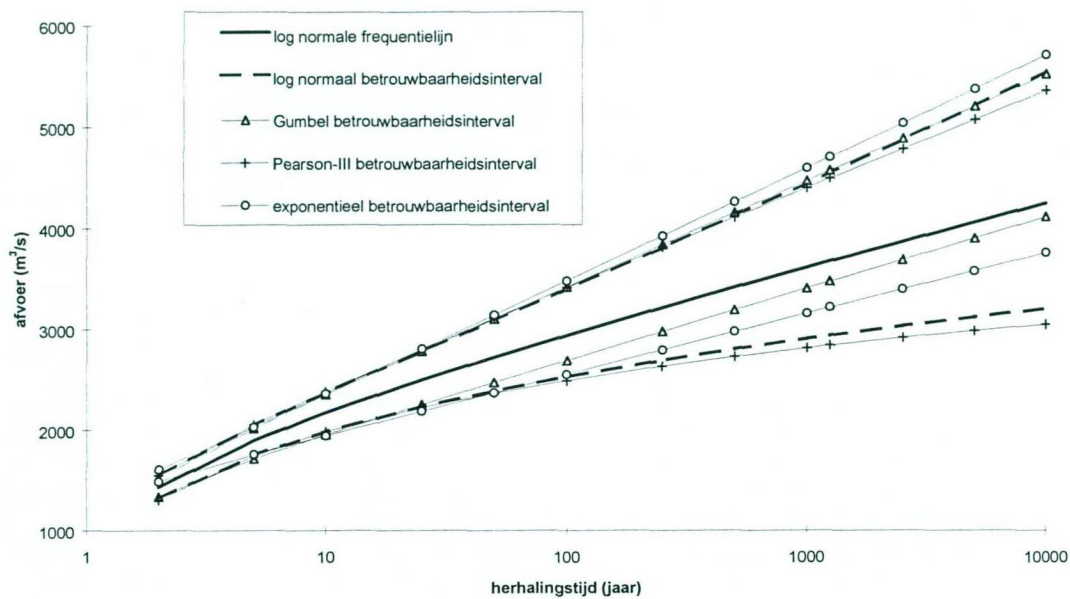


### Pearson-III verdeling

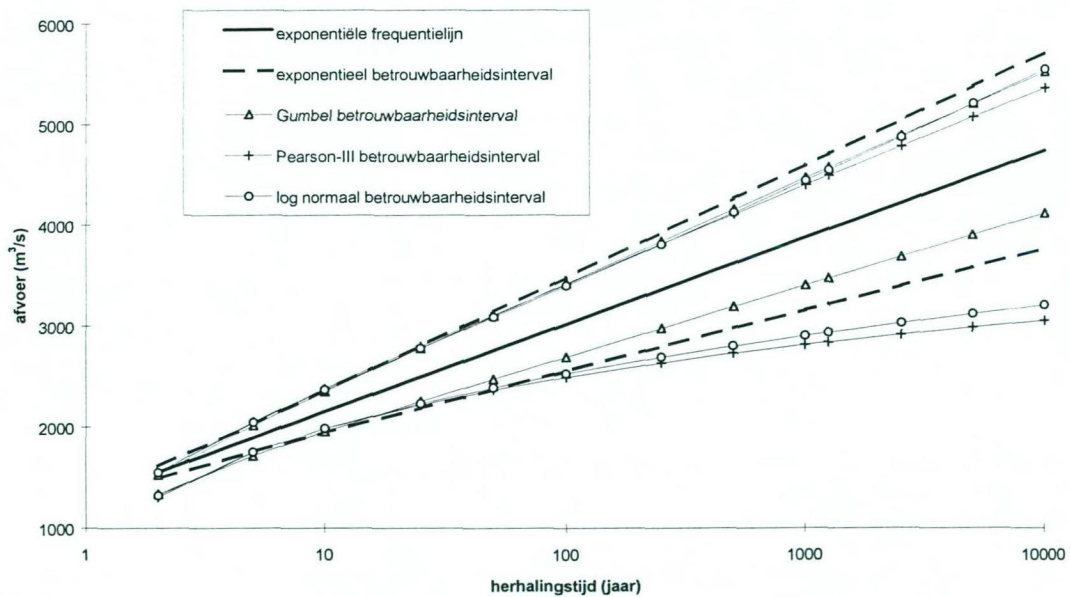




### 3 Parameter log normale verdeling



### Exponentiële verdeling



## **C Herberekening op basis series t/m 1998**

Deze bijlage vormt een aanvulling op het eerste deel van dit rapport waarin de 1/1250 afvoer van de Maas bij Borgharen is herberekend in het kader van het project Randvoorwaardenboek 2001. Deze bijlage bevat twee aanvullende variantberekeningen bij de bepaling van de 1/1250 afvoer (zie hoofdstuk 2). In beide gevallen is uitgegaan van een meetreeks 1911-1998. Het verschil tussen de varianten is bepaald door het al of niet corrigeren van de series tussen 1984 en 1992 op basis van de nieuwe  $Q(h)$ -relatie geldig vanaf 01-01-1993.

### **C.1 Afleiding verlengde reeks**

In het rapport is de reeks hydrologische jaren 1911 tot en met 1996 gebruikt, d.w.z. tot en met 30 sept. 1997. Daarbij zijn voor de maximale reeks als voor de partiële reeks 86 waarden gebruikt.

In november 1998 is een piekafvoer op de Maas opgetreden. Naar aanleiding daarvan is een herberekening uitgevoerd, inclusief deze piekafvoer. De reeks is daarom aangevuld met de hydrologische jaren 1997 en 1998.

Met behulp van uurlijks gemeten waterstanden te Borgharen en de geldende  $Q(h)$ -relatie vanaf 01-01-95, is de uurlijkse afvoerserie van 1 okt. 1997 tot en met 3 april 1999 samengesteld. Hieruit zijn de piekafvoeren geselecteerd. Er moet hier worden benadrukt dat het hydrologisch jaar 1998 niet volledig is meegenomen.

#### **Maximale serie**

Voor de hydrologische jaren 1997 en 1998 zijn de volgende jaarmaxima bepaald:

1997:	1280 m <sup>3</sup> /s	op 03-01-98, 19.00u;
1998:	1823 m <sup>3</sup> /s	op 02-11-98, 04.00 en 05.00u.

#### **Partiële serie**

Voor de periode 1 okt. 1997 tot en met 3 april 1999 zijn de volgende piekafvoeren, met afvoer boven 1300 m<sup>3</sup>/s en met een zichtduur van 8 dagen, geselecteerd:

1997:	geen piekafvoer;	
1998:	1823 m <sup>3</sup> /s	op 02-11-98, 04.00 en 05.00u;
1999:	1482 m <sup>3</sup> /s	op 04-03-99, tussen 01.00 en 04.00u.



Aangezien er twee piekafvoeren voor de partiële serie bijgekomen zijn, en er twee jaren aan de reeks toegevoegd zijn (1998 en 1999), kan de drempelwaarde van 1300 m<sup>3</sup>/s onveranderd blijven.

## Variant I - zonder correctie periode 1984-1992

Tabel C-1 Resultaten variant I

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log- III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Pareto	Maatgev. . Afvoer	Afge- rond	95%-betrouwbaar- heidsinterval	
									2,5%- onder grens	97,5%- boven grens
2	1436	1434	1439	1554	-	1554	1554	1555	1490	1620
5	1873	1908	1903	1900	-	1894	1894	1895	1765	2020
10	2162	2191	2181	2161	-	2154	2154	2155	1970	2340
25	2527	2521	2506	2507	2515	2503	2509	2510	2220	2805
50	2798	2749	2733	2768	2762	-	2762	2760	2415	3120
100	3067	2964	2951	3029	3003	-	3003	3005	2580	3435
250	3422	3235	3227	3375	3315	-	3315	3315	2790	3855
500	3689	3432	3429	3636	3547	-	3547	3545	2945	4175
1000	3956	3623	3629	3898	3776	-	3776	3775	3095	4490
<b>1250</b>	<b>4042</b>	<b>3683</b>	<b>3692</b>	<b>3982</b>	<b>3850</b>	-	<b>3850</b>	<b>3850</b>	<b>3140</b>	<b>4595</b>
2500	4309	3868	3888	4243	4077	-	4077	4075	3285	4915
5000	4576	4049	4081	4505	4303	-	4303	4305	3425	5235
10000	4843	4226	4273	4766	4527	-	4527	4525	3565	5555

## Variant II - met correctie periode 1984-1992

Tabel C-2 Resultaten variant II

T	Gumbel Q <sub>0</sub> =1000	Pearson III	Log- III	Expo- nentiële	Gemid- delde	Paret o	Maatgev. Afvoer	Afge- rond	95%-betrouwbaar- heidsinterval	
									2,5%- onder grens	97,5%- boven grens
2	1433	1430	1436	1551	-	1550	1550	1550	1485	1610
5	1863	1899	1894	1891	-	1885	1885	1885	1760	2010
10	2148	2178	2167	2148	-	2141	2141	2140	1960	2320
25	2508	2501	2486	2488	2496	2484	2490	2490	2205	2780
50	2776	2725	2709	2745	2739	-	2739	2740	2395	3090
100	3041	2936	2921	3002	2975	-	2975	2975	2560	3400
250	3390	3202	3190	3342	3281	-	3281	3280	2765	3810
500	3653	3394	3388	3600	3509	-	3509	3510	2920	4125
1000	3917	3581	3582	3857	3734	-	3734	3735	3065	4435
<b>1250</b>	<b>4002</b>	<b>3640</b>	<b>3643</b>	<b>3940</b>	<b>3806</b>	-	<b>3806</b>	<b>3805</b>	<b>3110</b>	<b>4535</b>
2500	4265	3821	3833	4197	4029	-	4029	4030	3250	4845
5000	4528	3998	4021	4454	4250	-	4250	4250	3390	5160
10000	4791	4172	4207	4711	4470	-	4470	4470	3525	5475

## C.2 Werklijn

Voor het bepalen van de afvoer  $Q$  voor een willekeurige herhalingstijd  $T$  tussen  $T=2$  en  $T=10.000$  jaar wordt een functie afgeleid tussen deze beide grootheden. Aangezien het niet mogelijk is met één lijn het volledige bereik van de afvoeren te benaderen zonder relatief grote fouten te introduceren, wordt gekozen voor een samengestelde functie. Net als in het Boertien II-onderzoek is een werklijn vastgesteld die bestaat uit twee logaritmische regressielijnen. Deze regressielijnen hebben de vorm:

$$Q = a * \ln(T) + b$$

hierin is  $Q$  de afvoer, behorend bij een herhalingstijd  $T$ ;  $a$  en  $b$  zijn parameters die zijn gefit voor de twee bereiken. In Tabel C-3 staan de waarden van  $a$  en  $b$  weergegeven van de werklijn die is afgeleid voor variant II.

Tabel C-3 Constanten  $a$  en  $b$  ter bepaling van de werklijn van variant II en de bijbehorende betrouwbaarheidsgrenzen

	Werklijn		Gemiddelde 2,5%- betrouwbaarheidsondergrens		Gemiddelde 97,5%- betrouwbaarheidsbovgrens	
	$T < 250$	$T > 250$	$T < 250$	$T > 250$	$T < 250$	$T > 250$
<b>a</b>	353,4	324,8	255,6	215,8	455,5	452,1
<b>b</b>	1331,4	1488,7	1351,6	1571,1	1292,4	1311,3

De vergelijking voor de herberekende werklijn wordt:

voor  $T = 2$  tot 250 jaar:  $Q = 353,4 * \ln(T) + 1331,4$

voor  $T = 250$  tot 10.000 jaar:  $Q = 324,8 * \ln(T) + 1488,7$

De regressielijnen voor het gemiddelde 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn als volgt:

voor  $T = 2$  tot 250 jaar: 2,5%-grens:  $Q = 255,6 * \ln(T) + 1351,6$

voor  $T = 250$  tot 10.000 jaar: 2,5%-grens:  $Q = 215,8 * \ln(T) + 1571,1$

voor  $T = 2$  tot 250 jaar: 97,5%-grens:  $Q = 455,4 * \ln(T) + 1292,4$

voor  $T = 250$  tot 10.000 jaar: 97,5%-grens:  $Q = 452,1 * \ln(T) + 1311,3$

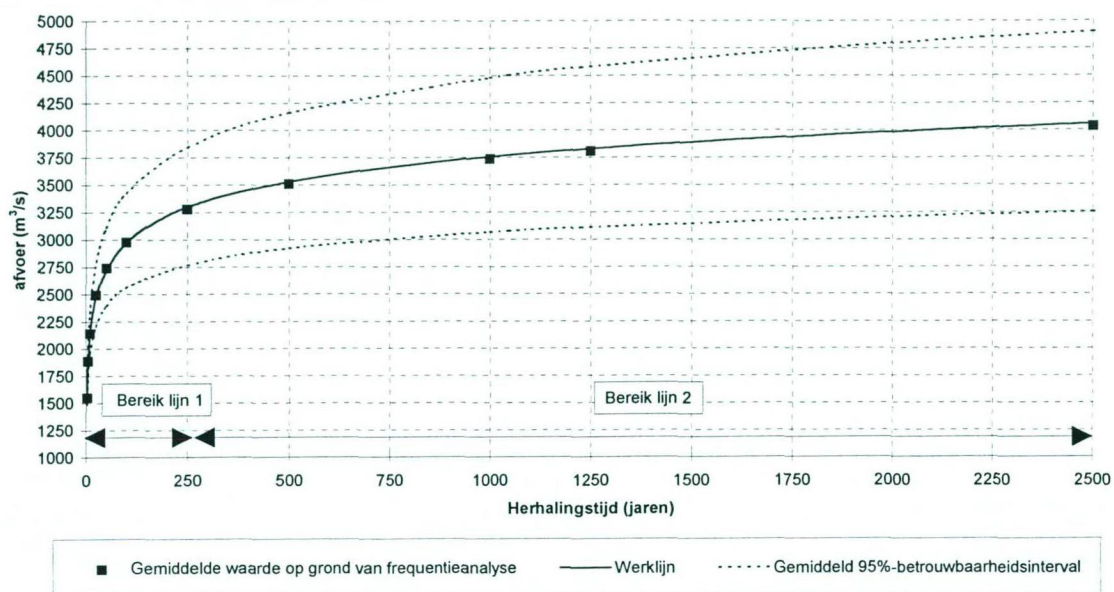


De parameters zijn zo gekozen dat rond een herhalingstijd van 250 jaar beide lijnen in elkaar overgaan. De werklijn voor herhalingstijden groter dan 250 jaar is zo nauwkeurig mogelijk gefit op de berekende afvoerwaarde voor  $T = 1250$  jaar. In Figuur C-1 is de werklijn voor de Maas te Borgharen weergegeven voor het volledige bereik 2 - 10.000 jaar. In Figuur C-2 is deze aangegeven voor lagere herhalingstijden, waarbij de overgang van de beide lijnen duidelijker wordt weergegeven. Figuur C-3 is de herberekende werklijn voor de Maas te Borgharen weergegeven met het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval, samen met de werklijn uit het Boertien II-onderzoek. Figuur C-4 geeft de ligging van de frequentieverdelingen ten opzichte van de herberekende werklijn weer. Zoals ook uit Tabel C-2 valt af te leiden, zijn de verschillen met Pearson III- en de Gumbel-verdeling het grootst.

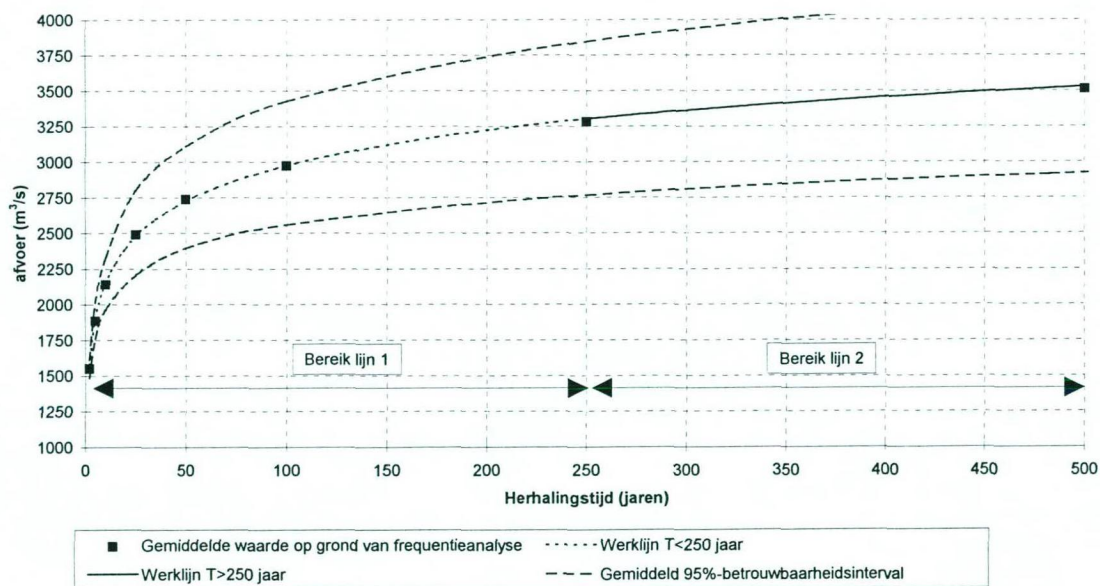
De afwijking met de gemiddelde waarden berekend via middeling van de verschillende verdelingen is maximaal 2 %. Uit Tabel C-4 blijkt dat de werklijn een goede representatie geeft van de waarden berekend op grond van de frequentieanalyse.

Tabel C-4 Berekende werklijn en berekende waarden op grond van de frequentie-analyse ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

T	Samengestelde werklijn	1/1250 afvoer op grond van de frequentie verdelingen	Vershil in $\text{m}^3/\text{s}$	Percentage verschil
2	1575	1550	+25	+2
5	1900	1885	+15	+1
10	2145	2140	+5	0
25	2470	2490	-20	-1
50	2715	2740	-25	-1
100	2960	2975	-15	-1
<b>250</b>	<b>3280</b>	<b>3280</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
500	3505	3510	-5	0
1000	3730	3735	-5	0
<b>1250</b>	<b>3805</b>	<b>3805</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2500	4030	4030	0	0
5000	4255	4250	+5	0
10000	4480	4470	+10	0

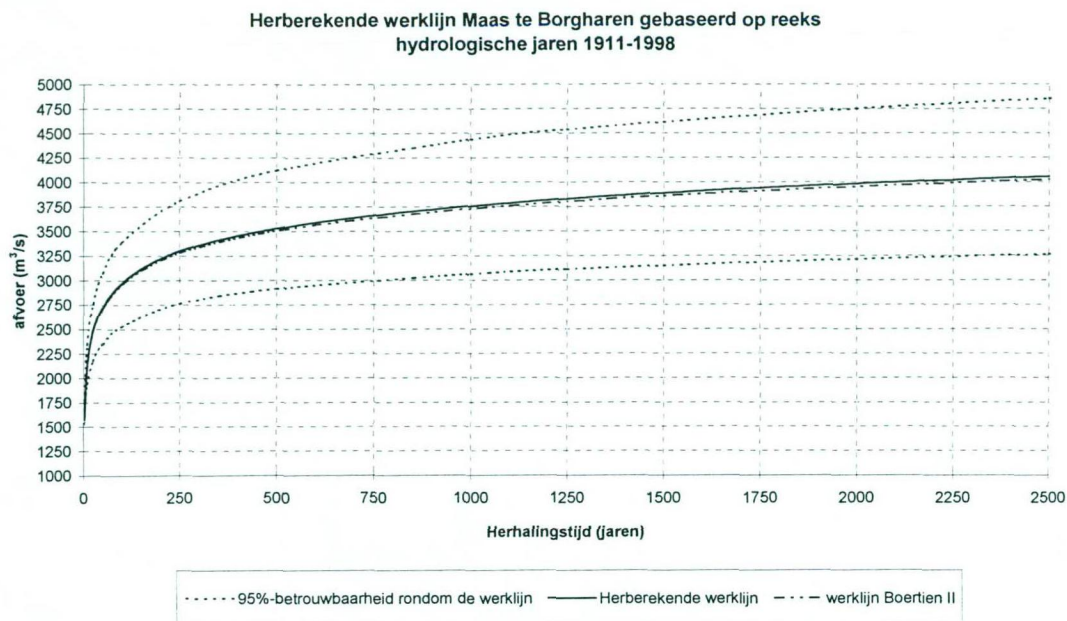


Figuur C-1 Herberekende werklijn Maas te Borgharen

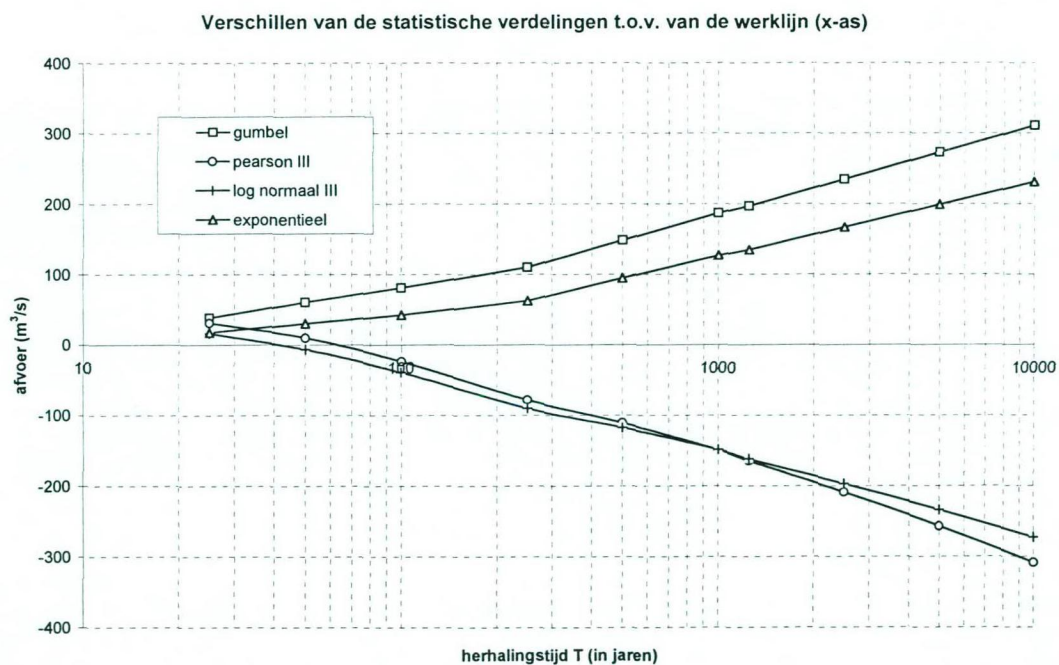


Figuur C-2 Overgang herberekende werklijn Maas te Borgharen





Figuur C-3 Werklijn Maas te Borgharen met 95%-betrouwbaarheidsinterval



Figuur C-4 Ligging frequentieverdelingen ten opzichte van herberekende werklijn (x-as)

## C.3 Representativiteit meetreeks

Een analyse van de representativiteit van de meetreeks voor een veel langere periode op basis van de verlengde meetreeks t/m 1998 blijkt dat dit geen invloed heeft op de conclusies zoals vermeld in het hoofdrapport. In deze conclusies is vermeld dat 'Uit deze analyse van historische hoogwaters van vóór 1911 kan worden geconcludeerd dat de aanname, dat de meetreeks vanaf 1911 representatief is, *niet* verworpen kan worden, aangezien de meest extreme hoogwaters in het verleden een overeenkomstige frequentie vertonen als die berekend volgens de werklijn.







## **WL | Delft Hydraulics**

Rotterdamseweg 185  
postbus 177  
2600 MH Delft  
telefoon 015 285 85 85  
telefax 015 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

Rotterdamseweg 185  
p.o. box 177  
2600 MH Delft  
The Netherlands  
telephone +31 15 285 85 85  
telefax +31 15 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

