

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat/RIZA

Maatgevende afvoer en afvoerstatistiek Overijsselse Vecht bij Dalfsen RVW2006

Deelrapport 8

Auteurs: Durk Klopstra
Elmi van den Braak
Helena Kalk
Paul Termes

Inhoud

1	Inleiding	1-1
1.1	Achtergrond	1-1
1.2	Doelstelling en uitgangspunten	1-1
1.3	Aanpak en Leeswijzer	1-2
2	Vaststellen uitgangspunten	2-1
2.1	Literatuur onderzoek afvoerstatistiek Vecht	2-1
2.1.1	Inleiding	2-1
2.1.2	Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1992	2-1
2.1.3	Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1993	2-5
2.1.4	Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1995	2-6
2.1.5	Samenvatting	2-8
2.2	'Nieuwe' afvoergolf Dalfsen volgens 'oude' uitgangspunten	2-9
2.2.1	Inleiding	2-9
2.2.2	De afvoergolf bij Dalfsen, met nalevering Regge	2-10
2.3	Gevoeligheidsanalyses	2-12
2.3.1	Inleiding	2-12
2.3.2	Faseverschillen	2-12
2.3.3	Fysisch maximum	2-17
2.3.4	Onafhankelijkheid zijdelingse toevoeren	2-23
2.3.5	Nalevering Regge	2-27
3	De werklijn en afvoergolf bij Dalfsen	3-1
3.1	Inleiding	3-1
3.2	Gegevens en randvoorwaarden	3-1
3.3	Afleiding van de werklijn	3-2
4	Afvoerstatistiek van de Vecht	4-1
4.1	Inleiding	4-1
4.2	Homogeniteit afvoergegevens Vechterweerd	4-1
4.2.1	Inleiding	4-1
4.2.2	Homogeniteit van de neerslagstations	4-2
4.2.3	Afvoergegevens bij Vechterweerd	4-4
4.2.4	Conclusies	4-11
4.3	Een consistente afvoerstatistiek	4-11
4.4	De werklijn	4-13
4.5	De standaardgolfvormen	4-14
4.6	De dagenlijn	4-17
5	Conclusies en aanbevelingen	5-1
5.1	Werklijn en maatgevend afvoer	5-1
5.2	Afvoerstatistiek	5-3
5.3	Aanbevelingen	5-5
6	Referenties	6-1

Bijlagen

Lijst van tabellen

Tabel 2-1:	Overzicht gegevens en gebruikte kansverdelingen van waterlopen die op de Vecht aansluiten	2-3
Tabel 2-2:	Afvoeren langs de Vecht met herhalingstijd van 1250 jaar	2-4
Tabel 2-3:	Overzicht gebruikte meetgegevens langs de Vecht en het Zwarte Water	2-5
Tabel 2-4:	Resultaat frequentieanalyse POT-data winterhalfjaar voor de afvoer bij Vechterweerd (data van 1960-1983).	2-6
Tabel 2-5:	Overzicht van extreme afvoeren bij Vechterweerd voor verschillende kansverdelingen	2-8
Tabel 2-6:	Samenvatting literatuuronderzoek.....	2-9
Tabel 2-7	Maatgevende afvoer voor Dalfsen, met de nalevering van de Regge	2-12
Tabel 2-8	Verzamelde hoogwatergolven voor de bepaling van de faseverschillen	2-13
Tabel 2-9	Tijdverschil tussen het optreden van de hoogwaterpiek in Emlichheim en de zijleidingen.....	2-14
Tabel 2-10	Verschil tussen optreden piek voor de zijleidingen onderling	2-14
Tabel 2-11	Faseverschillen gebruikt voor het bepalen van de afvoergolf.....	2-15
Tabel 2-12	Maximale afvoer bij verschillende faseverschillen	2-17
Tabel 2-13	Resultaten bepaling fysisch maximum	2-20
Tabel 2-14	Resultaten van de afvoergolf bepaald met en zonder fysisch maximum.....	2-21
Tabel 2-15	Maximale afvoeren bij de zijleidingen met of zonder fysisch maximum (T=1250)	2-22
Tabel 2-16	Hoogwatergolven met een afvoer bij Emlichheim groter dan 115 m ³ /s	2-23
Tabel 2-17	Herhalingstijden voor de verschillende afvoeren uit Tabel 2-16	2-24
Tabel 2-18	Maximale afvoer en waterstand bij Dalfsen bij verschillende herhalingstijden	2-26
Tabel 2-19	Invloed van nalevering van de Regge op de maatgevende afvoer.....	2-27
Tabel 3-1:	Samenvatting verschillen randvoorwaarden RVW2006 en Janssens	3-2
Tabel 3-2	Maatgevende afvoer voor Dalfsen, met de nalevering van de Regge	3-4
Tabel 3-3	Berekende werklijn en de waarde uit SOBEK.....	3-5
Tabel 4-1	Aandeel van de gegevens van de neerslagstations in de uiteindelijke neerslag.....	4-5
Tabel 5-1:	De berekende waarde van de maatgevende afvoer sinds 1992.....	5-1

Lijst van figuren

Figuur 2-1	Uiteindelijke input golven voor de SOBEK berekeningen	2-10
Figuur 2-2	Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar, met nalevering Regge	2-11
Figuur 2-3	Afvoergolven bij Dalfsen met nalevering van de Regge	2-11
Figuur 2-4	De afvoergolf bij Dalfsen bepaald met verschillende faseverschillen	2-16
Figuur 2-5	Dwarsprofiel 1010100 (meest stroomafwaarts)	2-18
Figuur 2-6	Dwarsprofiel 1010300	2-18
Figuur 2-7	Dwarsprofiel 1010400	2-19
Figuur 2-8	Dwarsprofiel 1010700	2-19
Figuur 2-9	De afvoergolf bij Dalfsen, met en zonder fysisch maximum	2-21
Figuur 2-10	Afvoergolf bij de Regge, Afwateringskanaal en Dalfsen met en zonder fysisch maximum	2-22
Figuur 2-11	Relaties van de afvoer bij Emlichheim en Radewijkerbeek (A), Afwateringskanaal (B), Regge (C), Ommerkanaal (D)	2-24
Figuur 2-12	Afvoergolven bij 1250 en 100 jaar herhalingstijd bij Dalfsen	2-25
Figuur 2-13	Golfvormen bij Dalfsen, met en zonder nalevering op de Regge	2-27
Figuur 3-1	Afvoergolven op de Regge gecorrigeerd voor nalevering	3-3
Figuur 3-2	Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar, met nalevering Regge	3-3
Figuur 3-3	Afvoergolven bij Dalfsen met nalevering van de Regge.	3-4
Figuur 3-4	Werklijn van de Vecht te Dalfsen.	3-5
Figuur 4-1	Neerslagstations in Nederland en Duitsland	4-2
Figuur 4-2	Double Mass analyse van de Nederlandse stations met neerslaggegevens op jaarbasis	4-3
Figuur 4-3	Double Mass analyse van de Duitse stations met neerslaggegevens op jaarbasis	4-3
Figuur 4-4	De geselecteerde neerslagstations (niet exact op schaal)	4-4
Figuur 4-5	De afvoer tegen de neerslag	4-5
Figuur 4-6	Double Mass Curve jaarneerslag van de Vecht – jaarafvoer bij Vechterweerd	4-6
Figuur 4-7	Geselecteerde droge en natte jaren	4-6
Figuur 4-8	Double Mass Curve voor a) een droog jaar en b) een nat jaar	4-7
Figuur 4-9	Double Mass curve voor zomerperioden	4-7
Figuur 4-10	Double Mass curve voor winterperioden	4-7
Figuur 4-11	De piekafvoeren bij Vechterweerd	4-8
Figuur 4-12	De correlatie tussen de neerslagsom en de afvoer weergegeven per neerslagsom	4-9
Figuur 4-13	Correlatie tussen de piekafvoer van een hoogwater en de 9-daagse neerslagsom.	4-9
Figuur 4-14	Double Mass curve gesommeerde piekafvoer – gesommeerde neerslag	4-10
Figuur 4-15:	Gefitte werklijn voor Dalfsen met vaste punten door topafvoer $q = [150,$ $400, 550, 575] \text{ m}^3/\text{s}$ en terugkeertijd $T = [1, 50, 1250, 10000] \text{ jaar}$	4-14
Figuur 4-16:	Golfvormen voor Dalfsen op basis van SOBEK-berekeningen	4-15
Figuur 4-17	Dagenlijn Dalfsen voor de overlappende afvoeren.	4-15
Figuur 4-18:	Illustratie van het verschil tussen SOBEK golfvormen en een golfvorm op basis van metingen bij Vechterweerd.	4-16

Figuur 4-19	Vergelijking van 3 golfvormen voor Dalfsen op basis van SOBEK en de metingen bij Vechterweerd.	4-17
Figuur 5-1	Verloop van de berekende waarde van de maatgevende afvoer van de Vecht in Vechterweerd/Dalfsen.	5-2
Figuur 5-2:	Werklijn voor Dalfsen op basis van de metingen en Sobek berekeningen.	5-3

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de Wet op de Waterkering staat aangegeven dat de minister van Verkeer en Waterstaat iedere vijf jaar hydraulische randvoorwaarden publiceert ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. De hydraulische randvoorwaarden, vastgesteld in 2001, zijn gepubliceerd in het 'Randvoorwaardenboek 2001'. Het actualiseren van de randvoorwaarden voor de Vecht wordt gerealiseerd in het project 'Randvoorwaarden 2006'. In het kader van dit project worden ook probabilistische modellen door Rijkswaterstaat RIZA (WSH) ontwikkeld voor de Vechtdelta (RIZA, 2001).

Voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden dient inzicht te bestaan in de afvoerstatistiek van de Vecht. Voor het bepalen van de afvoerstatistiek bij Dalfsen wordt gebruik gemaakt van de afvoergolven en het bepaalde fysisch maximum van de zijleidingen van de Vecht. Deze afvoergolven en fysisch maxima zijn bepaald in Deelrapport 6 van deze studie: Statistische extrapolatie en vorm afvoergolven bij Emlichheim en de zijleidingen (WL|Delft Hydraulics, 2001). De bepaalde afvoerstatistiek bestaat uit drie onderdelen: de werklijn, de standaard golfvorm en de dagenlijn, allen bij Dalfsen.

Met het contractnummer RI 3502 heeft RIZA aan HKV LIJN IN WATER opdracht gegeven voor het bepalen van de maatgevende afvoer en afvoerstatistiek bij Dalfsen. Het project is aan opdrachtgeverszijde begeleid door ir. D. Ytsma en ir. C. Geerse. Vanuit HKV LIJN IN WATER is het project uitgevoerd door drs. W.E.W. van den Braak, ir. H.J. Kalk, ir. D. Klopstra en ir. A.P. Termes.

1.2 Doelstelling en uitgangspunten

Aan het project zijn de volgende doelstellingen toegekend:

- Het bepalen van de vorm van de maatgevende afvoergolf in Dalfsen en de werklijn.
- Het geven van inzicht in de wijze waarop maatgevende afvoeren in het verleden zijn vastgesteld en de belangrijkste oorzaken voor de verschillen in de resultaten.
- Het inzichtelijk maken van de gevoeligheid van de maatgevende afvoer en golfvorm te Dalfsen voor de aannames die zijn gehanteerd.
- Het vaststellen van de afvoerstatistiek waarbij de dagenlijn vanuit wiskundig oogpunt consistent moet zijn met de vastgestelde werklijnen en golfvormen.

De benodigde berekeningen voor het bepalen van de maatgevende afvoer en golfvorm zijn uitgevoerd met SOBEK versie 2.51.005. Hierbij is gebruik gemaakt van het in opdracht van RIZA gebouwde SOBEK model van de Vecht (HKV, 2001).

1.3 Aanpak en Leeswijzer

In het verleden zijn verschillende methodieken en uitgangspunten gehanteerd voor het bepalen van de maatgevende afvoer op de Vecht. Deze methodieken en uitgangspunten worden met de resultaten toegelicht en onderling vergeleken middels een literatuuronderzoek. Met de voorheen gebruikte uitgangspunten wordt opnieuw de (maatgevende) afvoergolf in Dalfsen onderzocht, maar dan met gebruikmaking van de geactualiseerde randvoorwaarden volgens deelrapport 6.

Vervolgens wordt de gevoeligheid van de (maatgevende) afvoergolf in Dalfsen voor de gehanteerde uitgangspunten onderzocht. De resultaten van deze activiteiten worden beschreven in hoofdstuk 2. Dit leidt tot een keuze voor de uitgangspunten zoals die zullen worden gebruikt voor vaststelling van de maatgevende afvoer en afvoerstatistiek in Dalfsen volgens randvoorwaarden 2006 in respectievelijk hoofdstuk 3 en 4. De basis van de vaststelling van de (maatgevende) afvoergolf en afvoerstatistiek in Dalfsen wordt gevormd door Sobek-berekeningen met de randvoorwaarden voor de Vecht in Emlichheim en de Nederlandse zijleidingen volgens deelrapport 6. Dit omdat in Dalfsen geen afvoermetingen voorhanden zijn. Wel is benedenstrooms daarvan in Vechterweerd voor een beperkte periode afvoergegevens voorhanden. De statistiek hiervan wordt naast de Sobek-resultaten gelegd om tot een consistent resultaat te komen.

2 Vaststellen uitgangspunten

2.1 Literatuur onderzoek afvoerstatistiek Vecht

2.1.1 Inleiding

In de 90-er jaren zijn een drietal onderzoeken uitgevoerd door Rijkswaterstaat/RIZA om de maatgevende afvoer van de Overijsselsche Vecht vast te stellen. Het betreft twee onderzoeken van Janssens (1992 en 1993) en één van Chbab (1995). In die onderzoeken zijn verschillende methoden gebruikt met onder andere tot gevolg aanzienlijke verschillen in de maatgevende afvoeren op de Overijsselsche Vecht bij Vechterweerd (enkele kilometers benedenstrooms van Dalfsen) met een herhalingsdij van 1250 jaar, namelijk:

- in 1992 heeft Janssens de maatgevende afvoer vastgesteld op $616 \text{ m}^3/\text{s}$,
- in 1993 heeft Janssens de maatgevende afvoer vastgesteld op $523 \text{ m}^3/\text{s}$,
- in 1995 heeft Chbab de maatgevende afvoer vastgesteld op $470 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ten behoeve van het vaststellen van de maatgevende afvoer van de Overijsselsche Vecht voor de Hydraulisch Randvoorwaarden 2006, is het van belang inzicht te verkrijgen hoe in het verleden de maatgevende afvoer is bepaald en wat de oorzaken van de verschillen zijn. Op basis van de genoemde literatuur wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

1. Wat is het fysische maximum van de afvoer en hoe is dat bepaald?
2. Hoe is de laterale toestroom in de Vecht bepaald?
3. Welke meetreeksen zijn gebruikt?
4. Welke statistische verdelingen voor de afvoer zijn gebruikt?
5. Wat zijn de verschillen in maatgevende afvoer tussen Dalfsen en Vechterweerd?
6. Welke methoden zijn gebruikt, wat zijn de aannames en waardoor verschilt de maatgevende afvoer in de drie studies?

De drie rapporten met de vaststelling van de maatgevende afvoer op de Overijsselsche Vecht zijn afzonderlijk geanalyseerd op basis van de bovengenoemde vragen. De resultaten van de analyse zijn opgenomen in de paragrafen 2.2 t/m 2.4. Tot slot zijn de resultaten vergeleken en zijn de antwoorden op de vragen samengevat en weergegeven in paragraaf 2.5.

2.1.2 Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1992

In 1992 is de maatgevende afvoer op de Overijsselsche Vecht bij Vechterweerd vastgesteld (Janssens, 1992) op $616 \text{ m}^3/\text{s}$ met een herhalingsdij van 1250 jaar. Doordat van de Overijsselsche Vecht en het Zwarte Water nauwelijks gemeten afvoergegevens beschikbaar zijn, is in deze studie van Janssens uitgegaan van afvoergegevens van de belangrijkste waterlopen die op de Vecht en het Zwarte Water uitkomen. De bestaande Qh-relatie bij Vechterweerd is sinds 1962 niet meer aangepast en gecontroleerd. Wel is eind 80-er jaren een Zwendl-model van de Overijsselsche Vecht beschikbaar dat in deze studie als betrouwbaar instrument is gebruikt voor de controle van de Qh-relatie. De opzet van het onderzoek naar de maatgevende afvoer op de Vecht bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Onderzoek naar de nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en homogeniteit van de gegevens van de aanliggende waterlopen;
2. Afleiden van de frequentiediagrammen van de waterlopen;
3. Analyse van de ontwerpgolven van de waterlopen;
4. Uitvoeren van berekeningen met het Zwendl-model en afleiden frequentiediagrammen van de afvoer op 11 locaties langs de Vecht en het Zwarte Water;
5. Gevoeligheidsanalyse van het resultaat.

De frequentietabel van de afvoer bij Emlichheim is gebruikt en gebaseerd op gegevens over de periode 1961-1989. Daarnaast zijn de beschikbare gegevens van 6 aanliggende waterlopen gebruikt, namelijk:

- Het Afwateringskanaal;
- De Radewijkerbeek;
- Het Ommerkanaal;
- De Regge;
- De Sallandse Weteringen;
- Het Meppelerdiep (inclusief gemaal Zedemuden).

Verder zijn toegevoegd de afvoeren van:

- Het Mariënborg-Vechtkanaal;
- De gemalen Water Streukelerzijl, Galgenrak, Kloosterzijl, Kostverlorenzijl langs het Zwarte Water.

De beschikbare meetreeksen van de waterlopen variëren in lengte, de kortste reeks is 10 jaar. Aangezien men geen reeksen met een verschillende lengte wilde gebruiken, zijn 10-jarige reeksen gebruikt voor de analyse. De afvoer vanuit de overige kleinere waterlopen is niet meegenomen waardoor circa 12% van het stroomgebiedoppervlak ontbreekt. In het afregelen van het model is dit afvoertekort 'vanzelf' meegenomen omdat het model op gemeten waterstanden is afgeregeld en het effect van het ontbrekende oppervlak in de afregelparameters is opgenomen. Overigens is in de studie verondersteld dat de ontbrekende afvoer weinig effect op de topafvoer heeft.

De afvoercapaciteit van de waterlopen is in de praktijk beperkt door het fysisch afvoermaximum van de waterlopen. Voor de afvoer bij Emlichheim is het fysisch maximum in overleg met het STAWA te Meppen (Dld) vastgesteld op 350 m³/s overeenkomstig de ontwerpnormen; een specifieke afvoer van 2 l/s/ha voor een stroomgebiedoppervlak van 175.000 ha. Voor de Nederlandse waterlopen is als fysisch maximum de afvoer gekozen met een herhalingstijd van 100 jaar. Alleen voor de stuw in het Mariënborg-Vechtkanaal wordt de gekozen afvoercapaciteit vaker gehaald, namelijk eens per twee jaar. De ontwerpcapaciteit van de gemalen is als maximum gemaalcapaciteit gebruikt.

Op de beschikbare meetgegevens is een frequentieanalyse op de jaarmaxima uitgevoerd door het fitten met een Gumbel, Pearson III en Generalized Extreme Value (GEV) verdeling. In het algemeen wordt de beste fit verkregen met de Gumbel verdeling. Met die verdeling is de topafvoer bepaald voor een aantal herhalingstijden (10, 100, 200, 500 en 1250 jaar), zie Tabel 2-1.

De afvoergolven van de op de Vecht aansluitende waterlopen zijn als volgt bepaald. Er is uitgegaan van de beschikbare historische meetreeksen om nieuwe afvoergolven te maken. Door de historische golven is getracht een dichtheidsfunctie van de gammaverdeling te fitten, dat leverde geen bevredigend resultaat op. Beter werkte het fitten van de stijgende tak van de gemeten golven met een dichtheidsfunctie van de gammaverdeling en voor de dalende tak een dichtheidsfunctie van de log-normale verdeling. Op deze wijze zijn voor alle zijdelingse waterlopen nieuwe afvoergolven gegenereerd met een herhalingstijd van 10 jaar. De golven met grotere herhalingstijd (200, 500 en 1250 jaar) zijn bepaald door het opschalen van de 10-jarige golf, daarbij is rekening gehouden met het fysische maximum per waterloop.

waterloop	maximum afvoer [m³/s]	herhalings-frequentie [1/jaar]	periode gegevens	nauwkeurig-heid meet-gegevens	frequentieanalyse uitgevoerd		
					Gumbel	Pearson III	GEV
Afwateringskanaal	114,9 ¹ 156,1	1/100 1/1250	80-90	10%	x	-	-
Radewijkerbeek	19 ¹ 25,1	1/100 1/1250	80-90	5-10%	x	x	-
Mariënborg-Vechtkanaal	9 ¹	1/2	86-87	nauwelijks gegevens	-	-	-
Ommerkanaal	28,1 ¹ 36,4	1/100 1/1250	79-90	5-10%	x	x	-
Regge	121,2 ¹ 144,1	1/100 1/1250	79-89	10-15%	x	-	x
Sallandse Weteringen	99 ¹ 118,3	1/100 1/1250	76-89	10%	x	-	-
gemalen: Streukelerzijl Galgenrak Kloosterzijl Kostverlorenzijl	18,3 ¹ 5,8 ¹ 6,4 ¹ 11,2 ¹	maximum gemaal- capaciteit	-	-	-	-	-
Meppelerdiep	112,5 ¹ 156,1	1/100 1/1250	68-88	20%	x	-	x
Vecht bij Emlichheim	350 ^{1,2}	1/1250	61-89	-	-	-	-

¹ fysisch maximum ² bepaald in een eerdere studie

Tabel 2-1: Overzicht gegevens en gebruikte kansverdelingen van waterlopen die op de Vecht aansluiten

Met het Zwendl-model van de Vecht zijn dynamische berekeningen uitgevoerd waarbij op de benedenrand bij de mond van het Zwarte Water een constante waterstand van 1 m+NAP (herhalingstijd 1/10 jaar) is opgelegd en geen sprake is van opstuwing door wind. Op de bovenrand is de afvoergolf van Emlichheim met een herhalingstijd van 1250 jaar opgelegd en op de aansluitende waterlopen de gegenereerde afvoergolven met een herhalingstijd van 1250 jaar. De faseverschillen van de afvoergolven van de op de Vecht aansluitende Nederlandse waterlopen is op nul gesteld. De faseverschuiving van de afvoergolf bij Emlichheim ten opzichte van de afvoergolven op de Nederlandse zijleidingen is 36 uur (afvoertop Emlichheim 36 uur later dan de afvoertoppen op de Nederlandse zijleidingen, dit is exclusief de looptijd van afvoergolven op de Vecht van Emlichheim tot de Nederlandse zijleidingen).

Berekeningen zijn uitgevoerd waarbij alle topafvoeren beperkt zijn door het fysisch afvoermaximum van de waterlopen. Daarnaast zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de topafvoeren niet beperkt zijn door het fysisch afvoermaximum, zie Tabel 2-1. Met de berekeningsresultaten zijn op 11 locaties langs de Vecht en het Zwarte Water frequentietabellen voor de afvoer samengesteld voor:

- Emlichheim;
- De stuwen De Haandrik, Hardenberg, Mariënborg, Junne, Vilsteren en Vechterweerd;
- Vechtmond;
- Zwarte Water net benedenstrooms van de Vechtmond;
- Hasselt;
- Genemuiden.

locatie	topafvoer [m ³ /s]
Emlichheim	350
De Haandrik	351
Hardenberg	463
Mariënborg	483
Junne	492
Vilsteren ¹	617
Vechterweerd¹	616
Vechtmond	617
Zwarte Water ²	690
Hasselt	716
Genemuiden	842

¹ Dalfsen ligt ca. 6 km benedenstrooms van de stuw bij Vilsteren en ca. 3 km bovenstrooms van de stuw bij Vechterweerd.

² net benedenstrooms van de Vechtmond

Tabel 2-2: Afvoeren langs de Vecht met herhalingstijd van 1250 jaar

De berekende topafvoer per locatie langs de Vecht, met een herhalingstijd van 1250 jaar, is opgenomen in Tabel 2-2. Uit de berekening zonder fysisch maximum volgt dat voor herhalingstijden van 1250 jaar de topafvoeren circa 7% groter zijn.

Opmerking: Maximum afvoeren van stuwen en gemalen zijn in de berekening gebruikt. In vele gevallen wordt in de praktijk dit maximum niet gehaald bij hoge waterstanden op de Vecht doordat het beschikbare verval over de stuw of het gemaal de afvoer reduceert. De stuw wordt daardoor verdrongen en de gemaalcapaciteit neemt af. Beide effecten zullen in werkelijkheid in lagere afvoeren op de Vecht resulteren.

Uit het gevoeligheidsonderzoek volgt:

- De aanname bij de berekeningen is dat de hoge afvoeren volledig afhankelijk zijn (samenvallen) met de hoge afvoer vanuit Duitsland. Door de afvoeren van de aansluitende waterlopen voor een aantal andere herhalingstijden te gebruiken als invoer is de gevoeligheid voor de aanname onderzocht. Uit het gevoeligheidsonderzoek volgt dat een volledige afhankelijkheid altijd tot een overschatting van de grootte van de afvoertop leidt. De topafvoeren worden daardoor met 5-10% overschat.
- Het faseverschil tussen de afvoergolf bij Emlichheim en op de Nederlandse waterlopen is 36 uur. Dat verschil is gevarieerd tussen de 0 en 48 uur. Uit berekeningen volgt dat de invloed van het faseverschil gering is en tussen de 1% en 5% hogere of lagere topafvoeren oplevert.
- De vorm van de afvoergolf is gevarieerd door het aanpassen van de stijgende dan wel de dalende tak. Het effect daarvan op de topafvoer is maximaal 4%.

- De vorm en het faseverschil zoals hiervoor beschreven zijn ook gezamenlijk gevarieerd. Het effect hiervan op de topafvoeren is minder dan 10%.
- Tot slot zijn de 95%-betrouwbaarheidsgrenzen bepaald voor alle 11 locaties. Voor Vechterweerd ligt de maatgevende afvoer van 616 m³/s tussen de grenzen van 466 en 626 m³/s.

2.1.3 Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1993

In 1993 is de maatgevende afvoer op de Overijsselsche Vecht bij Vechterweerd vastgesteld (Janssens, 1993) op 523 m³/s met een herhalingsjijd van 1250 jaar. De reden voor het uitvoeren van deze hernieuwde vaststelling is de MER ten behoeve van de bouw van de Ramspolkering. Daartoe moesten kanstabellen van waterstand en afvoer worden samengesteld voor het Zwarte Meer, Zwarte Water en de Vecht tot aan Vilsteren. Naast het bepalen van de kansverdeling van de waterstand bij Ramspol is in deze studie ook de afvoerstatistiek (werklijn en dagenlijn) onderzocht. De belangrijkste waterlopen en gemalen die de waterstand op het Zwarte Meer bepalen, zijn in onderstaande tabel samengevat samen met de gebruikte meetreeks van dagelijkse afvoeren. De afvoercapaciteit van de gemalen wordt echter gereduceerd bij toenemende buitenwaterstand. Daarmee is bij de analyse geen rekening gehouden.

waterloop/gemaal	periode gegevens	maximale afvoer [m ³ /s]
Overijsselsche Vecht	1932-1983 ¹	-
Meppelerdiep/Zedemuden	-	20/112,5
Sallandse Weteringen	1975-1989	-
Streukelerzijl en Galgerak	-	18,3 en 5,8
Kloosterzijl en Kostverlorenzijl	-	6,4 en 11,2
¹ Na 1983 zijn afvoeren gemeten met een nieuwe methode. Het probleem met die methode is dat bij hoge afvoeren maar een deel van de afvoer wordt gemeten, aangezien het water deels om de meetopstelling heen loopt.		

Tabel 2-3: Overzicht gebruikte meetgegevens langs de Vecht en het Zwarte Water

In 1962 zijn door de Dienst Zuiderzeewerken Qh-relaties afgeleid voor Vilsteren en Vechterweerd. Doordat in de Vecht werken zijn uitgevoerd en de bodemligging is veranderd, zijn de Qh-relaties niet meer geldig. Dit is met het Zwendl-model van de Vecht onderzocht waarbij de meetgegevens over de periode 1960-1983 van de Vecht zijn gebruikt bij de analyse en over de periode 1975-1989 van de Sallandse Weteringen. Er zijn een aantal berekeningen met stationaire afvoeren uitgevoerd. Het blijkt dat het model hogere waterstanden oplevert bij afvoeren lager dan 250 m³/s bij Vilsteren. Voor afvoeren hoger dan 250 m³/s zijn de berekende waterstanden lager. Op basis van de Qh-relatie uit 1962 is met de resultaten van het Zwendl-model een aangepaste Qh-relatie voor Vechterweerd opgezet voor afvoeren hoger dan 150 m³/s.

Bij de analyse is onderscheid gemaakt in zomer- en winterhalfjaar dagafvoeren. De dagafvoeren zijn in klassen verdeeld. Daarna is het aantal dagafvoeren per klasse bepaald, hetgeen leidt tot een verdeling die is omgezet in een overschrijdingskans per afvoerklasse. Door deze lijn is een theoretische lijn gefit om de overschrijdingskans voor extreme afvoerniveau's te kunnen bepalen.

In eerste instantie is gekozen voor een gammaverdeling die op basis van een Pearson Chi-kwadraat toets is verworpen. Vervolgens is een frequentieanalyse op de jaarmaxima uitgevoerd voor het winterhalfjaar. De waarden zijn gefit met een Gumbel, GEV, Pearson III en gammaverdeling. De geschikte verdelingen bleken de Gumbel verdeling te zijn, die een afvoer van $590 \text{ m}^3/\text{s}$ opleverde, en de GEV verdeling die een afvoer van $371 \text{ m}^3/\text{s}$ opleverde, beide met een herhalingsstijd van 1250 jaar. De parameters van de Gumbel verdeling zijn: $x_0=142,6$ en $b=67,8$. Daarnaast is een reeks met topafvoeren samengesteld die een bepaalde drempelwaarde overschrijden, de 'Peak Over Threshold' (POT) methode. De waarden zijn gefit met een Gumbel en een Pareto verdeling voor een aantal drempelwaarden. Er is gezocht bij een 1250 jaar herhalingsstijd naar de beste overeenkomst van de afvoer bij Vechterweerd tussen de Gumbel-verdeling ($532 \text{ m}^3/\text{s}$) en de Pareto verdeling ($523 \text{ m}^3/\text{s}$). De beste overeenkomst werd verkregen bij een POT-drempelwaarde van $122 \text{ m}^3/\text{s}$, zie Tabel 2-4.

drempelwaarde POT-data [m^3/s]	afvoer [m^3/s] met herhalingsstijd van 1250 jaar	
	Gumbel verdeling	Pareto verdeling
110	599	328
116	562	404
119	547	453
122	532	523
123	537	492
124	536	493

Tabel 2-4: Resultaat frequentieanalyse POT-data winterhalfjaar voor de afvoer bij Vechterweerd (data van 1960-1983).

Samenvatting:

Op basis van de Qh-relatie bij Vechterweerd uit 1962 is met het Zwendl-model van de Vecht een aangepaste Qh-relatie bij Vechterweerd vastgesteld. Met meetgegevens (waterstanden en afvoeren) over de periode 1960-1983 en met de aangepaste relatie is een frequentieverdeling van de afvoeren gemaakt. De topafvoeren in het winterhalfjaar zijn met een Gumbel- en Pareto verdeling weergegeven. Beide frequentieverdelingen komen voor een drempelwaarde van de POT-data van $122 \text{ m}^3/\text{s}$ het best overeen hetgeen een maatgevende afvoer bij Vechterweerd oplevert van $523 \text{ m}^3/\text{s}$ met een herhalingsstijd van 1250 jaar.

Opmerking: Overigens is een Gumbel verdeling niet geschikt voor het fitten van POT-data. Het lijkt er dus op dat de maatgevende afvoer van $523 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Vechterweerd op een verkeerde veronderstelling is vastgesteld.

2.1.4 Maatgevende Vechtafvoer bij Vechterweerd in 1995

In 1995 is de maatgevende afvoer op de Overijsselsche Vecht bij Vechterweerd vastgesteld (Chbab, 1995) op $470 \text{ m}^3/\text{s}$ met een herhalingsstijd van 1250 jaar. Het doel van deze vaststelling is dat de maatgevende afvoer op de Vecht op dezelfde wijze wordt vastgesteld als voor de Rijn en de Maas. Deze nieuwe methode is in 1993 door de Commissie Boertien I geaccepteerd.

Gebruikt zijn de gemeten waterstanden bij Vechterweerd over de periode 1960-1983 die zijn omgezet in een afvoerreeks met de Qh-relatie die in 1962 is afgeleid door de Dienst Zuiderzeewerken. Een tweede afvoerreeks, ook voor de periode 1960-1983, is samengesteld met behulp van het Zwendl-model van de Vecht door Janssens (1993). Daartoe heeft Janssens de Qh-relatie aangepast met de resultaten van het Zwendl-model van de Vecht. Beide reeksen zijn door Chbab onderzocht op hun geschiktheid als basismateriaal voor een verdere analyse. Gebleken is dat

beide series inhomogeniteiten vertonen, als waarschijnlijke oorzaak hiervoor wordt de droge periode in de 70-er jaren genoemd. Daarvoor zijn de reeksen niet gecorrigeerd. De resultaten van de analyse van de twee reeksen verschillen niet veel, echter door de beperkte nauwkeurigheid van de reeks op basis van de Qh-relatie uit 1962 (Qh-relatie na 1962 niet meer aangepast) is de voorkeur gegeven aan de reeks op basis van de Qh-relatie bij Vechterweerd die is aangepast met het Zwendl-model.

Voor het bepalen van een afvoertop met een herhalingstijd van 1250 jaar is de beschikbare afvoerreeks erg kort. Dit heeft consequenties voor het gebruik van geëxtrapoleerde afvoeren met hoge herhalingstijden. De keuze van een theoretische kansverdelingsfunctie is daardoor van groot belang. Meestal worden jaarmaxima gebruikt of maxima boven een grenswaarde die binnen een bepaalde periode voorkomen, de (Peak-Over-Threshold) POT-data. Een belangrijke eis voor het toepassen van frequentieanalyses op een meetreeks is dat de gegevens betrouwbaar, homogeen en onderling onafhankelijk zijn. Gezien de bovenstaande opmerkingen kan dit worden betwijfeld.

De jaarmaxima zijn beschouwd over de periode september-augustus (hydrologisch jaar) voor de beschikbare jaren. In de analyse van de POT-data zijn verschillende ondergrenzen voor de afvoer gebruikt en is een zichtduur (aantal dagen tussen opvolgende toppen) vastgesteld om de onafhankelijkheid van de gegevens te garanderen. Uiteindelijk is een optimale ondergrens van 120 m³/s gebruikt en een zichtduur van 5 dagen.

De keuze voor het geschikte frequentiemodel voor het bepalen van het afvoermaximum is onderzocht met de volgende kansverdelingen:

- Generalized Extreme Value I ofwel Gumbel verdeling;
- Generalized Extreme Value II* en III*;
- Normale verdeling;
- Log-normale verdeling (2* en 3 parameters);
- Pearson III verdeling;
- log-Pearson III verdeling*;
- Raleigh verdeling;
- exponentiële verdeling;
- Pareto verdeling.

De verdelingsparameters van de bovenstaande kansverdelingen zijn geschat met de maximum likelihood of de gemodificeerde maximum likelihood methode. Twee statistische toetsen zijn toegepast om de geldigheid van de kansverdelingen te testen, namelijk de Kolmogorov-Smirnov toets en de Cramer-Von Mises toets.

Tijdens de analyse zijn de met een * gemarkeerde verdelingen buiten beschouwing gelaten omdat ze werden verworpen op basis van de toetsen of slecht bij de gegevens pasten. De afvoeren op de Vecht bij Vechterweerd met een herhalingstijd van 100 en 1250 jaar voor de twee reeksen (Qh-relatie uit 1962 en Qh-relatie met Zwendl-model correctie) en voor de verschillende gefitte kansverdelingen zijn in onderstaande tabel opgenomen.

herhalings- tijd [jaar]	afvoer- reeks	verdeling						
		Gumbel	normaal	log- normaal	Pearson III	Raleigh	exponentiële	Pareto
<u>jaarmaxima</u>								
100	Qh-rel.	403	338	353	368	364	-	-
1250	1962	536	392	426	455	437	-	-
<u>Pot-data</u>								
100	Qh-rel.	-	-	-	-	-	373	361
1250	1962	-	-	-	-	-	481	445
<u>jaarmaxima</u>								
100	Qh-rel.	407	349	370	369	377	-	-
1250	Zwendl	552	410	457	454	460	-	-
<u>Pot-data</u>								
100	Qh-rel.	-	-	-	-	-	398	368
1250	Zwendl	-	-	-	-	-	520	449

Tabel 2-5: Overzicht van extreme afvoeren bij Vechterweerd voor verschillende kansverdelingen

Opmerking: De parameters van de Gumbel verdeling van de jaarmaxima, bepaald met de Qh-relatie gecorrigeerd met het Zwendl-model, zijn: $x_0=158,86$ en $b=55,22$. Vergeleken met de parameters van de Gumbel-verdeling die in de studie van 1993 zijn bepaald ($x_0=142,6$ en $b=67,8$) is er een verschil ondanks dat het dezelfde gegevens betreft. De oorzaak van de verschillen in de keuze van de parameters in beide studies (Janssens, 1993 en Chbab, 1995) is op basis van de beschrijvingen in de rapporten niet te achterhalen.

Samenvatting:

Extreme afvoeren met een herhalingstijd van 1250 jaar kunnen niet op basis van kennis van het fysisch gedrag van het stroomgebied worden afgeleid. Daarom wordt, conform de procedure voor het vaststellen van de maatgevende afvoer op de Rijn en Maas, een middeling van de geëxtrapoleerde afvoeren van de verschillende kansverdeling (die niet verworpen zijn) bepaald. Deze waarde is dan de maatgevende afvoer.

De middeling van de afvoertoppen van de zeven niet verworpen kansverdelingen (552, 410, 457, 454, 460, 520, 449) levert een maatgevende afvoer van de Overijsselsche Vecht bij Vechterweerd op van $470 \text{ m}^3/\text{s}$ met een herhalingstijd van 1250 jaar. Middeling van alleen jaarmaxima (552, 410, 457, 454, 460) of de POT-data (520, 449) geeft nagenoeg overeenkomstige waarden voor de maatgevende afvoer.

2.1.5 Samenvatting

Een samenvatting van de resultaten van het literatuuronderzoek wordt gepresenteerd in Tabel 2-6. Hieruit blijkt dat tussen 1992 en 1995 de waarde van de maatgevende afvoer is gedaald als gevolg van veranderingen in de gebruikte basisgegevens en statistische verdelingen.

	1992 (Janssens)	1993 (Janssens)	1995 (Chbab)
meetgegevens Emlichheim	1961-1989	-	-
meetgegevens zijleidingen	1968-1990	-	-
meetgegevens Vechterweerd (,Vilsteren)	-	1960-1983	1960-1983
statistische verdelingen	Gumbel Pearson III GEV	Gumbel Pareto GEV	Gumbel Normaal Log-Normaal Pearson III Raleigh Exponentieel Pareto
fysisch maximum Emlichheim (m ³ /s)	350 (2 l/s/ha Duits stroomgebied)		
fysisch maximum zijleidingen	gemaalcapaciteiten, afvoeren bij T=100 jaar		
faseverschil Emlichheim-zijleidingen (uren)	36		
maatgevende afvoer (m ³ /s)	616	523	470

Tabel 2-6: Samenvatting literatuuronderzoek.

2.2 ‘Nieuwe’ afvoergolf Dalfsen volgens ‘oude’ uitgangspunten

2.2.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt beschreven wat de werklijn en de vorm van de afvoergolven in Dalfsen zou zijn wanneer direct wordt aangesloten bij het resultaat van deelrapport 6 en de eerdere aannames van Janssens volgens Tabel 2-6. De aanpak is verder conform de aanpak waarmee de randvoorwaarden voor 2006 worden bepaald zoals omschreven in hoofdstuk 3. Doel hiervan is inzichtelijk te krijgen wat het effect van de diverse uitgangspunten op de maatgevende afvoer is. De ‘oude’ uitgangspunten zijn:

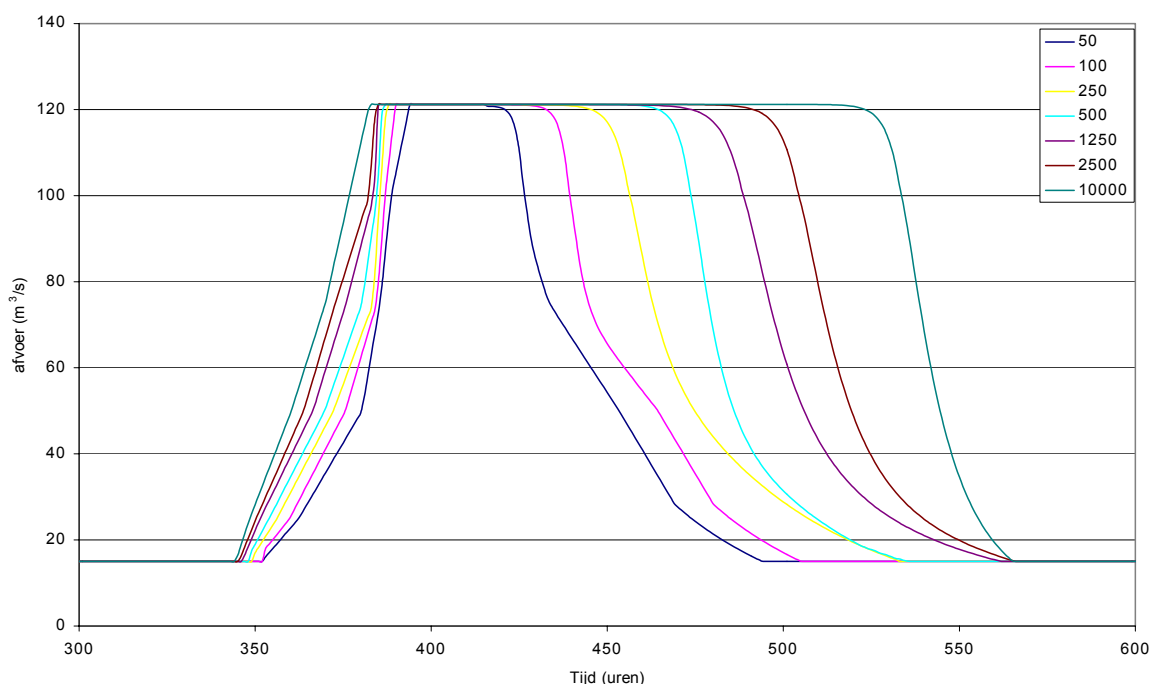
- Het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim bedraagt 350 m³/s.
- De Vecht in Emlichheim en de zijleidingen worden als volledig afhankelijk verondersteld, wat betekent dat een afvoergolf in Dalfsen met een bepaalde herhalingstijd wordt veroorzaakt door afvoergolven in Emlichheim en op de zijleidingen van dezelfde herhalingstijd.
- De piek van de afvoergolf in Emlichheim valt 36 uur later dan de pieken van de zijleidingen in Nederland.

Verder wordt onderscheid gemaakt naar een variant zonder en met nalevering van de Regge. Beide varianten worden uitgebreid beschreven in de bijlage, hier wordt volstaan met de variant met nalevering van de Regge. De resulterende afvoergolf in Dalfsen wordt berekend met het Sobek-model van de Vecht.

In hoofdstuk 3 wordt de maatgevende afvoer berekend met gebruikmaking van ‘nieuwe’ uitgangspunten, welke middels gevoeligheidsanalyses in paragraaf 2.3 worden onderbouwd. In hoofdstuk 3 zal ook de vergelijking worden gemaakt met de maatgevende afvoer zoals die hier met gebruikmaking van de ‘oude’ uitgangspunten zal worden berekend.

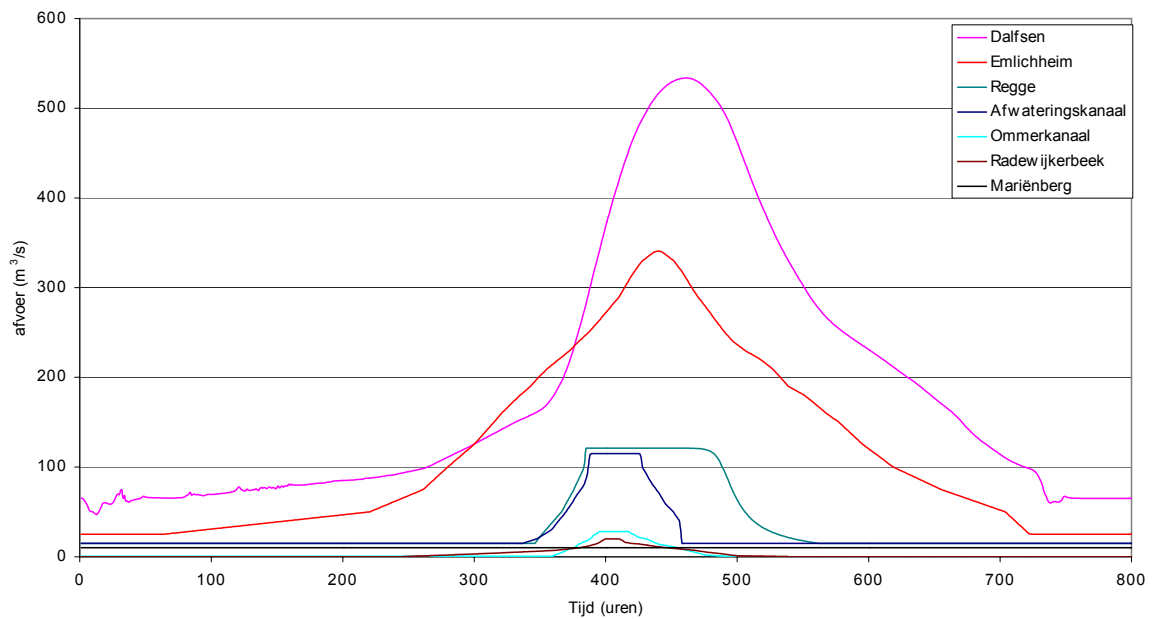
2.2.2 De afvoergolf bij Dalfsen, met nalevering Regge

Voor de Vecht in Emlichheim en de Nederlandse zijleidingen zijn de afvoergolven gebruikt zoals bepaald in deelrapport 6. Voor de Regge is een afvoergolf afgeleid waarbij gecorrigeerd wordt voor nalevering. Voor de golf bij een herhalingstijd van 1250 jaar is in WL (2001) een werkblad gemaakt waarmee de nalevering bepaald wordt. Dit werkblad is gebaseerd op een gelijkblijvend volume voor de golf met en de golf zonder nalevering. Als de afvoer van de golf boven het fysisch maximum komt, wordt dit water “opgeslagen”. Op het moment dat de afvoer onder het fysisch maximum komt, wordt het opgeslagen water via een exponentiële functie nageleverd aan de rivier. Deze methode is gebruikt bij het bepalen van de afvoergolven met nalevering voor een herhalingstijd van 50, 100, 250, 500, 1250, 2500 en 10000 jaar. In Figuur 2-1 staan de resulterende golven van de Regge met nalevering die als invoer gebruikt zijn voor de berekening van de maatgevende afvoer bij Dalfsen.

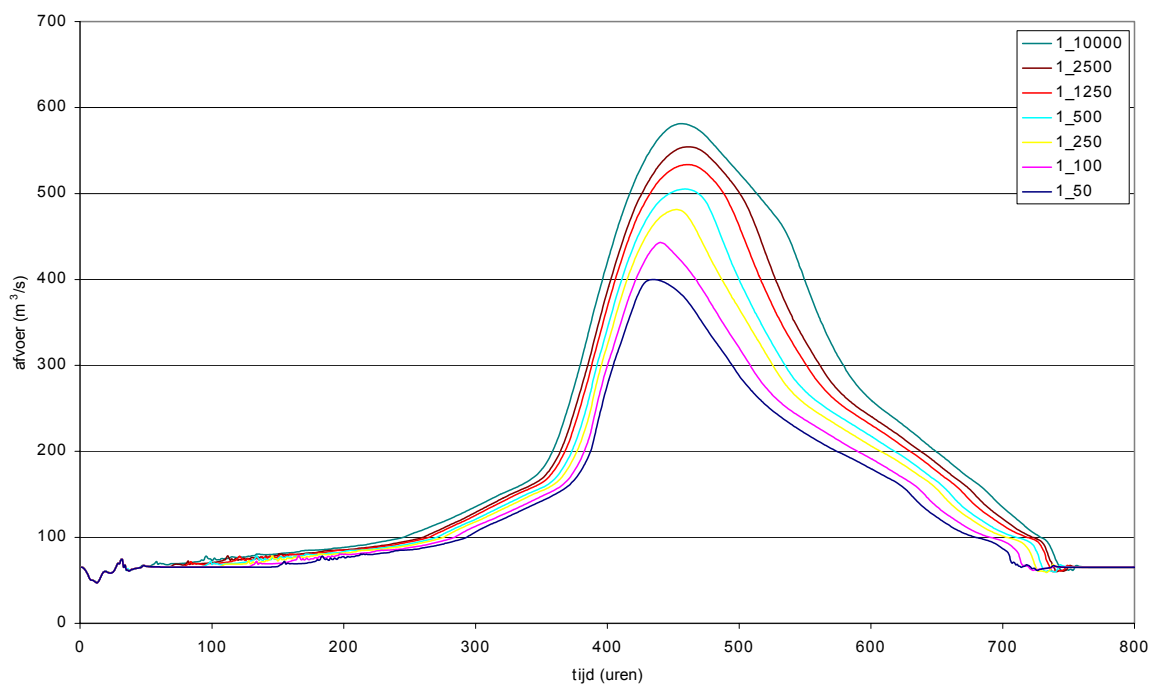


Figuur 2-1 Uiteindelijke input golven voor de SOBEK berekeningen

In Figuur 2-2 is de berekende hoogwatergolf bij Dalfsen voor een herhalingstijd van 1250 jaar samen met de golven bij de zijleidingen weergegeven. In Figuur 2-3 worden de afvoergolven bij Dalfsen gegeven voor alle herhalingstijden bepaald met de nalevering op de Regge. De maximale afvoer bij Dalfsen voor de verschillende herhalingstijden is weergegeven in Tabel 2-7. In de bijlage is met de maximale afvoeren bij de verschillende herhalingstijden volgens deze tabel de werklijn voor de variant met nalevering bij Dalfsen bepaald.



Figuur 2-2 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar, met nalevering Regge



Figuur 2-3 Afvoergolven bij Dalfsen met nalevering van de Regge

Herhalingstijd (jaar)	Afvoer (m ³ /s)
50	400
100	443
250	481
500	506
1250	534
2500	554
10000	581

Tabel 2-7 Maatgevende afvoer voor Dalfsen, met de nalevering van de Regge

De maatgevende afvoer volgens bovenstaande tabel bedraagt 534 m³/s. De verklaring voor het verschil met de maatgevende afvoer volgens Janssens (1992) zoals omschreven in paragraaf 2.1, kan worden verklaard door de verschillende afvoergolven die zijn gebruikt voor de Vecht in Emlichheim en de Nederlandse zijleidingen¹ en (naar verwachting in mindere mate) de verschillende hydrodynamische modellen die zijn gebruikt (destijds een Zwendl-model, hier een Sobek-model). De verschillen met Janssens (1993) en Chbab (1995) hebben mogelijk ook als oorzaak dat in die onderzoeken statistiek is bedreven op de afvoergegevens van Vechterweerd terwijl hier gebruik is gemaakt van met Sobek berekende afvoeren in Dalfsen.

2.3 Gevoeligheidsanalyses

2.3.1 Inleiding

Alvorens de werklijn van de afvoer in Dalfsen wordt afgeleid voor Randvoorwaarden 2006, wordt eerst een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om te komen tot een gefundeerde keuze voor een aantal aannames die effect hebben op die werklijn, namelijk:

- De fase verschillen tussen de Vecht in Emlichheim en de zijleidingen.
- Het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim.
- De onafhankelijkheid van de afvoeren van de zijleidingen.
- Nalevering van de Regge.

Als uitgangspunt voor deze gevoeligheidsanalyses is genomen de maatgevende afvoergolf met piekafvoer van 534 m³/s zoals omschreven in paragraaf 2.2.

2.3.2 Faseverschillen

Bij de bepaling van de afvoerstatistiek van de Vecht is in de studies van Janssens in de 90'er jaren aangenomen dat de piek in Emlichheim 36 uur later valt dan de pieken van de zijleidingen in Nederland. Deze aanname wordt hier getoetst aan de hand van gemeten hoogwaters. De hiervoor gebruikte data is beschreven in deelrapport 6. Vervolgens wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van faseverschillen op de afvoerstatistiek in Dalfsen te onderzoeken.

¹ In Janssens (1992) zijn de afvoergolven van de Nederlandse zijleidingen veelal lager en breder dan in deelrapport 6, zie hiervoor ook paragraaf 4.11 van deelrapport 6.

Bepaling van de faseverschillen

De gemeten afvoer van de Vecht in Emlichheim, de Radewijkerbeek, het Afwateringskanaal, de Regge en het Ommerkanaal zijn (deels) beschikbaar in de periode tussen 1974 en 2000. Uitgaande van een afvoergolf in Emlichheim zijn de bijhorende golven op de zijleidingen geïnventariseerd en vastgelegd middels een piekafvoer en het tijdstip van optreden daarvan. Daarbij is ervan uit gegaan dat twee pieken die binnen 9 dagen vallen één en dezelfde afvoergolf is. Voor Emlichheim zijn geen uurwaarden maar dagwaarden beschikbaar. Deze dagwaarden zijn berekend uit de waarnemingen om 12:00 uur van de waterstand. Dit betekent dat in de tabel alle hoogwatergolf-pieken in Emlichheim om 12:00 uur voorkomen. In Tabel 2-8 staan de verzamelde pieken en bijhorende tijd en afvoer². Voor de analyse van de faseverschillen zijn de tijdstippen waarop de hoogwaterpiek valt op de verschillende zijleidingen met elkaar vergeleken. Bijvoorbeeld de hoogwatergolf in maart 1981. Het moment van de piek in Emlichheim is 49 uur later dan het moment van de piek van de Radewijkerbeek, 37 uur later dan het Afwateringskanaal en 7 uur vroeger dan de Regge. Deze vergelijking is vervolgens per locatie over de jaren gemiddeld en hieruit volgt het faseverschil tussen de zijleidingen en Emlichheim.

De studie richt zich vooral op de extremere afvoeren. Er zijn faseverschillen (gemiddelde en standaarddeviatie) vastgesteld voor afvoergolven waarbij de piek bij Emlichheim groter is dan 125 m³/s, 115 m³/s en 100 m³/s. Dit is weergegeven in Tabel 2-9.

	Emlichheim			Radewijkerbeek			Afwateringskanaal			Regge			Ommerskanaal		
	Datum	Tijd	Afvoer	Datum	Tijd	Afvoer	Datum	Tijd	Afvoer	Datum	Tijd	Afvoer	Datum	Tijd	Afvoer
december 74	29-12	12:00	116	NO	DA	TA	NO	DA	TA	27-12	3:00	42.5	NO	DA	TA
januari 75	09-01	12:00	89.4	NO	DA	TA	NO	DA	TA	08-01	1:00	31.24	NO	DA	TA
december 78	30-12	12:00	76.8	NO	DA	TA	29-12	4:00	27.13	30-12	8:00	26.51	NO	DA	TA
maart 79	06-03	12:00	122	NO	DA	TA	05-03	5:00	100.9	05-03	7:00	41.81	NO	DA	TA
februari 80	06-02	12:00	113	NO	DA	TA	06-02	15:00	63.34	07-02	8:00	29.8	NO	DA	TA
januari 81	05-01	12:00	112	03-01	4:00	5.73	04-01	2:00	66.87	04-01	16:00	34.88	NO	DA	TA
januari 81	17-01	12:00	92	18-01	3:00	4.95	15-01	14:00	60.64	16-01	9:00	36.95	NO	DA	TA
maart 81	14-03	12:00	187	12-03	11:00	19.56	12-03	23:00	116.3	14-03	19:00	50.58	NO	DA	TA
december 81	06-12	12:00	85.9	01-12	6:00	3.81	NO	DA	TA	01-12	15:00	24.39	04-12	22:00	11.41
januari 82	07-01	12:00	86.5	06-01	6:00	7.11	NO	DA	TA	06-01	18:00	34.68	06-01	12:00	16.11
februari 83	03-02	12:00	95.9	01-02	16:00	6.099	01-02	23:00	41.2	02-02	8:00	31.91	01-02	22:00	10.72
mei 83	29-05	12:00	72.7	27-05	7:00	7.61	27-05	14:00	43.96	28-05	12:00	31.55	26-05	16:00	15.02
januari 84	05-01	12:00	104	04-01	16:00	8.563	04-01	22:00	77.23	NO	DA	TA	04-01	21:00	13.52
februari 84	9-2	12:00	119	06-02	20:00	9.08	07-02	11:00	74.18	NO	DA	TA	07-02	10:00	12.46
januari 85	27-1	12:00	90.5	25-01	19:00	14.14	26-01	3:00	62.92	NO	DA	TA	25-01	21:00	13.65
januari 86	22-1	12:00	118	20-01	6:00	7.503	20-01	16:00	74.6	NO	DA	TA	NO	DA	TA
december 86	30-12	12:00	135	30-12	23:00	21.24	31-12	14:00	101.8	NO	DA	TA	31-12	20:00	0.28
januari 87	02-01	12:00	210	02-01	18:00	24.24	02-01	13:00	117	NO	DA	TA	03-01	21:00	24.24
november 87	18-11	12:00	53.1	16-11	6:00	6.012	17-11	13:00	20.81	NO	DA	TA	16-11	22:00	5.05
december 87	20-12	12:00	102	18-12	12:00	6.963	18-12	19:00	51.22	NO	DA	TA	17-12	14:00	14.18
januari 88	06-1	12:00	86.1	06-1	14:00	7.73	07-01	0:00	35.8	NO	DA	TA	07-01	1:00	16.03
januari 88	27-01	12:00	105	26-01	23:00	4.069	27-01	4:00	49.86	NO	DA	TA	25-01	22:00	10.5
december 88	22-12	12:00	112	19-12	19:00	7.334	20-12	19:00	33.89	NO	DA	TA	20-12	10:00	15.32
maart 90	03-03	12:00	117	01-3	10:00	5.208	01-03	18:00	36.05	NO	DA	TA	01-03	15:00	15.74
november 90	20-11	12:00	97.5	18-11	0:00	10.76	17-11	23:00	25.2	NO	DA	TA	17-11	19:00	12.65
december 90	30-12	12:00	65.1	27-12	11:00	7.353	27-12	12:00	47.45	NO	DA	TA	28-12	13:00	7.44
januari 91	05-01	12:00	109	03-01	7:00	7.826	03-01	14:00	51.37	03-01	11:00	59.47	03-01	18:00	6.75
maart 92	15-03	12:00	110	NO	DA	TA	14-03	1:00	76.48	13-03	18:00	88.2	NO	DA	TA
januari 93	30-01	12:00	105	29-01	12:00	7.56	NO	DA	TA	29-01	16:00	77.93	NO	DA	TA
september 93	28-09	12:00	94	26-09	12:00	12.34	26-09	18:00	81.89	26-09	16:00	91.22	NO	DA	TA
oktober 93	7-10	12:00	148	04-10	11:00	18.08	04-10	8:00	95.81	04-10	7:00	94.19	NO	DA	TA
oktober 93	16-10	12:00	106	15-10	1:00	13.19	14-10	21:00	78.27	14-10	23:00	96.55	NO	DA	TA
december 93	16-12	12:00	72.2	14-12	1:00	11.47	14-12	8:00	40.67	13-12	20:00	63.31	NO	DA	TA
januari 94	30-1	12:00	158	NO	DA	TA	28-01	15:00	39.7	26-01	16:00	50.3	NO	DA	TA
april 94	06-04	12:00	121	NO	DA	TA	05-04	14:00	61.2	05-04	7:00	69.13	NO	DA	TA
januari 95	01-01	12:00	157	NO	DA	TA	30-12	7:00	60.6	30-12	10:00	60.34	NO	DA	TA
oktober 98	31-10	12:00	207	NO	DA	TA	NO	DA	TA	28-10	17:00	117	NO	DA	TA

Tabel 2-8 Verzamelde hoogwatergolven voor de bepaling van de faseverschillen

Zijleiding	Faseverschil met Emlichheim
------------	-----------------------------

² De analyse is uitgevoerd met de ongecorrigeerde afvoergegevens uit deelrapport 6.

	uur	n	St. Dev.	uur	n	St. Dev.
	alle data			Q Emlichheim > 100 m ³ /s		
Radewijkerbeek	42	27	30	39	15	26
Afwateringskanaal	34	31	23	31	20	23
Regge	39	23	31	38	14	31
Ommerkanaal	33	18	31	28	9	37
Gemiddelde	37	25		34	15	
	Q Emlichheim > 115 m ³ /s			Q Emlichheim > 125 m ³ /s		
Radewijkerbeek	39	7	34	26	4	41
Afwateringskanaal	34	11	28	31	6	38
Regge	49	8	32	56	5	38
Ommerkanaal	8	7	46	-33	2	1
Gemiddelde	32	8		20	4	

Tabel 2-9 Tijdverschil tussen het optreden van de hoogwaterpiek in Emlichheim en de zijleidingen

Uit Tabel 2-9 blijkt dat de piek in Emlichheim altijd later valt dan op de zijleidingen. Bij gebruik van alle hoogwaters is het gemiddelde faseverschil 37 uur. Bij gebruik van de afvoeren bij Emlichheim groter dan 100 m³/s wordt het gemiddelde faseverschil 34 uur. Dit wijkt in slechts geringe mate af van de eerder gehanteerde 36 uur. Bij gebruik van de afvoeren bij Emlichheim groter dan 115 m³/s is het gemiddelde 32 uur en bij de afvoeren bij Emlichheim groter dan 125 m³/s is het gemiddelde faseverschil 20 uur. Het gemiddelde aantal uren faseverschil neemt hier af en wijkt verder af van de eerder gehanteerde 36 uur. Opgemerkt wordt dat het aantal waarnemingen dat wordt gebruikt bij de hogere afvoeren (> 115 m³/s en 125 m³/s) veel kleiner wordt, waardoor de standaarddeviatie in de faseverschillen steeds groter wordt. Dit betekent dat de trend van een kleiner faseverschil bij toenemende piekafvoer niet statistisch aantoonbaar is (dat wil zeggen statistisch niet significant is).

In Tabel 2-10 is het gemiddelde verschil tussen de zijleidingen ten op zichte van Emlichheim weergegeven. De piek in Radewijkerbeek komt gemiddeld 8 uur eerder dan in het Afwateringskanaal, 3 uur eerder dan in de Regge en 9 uur eerder dan in het Ommerkanaal. De piek in het Afwateringskanaal komt gemiddeld 5 uur later dan in de Regge en 1 uur eerder dan in het Ommerkanaal. De piek in de Regge komt gemiddeld 6 uur eerder dan in het Ommerkanaal. De gemiddelde tijdverschillen van optreden van de piek op de zijleidingen zijn kleiner dan de verschillen met Emlichheim.

	Radewijkerbeek	Afwateringskanaal	Regge	Ommerkanaal
Radewijkerbeek	-	-	-	-
Afwateringskanaal	+8	-	-	-
Regge	+3	-5	-	-
Ommerkanaal	+9	+1	+6	-

Tabel 2-10 Verschil tussen optreden piek voor de zijleidingen onderling

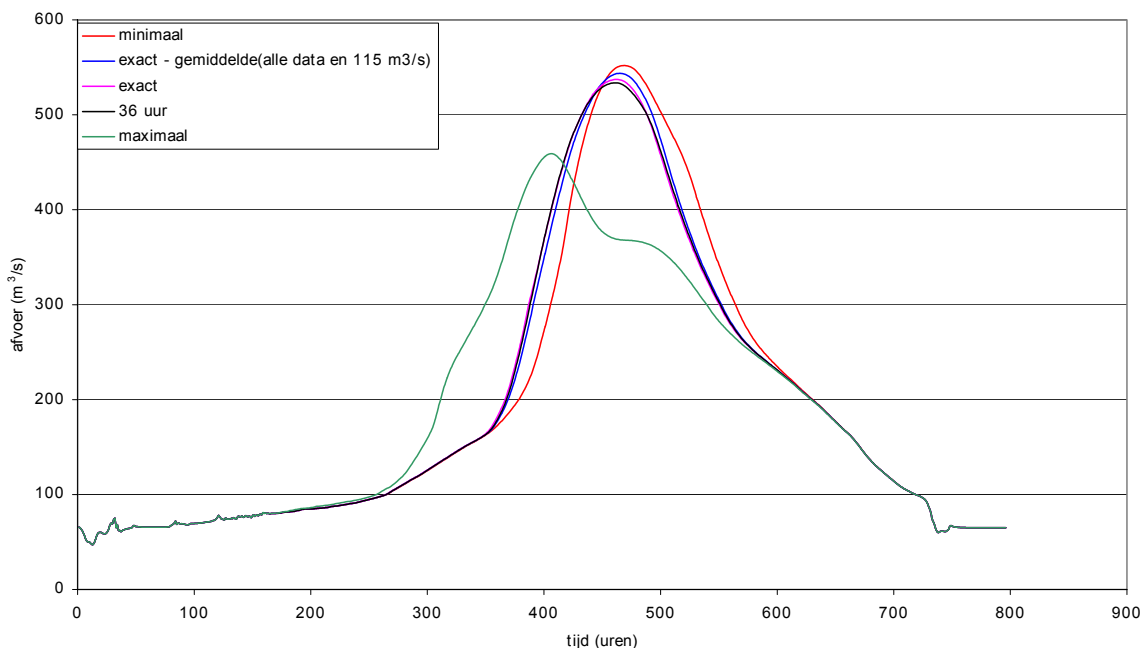
De invloed van faseverschillen

Voor de gevonden faseverschillen wordt middels een gevoeligheidsanalyse het effect op de maatgevende afvoer bij Dalfsen bepaald door een vergelijking van de resulterende maatgevende afvoergolf in Dalfsen met een maatgevende afvoergolf waarbij conform de onderzoeken van Janssens rekening is gehouden met een faseverschil van alle zijleidingen met Emlichheim van 36 uur. De voor de gevoeligheidsanalyse gebruikte faseverschillen zijn weergegeven in Tabel 2-11.

zijleiding	faseverschil alle data uit Tabel 2-9	faseverschil alle data – 5 uur	maximaal waargenomen (positief) faseverschil	minimaal waargenomen (positief) faseverschil
Radewijkerbeek	42	37	126	13
Afwateringskanaal	34	29	76	14
Regge	39	34	117	4
Ommerkanaal	33	28	70	15

Tabel 2-11 Faseverschillen gebruikt voor het bepalen van de afvoergolf

Kolom 2 van Tabel 2-11 is het faseverschil bepaald met alle data, kolom 4 en 5 zijn respectievelijk het maximaal en het minimaal waargenomen faseverschil. Het faseverschil weergegeven in kolom 3 is bepaald door de faseverschillen bepaald met alle data te verminderen met 5 uur. Deze 5 uur is het verschil tussen het gemiddelde faseverschil bepaald met alle data (37 uur) en het gemiddelde faseverschil bepaald met data bij $Q > 115 \text{ m}^3/\text{s}$ (32 uur). Het resultaat van de afvoergolven bij Dalfsen bepaald met de faseverschillen uit Tabel 2-11 is weergegeven in Figuur 2-4.



Figuur 2-4 De afvoergolf bij Dalfsen bepaald met verschillende faseverschillen
Verklaring legenda:

'minimaal' = minimaal waargenomen faseverschil [kolom 5 uit Tabel 2-11]

'exact – gemiddelde (alle data en 115 m³/s)' = het faseverschil zoals dat volgt uit alle beschikbare meetgegevens verminderd met [het verschil tussen het faseverschil op basis van alle gegevens en het faseverschil op basis van meetgegevens met als ondergrens een afvoerpiek van 115 m³/s]. Dit verschil bedraagt 5 uren. [kolom 3 uit Tabel 2-11]

'exact' = het faseverschil zoals dat volgt uit alle waarnemingen. [kolom 2 uit Tabel 2-11]

'36 uur' = een faseverschil tussen Emlichheim en de zijleidingen van 36 uur [uitgangspunt onderzoeken Janssens]

'maximaal' = het maximale waargenomen faseverschil [kolom 4 uit Tabel 2-11]

De exacte bepaling van de faseverschillen is kolom 2 uit Tabel 2-11. De afvoergolf komt sterk overeen met de afvoergolf bepaald met een faseverschil van 36 uur. De afvoergolf bepaald door de exacte bepaling te verminderen met 5 uur heeft een iets grotere maximale afvoer. De golf met de minimale faseverschillen heeft de grootste maximale afvoer. Dit is het directe gevolg van het meer samenvallen van de pieken binnen een bepaalde tijd. Bij een maximaal faseverschil heeft de afvoergolf bij Dalfsen een duidelijk afwijkende vorm. De maximale afvoer is ook veel lager dan bij de andere afvoergolven. Dit komt doordat de golven het minst tegelijkertijd optreden en elkaar dus ook niet versterken. In Tabel 2-12 wordt per gehanteerd faseverschil gegeven wat de bijhorende maximale afvoer is.

faseverschil	kolom uit Tabel 2-11	maximale afvoer (m ³ /s)	Vershil (m ³ /s)
36 uur	-	533	
exact	2	537	+4
exact – 5 uur	3	543	+10
maximaal verschil	4	459	-74
minimaal verschil	5	551	18

Tabel 2-12 Maximale afvoer bij verschillende faseverschillen

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat het effect van de faseverschillen van de zijleidingen met Emlichheim, met uitzondering van de maximale gemeten verschillen, op de maatgevende afvoer in Dalfsen beperkt is. In overleg met de opdrachtgever is er voor gekozen voor de bepaling van de afvoerstatistiek in Dalfsen in het vervolg uit te gaan van een faseverschil van alle zijleidingen met Emlichheim van 32 uur (de piek in Emlichheim treedt 32 uur later op dan op de zijleidingen). Dit vanwege de (overigens niet statistisch significante) trend dat bij hogere piekafvoeren de faseverschillen kleiner worden.

2.3.3 Fysisch maximum

Bepaling fysisch maximum bij Emlichheim

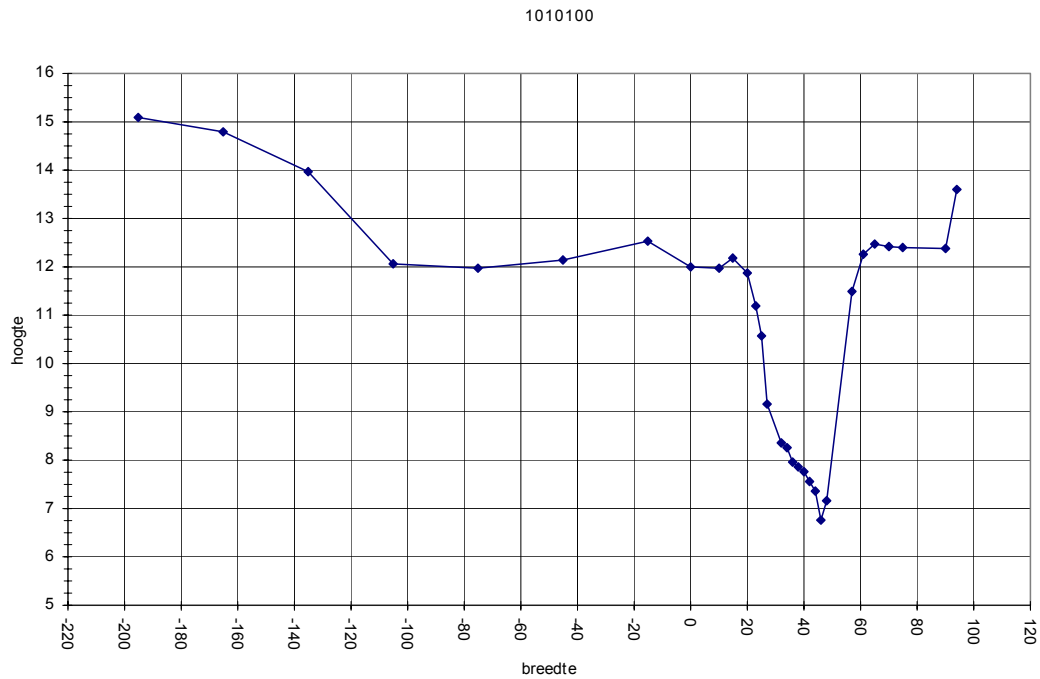
Bovenstrooms van Emlichheim is de Vecht vrij afstromend. In voorgaande onderzoeken is aangenomen dat het fysisch maximum van de afvoer van de Vecht in Emlichheim wordt bepaald door de maximale aanvoer vanuit het stroomgebied, namelijk een afvoer van 2 l/s/ha. Dit leidt met een oppervlakte van het stroomgebied bovenstrooms van Emlichheim van 175.000 ha tot een fysisch maximum in Emlichheim van 350 m³/s.

Bij Emlichheim zijn 4 dwarsprofielen beschikbaar op basis waarvan het fysisch maximum kan worden onderzocht. Het gaat hier om de profielen 1010100, 1010300, 1010400 en 1010700. Deze profielen liggen in de tak op respectievelijk 750 m, 550 m, 450 m en 150 m stroomafwaarts van de brug in Emlichheim. Van de profielen is profiel 1010700 het best bruikbare profiel. De profielen zijn weergegeven in Figuur 2-5 tot en met Figuur 2-8.

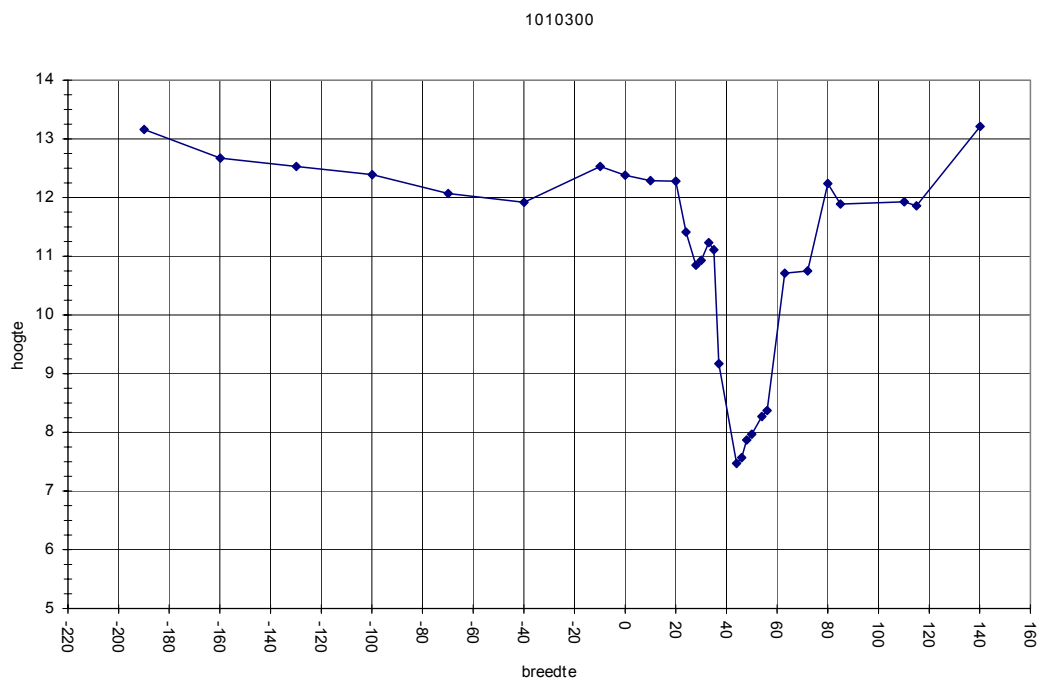
Voor ieder profiel is vastgesteld bij welke waterstand de dijkhoogten worden overschreden. Hiervoor is voor beide oevers het hoogste punt bepaald (de kade). Op het moment dat de waterstand de hoogte van de laagste kade bereikt is het fysisch maximum bereikt. De bijhorende afvoer wordt gezien als het fysisch maximum.

Bij het bepalen van het resultaat worden twee verschillende methoden gebruikt:

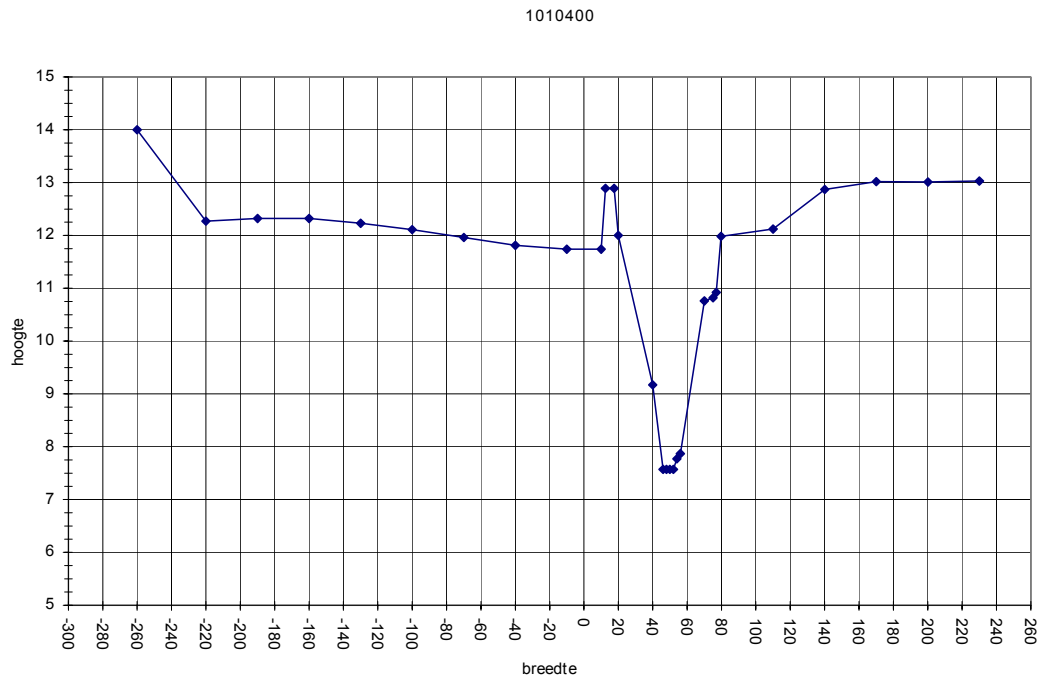
1. Er wordt per dwarsprofiel gekeken wat het 'lokaal' fysisch maximum is.
2. Er wordt een gemiddelde kadehoogte berekend van de vier profielen. Als deze gemiddelde hoogte bereikt wordt, is de bijhorende afvoer het fysisch maximum. De resultaten staan in Tabel 2-13.



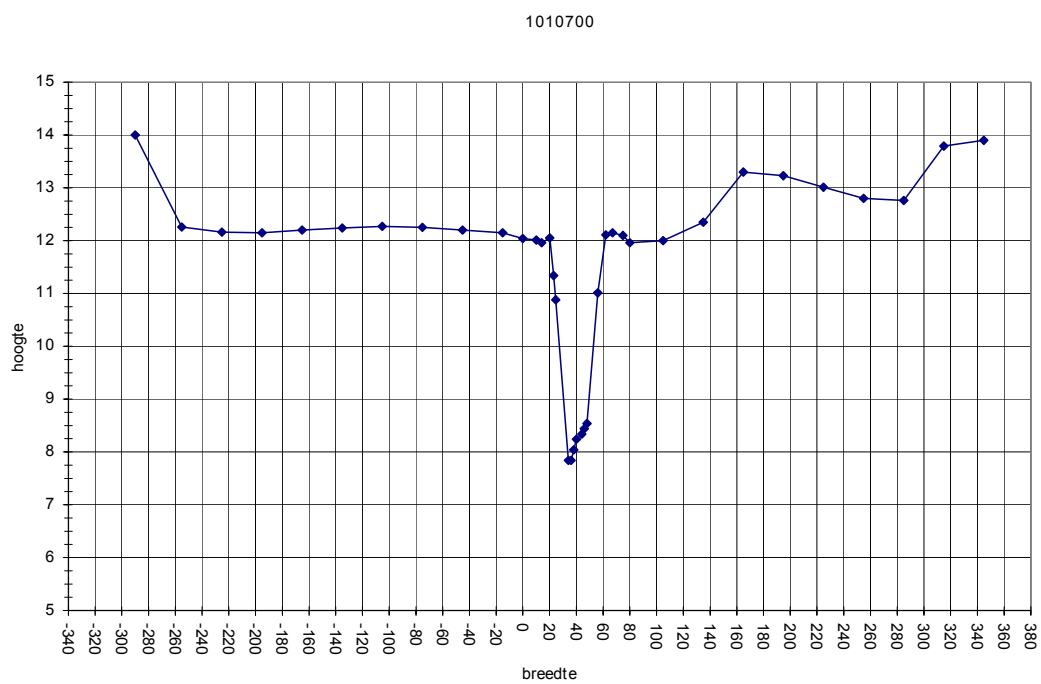
Figuur 2-5 Dwarsprofiel 1010100 (meest stroomafwaarts)



Figuur 2-6 Dwarsprofiel 1010300



Figuur 2-7 Dwarsprofiel 1010400



Figuur 2-8 Dwarsprofiel 1010700

Methode 1			
Profiel	locatie	laagste kadehoogte	bijhorende afvoer
1010700	150 m	13.9 m	320 m ³ /s
1010400	450 m	13.03 m	200 m ³ /s
1010300	550 m	13.16 m	230 m ³ /s
1010100	750 m	13.6 m	295 m ³ /s
gemiddelde		13.42 m	261.3 m³/s
Methode 2			
		gemiddelde hoogste punt	bijhorende afvoer
1010700	150 m	13.42 m	250 m ³ /s
1010400	450 m	13.42 m	260 m ³ /s
1010300	550 m	13.42 m	270 m ³ /s
1010100	750 m	13.42 m	270 m ³ /s
gemiddelde		13.42	262.5 m³/s

Tabel 2-13 Resultaten bepaling fysisch maximum

Op basis van het gemiddelde van alle dwarsprofielen resulteert een fysisch maximum van de de Vecht in Emlichheim van circa 260 m³/s. Gezien het feit dat, in tegenstelling tot de overige profielen, profiel 1010700 doorloopt tot aan de kadehoogte op beide oevers, wordt echter de meeste waarde gehecht aan het fysisch maximum dat volgt uit dit profiel, namelijk 320 m³/s.

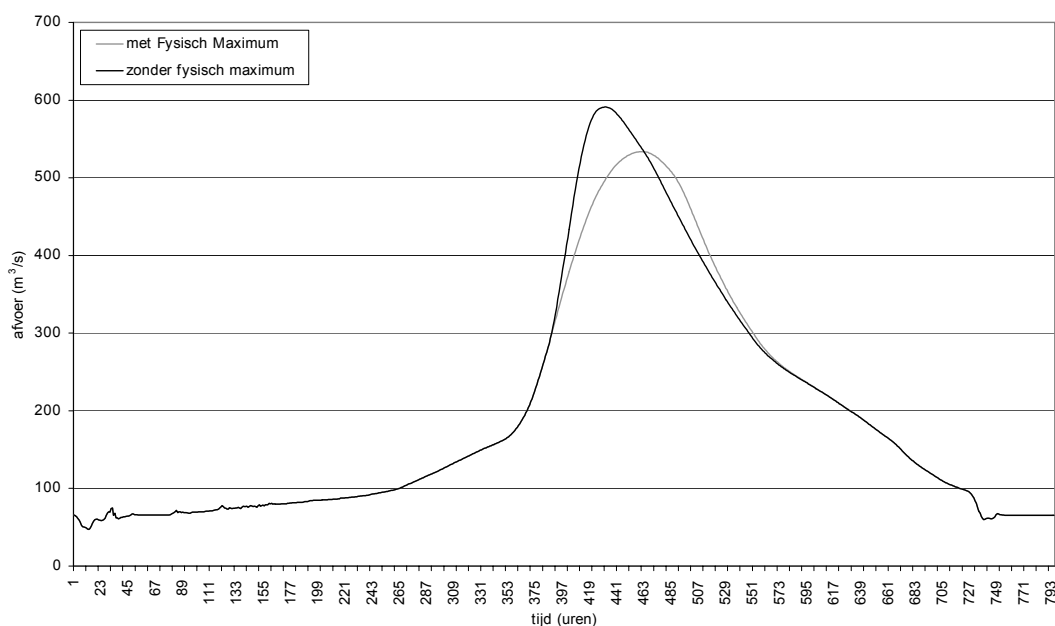
In overleg met de Duitse beheerder van de Vecht is het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim nader onderzocht. Uit dit overleg is gebleken is dat de maximale waterstanden en de bijbehorende afvoer van de Vecht in Emlichheim zijn vastgelegd in een overeenkomst van 1974 tussen Nederland en Duitsland. Zowel waterstanden als afvoeren zijn vastgelegd, dit betreft artikel 2.3b: dat bij een afvoer van 321 m³/s bij de grens van NAP +11.58 m zo mogelijk niet mag worden overschreden³. Verder blijkt dat de dijken bij Emlichheim zijn ontworpen op een aanvoer uit het stroomgebied van 1.8 l/s/ha, wat voor een stroomgebied van afgerond 175 000 ha een ontwerpafvoer van 320 m³/s oplevert. Bij de vaststelling van de dijkhoogte wordt een halve meter waakhoogte opgeteld.

Geconcludeerd wordt dat het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim 320 m³/s bedraagt, waarbij conform de Nederlandse aanpak voor de grote rivieren de afvoercapaciteit van de waakhoogte wordt genegeerd.

³ De Duitse beheerder merkt op dat waterstanden die nu optreden bij dezelfde afvoer aanzienlijk hoger zijn. Dit komt volgens de Duitse beheerder door opstuwingseffecten vanuit Nederland als gevolg van toegenomen begroeiing, campings, bebouwing, enz. In Duitsland hebben tussen Emlichheim en de grens geen veranderingen in de inrichting van het stroomgebied plaatsgevonden. Tevens is duidelijk uit modelberekeningen (SOBEK Vechtmodel) waar te nemen dat bij de Haandrik door de spoorbrug het water (enkele decimeters) wordt opgestuwd.

Maatgevende afvoer zonder fysische maxima

Als gevoeligheidsanalyse wordt het effect van het negeren van de fysische maxima van de Vecht in Emlichheim, de Regge en de overige zijleidingen op de maatgevende afvoer in Dalfsen onderzocht. De afvoer van de Regge is gebaseerd op de hypothetische afvoergolf van het hoogwater van 1998 (zie deelrapport 6). In Figuur 2-9 is de afvoergolf bij Dalfsen weergegeven met en zonder het gebruik van het fysisch maximum bij een herhalingstijd van 1250 jaar. De verschillen tussen de afvoergolven zijn weergegeven in Tabel 2-14.



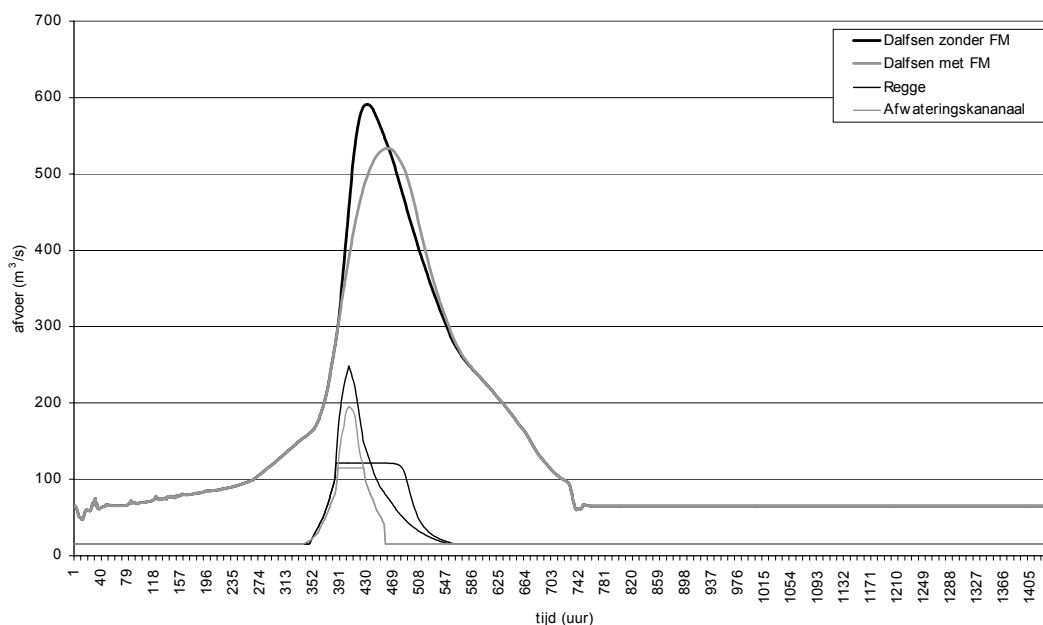
Figuur 2-9 De afvoergolf bij Dalfsen, met en zonder fysisch maximum

	met fysisch maximum	zonder fysisch maximum	verschil
Qmax	533 m ³ /s	591 m ³ /s	58 m ³ /s
T(Qmax)	461 uur	431 uur	30 uur

Tabel 2-14 Resultaten van de afvoergolf bepaald met en zonder fysisch maximum

Door het niet meenemen van de fysisch maxima, is de uiteindelijke afvoerpiek bijna 60 m³/s hoger en treedt de piek 30 uur eerder op. Door het niet meenemen van het fysisch maximum worden de maximale afvoeren van de zijleidingen groter, dit resulteert in een hogere piekafvoer. Door deze grotere afvoer wordt de invloed van de zijleidingen ten opzichte van Emlichheim groter. Hierdoor zal de piek eerder vallen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 2-10. Hier zijn de afvoergolven bij Dalfsen en de afvoergolven bij de Regge en bij het Afwateringskanaal (afgetopt en niet afgetopt) weergegeven. De pieken van deze twee zijleidingen zijn het meest toegenomen van alle zijleidingen. In Tabel 2-15 staan de maximale afvoeren van de zijleidingen met en zonder het toepassen van het fysisch maximum.

zijleiding	met fysisch maximum	zonder fysisch maximum	verschil
Emlichheim	320	341	21
Regge	121	249	128
Afwateringskanaal	115	196	81
Radewijkerbeek	20	22	2
Ommerkanaal	28	35	7
Marienberg – Vechtkanaal	10	10	0

Tabel 2-15 Maximale afvoeren bij de zijleidingen met of zonder fysisch maximum ($T=1250$)

Figuur 2-10 Afvoergolf bij de Regge, Afwateringskanaal en Dalfsen met en zonder fysisch maximum (FM = fysisch maximum)

Conclusie

- Door de fysische maxima van de Vecht in Emlichheim en de Nederlandse zijleidingen te negeren wordt de maatgevende afvoer in Dalfsen orde grootte $60 \text{ m}^3/\text{s}$ hoger.
- Het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim is vastgesteld op $320 \text{ m}^3/\text{s}$, deze waarde wordt gebruikt voor vaststelling van de afvoerstatistiek van de Vecht in Dalfsen.

2.3.4 Onafhankelijkheid zijdelingse toevoeren

Inleiding

Bij het bepalen van de afvoerstatistiek van de Vecht is in de onderzoeken van Janssens er van uitgegaan dat een afvoergolf in Dalfsen met een bepaalde herhalingstijd wordt veroorzaakt door afvoergolven op de zijleidingen met dezelfde herhalingstijd. Deze aanname wordt hier gecontroleerd en vervolgens wordt middels een gevoeligheidsanalyse het effect van een variatie van de voor de zijleidingen gebruikte afvoeren met bijbehorende herhalingstijden op de maatgevende afvoer in Dalfsen bepaald.

Bepaling van het verband tussen Emlichheim en de zijleidingen

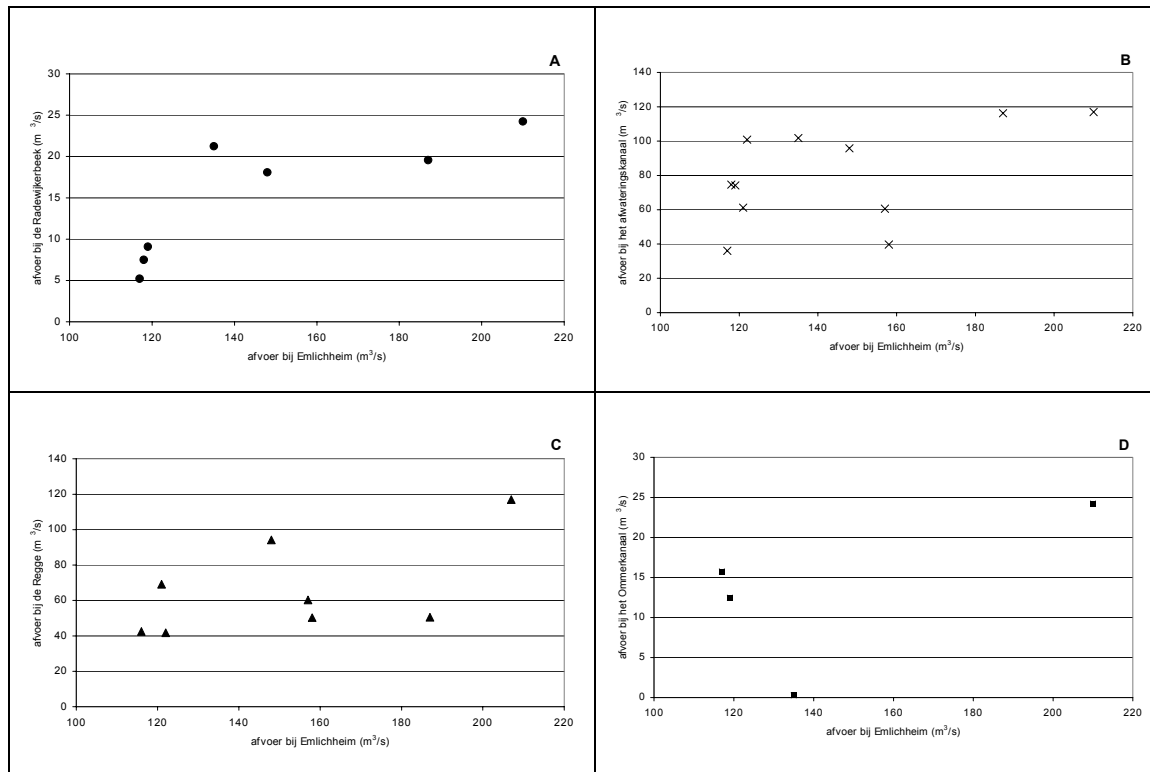
Voor de bepaling van een eventueel verband tussen de piekafvoeren in Emlichheim en op de zijleidingen, wordt gebruik gemaakt van een deel van de verzamelde hoogwaterdata van Tabel 2-8. Alleen de hoogwatergolven waarbij de piekafvoer bij Emlichheim groter is dan 115 m³/s worden gebruikt. De reden hiervoor is dat dit de afvoer is waarbij de herhalingstijd gesteld is op 2 jaar, dit is dan ook de kleinste afvoer waarbij een herhalingstijd bekend is (deelrapport 6). In Tabel 2-16 is de resulterende dataset weergegeven.

Periode	Emlichheim	Radewijkerbeek	Afwaterings- kanaal	Regge	Ommer- kanaal
jan 87	210	24.2	117		24.2
okt 98	207			117	
mrt 81	187	19.6	116.3	50.6	
jan 94	158		39.7	50.3	
jan 95	157		60.6	60.3	
okt 93	148	18.1	95.8	94.2	
dec 86	135	21.2	101.8		0.3
mrt 79	122		100.9	41.8	
apr 94	121		61.2	69.1	
feb 84	119	9.1	74.2		12.46
jan 86	118	7.5	74.6		
mrt 90	117	5.2	36.1		15.74
dec 74	116			42.5	

Tabel 2-16 Hoogwatergolven met een afvoer bij Emlichheim groter dan 115 m³/s

De relaties tussen de piekafvoeren in Emlichheim en op de zijleidingen zijn weergegeven in Figuur 2-11. Geconcludeerd wordt dat nauwelijks een verband zichtbaar is.

In Tabel 2-17 zijn de herhalingstijden van de gebruikte piekafvoeren weergegeven. Een lege cel betekent dat er geen data beschikbaar is voor deze periode. De herhalingstijden in Tabel 2-17 zijn gebaseerd op de herhalingstijden en bijhorende afvoeren in Figuur 5-1 van deelrapport 6. Als een afvoer niet in deze tabel staat dan is de herhalingstijd gekozen waarbij de bijhorende afvoer de werkelijke afvoer (uit Tabel 2-16) het dichtst benadert.



Figuur 2-11 Relaties van de afvoer bij Emlichheim en Radewijkerbeek (A), Afwateringskanaal (B), Regge (C), Ommerkanaal (D)

Periode	Emlichheim	Radewijkerbeek	Afwaterings-kanaal	Regge	Ommer-kanaal
jan 87	25	5000	25		25
okt 98	25			50	
mrt 81	10	250	25	2	
jan 94	5		<2	2	
jan 95	5		2	2	
okt 93	5	100	10	10	
dec 86	2	1000	10		<2
mrt 79	2		10	<2	
apr 94	2		2	5	
feb 84	2	2	2		<2
jan 86	2	<2	2		
mrt 90	2	<2			2
dec 74	2			<2	

Tabel 2-17 Herhalingstijden voor de verschillende afvoeren uit Tabel 2-16

De herhalingstijd in Radewijkerbeek lijkt het meest extreem te reageren van de zijleidingen, gevolgd door het Afwateringskanaal. De reden hiervoor wordt gezocht in Tabel 5-1 van deelrapport 6. Tussen een herhalingstijd van 10000 jaar en 1250 jaar zit bij Radewijkerbeek een afvoerverschil van slechts 2.1 m³/s. Een kleine verandering in afvoer leidt dus tot een grote verandering van de herhalingstijd. Hetzelfde geldt voor het Afwateringskanaal.

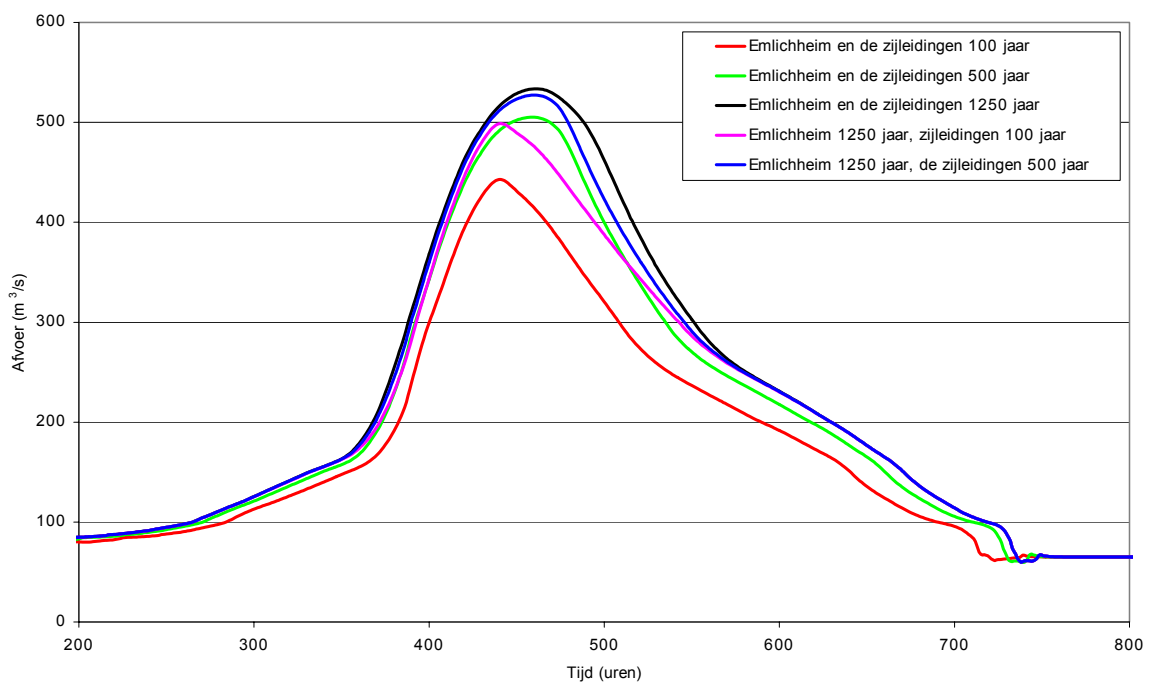
Geconcludeerd wordt dat er op basis van de beschikbare meetgegevens geen uitspraak kan worden gedaan over afhankelijkheid van de afvoeren van de zijleidingen en de Vecht in Emlichheim. Dit betekent ook dat de aanname dat een 1/1250 jaar gebeurtenis wordt veroorzaakt door een 1/1250 jaar gebeurtenis in alle delen van het stroomgebied niet kan worden verworpen dan wel aangenomen op basis van de beschikbare metingen. In zijn algemeenheid geldt wel dat hoe kleiner het stroomgebied wordt, hoe waarschijnlijker het is dat een 1/1250 jaar gebeurtenis wordt veroorzaakt door een 1/1250 jaar gebeurtenis in het hele stroomgebied.

Effect van zijleidingen op de maatgevende afvoer in Dalfsen

De invloed van verschillende herhalingstijden op de zijleidingen op de golf bij Dalfsen wordt hier onderzocht. Hiervoor wordt een golf bij Dalfsen bepaald waarbij alle zijleidingen en Emlichheim een herhalingstijd van 1250 jaar hebben. Deze golf wordt vergeleken met:

- Een golf met voor Emlichheim een herhalingstijd van 1250 jaar en voor de zijleidingen een herhalingstijd van 100 jaar.
- Een golf met voor Emlichheim een herhalingstijd van 1250 jaar en voor de zijleidingen een herhalingstijd van 500 jaar.
- Een golf met voor Emlichheim en de zijleidingen een herhalingstijd van 100 jaar
- Een golf met voor Emlichheim en de zijleidingen een herhalingstijd van 500 jaar

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 2-12.



Figuur 2-12 Afvoergolven bij 1250 en 100 jaar herhalingstijd bij Dalfsen

In Tabel 2-18 wordt de maximale afvoer en de bijhorende maximale waterstand van de verschillende golven weergegeven. Gegeven een herhalingstijd van de afvoergolf in Emlichheim van 1250 jaar, leidt een herhalingstijd op de zijleidingen van 500 respectievelijk 100 jaar tot een afname van de maatgevende afvoer van 6 respectievelijk 35 m³/s ten opzichte van de variant waarbij de maatgevende afvoer wordt bepaald door de 1/1250 jaar afvoergolf in Emlichheim en op alle zijleidingen. Het effect van de aanname ten aanzien van de te hanteren herhalingstijd van de Nederlandse zijleidingen is dus betrekkelijk gering.

Herhalingstijd (jaar)	Maximale afvoer (m ³ /s)	Maximale waterstand (m+NAP)
100 voor Emlichheim en alle zijleidingen	443	4.2
500 voor Emlichheim en alle zijleidingen	505	4.6
1250 voor Emlichheim en alle zijleidingen	533	4.7
1250 voor Emlichheim 100 voor de overige zijleidingen	498	4.5
1250 voor Emlichheim 500 voor de overige zijleidingen	527	4.7

Tabel 2-18 Maximale afvoer en waterstand bij Dalfsen bij verschillende herhalingstijden

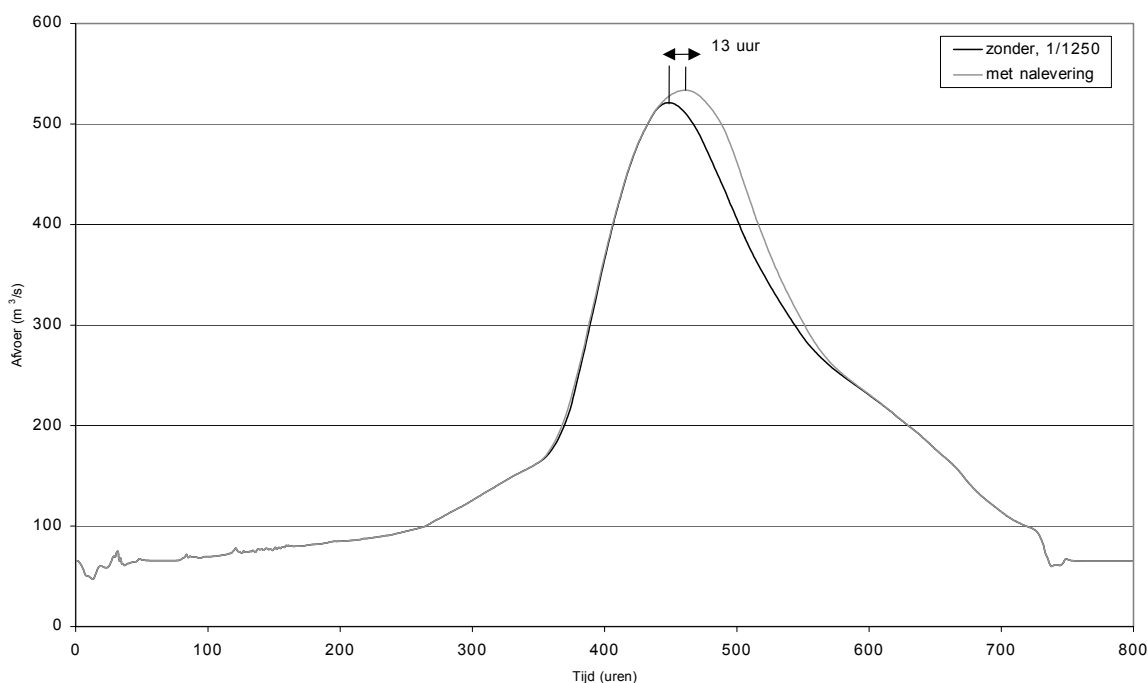
Conclusies

- Op basis van de beschikbare meetgegevens kan geen uitspraak worden gedaan over afhankelijkheid van de afvoeren van de zijleidingen en de Vecht in Emlichheim.
- Wanneer voor de zijleidingen een herhalingstijd van 500 jaar wordt genomen in plaats van 1250 jaar verandert de maatgevende afvoer in Dalfsen niet significant.
- Wanneer voor de zijleidingen een herhalingstijd van 100 jaar wordt genomen in plaats van 1250 jaar, wordt de maatgevende afvoer in Dalfsen orde grootte 35 m³/s lager. Dit is gelijk aan een waterstandsverschil van 20 cm in Dalfsen.
- Gezien de betrekkelijke ongevoeligheid van de maatgevende afvoer in Dalfsen voor de aanname ten aanzien van de te hanteren herhalingstijden van de zijleidingen is, in overleg met de opdrachtgever, besloten voor vaststelling van de maatgevende afvoer in Dalfsen uit te gaan van een herhalingstijd van 1250 jaar op de zijleidingen. Dit mede vanuit de gedachte dat hoe kleiner een stroomgebied is, hoe waarschijnlijker het wordt dat de maatgevende gebeurtenis wordt veroorzaakt door een maatgevende gebeurtenis in het hele stroomgebied.

2.3.5 Nalevering Regge

In Bijlage B wordt beschreven wat de werklijn van de Vecht in Dalfsen zou worden wanneer direct zou worden aangesloten bij de resultaten van deelrapport 6 en de aannames omtrent de fysisch maxima, faseverschillen, etc. zoals die in de onderzoeken van Janssens zijn toegepast. Daarbij is onderscheid gemaakt naar een variant met- en een variant zonder nalevering van de Regge. De term nalevering heeft betrekking op het hoogwater van 1998, waarbij de Regge buiten de oevers is getreden en voor de vaststelling van de maatgevende afvoergolf in Dalfsen een keuze gemaakt moet worden of het achtergebleven water in maatgevende omstandigheden wel of niet weer terug zou kunnen vloeien naar de rivier. De effecten van wel of geen nalevering van de Regge worden dus uitgebreid beschreven in Bijlage B, hier wordt volstaan met een samenvatting van het resultaat.

Het effect van de nalevering van de Regge op de maatgevende afvoergolf is weergegeven in Figuur 2-13 en Tabel 2-19. De golf met nalevering heeft een groter volume dan de golf zonder nalevering, maar de hoogte van de maatgevende afvoer verandert nauwelijks.



Figuur 2-13 Golfvormen bij Dalfsen, met en zonder nalevering op de Regge

Herhalingstijd (jaar)	Maatgevende afvoer (m ³ /s) zonder nalevering	Maatgevende afvoer (m ³ /s) met nalevering	Maatgevende afvoer (m ³ /s) verschil
1250	521	534	13

Tabel 2-19 Invloed van nalevering van de Regge op de maatgevende afvoer.

Geconcludeerd wordt dat het effect van nalevering van de Regge op de hoogte van de maatgevende afvoer in Dalfsen beperkt is. In overleg met de opdrachtgever is besloten voor afleiding van de afvoerstatistiek in Dalfsen uit te gaan van de variant met nalevering van de Regge.

3 De werklijn en afvoergolf bij Dalfsen

3.1 Inleiding

De maatgevende afvoer van de Vecht in Dalfsen en de vorm van de maatgevende afvoergolf worden vastgesteld op basis van SOBEK berekeningen. Als input wordt de afvoer in Emlichheim en van enkele zijleidingen genomen. De gebruikte zijleidingen zijn: het Afwateringskanaal, Radewijkerbeek, Mariënborg-Vechtkanaal, het Ommerkanaal en de Regge. Er worden afvoergolven met zeven verschillende afvoeren doorgerekend. Uit deze berekeningen volgt zowel de werklijn van de afvoeren te Dalfsen als de vorm van de maatgevende afvoergolf. De invoer bij Emlichheim en de zijleidingen zijn in deelrapport 6 bepaald.

3.2 Gegevens en randvoorwaarden

Voor de vaststelling van de werklijn en de afvoergolf bij Dalfsen zijn de volgende gegevens en randvoorwaarden toegepast:

- In deelrapport 6 zijn de vormen van de afvoergolven bij verschillende herhalingstijden bepaald. Voor het bepalen van de maatgevende afvoer en de golfvorm in Dalfsen is gebruik gemaakt van afvoergolven met een herhalingstijd van 50, 100, 250, 500, 1250, 2500 en 10000 jaar. De afvoergolven zijn hiervoor verlengd in het lage afvoerdeel. Door deze verlenging is het afvoerniveau beschikbaar waarbij de uiterwaarden overstromen.
- Voor alle afvoergolven is het fysisch maximum in acht genomen, waarbij voor de Vecht in Emlichheim is uitgegaan van een fysisch maximum van 320 m³/s.
- Ten aanzien van de faseverschillen wordt er van uitgegaan dat de piekafvoer in Emlichheim 32 uur later optreedt dan de gelijktijdige piekafvoeren van de zijleidingen.
- Voor bepaling van de afvoergolf met een bepaalde herhalingstijd in Dalfsen wordt voor zowel Emlichheim als de zijleidingen de afvoergolven met dezelfde herhalingstijd toegepast.
- Voor de Regge is gebruik gemaakt van de variant met nalevering, dat wil zeggen dat wordt verondersteld dat de hoeveelheid water die achter blijft in het gebied na overstroming weer terugvloeit naar de rivier.

Opgemerkt wordt dat niet alle zijleidingen worden meegenomen bij het uitvoeren van de Sobek-berekeningen. De meetpunten van de zijleidingen die wel meegenomen worden liggen een aantal kilometer bovenstrooms van de monding in de Vecht. Tussen deze meetpunten zal nog extra water toevloeien. Hierdoor wordt naar schatting in totaal circa 10% van de afvoer uit het stroomgebied gemist (12% volgens Janssens, 1992). Hiervoor wordt niet gecorrigeerd, omdat het SOBEK model van de Vecht ook afgeregeld is met een te lage afvoer. Indien alsnog afvoer zou worden toegevoegd, zou worden gewerkt met een ongeijkt model. Hier is van afgezien. Dit betekent dat de vast te stellen afvoerstatistiek van Dalfsen alleen mag worden gebruikt in combinatie met het gebruikte Sobek, of een model waarin op dezelfde wijze is omgegaan met de laterale toestromingen.

Voor het SOBEK model zijn verder de volgende randvoorwaarden gebruikt:

- De waterstand van het IJsselmeer is ingesteld op NAP-0,40 m (winterstreefpeil).
- Voor de afvoeren van de IJssel en de Sallandse Wetering zijn de gemiddelde afvoeren gebruikt (respectievelijk 412 m³/s (RIKZ, 1994) en 6 m³/s).
- De stuwen op de Vecht sturen op de geldende streefpeilen.
- Er is geen sprake van wind.

Ter verificatie is een berekening gemaakt waarbij het peil van het IJsselmeer is ingesteld op NAP+0.00 m, en waarbij voor de Sallandse Wetering en de IJssel de maatgevende afvoer is gebruikt. Dit betekent een afvoer van 68 m³/s voor de Sallandse Weteringen (HKV, 1999) en 1907 m³/s voor de IJssel bij Olst (RIKZ, 1994). Het resultaat van deze berekening bij Dalfsen verschilt niet met het resultaat van dezelfde berekening bij Dalfsen met de eerder genoemde randvoorwaarden. De gemaakte aannames ten aanzien van het IJsselmeerpeil en de afvoer van de Sallandse Weteringen hebben dus geen invloed op de golfvorm van de Vecht te Dalfsen voor hoogwateromstandigheden.

De belangrijkste verschillen in de gebruikte randvoorwaarden met de onderzoeken van Janssens zijn samengevat in Tabel 3-1.

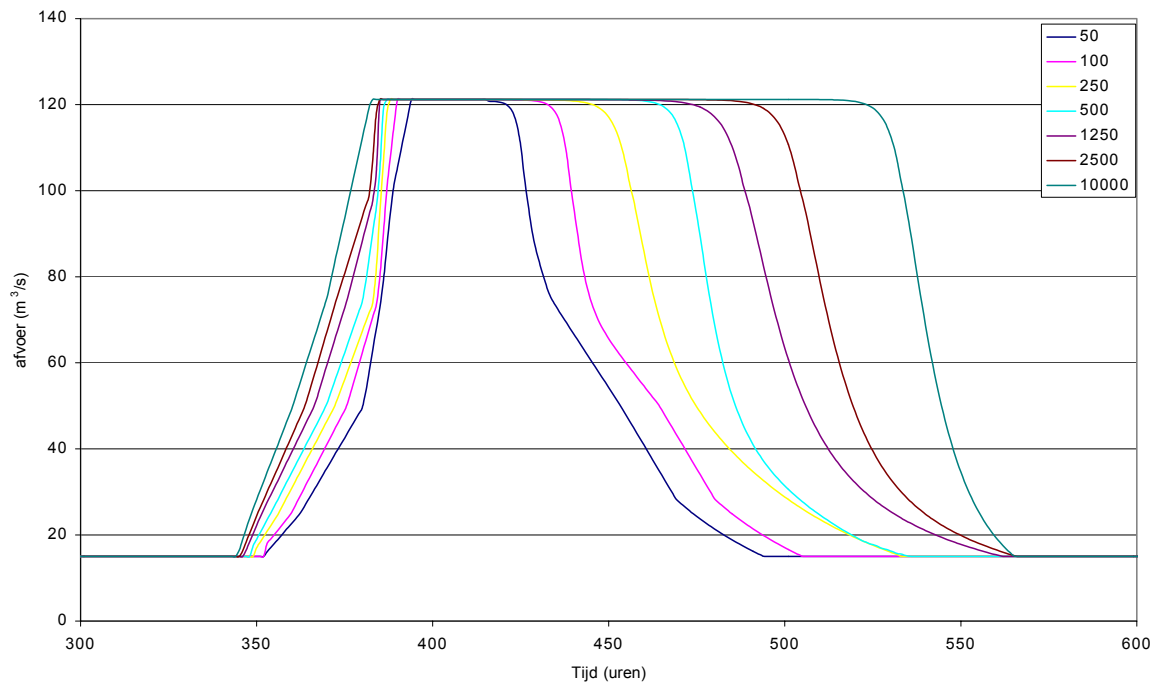
	Janssens	RVW2006
faseverschil Emlichheim-zijleidingen (uren)	36	32
fysisch maximum Emlichheim	350	320
hydrodynamisch model	Zwendl	Sobek
randvoorwaarden model	Janssens	deelrapport 6

Tabel 3-1: Samenvatting verschillen randvoorwaarden RVW2006 en Janssens

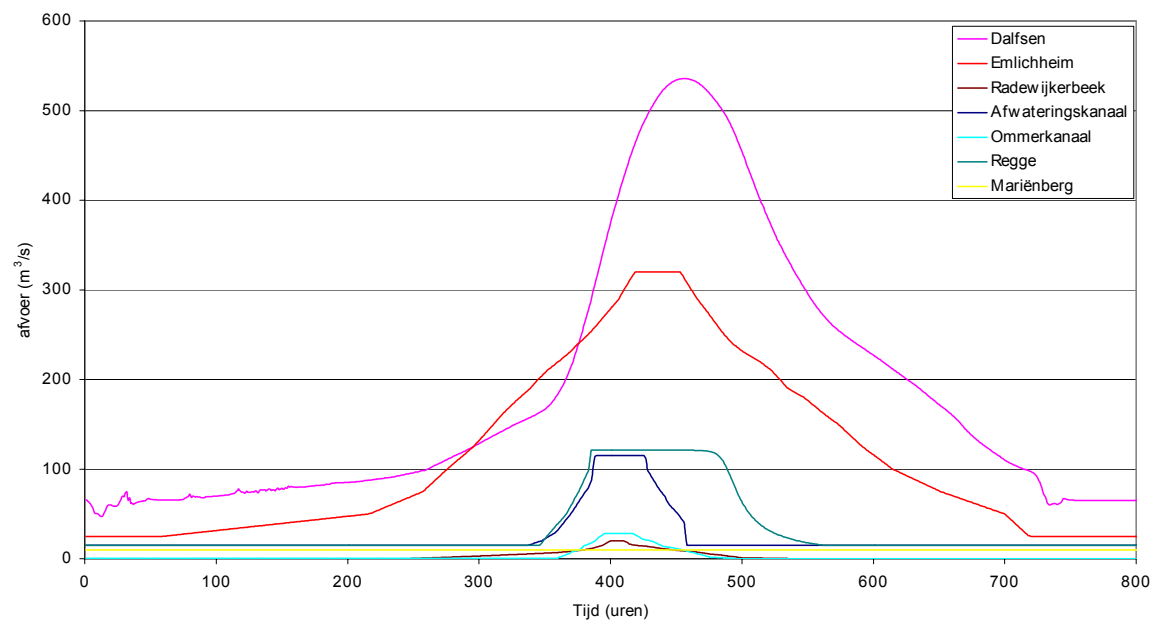
3.3 Afleiding van de werklijn

Als eerste stap is voor de Regge een afvoergolf afgeleid waarbij gecorrigeerd wordt voor nalevering. Voor de golf bij een herhalingstijd van 1250 jaar is in WL (2001) een werkblad gemaakt waarmee de nalevering wordt bepaald. Dit werkblad is gebaseerd op een gelijk volume voor de golf met en de golf zonder nalevering. Als de afvoer van de golf boven het fysisch maximum komt, wordt dit water "opgeslagen". Op het moment dat de afvoer onder het fysisch maximum komt, wordt het opgeslagen water via een exponentiële functie nageleverd aan de rivier. Deze methode is gebruikt bij het bepalen van de afvoergolven met nalevering voor een herhalingstijd van 50, 100, 250, 500, 1250, 2500 en 10000 jaar. De invoergolven van de Regge met nalevering beginnen en eindigen bij de vastgestelde drempelwaarde. In Figuur 3-1 staan de golven van de Regge met nalevering die als invoer gebruikt zijn voor de berekening van de maatgevende afvoer bij Dalfsen⁴. In Figuur 3-2 is de berekende hoogwatergolf bij Dalfsen voor een herhalingstijd van 1250 jaar samen met de afvoergolven op de zijleidingen weergegeven. In Figuur 3-3 worden de berekende afvoergolven bij Dalfsen weergegeven voor alle herhalingstijden.

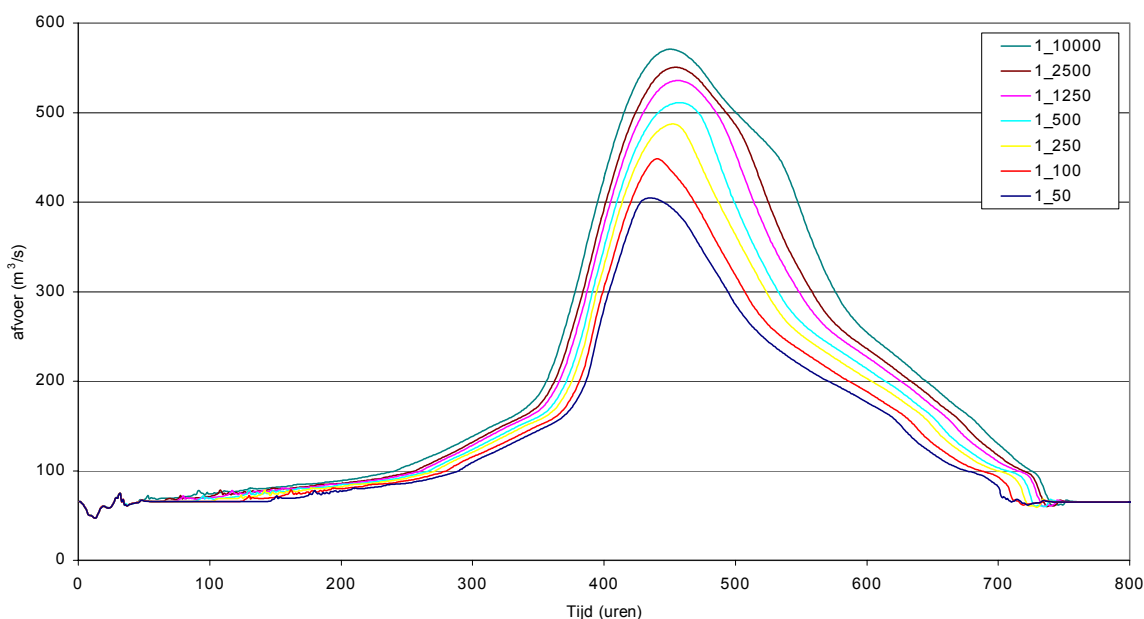
⁴ De gehanteerde ondergrens voor de afvoergolven van de Regge bedraagt 19 m³/s. Doordat de beschikbare meetreeksen van de Regge soms beginnen op een te hoog afvoerniveau kunnen bij het opschalen met de afvoergolfgenerator verticale wandjes ontstaan. Enkele afwijkingen in de 'nalevering golven' zijn door kleine handmatige ingrepen opgelost.



Figuur 3-1 Afvoergolven op de Regge gecorrigeerd voor nalevering.



Figuur 3-2 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar, met nalevering Regge



Figuur 3-3 Afvoergolven bij Dalfsen met nalevering van de Regge.

De maximale afvoer bij Dalfsen voor de verschillende herhalingstijden is weergegeven in Tabel 3-2. De waarbij van de maatgevende afvoer is daarbij afgerond op een tiental. Dit leidt tot een maatgevende afvoer bij Dalfsen van 540 m³/s. Dit is vrijwel dezelfde waarde als zou zijn verkregen met gebruikmaking van de uitgangspunten van Janssens (1992), zie ook paragraaf 2.2

Herhalingstijd (jaar)	Maatgevende afvoer (m ³ /s)
50	405
100	448
250	487
500	511
1250	540 (536)
2500	551
10000	571

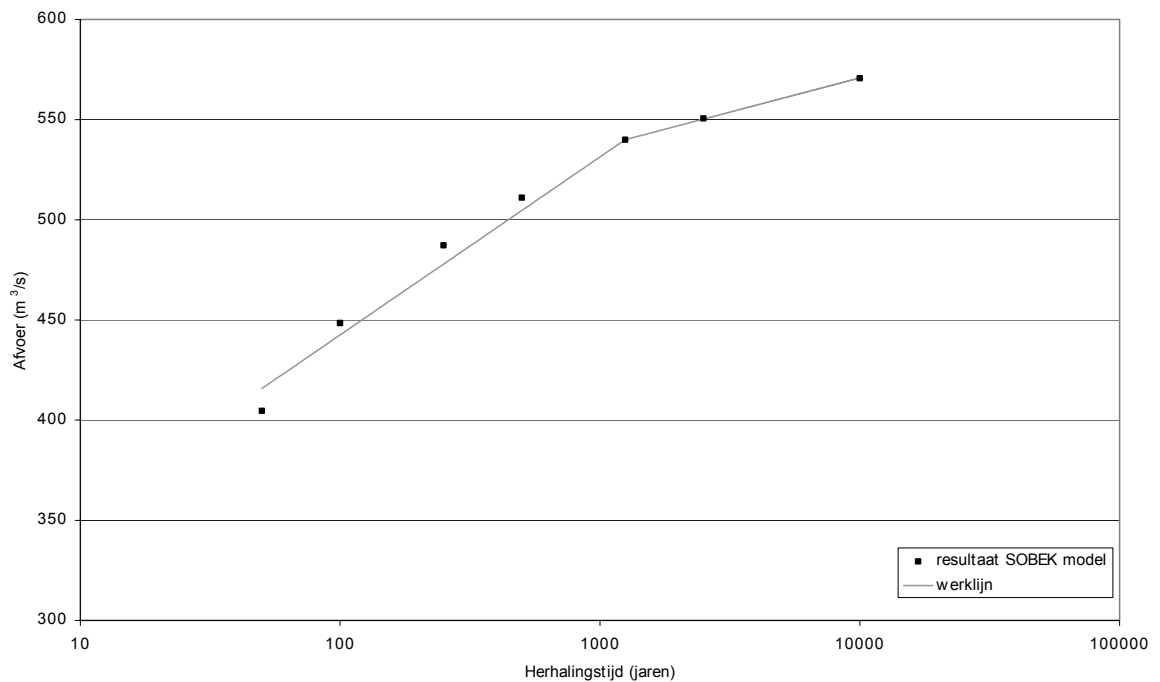
Tabel 3-2 Maatgevende afvoer voor Dalfsen, met de nalevering van de Regge

Op basis van de maximale afvoeren bij de verschillende herhalingstijden wordt de werklijn bij Dalfsen bepaald. Deze is van de vorm ' $Q = a + b \ln(T)$ '. Om een zo goed mogelijke fit te verkrijgen is een samengestelde werklijn toegepast onder de conditie dat deze exact aansluiten en dat de maatgevende afvoer precies wordt berekend⁵. De resulterende samengestelde werklijn is weergegeven in onderstaande formules en Figuur 3-4.

Formule 1: $Q = 264,8 + 38,6 \cdot \ln(T)$ **Geldigheid voor $50 \leq T \leq 1250$ jaar**

⁵ Opmerkt wordt dat een nog betere fit is te verkrijgen door toepassing van de formule $Q = a + b \cdot \ln(T) + c \cdot \ln^2(T)$ maar dat dit onwenselijk is omdat voor de vaststelling van de afvoerstatistiek de formule omgeschreven moet kunnen worden naar T als afhankelijke van Q.

Formule 2: $Q = 434,3 + 14,8 * \ln (T)$ **Geldigheid voor $T \geq 1250$ jaar**



Figuur 3-4 Werklijn van de Vecht te Dalfsen.

In Tabel 3-3 worden de resultaten van de werklijn vergeleken met de werkelijke waarden uit Sobek (Tabel 3-2). De fouten zijn gering en acceptabel.

T (jaar)	Werklijn (m³/s)	SOBEK waarden (m³/s)	Verschil (m³/s)	fout (%)
50	416	405	-11	-3
100	443	448	6	1
250	478	487	9	2
500	505	511	6	1
1250	540	540	0	0
2500	551	551	0	0
10000	571	571	0	0

Tabel 3-3 Berekende werklijn en de waarde uit SOBEK

4 Afvoerstatistiek van de Vecht

4.1 Inleiding

In het kader van het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden wordt door de afdeling WSH van het RIZA een probabilistisch model ontwikkeld voor de Vechtdelta. Hiermee worden overschrijdingsfrequenties van hydraulische belastingsniveaus bepaald. Voor dit model is het van belang de afvoerstatistiek van de Vecht bij Dalfsen te kennen. Een afvoerstatistiek bestaat uit drie componenten:

- De werklijn;
- De standaardgolfvormen;
- De dagenlijn.

De werklijn geeft de terugkeertijden waarmee bepaalde topafvoeren voorkomen. Een standaardgolfvorm, of simpelweg golfvorm, is een gestandaardiseerde afvoergolf. Deze geeft het verloop van de afvoer als functie van de tijd binnen de beschouwde golfvorm. De dagenlijn tenslotte, geeft het gemiddelde aantal dagen per jaar dat een bepaald afvoerniveau wordt overschreden. Tussen deze drie componenten bestaat een verband. Ze zijn niet iedere apart te bepalen maar dienen gezamenlijk te worden beschouwd. Dit verband kan worden gezien als een consistentie-eis waaraan een afvoerstatistiek dient te voldoen. Na de beschrijving van een consistente afvoerstatistiek in paragraaf 4.3 wordt ingegaan op de drie componenten van de afvoerstatistiek: de werklijn in paragraaf 4.4, de standaardgolfvormen in paragraaf 4.5 en dagenlijn in paragraaf 4.6.

Daaraan voorafgaande wordt in de volgende paragraaf ingegaan op de homogeniteit van de meetgegevens van Vechterweerd.

4.2 Homogeniteit afvoergegevens Vechterweerd

4.2.1 Inleiding

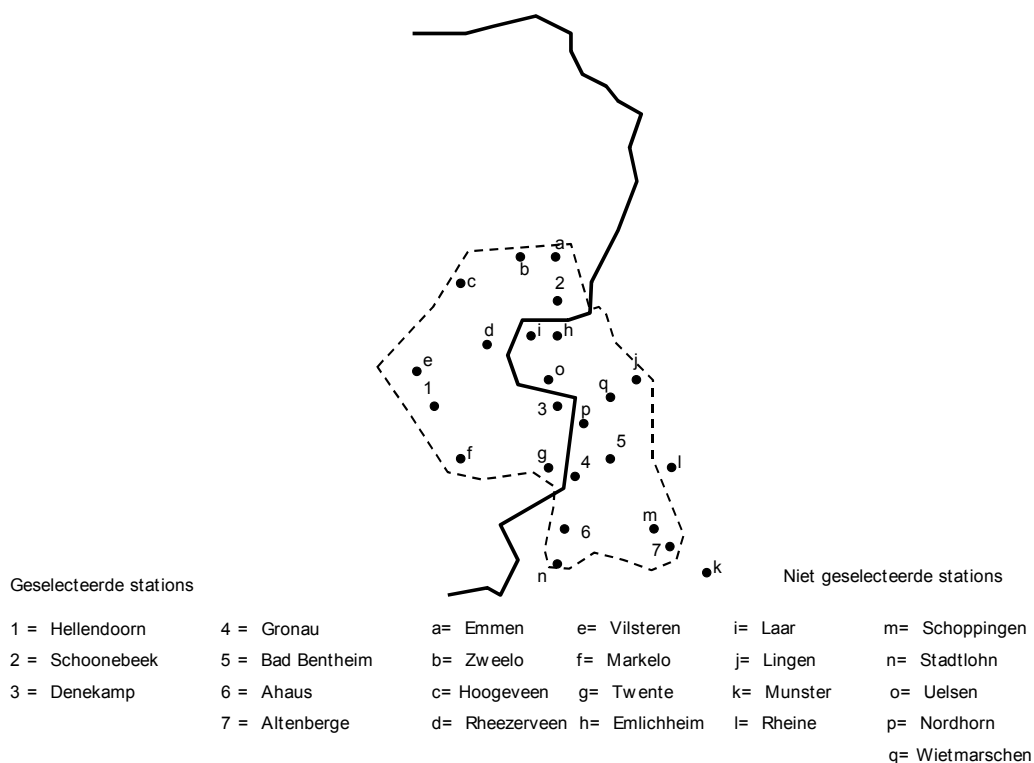
Voordat statistiek op meetgegevens wordt uitgevoerd, moet worden bepaald of de reeks gegevens homogeen is. Voor deze studie wordt vastgesteld of de afvoergegevens van Vechterweerd homogeen zijn met behulp van een Double Mass analyse met de gebiedsneerslag. Eerst worden de neerslagstations verdeeld over het stroomgebied geselecteerd voor het bepalen van de gebiedsneerslag. De homogeniteit van de neerslaggegevens van deze stations wordt gecontroleerd. Vervolgens wordt de homogeniteit van de afvoergegevens over het gehele bereik bij Vechterweerd gecontroleerd. Tot slot wordt de homogeniteit van de afvoergegevens tijdens hoogwaters bepaald. Het uiteindelijke resultaat hiervan is dat voor het hele afvoerbereik en met name voor hoogwaters een uitspraak kan worden gedaan of de afvoergegevens van Vechterweerd homogeen zijn, ofwel een consistent gedrag in de tijd ten opzichte van de neerslag vertonen.

4.2.2 Homogeniteit van de neerslagstations

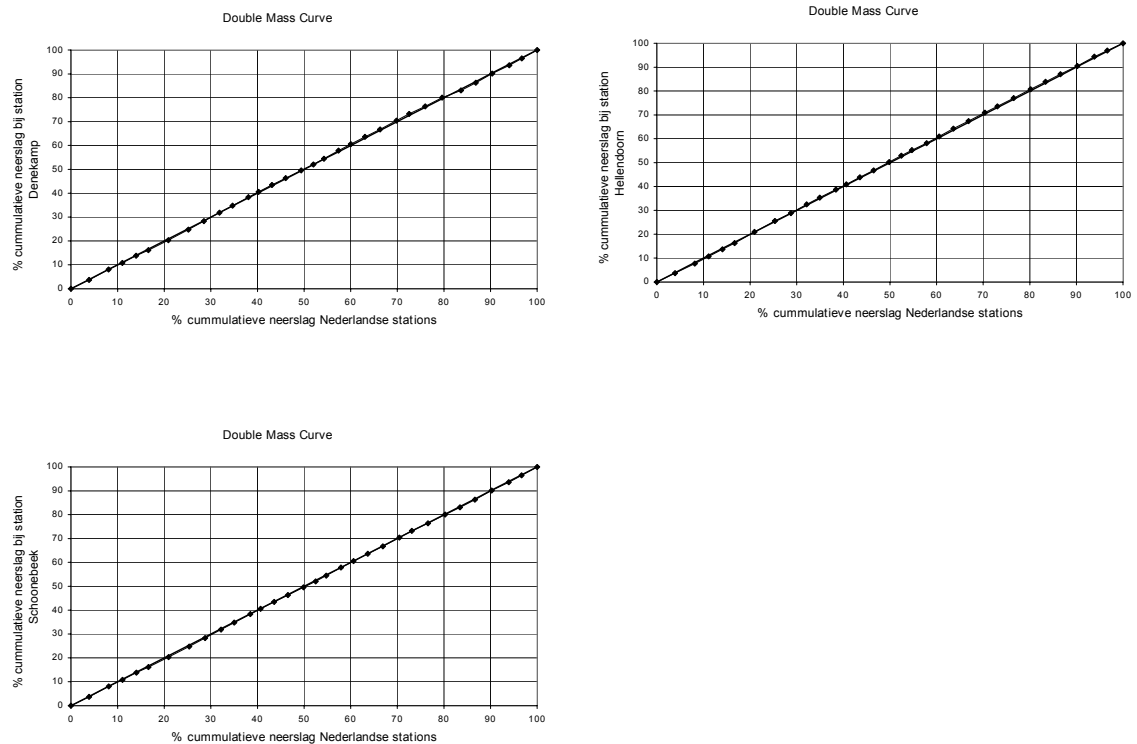
Voor de analyse van de homogeniteit van de neerslagstations zijn gegevens beschikbaar over de periode 1960-1983. Gegevens zijn beschikbaar van tien Nederlandse neerslagstations in Denekamp, Hellendoorn, Schoonebeek, Emmen, Hogeveen, Markelo, Rheezeveen, Twente, Vilsteren en Zweelo. De veertien beschikbare Duitse neerslagstations zijn; Ahaus, Altenberge, Bentheim, Gronau, Emlichheim, Laar, Lingen, Munster, Rheine, Schoppingen, Stadtlohn, Uelsen, Nordhorn en Wietmarschen. De neerslagstations van Nederland en Duitsland zijn voor het gemak apart geanalyseerd met de Double Mass Analyse. In Figuur 4-1 zijn de locaties van de neerslagstations schematisch weergegeven.

Bij de Double Mass analyse wordt de cumulatieve hoeveelheid neerslag van een teststation (op de y-as) uitgezet tegen de cumulatieve hoeveelheden neerslag van de overige stations (op de x-as). Als dit een rechte lijn oplevert zijn de gegevens van het teststation bruikbaar voor verdere statistische berekeningen. Als de lijn een knik vertoont is er sprake van trendbreuk in de waarnemingen van het teststation. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van het verplaatsen van de neerslagmeter of het veranderen van de meetmethode. Als de lijn in het geheel niet recht is, is er sprake van structureel onbetrouwbare metingen of een inhomogeen gebied. Met deze methode worden de meest betrouwbare stations geselecteerd.

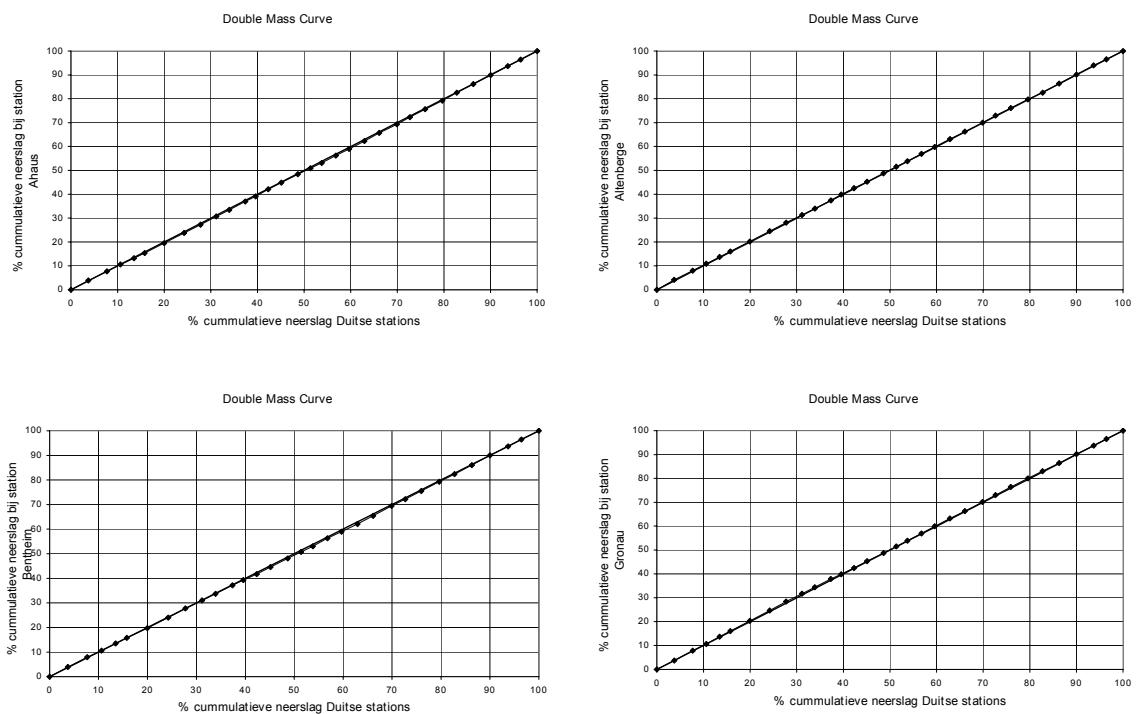
De Double Mass analyse voor het bepalen van de homogeniteit van de neerslagstations is uitgevoerd op jaarbasis. De resultaten van de stations die homogeen zijn, zijn weergegeven in Figuur 4-2 en Figuur 4-3. Dit zijn de stations Denekamp, Hellendoorn, Schoonebeek, Gronau, Bad Bentheim, Ahaus en Altenberge. Deze stations zullen worden gebruikt voor de verdere analyses. De overige stations zijn niet gebruikt, omdat ze minder betrouwbaar zijn, de resultaten daarvan zijn opgenomen in Bijlage A.



Figuur 4-1 Neerslagstations in Nederland en Duitsland



Figuur 4-2 Double Mass analyse van de Nederlandse stations met neerslaggegevens op jaarbasis



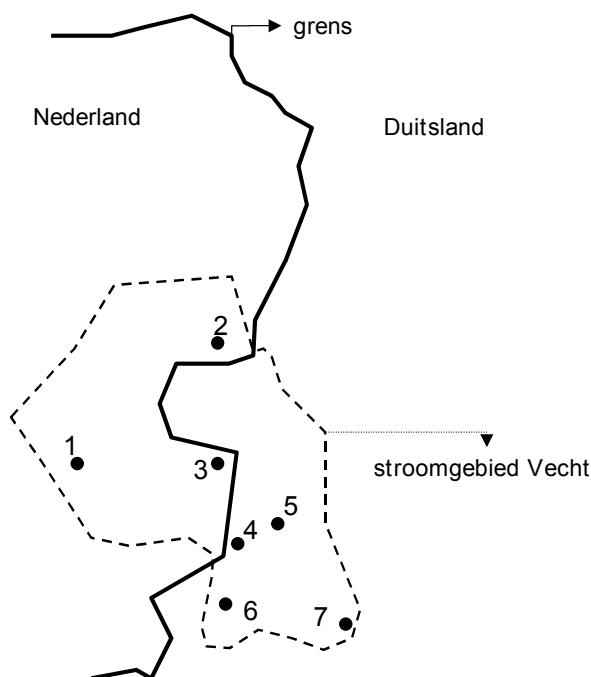
Figuur 4-3 Double Mass analyse van de Duitse stations met neerslaggegevens op jaarbasis

4.2.3 Afvoergegevens bij Vechterweerd

Homogeniteit van de afvoergegevens over het hele afvoerbereik

De homogeniteit van de afvoergegevens is bepaald over het hele afvoerbereik op hydrologische jaarbasis. Als hydrologisch jaar is gedefinieerd de periode van april in een jaar tot april een jaar later, zoals in het algemeen ook wordt gehanteerd door waterschappen. De reden van deze keuze voor het hydrologische jaar, is dat in april de bodem vrijwel altijd verzadigd is. De hydrologische jaren hebben dan eenzelfde uitgangssituatie. Ook hier wordt gebruik gemaakt van de Double Mass methode, waar de som van de afvoer bij Vechterweerd wordt uitgezet tegen de som van de totale neerslag in het stroomgebied van de Vecht. Er wordt gebruik gemaakt van gegevens van 1960 tot en met 1981.

De neerslag in het stroomgebied van de Vecht wordt bepaald met de meetgegevens van de geselecteerde neerslagstations. Hiertoe wordt de Thiessen polygoon methode toegepast om het aandeel van de gegevens van ieder gebruikt station in de gebiedsneerslag vast te stellen. De locaties van de gebruikte neerslagstations zijn schematisch weergegeven in Figuur 4-4.



- | | | |
|-----------------|------------------|----------------|
| 1 = Hellendoorn | 4 = Gronau | 7 = Altenberge |
| 2 = Schoonebeek | 5 = Bad Bentheim | |
| 3 = Denekamp | 6 = Ahaus | |

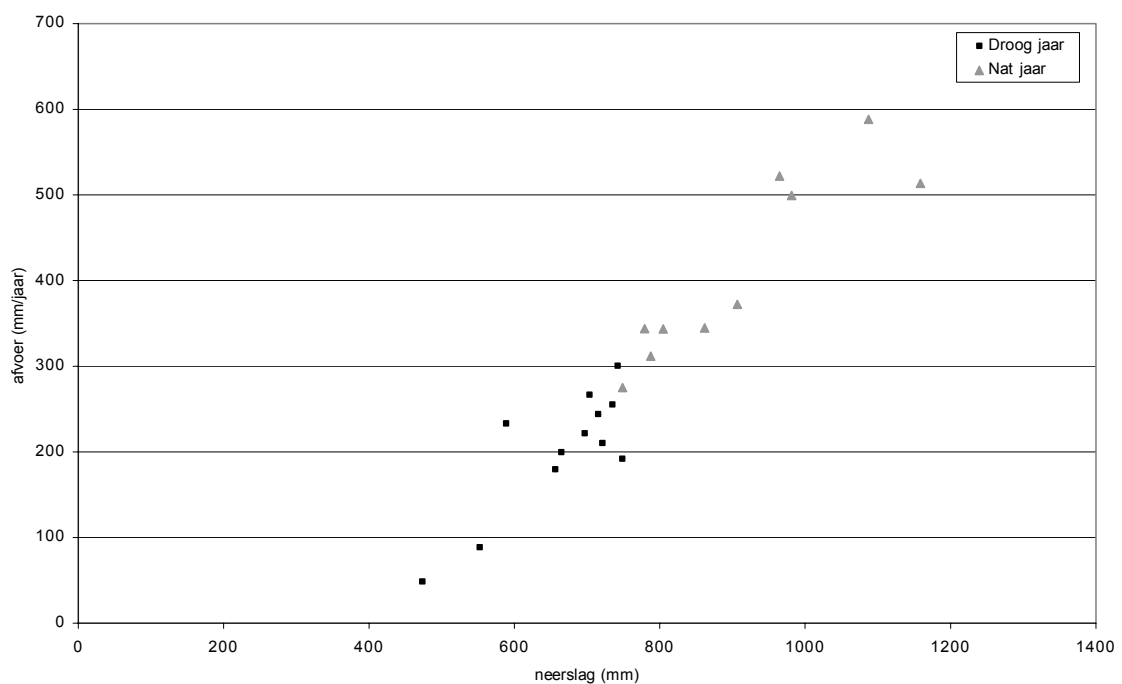
Figuur 4-4 De geselecteerde neerslagstations (niet exact op schaal)

Het aandeel van de geselecteerde neerslagstations in de uiteindelijk voor de analyse gebruikte neerslag is afgerond op 5% weergegeven in Tabel 4-1.

neerslagstation	aandeel in totale gebiedsneerslag
Hellendoorn	30%
Schoonebeek	30%
Denekamp	10%
Gronau	10%
Bad Bentheim	10%
Ahaus	5%
Altenberge	5%

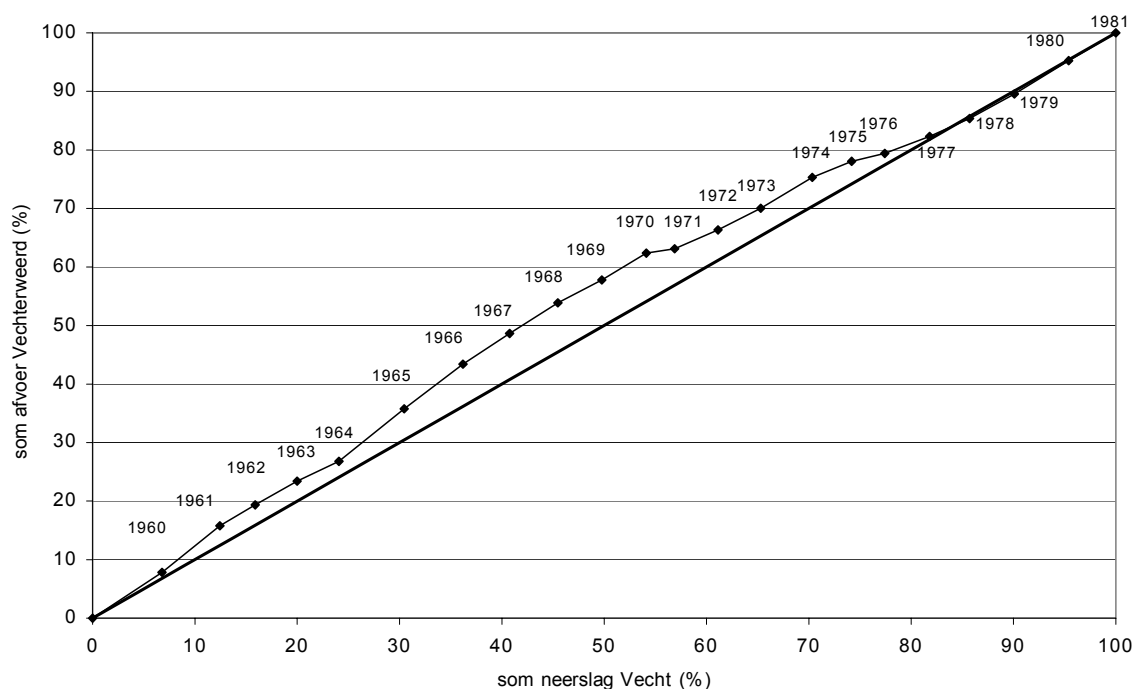
Tabel 4-1 Aandeel van de gegevens van de neerslagstations in de uiteindelijke neerslag

In Figuur 4-5 is de afvoer (mm/jaar) in een grafiek uitgezet tegen de neerslag. De afvoer neemt zoals verwacht toe bij een toenemende neerslag. Uit de figuur blijkt dat er geen reden is om een andere dan lineaire relatie te veronderstellen tussen de neerslag en de afvoer, reden waarom in de double mass analyse de afvoer direct kan worden vergeleken met de neerslag. Het resultaat hiervan is opgenomen in Figuur 4-6.



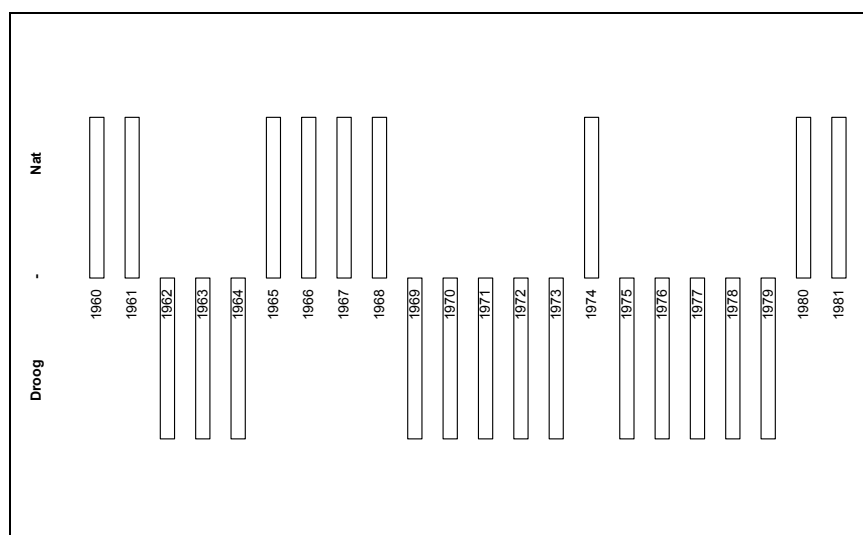
Figuur 4-5 De afvoer tegen de neerslag

Uit Figuur 4-6 blijkt dat de afvoergegevens bij Vechterweerd over het gehele afvoerbereik niet homogeen te zijn, na 1970 komt steeds minder neerslag tot afstroming. Na 1976 lijken de data wel homogeen.

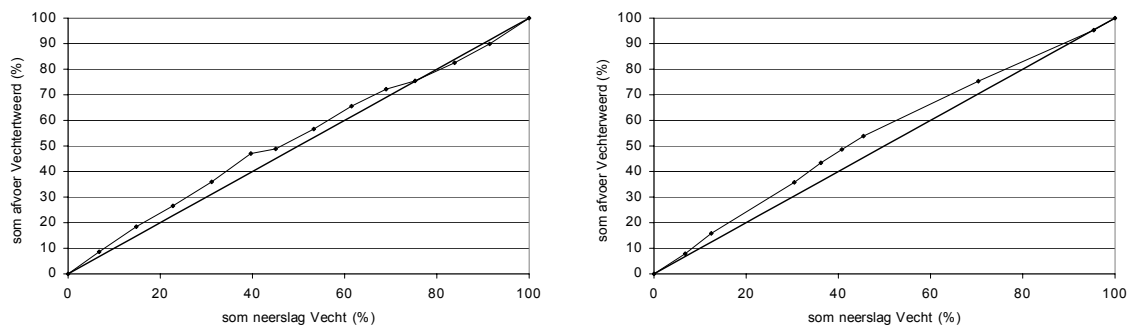


Figuur 4-6 Double Mass Curve jaarneerslag van de Vecht – jaarafvoer bij Vechterweerd

Er is gekeken of de afwijking van de Double Mass curve het gevolg is van droge jaren en natte jaren. Hiervoor is een Double Mass analyse toegepast voor droge en natte jaren afzonderlijk. Daarbij is een nat jaar gedefinieerd als een jaar met een neerslagsom van meer dan 750 mm (zijnde ongeveer de gemiddelde jaarneerslag). Droge jaren zijn gedefinieerd als jaren met een neerslagsom van minder dan 750 mm. In Figuur 4-7 zijn de hiermee bepaalde natte en de droge jaren weergegeven. In Figuur 4-8 zijn de double mass curves voor droge en natte jaren weergegeven. Hieruit blijkt dat voor zowel droge als natte jaren geldt dat in de loop der tijd steeds minder neerslag tot afstroming komt.

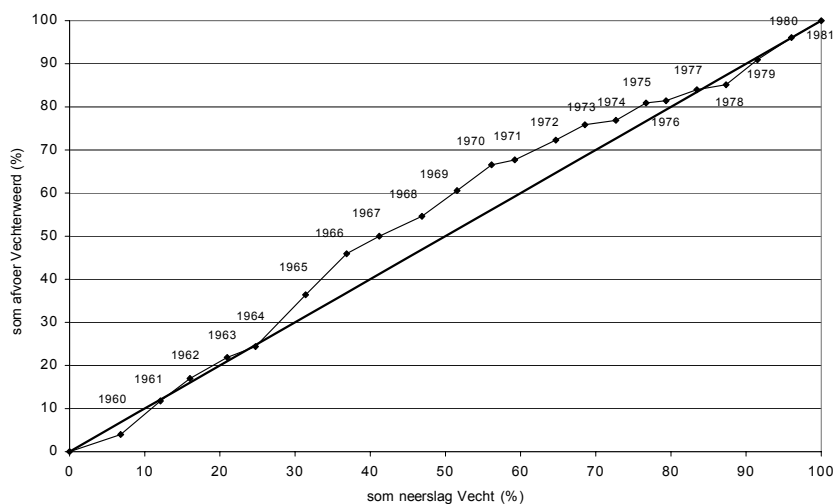


Figuur 4-7 Geselecteerde droge en natte jaren

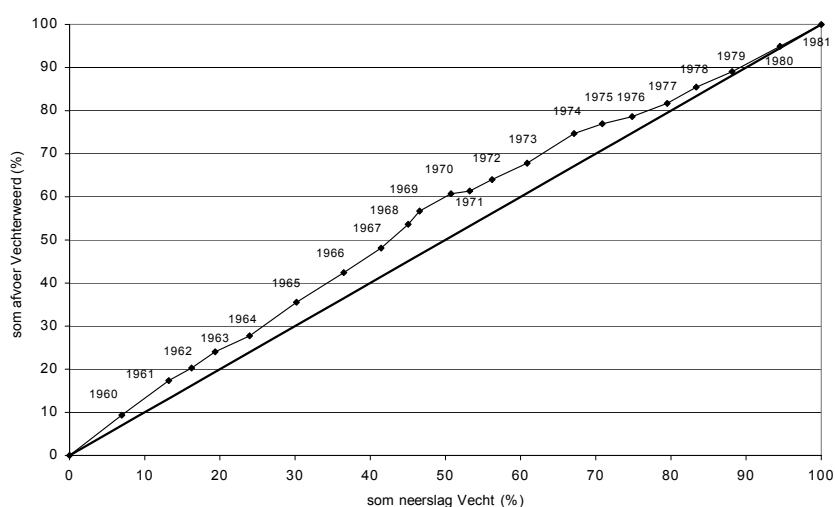


a b
 Figuur 4-8 Double Mass Curve voor a) een droog jaar en b) een nat jaar

Verder is ook nog gekeken of de afwijking het gevolg is van seizoensinvloeden (zomer – winter). De Double Mass curves voor zomer (april – september) en winter (oktober – maart) afzonderlijk zijn weergegeven in Figuur 4-9 en Figuur 4-10.



Figuur 4-9 Double Mass curve voor zomerperioden



Figuur 4-10 Double Mass curve voor winterperioden

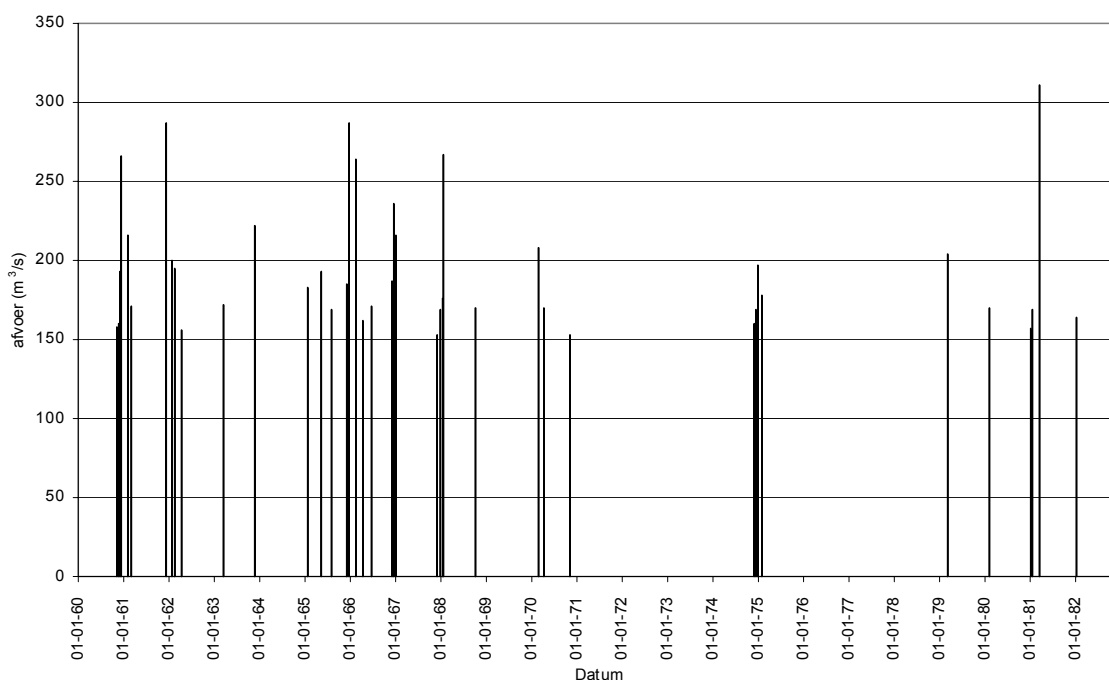
Hieruit blijkt dat voor zowel zomer als winterperiodes vanaf 1970 minder neerslag tot afstroming komt.

Hieruit wordt geconcludeerd dat de afvoergegevens op jaar- en seizoensbasis van Vechterweerd tot het jaar 1977 niet homogeen zijn. Dit geldt voor zowel droge als natte jaren en voor zowel winter als zomerperiodes. Hiervoor gelden de volgende mogelijke oorzaken:

- In de loop der tijd wordt naar verhouding meer water onttrokken aan de Vecht.
- De Q-h relatie in Vechterweerd geeft in de loop der tijd te weinig afvoer aan. Oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat het zomerbed van de Vecht benedenstrooms van Vechterweerd is gedaald en de Q-h relatie hiervoor niet is aangepast.

Homogeniteit van de afvoergegevens van hoogwaters

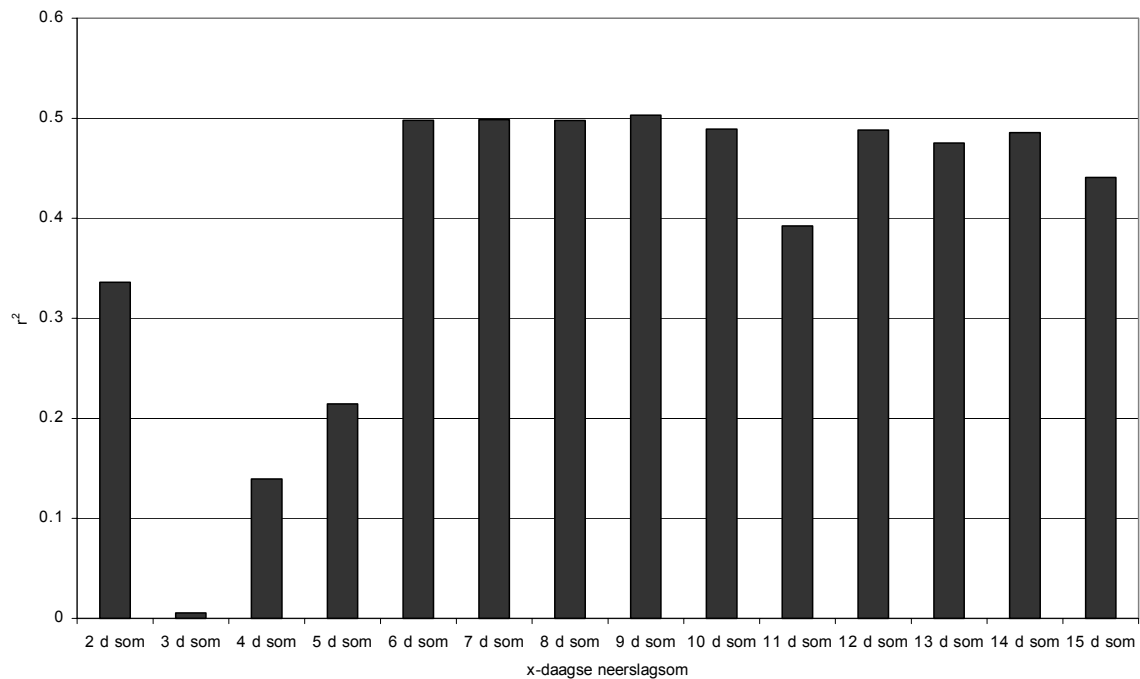
De homogeniteit van de afvoergegevens van hoogwaters is ook bepaald met behulp van de Double Mass analyse. Hiertoe worden de piekafvoeren in Vechterweerd cumulatief uitgezet tegen de x-daagse neerslagsom voorafgaande aan het hoogwater. Als ondergrens voor een hoogwater is een maximale afvoer van $150 \text{ m}^3/\text{s}$ genomen. Verder is de minimale tijd tussen twee piekafvoeren gesteld op 10 dagen. Als deze tijd minder is, wordt verondersteld dat de piekafvoeren tot dezelfde golf behoren. Dit resulteert in een dataset van 41 hoogwaters over een periode van ongeveer 20 jaar. Deze hoogwaters zijn weergegeven in Figuur 4-11.



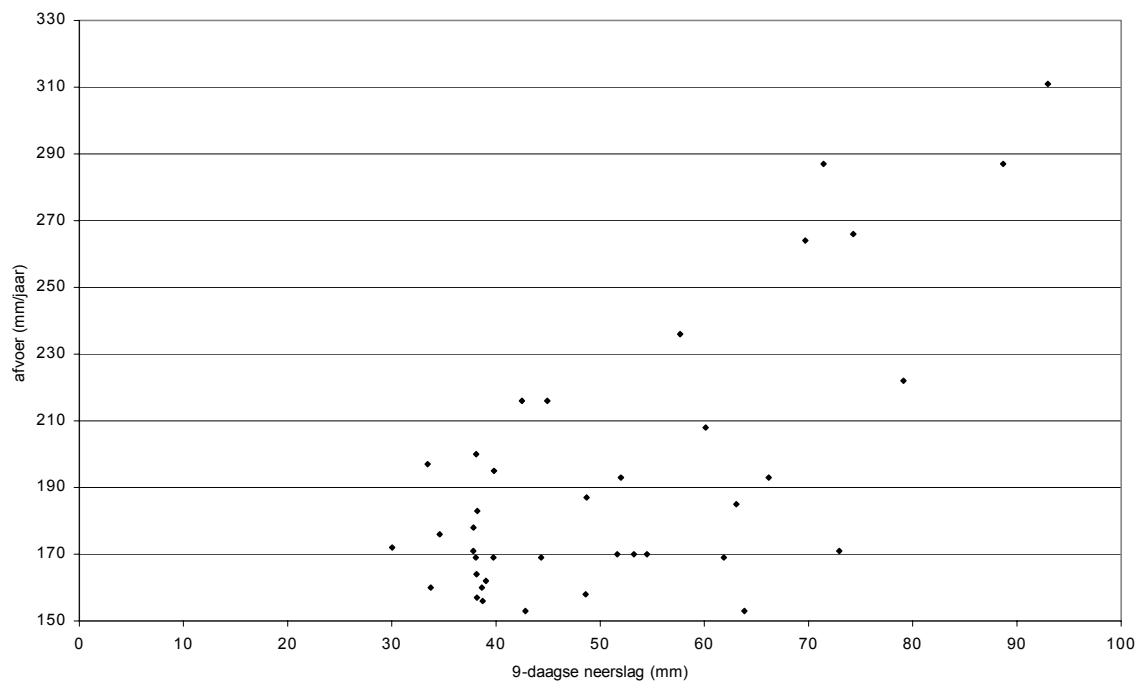
Figuur 4-11 De piekafvoeren bij Vechterweerd

Bij de Double Mass analyse wordt de neerslagsom voorafgaande aan een hoogwater uitgezet tegen de maximale afvoer. Het aantal dagen dat voor de neerslagsom gebruikt wordt, is het aantal dagen waarin een hoogwater op de Vecht tot stand komt. Dit aantal dagen is als volgt bepaald: Voor ieder hoogwater in de meetreeks is de 2, 3 tot en met de 15 daagse voorgaande neerslagsom bepaald. Deze neerslagsom wordt uitgezet tegen de bijhorende piekafvoer. De neerslagsom waarbij de grootste correlatie (R^2) met de afvoer wordt bereikt, wordt gebruikt in de verdere analyse. In Figuur 4-12 is voor de 2 daagse tot en met de 15 daagse neerslagsom de correlatie

met de piekafvoer weergegeven. De hoogste correlatie wordt gevonden voor de 6 tot 9-daagse neerslagsom. Voor de verdere analyse is gekozen voor een 9 daagse neerslagsom, om reden dat lage drukgebieden met een tussentijd van 9 dagen door het KNMI als onafhankelijk worden beschouwd, zoals is beschreven door de commissie Waterbeheer 21^{ste} eeuw (HKV [LIJN IN WATER](#) en Alterra, 2000).



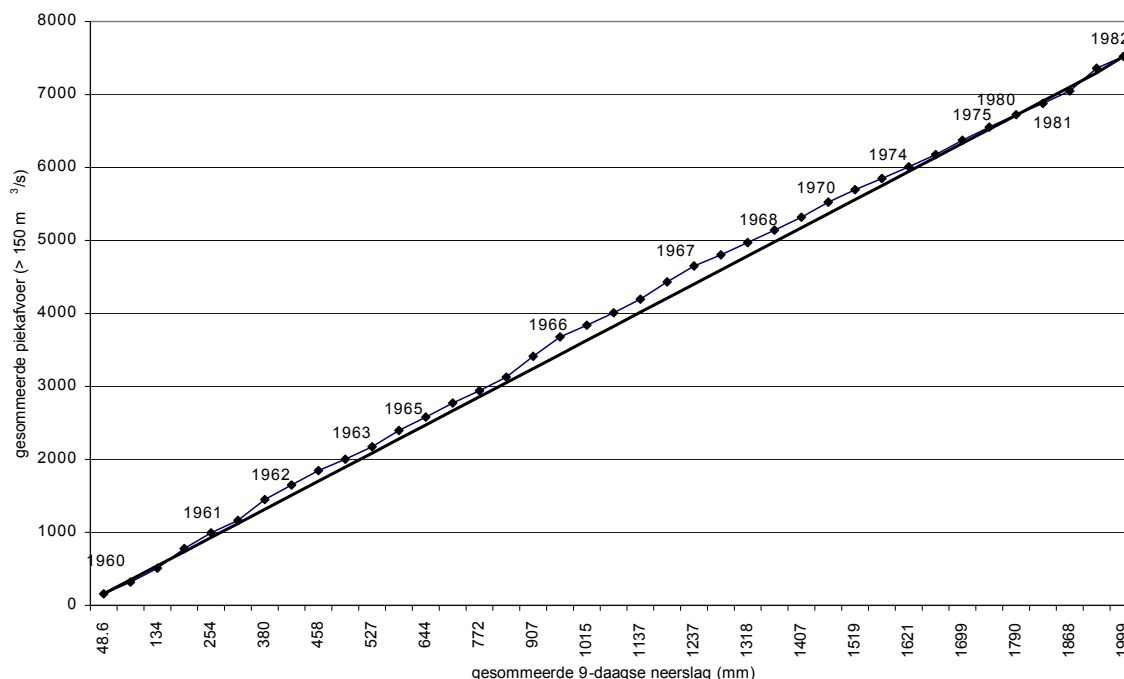
Figuur 4-12 De correlatie tussen de neerslagsom en de afvoer weergegeven per neerslagsom



Figuur 4-13 Correlatie tussen de piekafvoer van een hoogwater en de 9-daagse neerslagsom.

In Figuur 4-13 wordt de zwakke correlatie tussen de 9-daagse neerslagsom en de resulterende piekafvoer in Vechterweerd weergegeven. Voor de double mass analyse wordt een lineaire relatie verondersteld zodat de piekafvoer direct kan worden vergeleken met de 9-daagse neerslagsom.

Het resultaat van de double mass analyse van piekafvoeren van hoogwaters met de 9-daagse voorafgaande neerslagsom is weergegeven in Figuur 4-14.



Figuur 4-14 Double Mass curve gesommeerde piekafvoer – gesommeerde neerslag

Uit Figuur 4-14 blijkt eenzelfde patroon als bij de double mass analyse van de afvoergegevens van Vechterweerd op jaar- en seizoensbasis, namelijk dat in de loop der tijd minder afvoer tot afstroming komt. Wel is dit beeld minder sterk dan bij de analyse op jaar en seizoensbasis. De genoemde mogelijke oorzaken voor deze inhomogeniteit in de afvoerreeks van Vechterweerd zijn ook houdbaar voor de geconstateerde lichte inhomogeniteit in de afvoergegevens van hoogwaters:

- Een in de loop der tijd toenemende onttrekking van water aan de Vecht heeft minder invloed op de homogeniteit van hoogwaterafvoeren, een onttrekking is vooral merkbaar bij lagere afvoeren.
- Een Q-h relatie die voor gemiddelde afvoerniveaus (waarvan op jaar- en seizoensbasis sprake is en die binnen het zomerbed blijven) in de loop der tijd te weinig afvoer aangeeft heeft ook minder invloed op hoogwaters omdat voor hoogwaters een belangrijk deel van de afvoer via het winterbed verloopt.

Omdat de exacte oorzaak voor de geconstateerde inhomogeniteit niet bekend is, zijn de afvoergegevens hiervoor niet gecorrigeerd.

4.2.4 Conclusies

- Van Vechterweerd zijn afvoergegevens beschikbaar over de periode 1960 t/m 1981.
- Voor het gemiddelde afvoerbereik (afvoeren op jaar en seizoensbasis) zijn de beschikbare afvoergegevens bij Vechterweerd niet homogeen.
- De (voor onderhavig onderzoek belangrijkere) hoogwaterafvoeren in Vechterweerd vertonen een lichte inhomogeniteit.
- Voor zowel het gemiddelde afvoerbereik als hoogwaters geldt dat in de loop der tijd minder neerslag tot afstroming komt.
- Mogelijk oorzaken hiervoor zijn een in de loop der tijd toenemende onttrekking aan de Vecht en een in de loop der tijd te weinig afvoer aangevende Q-h relatie (bijvoorbeeld als gevolg van verandering van het dwarsprofiel benedenstrooms door bodemdaling of baggerwerken, waaraan ook wordt gerefereerd in het onderzoek van Janssens).
- De geconstateerde inhomogeniteiten zijn niet gecorrigeerd omdat de exacte oorzaak er van niet met zekerheid bekend is.

4.3 Een consistente afvoerstatistiek

In de volgende paragrafen worden de drie onderdelen van de afvoerstatistiek ter plaatse van een gegeven locatie beschreven (zie ook HKV, december 2001). Deze afvoerstatistiek bestaat zoals al eerder vermeld uit drie onderdelen, te weten de werklijn, de golfvormen en de dagenlijn. Deze drie onderdelen dienen consistent met elkaar te zijn, zoals zal worden uitgelegd. We brengen in herinnering dat afvoergolven slechts zinvol beschouwd kunnen worden voor niet al te lage afvoeren. Daarom komt in de afvoerstatistiek een grenswaarde q_g voor. De werklijn en golfvormen hoeven slechts beschouwd te worden voor tophoogtes van afvoergolven die deze grenswaarde overschrijden.

We laten eerst wat notatie volgen. Met een jaar wordt altijd een winterhalfjaar bedoeld.

N [dagen/jaar]

Het aantal dagen in een winterhalfjaar. Dus $N = 182$.

T [jaar]

De terugkeertijd van een afvoergolf.

Q [m^3/s]

De stochast dagafvoer.

q_g [m^3/s]

De grenswaarde die de hoge en lage afvoeren scheidt. Analooq aan de Maas en Rijn wordt deze gelijk gesteld de topafvoer bij $T = 1$ jaar.

$g(q)$ [s/m^3]

De momentane kansdichtheid van de afvoer. Deze kansverdeling is afgeleid van dagwaarnemingen van de afvoer.

$D(q)$ [dagen/jaar]

De dagenlijn. Deze geeft het gemiddeld aantal dagen per jaar dat de afvoer het niveau q overschrijdt. (Deze overschrijdingen kunnen verdeeld zijn over meerdere toppen; ze hoeven dus niet aansluitend in de tijd voor te komen.)

$\Psi(k)$ [-]

Aantal afvoertoppen per jaar dat het niveau k overschrijdt.

$\alpha(t;k)$ [m^3/s]

Standaardgolfvorm met tophoogte k , als functie van de tijd t . In plaats van over standaardgolfvormen te spreken, zullen we veelal simpelweg over golfvormen spreken.

$\psi(k)$ [$s/(jaar \cdot m^3)$]

Frequentiedichtheid van de afvoertoppen. (De integraal over $\psi(k)$ is niet genormeerd op 1, maar kan groter dan 1 zijn.)

$L(q;k)$ [dagen]

Tijdsduur in dagen dat binnen de standaardvorm met tophoogte k het niveau q wordt overschreden.

De momentane kansdichtheid $g(q)$ geeft (ruwweg) de kans dat op een zekere dag een bepaalde waarde van de afvoer optreedt. De dagenlijn $D(q)$ geeft het gemiddeld aantal dagen per jaar dat het niveau q wordt overschreden. Er is een simpel verband tussen de momentane kansdichtheid van de afvoer en de dagenlijn. Dat wordt gegeven door:

$$D(q) = NP(Q > q) = N \int_q^{\infty} dq g(q) \quad [4-1]$$

Het bepalen van de momentane kansdichtheid en van de dagenlijn komt dus op hetzelfde neer. De werklijn geeft de afvoer q als functie van de terugkeertijd T . Omdat het verband tussen de afvoer en de terugkeertijd behalve uit de werklijn ook volgt uit de frequentieverdeling $\Psi(k)$, kunnen frequentieverdeling en werklijn als synoniem worden beschouwd.

De drie onderdelen van de afvoerstatistiek die ter plaatse van een gegeven locatie van belang zijn, zijn:

- de frequentieverdeling $\Psi(k)$ ofwel de werklijn voor afvoeren $q > q_g$.
- de standaardgolfvormen $\alpha(t;k)$ voor afvoeren $q > q_g$.
- de momentane kansdichtheid $g(q)$ ofwel de dagenlijn op het hele afvoerbereik.

We zullen nu uitleggen wat de eerder genoemde consistentie tussen deze drie onderdelen inhoudt. De frequentie levert in combinatie met de standaardgolfvorm het aantal dagen in een jaar dat een bepaald niveau wordt overschreden, zie het rechterlid van formule 4-2. Dat kan als volgt worden ingezien. De grootte $dk \psi(k)$ geeft het aantal afvoertoppen met een tophoogte tussen k en $k + dk$. Het aantal overschrijdingsdagen van niveau q binnen elk van deze toppen is gelijk aan $L(q;k)$. Het product $dk \psi(k) L(q;k)$ geeft dan het aantal overschrijdingsdagen van niveau q binnen afvoertoppen met tophoogtes tussen k en $k + dk$. Het volledige aantal overschrijdingsdagen van niveau q volgt dan door te integreren van $k = q$ tot $k = \infty$. Het aantal dagen dat een niveau q overschreden wordt, wordt naast deze integraal echter ook gegeven door de dagenlijn $D(q)$. Er zijn dus twee manieren om het aantal overschrijdingsdagen per jaar te berekenen, de ene manier is

door gebruik te maken van de frequentie in combinatie met de standaardgolfvorm, de andere is door gebruik te maken van de dagenlijn ofwel de momentane kans. Dat levert de volgende consistentie-eis tussen kans, frequentie en standaardgolfvorm:

$$D(q) = \int_q^{\infty} dk \quad \psi(k) \quad L(q; k) \quad \text{voor alle } q > q_g \quad [4-2]$$

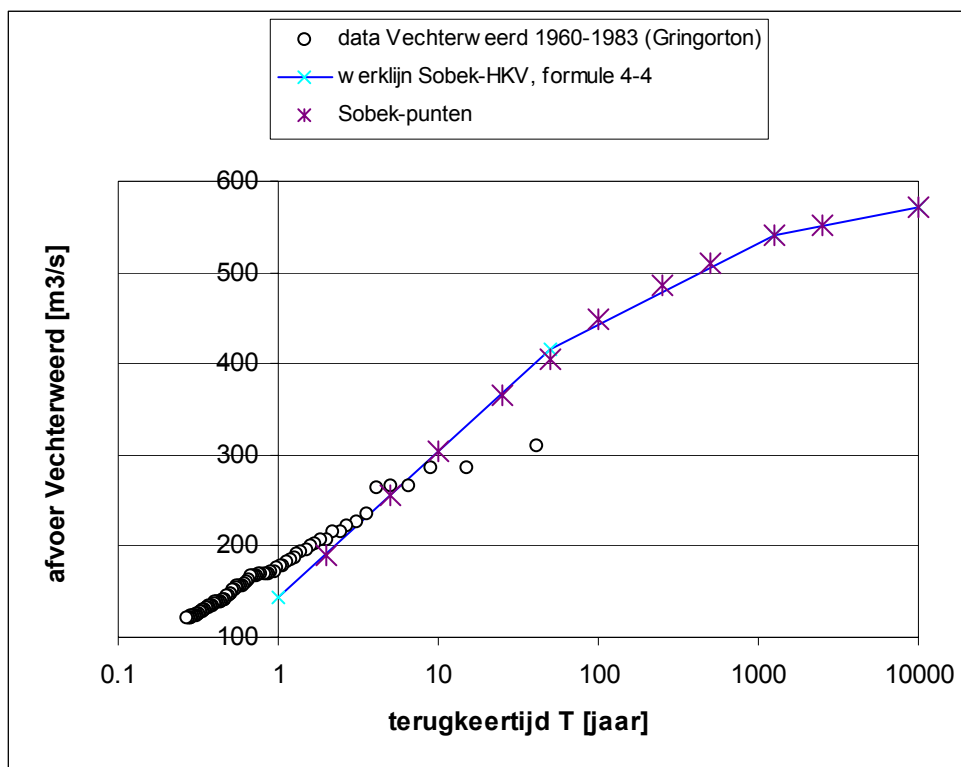
De frequentiedichtheid wordt gegeven door minus de afgeleide van de overschrijdingsfrequentie:

$$\psi(k) = - \frac{d\Psi(k)}{dk} \quad \text{voor alle } k > q_g \quad [4-3]$$

Bij het bepalen van de drie genoemde onderdelen dient er dus op te worden gelet dat aan formule 4-2 voldaan moet zijn voor afvoeren $q > q_g$, omdat anders een niet-consistente afvoerstatistiek resulteert.

4.4 De werklijn

Aanvankelijk was het uitgangspunt (werkplan) om de werklijn met een terugkeertijd groter dan 50 jaar uit Sobek-berekeningen af te leiden en voor terugkeertijden kleiner dan 50 jaar de meetgegevens van de Vecht bij Vechterweerd te gebruiken. Na overleg met de opdrachtgever is besloten hiervan af te wijken en de werklijn geheel op basis van SOBEK-berekeningen te bepalen. In eerste instantie is besloten de werklijn voor een aantal combinaties van topafvoer en terugkeertijd vast te leggen; te weten: $q = [150, 400, 550, 575] \text{ m}^3/\text{s}$ bij terugkeertijden $T = [1, 50, 1250, 10000] \text{ jaar}$. De achtergrond hiervan is de wens om voor de afvoeren gegeven de herhalingstijden afgeronde getallen te gebruiken. De resulterende werklijn is weergegeven in Figuur 4-15, waarin naast de vier genoemde afvoerniveaus op basis waarvan de werklijn is gefit, ook de in hoofdstuk 3 met Sobek berekende afvoeren zijn weergegeven, alsmede de waarnemingen in Vechterweerd. Hieruit blijkt dat de werklijn op basis van de waarnemingen een flauwere helling kent dan de werklijn op basis van de met Sobek berekende afvoeren.



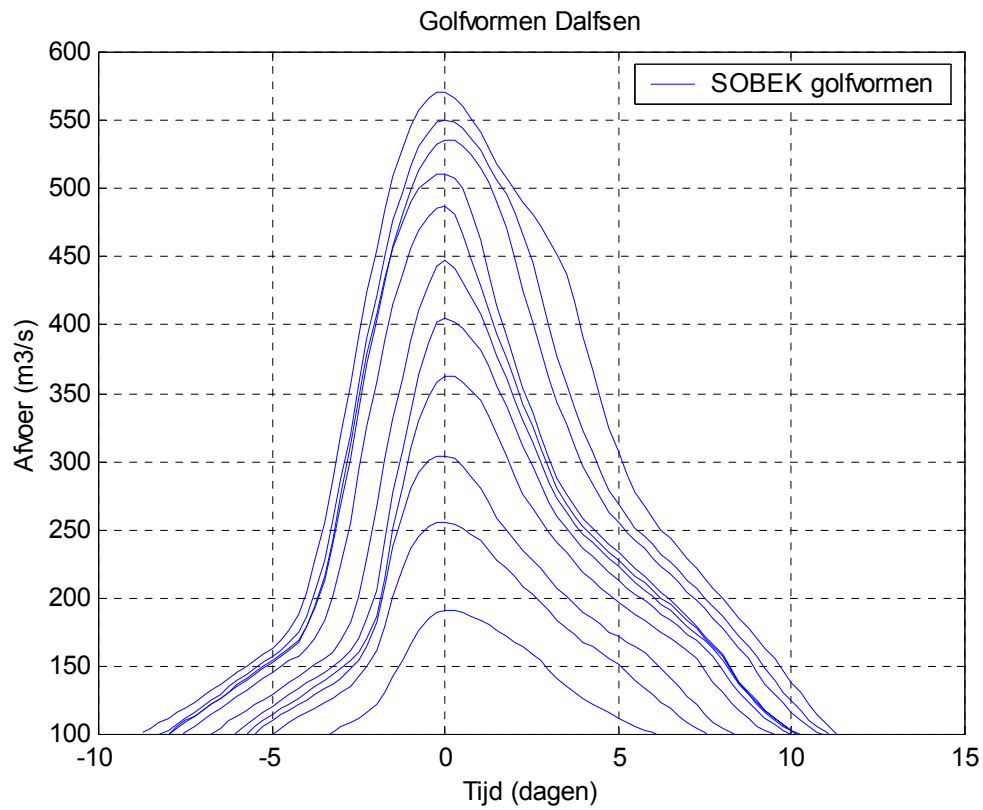
Figuur 4-15: Gefitte werklijn voor Dalfsen met vaste punten door topafvoer $q = [150, 400, 550, 575] \text{ m}^3/\text{s}$ en terugkeertijd $T = [1, 50, 1250, 10000] \text{ jaar}$.

Uiteindelijk is conform de aanpak in hoofdstuk 3 besloten alleen de topafvoer bij een terugkeertijd gelijk aan 1250 jaar vast te leggen op $540 \text{ m}^3/\text{s}$ (maatgevende afvoer). Dit resulteert in de werklijn zoals beschreven in hoofdstuk 3, welke hier is uitgebreid naar afvoerniveau bij herhalingstijden lager dan 50 jaar:

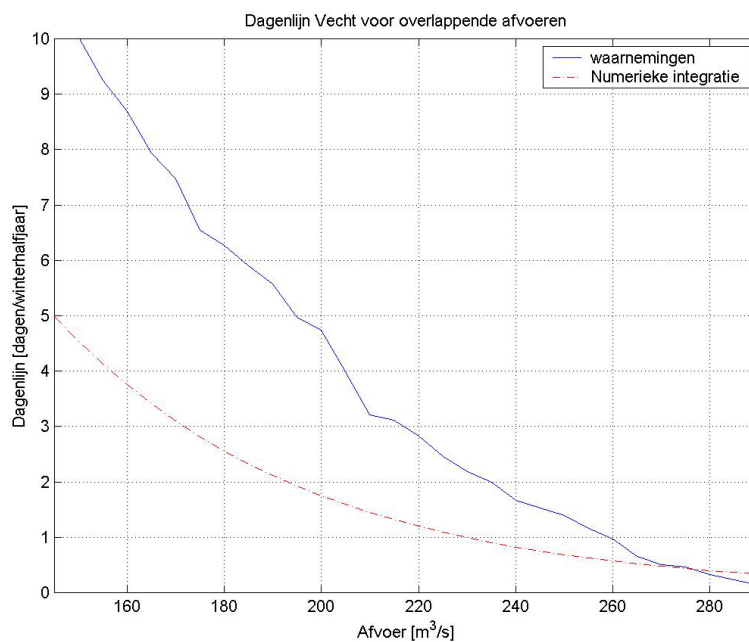
$$q(T) = \begin{cases} 69.69 \ln(T) + 143.17 & T \leq 50 \\ 38.59 \ln(T) + 264.84 & 50 \leq T \leq 1250 \\ 14.83 \ln(T) + 434.28 & 1250 \leq T \leq 10000 \end{cases} \quad [4-4]$$

4.5 De standaardgolfvormen

In eerste instantie zijn alle golfvormen overgenomen uit de Sobek-berekeningen zoals beschreven in hoofdstuk 3. Deze zijn weergegeven in Figuur 4-16. In Figuur 4-17 wordt de dagenlijn zoals die volgt uit de metingen vergeleken met de dagenlijn die volgt uit numerieke integratie van de in Figuur 4-16 weergegeven afvoergolven. De numerieke integratie heeft plaatsgevonden volgens formule 4-2. Uit de figuur blijkt dat het verschil tussen de twee dagenlijnen groot is.



Figuur 4-16: Golfvormen voor Dalfsen op basis van SOBEK-berekeningen.

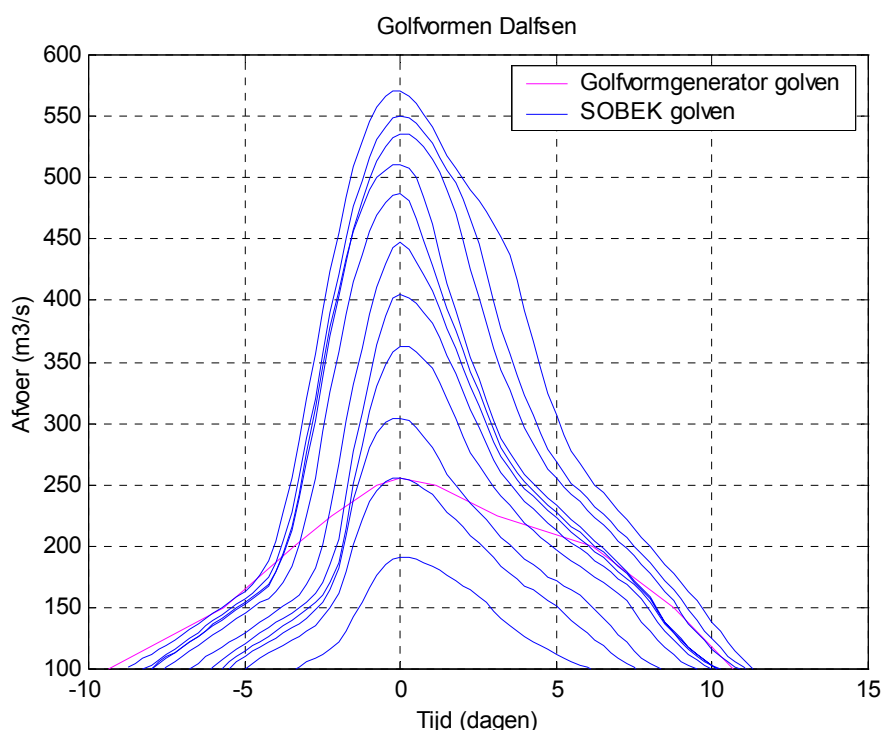


Figuur 4-17 Dagenlijn Dalfsen voor de overlappende afvoeren.

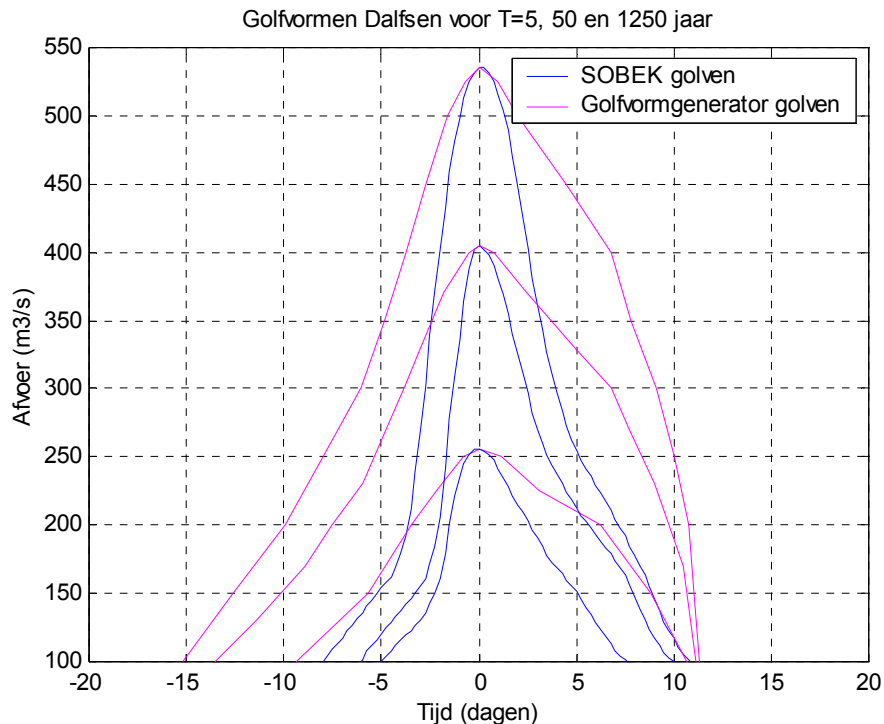
Onderzocht is of dit verschil kan worden verkleind door de afvoergolven voor terugkeertijden kleiner dan 50 jaar te bepalen op basis van de metingen bij Vechterweerd in plaats van op de met Sobek berekende afvoergolven. Hiervoor is de volgende selectie uit deze metingen gemaakt:

- Selecteer alle afvoeren groter of gelijk aan $100 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Bepaal uit deze selectie vervolgens die meetreeksen die langer duren dan 10 dagen en waarvoor de maximaal gemeten afvoer in deze periode groter of gelijk is dan $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deze 'afvoergolven' zijn gebruikt als invoer voor de golfvormgenerator. Figuur 4-18 laat op vergelijkbare wijze als Figuur 4-17 zien dat er een groot verschil bestaat tussen de met Sobek berekende golven en de golven direct gegenereerd uit de metingen. Om dit verschil nog duidelijker te illustreren, zijn met behulp van de golfvormgenerator drie golfvormen afgeleid, voor $T = 5, 50$ en 1250 jaar, welke zijn vergeleken met de Sobek-golfvormen in Figuur 4-19. Op basis van Figuur 4-19 kan geconcludeerd worden dat er een groot verschil zit tussen de Sobek resultaten en de metingen bij Vechterweerd.



Figuur 4-18: Illustratie van het verschil tussen SOBEK golfvormen en een golfvorm op basis van metingen bij Vechterweerd.



Figuur 4-19 Vergelijking van 3 golfvormen voor Dalfsen op basis van SOBEK en de metingen bij Vechterweerd.

Voor de verschillen tussen de golfvormen met Sobek berekend in Vechterweerd en direct gegenereerd vanuit de metingen gelden de volgende mogelijke oorzaken:

- In de Sobek-berekeningen is gerekend met een constant faseverschil van 32 uur tussen de zijleidingen en Emlichheim. In werkelijkheid zit rondom deze gemiddelde constante faseverschillen een spreiding. Wanneer deze spreiding meegenomen zou worden, zal de met Sobek berekende afvoergolf naar verwachting lager en breder worden. Een dergelijke exercitie ligt buiten het bereik van dit onderzoek. Overigens zal naar verwachting hiermee het probleem niet opgelost zijn, omdat zoals geconstateerd in hoofdstuk 4 de invloed van de faseverschillen op de afvoergolf in Dalfsen beperkt zijn.
- De afvoergolven in Emlichheim en van de zijleidingen zijn lineair opgeschaald met behulp van de golfgenerator. Mogelijk wordt de resulterende afvoergolf in Vechterweerd daardoor spitsiger dan wanneer de gemeten afvoergolven in Vechterweerd zelf wordt opgeschaald.
- Verschillen tussen de hoeveelheid meetgegevens en de kwaliteit daarvan van Vechterweerd enerzijds en Emlichheim en de zijleidingen anderzijds.

4.6 De dagenlijn

Op basis van de golfvormen en de werklijn kan de dagenlijn bepaald worden. Ten tijde van verschijnen van dit rapport is echter nog niet duidelijk welke golfvormen daarvoor dienen te worden gebruikt. Dit in verband met het geconstateerde in voorgaande paragraaf.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Werklijn en maatgevend afvoer

In dit onderzoek is de werklijn voor de afvoer van de Vecht in Dalfsen voorlopig als volgt vastgesteld:

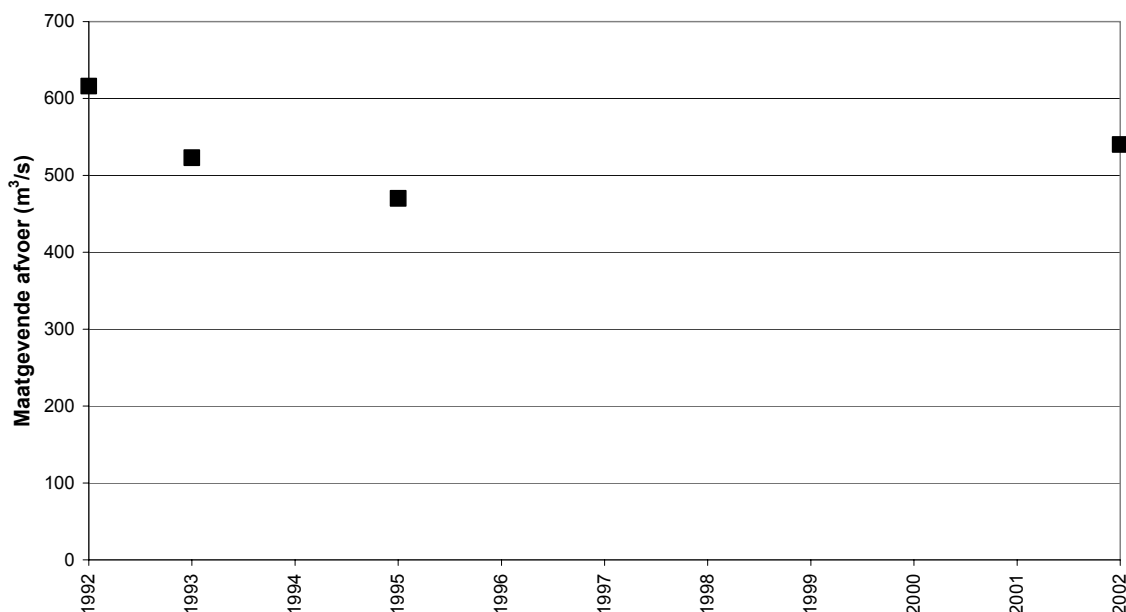
$$q(T) = \begin{cases} 69.69 \ln(T) + 143.17 & T \leq 50 \\ 38.59 \ln(T) + 264.84 & 50 \leq T \leq 1250 \\ 14.83 \ln(T) + 434.28 & 1250 \leq T \leq 10000 \end{cases}$$

De hieruit volgende maatgevende afvoer (met een herhalingsijd van 1250 jaar) is 540 m³/s.

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de berekende waarden van de maatgevende afvoer sinds 1992. Het verloop van de berekende waarde van de maatgevende afvoer in de tijd is tevens weergegeven in Figuur 5-1.

	1992 (Janssens)	1993 (Janssens)	1995 (Chbab)	2002
meetgegevens:				
Emlichheim	1961-1989	-	-	1960-2000
Zijleidingen	1968-1990	-	-	1972-2000
Vechterweerd	-	1960-1983	1960-1983	-
Statistische verdelingen	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel
			Normaal	
	Pearson III		Log-Normaal	Log-Normaal
			Pearson III	Pearson III
			Raleigh	Raleigh
		Exponentieel	Exponentieel	
		Pareto	Pareto	
	GEV	GEV		
fysisch maxima (m³/s):				
Emlichheim	350 (2 l/s/ha Duits stroomgebied)			320
Regge	121			121
Afwateringskanaal	115			115
Ommerkanaal	28			28
Radewijkerbeek	19			20
Mariënberg-Vechtkanaal	9			10
faseverschil (uren)				
Emlichheim-zijleidingen	36			32
gebruikte model	Zwendl			Sobek
maatgevende afvoer (m³/s)	616	523	470	540

Tabel 5-1: De berekende waarde van de maatgevende afvoer sinds 1992.



Figuur 5-1 Verloop van de berekende waarde van de maatgevende afvoer van de Vecht in Vechterweerd/Dalfsen.

De verklaring voor het verschil van de thans berekende waarde voor de maatgevende afvoeren met voorgaande onderzoeken moet in de volgende factoren worden gezocht:

Verskil met Janssens (1992):

- In Janssens (1992) is een hoger fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim gebruikt. Dit verklaart maximaal 30 m³/s van het verschil met de thans berekende waarde van de maatgevende afvoer.
- In Janssens is een kortere periode meetgegevens beschikbaar. Een aantal hoogwaters in de 90-er jaren ontbreekt. Wanneer Janssens gebruik zou hebben kunnen maken van dezelfde meetreeks als in voorliggend onderzoek is gebruikt, zou de door hem berekende maatgevende afvoer naar verwachting nog hoger zijn geweest dan 616 m³/s.
- De door Janssens gebruikte golfvormen van Emlichheim en de zijleidingen zijn, met uitzondering van de Regge, breder dan in voorliggend onderzoek. De oorzaak hiervan is dat de lengte van de beschikbare meetreeksen korter is en een andere opschalingsmethode van gemeten afvoergolven is toegepast dan in voorliggend onderzoek. De door hem berekende maatgevende afvoer zal daardoor hoger zijn dan hier berekend (minder golfdemping).
- Door Janssens is een Zwendl model van de Vecht gebruikt. In dit model is minder bergende breedte verdisconteerd dan in het Sobek-model. Het Zwendl-model zal daardoor bij gelijke randvoorwaarden een hogere maatgevende afvoer in Vechterweerd/Dalfsen berekenen.

Kort samengevat ligt de oorzaak van het verschil tussen de door Janssens en in voorliggend onderzoek berekende waarde van de maatgevende afvoer in de gebruikte randvoorwaarden en het gebruikte model. In welke mate deze twee factoren het verschil in maatgevende afvoer verklaren kan desgewenst worden geanalyseerd door de door Janssens gebruikte randvoorwaarden op te leggen aan het Sobek-model of de in voorliggend onderzoek gebruikte randvoorwaarden op te leggen aan het Zwendl-model.

Verschil met Janssens (1993) en Chbab (1995):

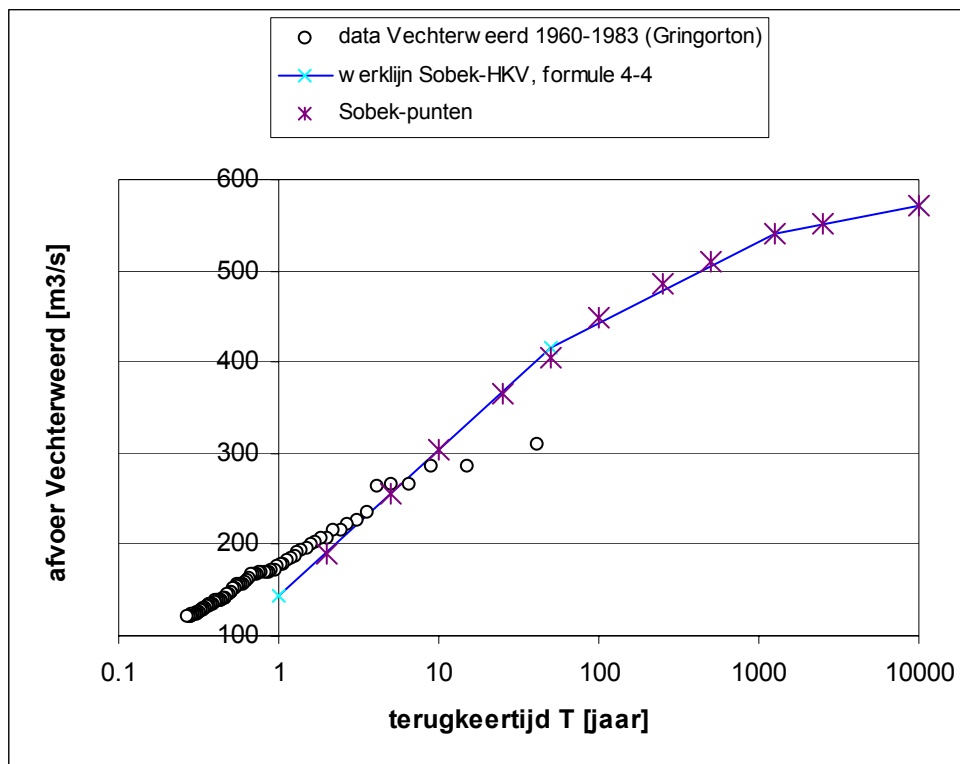
In Janssens (1993) en Chbab (1995) is direct statistiek toegepast op de afvoergegevens van Vechterweerd. Deze afvoergegevens zijn verkregen door waterstandmetingen naar afvoeren te vertalen met behulp van een met het Zwendl-model berekende Q-h relatie voor Vechterweerd. (De verschillen tussen de door Janssens en Chbab berekende waarden van de maatgevende afvoer worden overigens voornamelijk verklaard door de verschillende gebruikte statistische verdelingen.) De aldus verkregen afvoergegevens van Vechterweerd beslaan de periode 1960-1983. Deze reeks bevat wel de droge 70-er jaren en niet de natte 90-er jaren (met belangrijke hoogwaters op de Vecht in 1993, 1995 en 1998). Dat deze hoogwaters wel zijn verdisconteerd in de berekende maatgevende afvoer in voorliggend onderzoek is naar verwachting een belangrijke verklaring voor het geconstateerde verschil met de maatgevende afvoer volgens Janssens en Chbab.

5.2 Afvoerstatistiek

De complete afvoerstatistiek van de Vecht in Dalfsen, bestaande uit de werklijn, de golfvormen en de dagenlijn kan niet definitief worden afgeleid vanwege een groot geconstateerd verschil tussen de resultaten berekend met behulp van het Sobek-model van de Vecht (met daaraan opgelegd de randvoorwaarden volgens deelrapport 6) en de resultaten direct berekend uit de meetgegevens van Vechterweerd. De geconstateerde verschillen zijn als volgt:

Werklijn:

De met Sobek berekende werklijn verloopt steiler dan de werklijn direct volgend uit de metingen. Ten behoeve van het overzicht is de betreffende figuur hier nogmaals opgenomen.



Figuur 5-2: Werklijn voor Dalfsen op basis van de metingen en Sobek berekeningen.

Het resultaat is dat de maatgevende afvoer op basis van de met Sobek berekende werklijn hoger is dan zou volgen uit de werklijn op basis van de metingen. Hierover kan het volgende worden gezegd:

- Een belangrijke verklaring voor dit verschijnsel is naar verwachting het verschil tussen de gebruikte basisgegevens. De werklijn op basis van de metingen is gebaseerd op de metingen uit de periode 1960-1983, waarin wel de droge jaren zeventig en niet de natte jaren negentig (met belangrijke hoogwaters op de Vecht in 1993, 1995 en 1998). Deze werklijn zal daardoor een ander (waarschijnlijk lager) verloop hebben dan de werklijn op basis van de Sobek berekeningen met randvoorwaarden volgend uit metingen over de periode tot en met 1999.
- In het lagere afvoerbereik speelt de variatie in de faseverschillen tussen Emlichheim en (tussen) de zijleidingen een rol ten aanzien van de resulterende piekafvoeren benedenstrooms (Dalfsen/Vechterweerd). Deze variatie is impliciet aanwezig in de gemeten afvoeren van Vechterweerd. In de met Sobek berekende afvoeren in Dalfsen is deze variatie niet aanwezig, voor het hele afvoerbereik is gebruikt gemaakt van een faseverschil van 32 uur tussen Emlichheim en de zijleidingen. Voor het hoge afvoerbereik is dit niet bezwaarlijk, zoals is aangetoond door een gevoeligheidsanalyse voor het maatgevende afvoerniveau. In het lage afvoerbereik zou het gebruik van een constant faseverschil van 32 kunnen leiden tot te hoge berekende piekafvoeren. Dit blijkt echter niet onomstotelijk uit een vergelijking met de metingen in Vechterweerd zoals gepresenteerd in Figuur 5-2. Voor herhalingstijden lager dan 5 jaar is de werklijn op basis van de Sobek-berekeningen lager dan op basis van de metingen. Voor hogere herhalingstijden ligt de werklijn op basis van de Sobek-berekeningen inderdaad wel hoger, maar is het aantal waarnemingen zeer beperkt en hier speelt vooral ook de afwezigheid van de hoogwaters van de 90-er jaren in de gemeten afvoerreeks een grote rol. Kort samengevat is er geen bewijs dat het gebruik van een constant faseverschil de verklaring is voor het verschil tussen de werklijn op basis van de metingen en op basis van de Sobek-berekeningen.
- In de Sobek berekeningen is uitgegaan van volledige afhankelijkheid van de Vecht in Emlichheim en de zijleidingen, oftewel: een afvoergolf met een herhalingstijd in Dalfsen wordt veroorzaakt door afvoergolven in Emlichheim en de zijleidingen met dezelfde herhalingstijd. Hoe extremer het afvoerniveau, hoe waarschijnlijker dit wordt. Voor het lagere afvoerniveau leidt dit echter naar verwachting tot een overschatting van de piekafvoeren. Dit kan echter niet op basis van Figuur 5-2 worden bewezen, gezien het zeer geringe aantal waarnemingen in het bereik waar de werklijn berekend met Sobek inderdaad boven de werklijn op basis van de metingen ligt. Bovendien wordt opnieuw opgemerkt dat de metingen niet beschikbaar zijn voor de periode na 1983, wat als een belangrijke potentiële oorzaak wordt gezien van de lagere ligging van de werklijn ten opzichte van de werklijn op basis van de Sobek-berekeningen in het hoge afvoerbereik.
- De werklijn op basis van de Sobek-berekeningen heeft onzekerheden in zich als gevolg van onzekerheden in de modelschematisatie (bijvoorbeeld onderscheid stroomvoering/stroomberging) en de gebruikte, in deelrapport 6 afgeleide, randvoorwaarden (bijvoorbeeld het ontbreken van circa 10% van de afvoer in de randvoorwaarden en de verwachting dat de afvoeren van het afwateringskanaal lager zijn dan nu wordt verondersteld). Dit leidt tot een zeker (onbekend) verschil met de werklijn op basis van de metingen in Vechterweerd.
- De gemeten afvoerreeks van Vechterweerd vertoont een (lichte) inhomogeniteit, met name na 1970 komt steeds minder neerslag tot afstroming. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat de bodemdaling van de Vecht niet is verdisconteerd in de gehanteerde Q-h relatie van Vechterweerd. Deze inhomogeniteit leidt tot te lage piekafvoeren en te lage ligging van de werklijn.

Golfvormen en dagenlijn:

Geconstateerd is dat de met Sobek berekende golfvormen in Dalfsen spitsers zijn dan de golfvormen op basis van de metingen in Vechterweerd. De dagenlijn op basis van de Sobek berekeningen komt daardoor ook niet overeen met de metingen. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn:

- Het negeren van de variatie in de faseverschillen tussen Emlichheim en de zijleidingen in de Sobek berekeningen. Op basis van een vergelijking van de werklijn op basis van de Sobek-berekeningen en de metingen kon geen bewijs worden verkregen dat dit een belangrijke rol speelt ten aanzien van de piekafvoeren. Dit betekent niet dat bewezen is dat dit geen effect kan hebben (op de golfvormen).
- Verder gelden dezelfde mogelijke verklaringen als hierboven omschreven bij de werklijn.

5.3 Aanbevelingen

Vanwege de zeer korte lengte van de beschikbare meetreeks van Vechterweerd, die bovendien een lichte inhomogeniteit vertoont, wordt afgeraden de maatgevende afvoer en afvoerstatistiek alleen op basis hiervan af te leiden.

Om tot definitieve vaststelling van de maatgevende afvoer en afvoerstatistiek van de Vecht in Dalfsen te komen, wordt aanbevolen als eerste stap de reeks van gemeten afvoeren in Vechterweerd in de periode 1960-1983 uit te breiden tot de periode 1960-2000 door de ontbrekende hoogwaters in de periode 1983-2000 te berekenen met behulp van de gemeten randvoorwaarden en het Sobek-model van de Vecht. Door vervolgens de werklijn opnieuw op basis van deze metingen (die dan deels synthetisch zijn) af te leiden zal duidelijk worden of de beperkte lengte van de huidige meetreeks in Vechterweerd een verklaring is voor de geconstateerde verschillen met de werklijn en afvoerstatistiek op basis van de Sobek berekeningen. Afhankelijk van het resultaat van deze analyse kan de maatgevende afvoer en afvoerstatistiek definitief worden vastgesteld, of zal aanvullend onderzoek nodig zijn.

Het bepalen van de maatgevende afvoer met een herhalingsijd van 1250 jaar op basis van een meetreeks van de periode 1960 tot maximaal 2000 leidt ten alle tijde tot een grote onzekerheid in de berekende waarde. Deze kan mogelijk worden verminderd door gebruik te maken van een neerslag-afvoer model van de Vecht en de neerslaggegevens van het stroomgebied van de afgelopen honderd jaar (zo die beschikbaar zijn). Er is dan ook geen sprake meer van inhomogeniteiten in de afvoergegevens op basis waarvan de werklijn en afvoerstatistiek wordt afgeleid. Door vervolgens eventueel de neerslaggenerator, ontwikkeld door het KNMI in opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA voor het Rijn- en Maasstroomgebied, toe te passen op het stroomgebied van de Vecht kan aanvullende informatie worden verkregen ten aanzien van de onzekerheid in de berekende waarde van de maatgevende afvoer. De resultaten er van kunnen ook belangrijke inzichten bieden voor de stroomgebieden van de Maas en de Rijn. Deze geschetste aanpak wordt dan ook aanbevolen.

6 Referenties

Chbab E.H. Frequentieanalyse Vechtafvoer te Vechterweerd. Rijkswaterstaat/RIZA, Lelystad.
Werkdocument 95.131X. September 1995.

Janssens M.H.M. Frequentieonderzoek afvoer Overijsselse Vecht. Deel 2 Vecht en Zwarte Water.
Rijkswaterstaat/RIZA, Lelystad. Nota nr. 92.011. Februari 1992.

Janssens M.H.M. Onderzoek naar kansen op dagafvoeren van de Vecht en het Zwartewater.
Rijkswaterstaat/RIZA, Lelystad. Werkdocument 92.134X. Februari 1993.

HKV LIJN IN WATER . Applicatie Standaard Afvoergolven Maas en Rijn. September 1999.

HKV LIJN IN WATER. Berekeningen waterstanden Sallandse Weteringen. In opdracht van Waterschap
Groot Salland en Rijkswaterstaat/RIZA. Januari 1999.

HKV LIJN IN WATER. SOBEK-River model Overijsselsche Vecht. In opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA.
Mei, 2001.

HKV LIJN IN WATER. Uitbreiding afvoerstatistiek. Borgharen, Lith, Lobith en Olst. In opdracht van
Rijkswaterstaat/RIZA. December, 2001.

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Tienjarig overzicht. Presentatie van afvoeren, waterstanden,
golven en kustmetingen, 1982-1990. 1994.

Rijkswaterstaat RIZA, WSH. Meerwerk Maatgevende afvoer en de afvoerstatistiek bij Dalfsen. Plan
van uitbesteding. Mei 2001

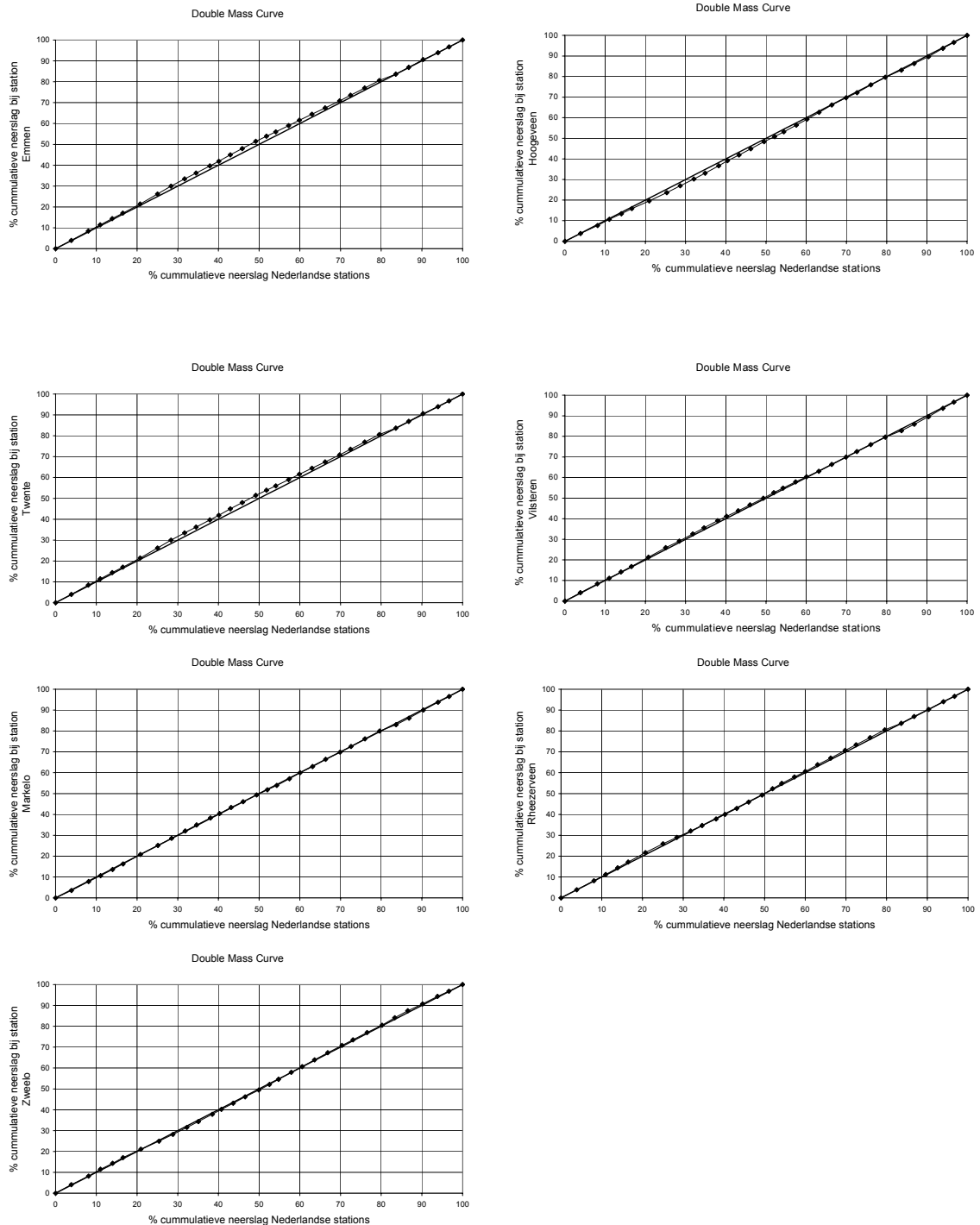
WL|Delft Hydraulics. Bepaling van de 1/1250 jaar afvoer bij Dalfsen voor de Overijsselse Vecht.
Deelrapport 6: Statistische extrapolatie en vorm afvoergolven bij Emlichheim en voor de
zijdelingse toevoeren. Mei 2001.

Bijlagen

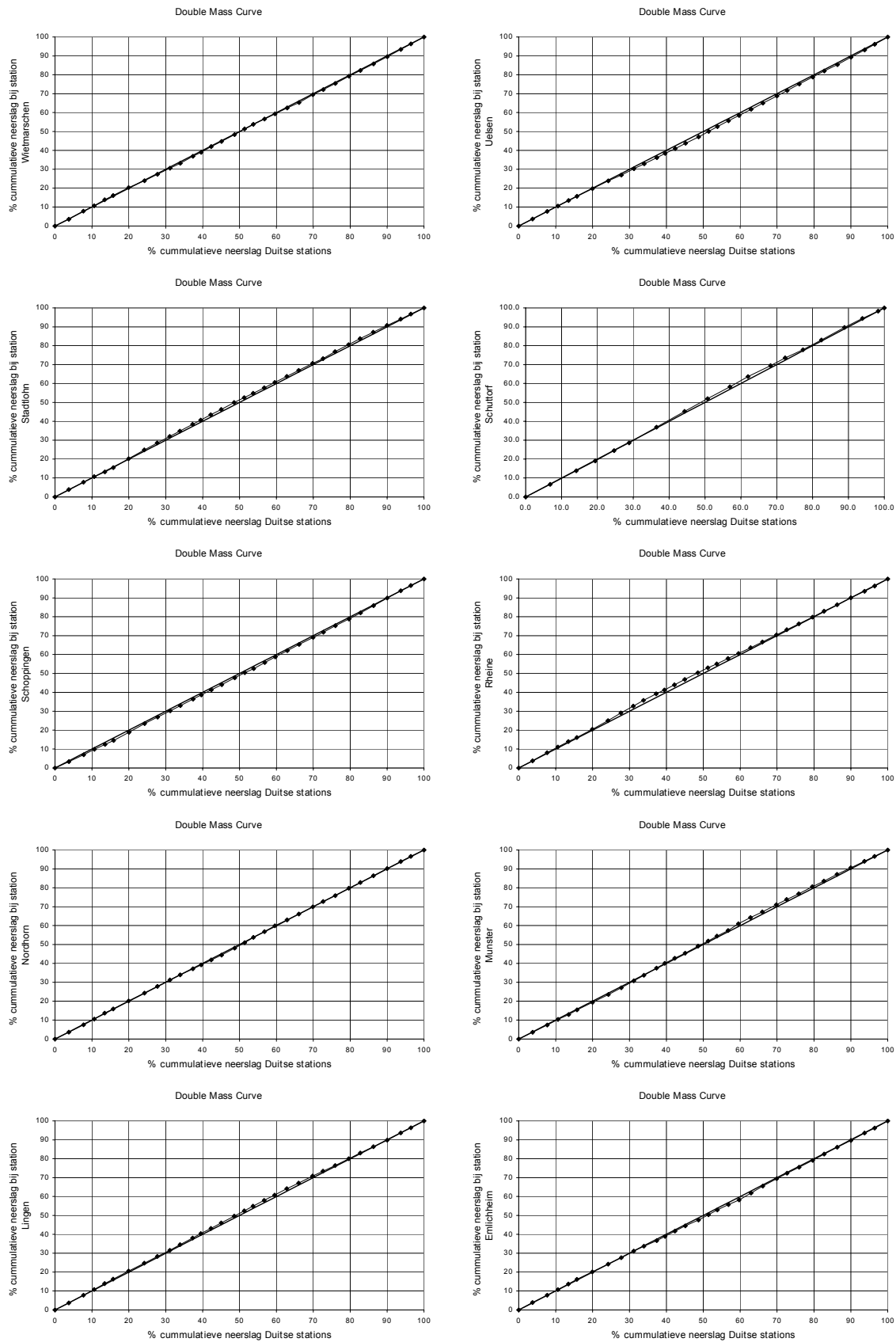
Bijlage A

Double Mass Curves van de neerslagstations in het stroomgebied van de Overijsselse Vecht

Met behulp van de Double Mass curve is de homogeniteit van de neerslagstations in het stroomgebied van de Vecht bepaald. De curves van de stations welke niet homogeen waren, zijn hier weergegeven.



Figuur A-1 Double Mass curves van de Nederlandse neerslagstations



Figuur A-2 Double Mass curves van de Duitse neerslagstations

Bijlage B: Maatgevende afvoer en golfvorm in Dalfsen direct volgend uit deelrapport 6 en de eerdere aannames van Janssens

B1: Inleiding

In deze bijlage wordt beschreven wat de werklijn en de vorm van de afvoergolven in Dalfsen zou zijn wanneer direct wordt aangesloten bij het resultaat van deelrapport 6 en de eerdere aannames van Chab en Janssens. Deze aannames zijn de volgende:

- Het fysisch maximum van de Vecht in Emlichheim bedraagt $350 \text{ m}^3/\text{s}$.
- De zijleidingen zijn volledig afhankelijk, wat betekent dat een afvoergolf met een herhalingstijd van x jaar wordt veroorzaakt door afvoergolven in Emlichheim en op de zijleidingen van dezelfde x jaar.
- De piek van de afvoergolf in Emlichheim valt 36 uur later dan de pieken van de zijleidingen in Nederland.

Verder wordt onderscheid gemaakt naar een variant zonder en met nalevering van de Regge.

B2: De afvoergolf bij Dalfsen, zonder nalevering Regge

De afvoergolven van Deelrapport 6 beginnen en eindigen bij een vrij hoog niveau. De hydraulische berekeningen worden vergemakkelijkt als de afvoergolven bekend zijn op het moment dat de uiterwaarden gaan overstromen. Bij Dalfsen is dit bij een afvoer van ongeveer $100 \text{ m}^3/\text{s}$. De bestaande afvoergolven worden verlengd om tot een afvoer van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ te komen.

Om er zeker van te zijn dat de afvoergolf bij Dalfsen de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ onderschrijdt, worden de afvoeren bij de zijleidingen bepaald waarbij de maximale afvoer bij Dalfsen gelijk is aan $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Met behulp van de verhoudingen van de invloeden van de verschillende zijleidingen op het niveau bij Dalfsen worden deze afvoeren bepaald. In Tabel 6-1 staan de afvoeren bij de zijleidingen die met deze methode zijn bepaald. Deze waarden zijn gebruikt als indicatie bij het bepalen van de minimale drempelwaarde.

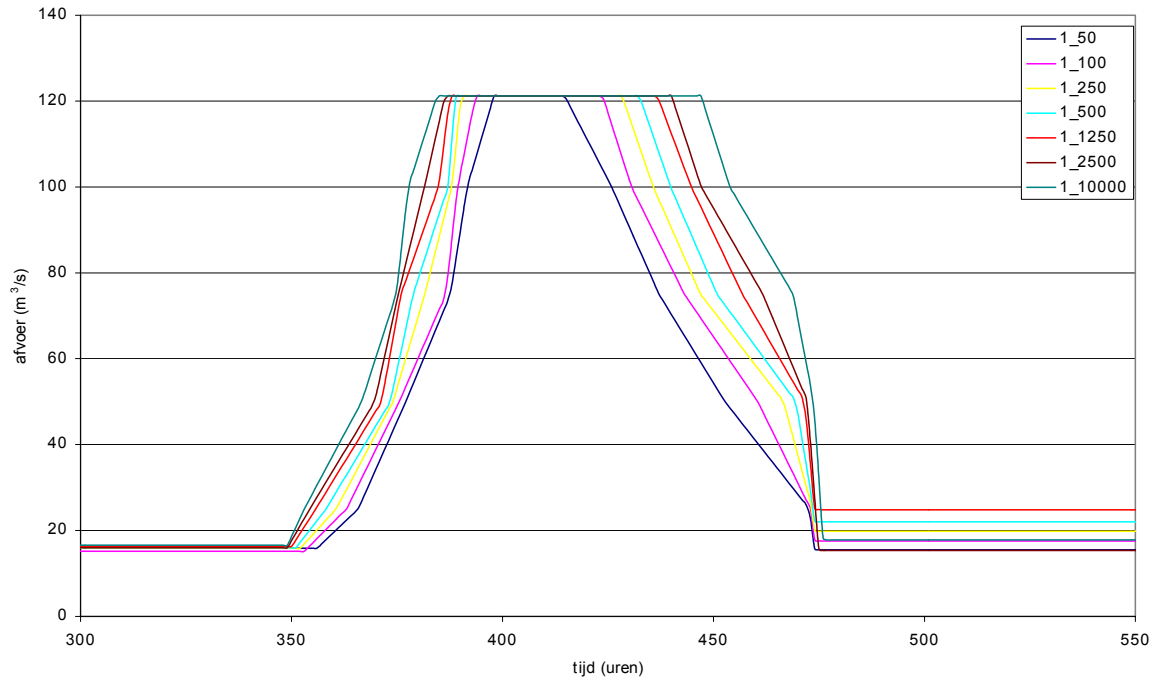
	Emlichheim	Afwateringskanaal	Radewijkerbeek	Ommerkanaal	Regge
percentage van de afvoer	43	24	3	5	25
afvoer (m^3/s)	32	18	2	4	19

Tabel 6-1 Afvoer bepaald per zijleiding bij een afvoer van $75 \text{ m}^3/\text{s}$, indicatief

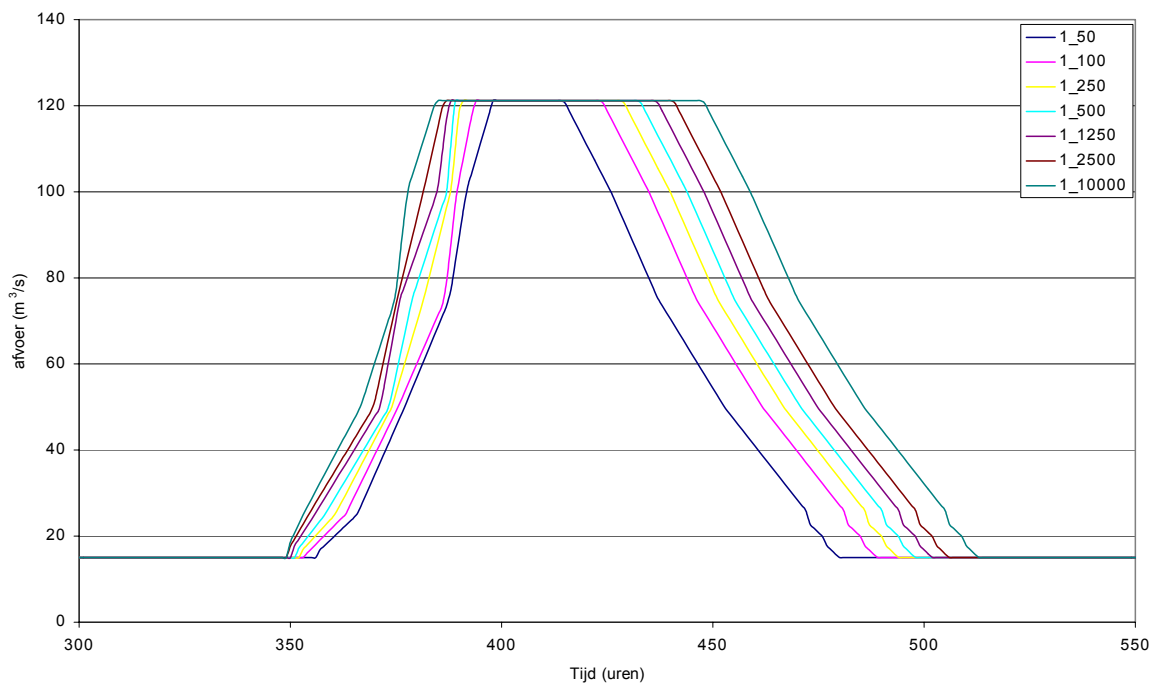
De nieuwe afvoergolven komen overeen met de afvoergolven van deelrapport 6, maar hebben een groter bereik. In de staart van de hogere afvoergolven ontstaat echter een verticale wand, deze wordt veroorzaakt door de beperkte lengte van de gemeten reeksen. Bij het gebruik van een langere gemeten reeks wordt de basis van de golf onwaarschijnlijk breed. Dit is in deelrapport 6 derhalve achterwege gelaten. In Figuur 6-1 is de verticale wand bij de afvoer van de Regge te zien. Het "verticale wandje" komt nauwelijks voor bij een afvoer met een herhalingstijd van 50 jaar. Voor de val van de hogere afvoergolven wordt gebruik gemaakt van de val berekend voor de 1/50 jaar afvoergolf. De golven zijn afgetopt bij het bereiken van het fysisch maximum. Op het moment dat na het fysisch maximum de val wordt ingezet, wordt de val van de reeks vervangen door de val bij

de 1/50 jaar afvoergolf. Voor alle herhalingstijden wordt de val van de 1/50 jaar afvoergolf gebruikt. In Figuur 6-2 staat het resultaat na het vervangen van de verticale wanden in de afvoergolven.

De golven hebben een start- en eindwaarde die gelijk is aan de gebruikte laagste drempelwaarde in de golfgenerator, zie Tabel 6-2.



Figuur 6-1 De verticale wand in de verlengde afvoergolven, Regge



Figuur 6-2 De afvoergolven van de Regge met gecorrigeerd verloop van de val

De afgeleide afvoergolven bij Emlichheim, Afwateringskanaal, Radewijkerbeek, Ommerkanaal en Regge (zonder nalevering) worden gebruikt als input voor het SOBEK model. Voor het Mariënborg-Vechtkanaal is geen afvoergolf afgeleid als gevolg van het ontbreken van een meetpunt. Voor Mariënborg is aangenomen dat deze zijleiding tijdens extreme hoogwaters constant een afvoer loost op de Vecht die gelijk is aan het fysisch maximum, 10 m³/s, zie ook deelrapport 6. Alle overige zijleidingen die op de Vecht uitkomen zijn ingesteld op een constante afvoer van 0 m³/s.

Zijleiding	drempelwaarde (m ³ /s)
Afwateringskanaal	15
Emlichheim	25
Radewijkerbeek	0.4
Ommerkanaal	0.06
Regge	15

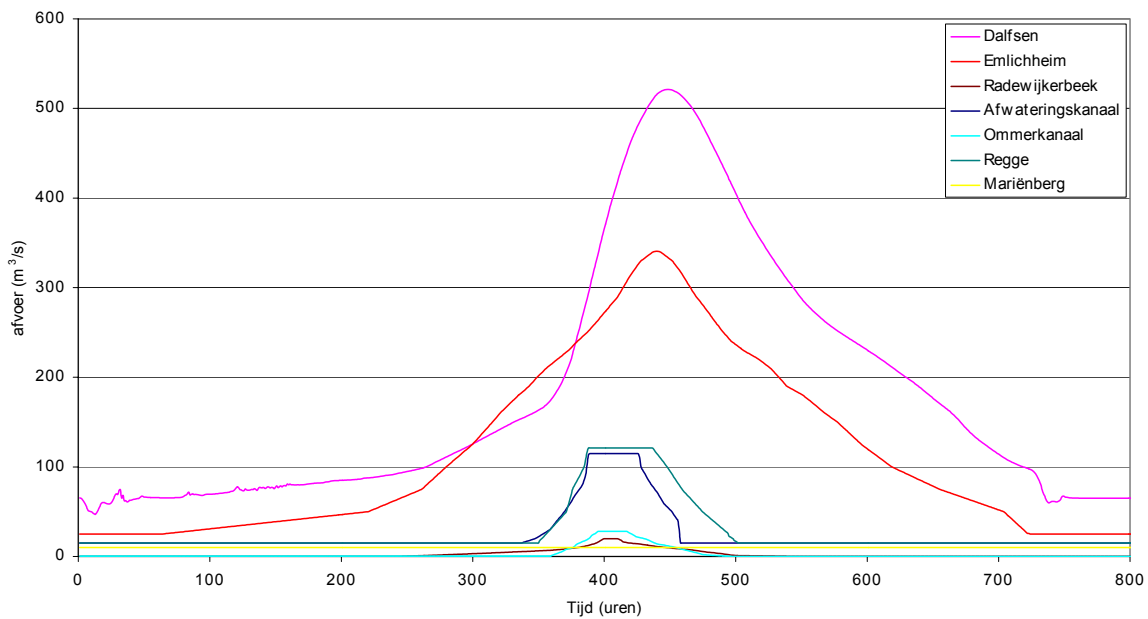
Tabel 6-2 *Drempelwaarden bij de zijleidingen*

In Figuur 6-3 wordt de hoogwatergolf bij Dalfsen voor een herhalingstijd van eens in de 1250 jaar samen met de golven bij de zijleidingen weergegeven. In deze figuur is te zien dat de afvoergolf 36 uur later aankomt in Emlichheim dan in de andere zijleidingen, verder is het aftoppen als gevolg van het bereiken van het fysisch maximum zichtbaar. In Bijlage B3 zijn de afvoergolven voor Dalfsen en de zijleidingen weergegeven voor alle herhalingstijden.

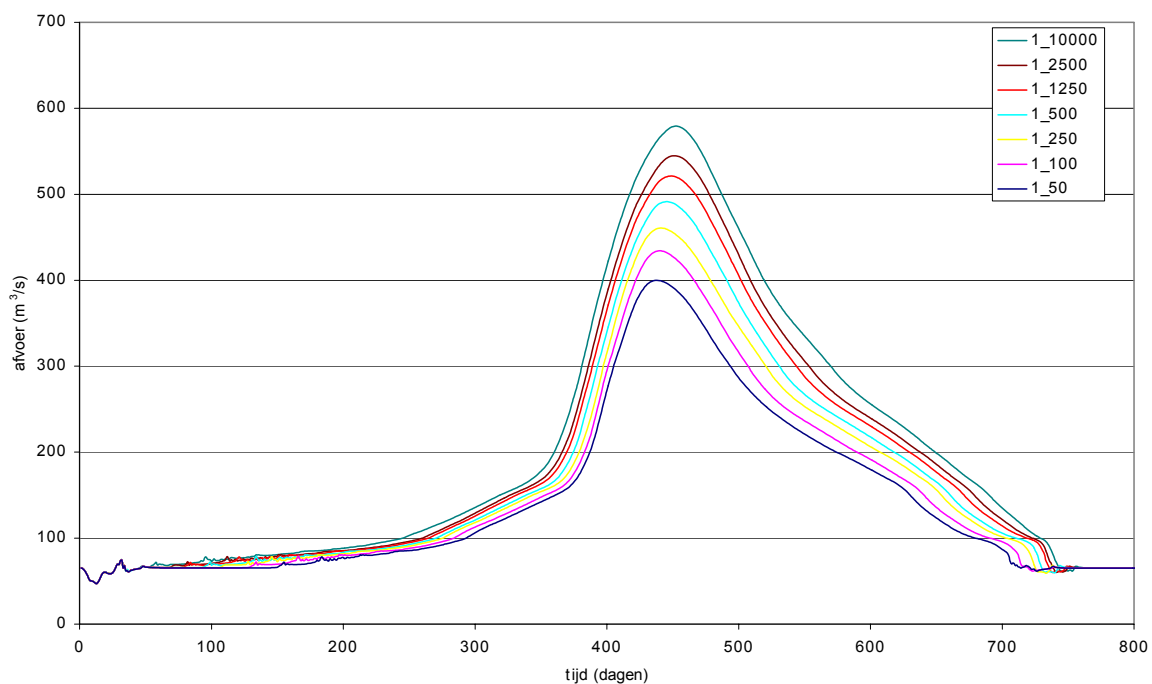
In Figuur 6-4 worden de afvoergolven bij Dalfsen voor de verschillende herhalingstijden weergegeven. De maximale afvoer bij Dalfsen voor de verschillende herhalingstijden is weergegeven in Tabel 6-3.

Herhalingstijd (jaar)	Maatgevende afvoer (m ³ /s)
50	400
100	434
250	460
500	491
1250	521
2500	544
10000	579

Tabel 6-3 *Maatgevende afvoer bij Dalfsen*



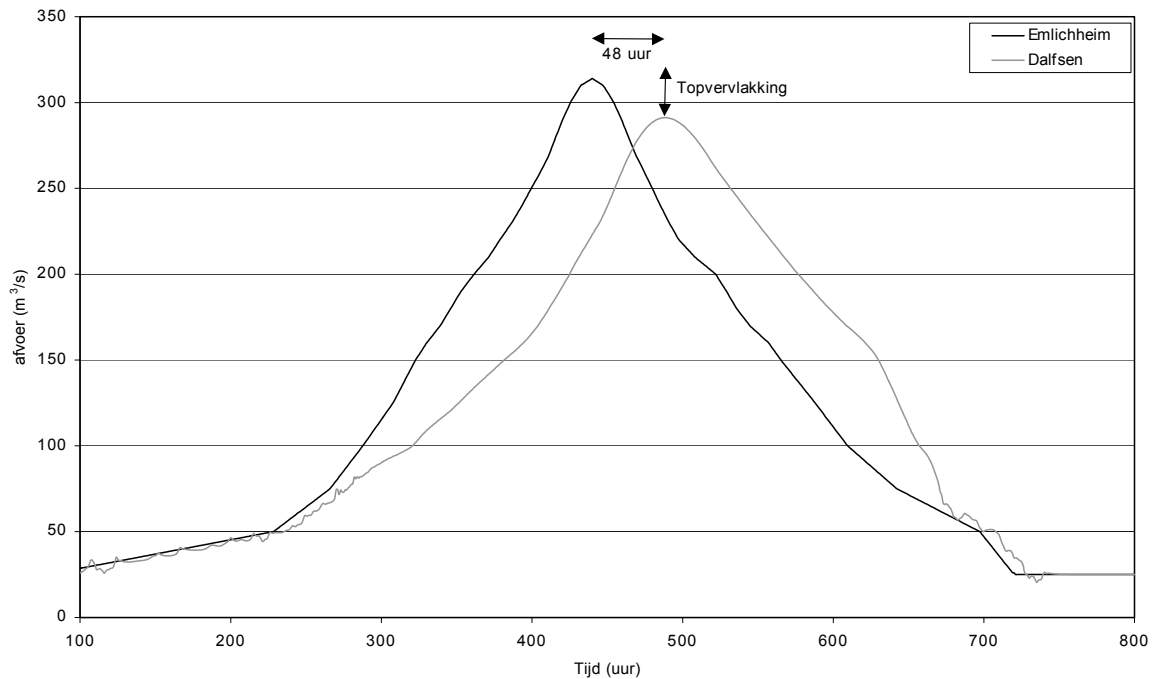
Figuur 6-3 Maatgevende afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar



Figuur 6-4 Afvoergolven bij Dalfsen voor verschillende herhalingsjaren

Bij een herhalingsjaar van 1250 jaar is de maatgevende afvoer bij Dalfsen 521 m³/s. De som van de maximale afvoeren van de zijleidingen is 634 m³/s. Door de looptijd van de golven en de topvervlakking is de maatgevende afvoer niet gelijk aan de som van de maximale afvoeren van de zijleidingen. In Figuur 6-5 is de afvoergolf in Dalfsen weergegeven, waarbij alle zijleidingen een afvoer hebben van 0 m³/s, met uitzondering van Emlichheim. De herhalingsjaar is 500 jaar. In dit

figuur is de looptijd van de afvoergolf van Emlichheim naar Dalfsen te zien. De looptijd van deze golf is twee dagen (48 uur). Verder is ook te zien dat de top vervlakt.



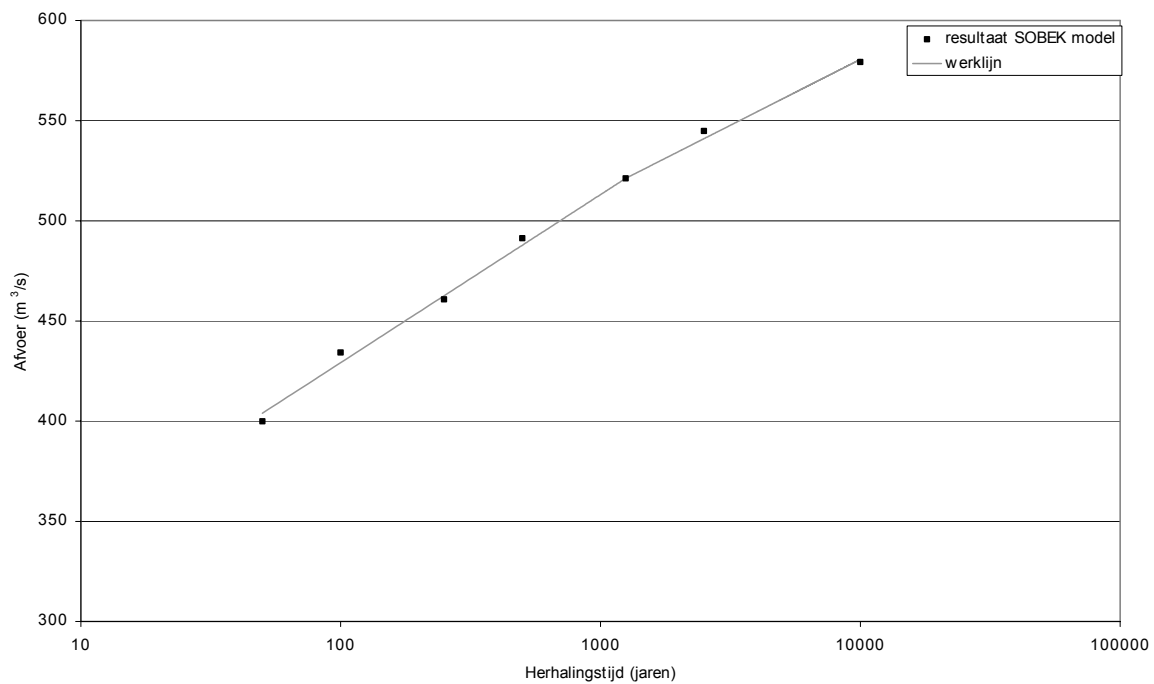
Figuur 6-5 De looptijd van de afvoergolf van Emlichheim naar Dalfsen, 1/500

Met deze maximale afvoeren bij de verschillende herhalingstijden wordt de werklijn bij Dalfsen bepaald. Er wordt gekozen voor een samengestelde werklijn, hierdoor geeft de lijn nauwkeuriger de maximale afvoer bij elke herhalingstijd. De twee lijnen zijn zodanig berekend dat ze bij een herhalingstijd van $T=1250$ jaar in elkaar overgaan en exact gelijk zijn aan de 1/1250 jaar afvoer. De werklijn is weergegeven in Figuur 6-6.

De twee formules zijn:

Formule 1: $Q = 261.5 + 36.4 \cdot \ln(T)$ **Geldigheid voor $50 \leq T \leq 1250$ jaar**

Formule 2: $Q = 317.5 + 28.6 \cdot \ln(T)$ **Geldigheid voor $T \geq 1250$ jaar**



Figuur 6-6 Werklijn van de Vecht te Dalfsen

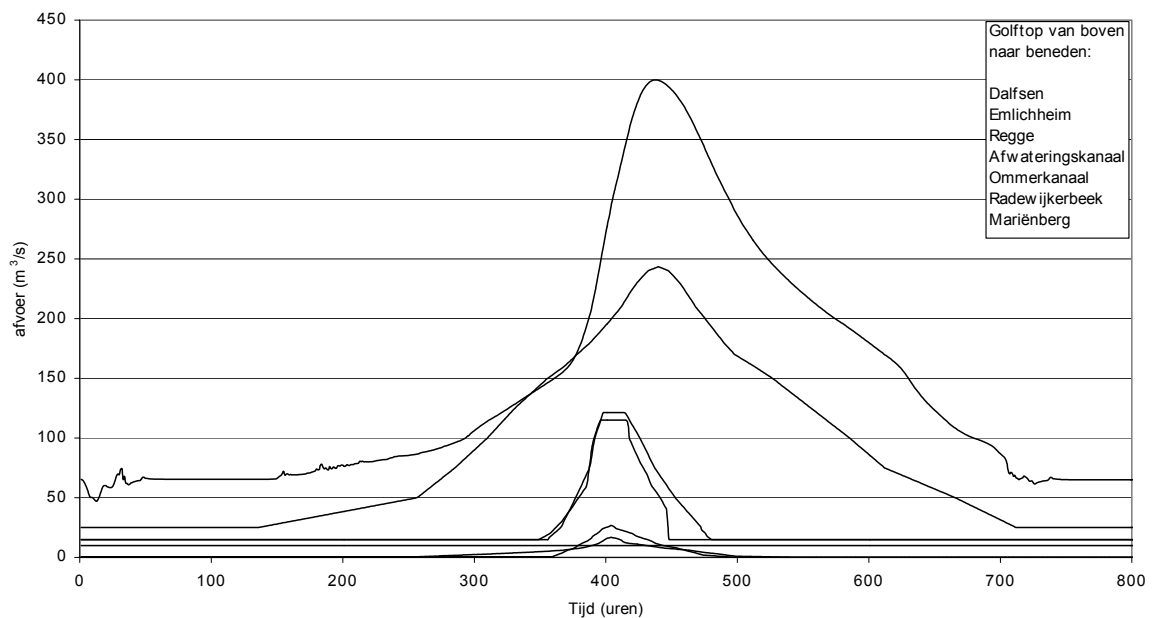
In Tabel 6-4 worden de resultaten van de werklijn vergeleken met de werkelijke waarden uit Tabel 6-3.

T (jaar)	Werklijn (m ³ /s)	SOBEK waarden (m ³ /s)	Vershil (m ³ /s)
50	404	400	4
100	429	434	-5
250	463	460	3
500	488	491	-3
1250	521	521	0
2500	541	544	3
10000	578	579	-1

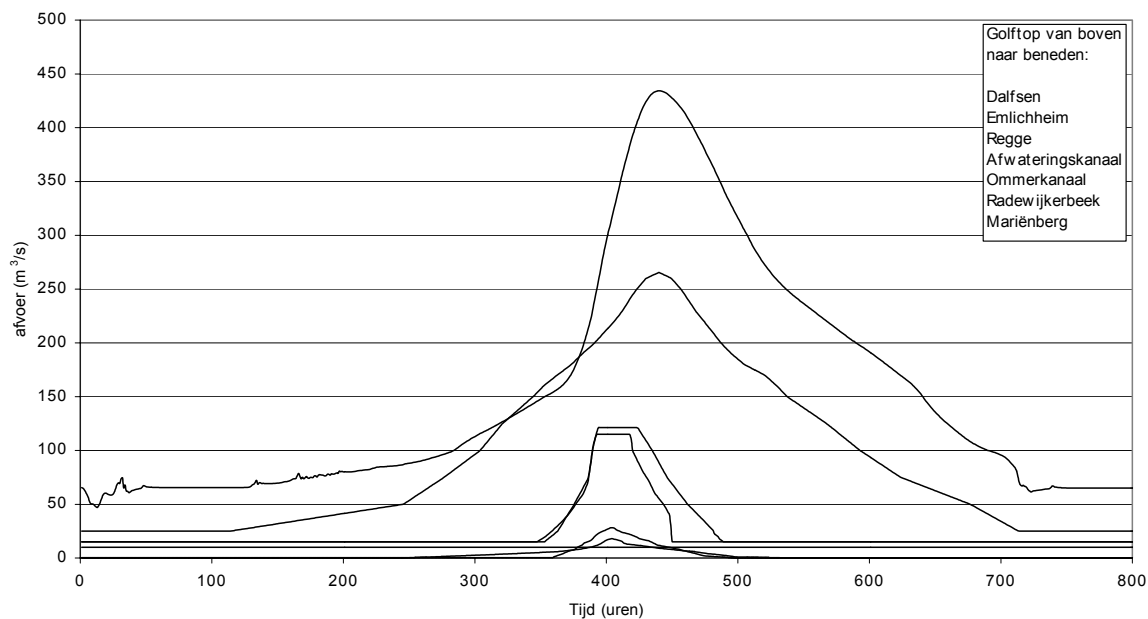
Tabel 6-4 Berekenende werklijn en de waarden uit SOBEK

B3: Afvoergolven bij Dalfsen en de zijleidingen voor verschillende herhalingstijden, zonder nalevering voor de Regge

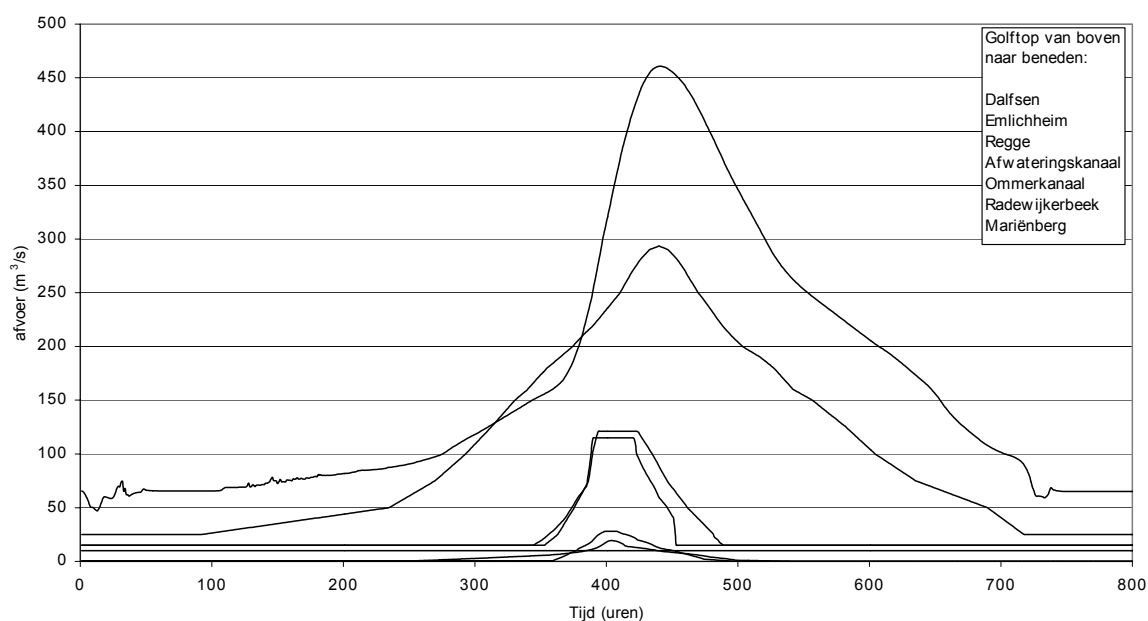
De afvoergolven bij Dalfsen voor verschillende herhalingstijden zijn bepaald en weergegeven in Figuur B- 1. Voor het bepalen van een afvoergolf bij Dalfsen zijn per herhalingstijd afvoergolven in de zijleidingen gebruikt als input. Deze uiteindelijke afvoergolven bij Dalfsen en de bijhorende golfvormen in de zijleidingen worden hier weergegeven.



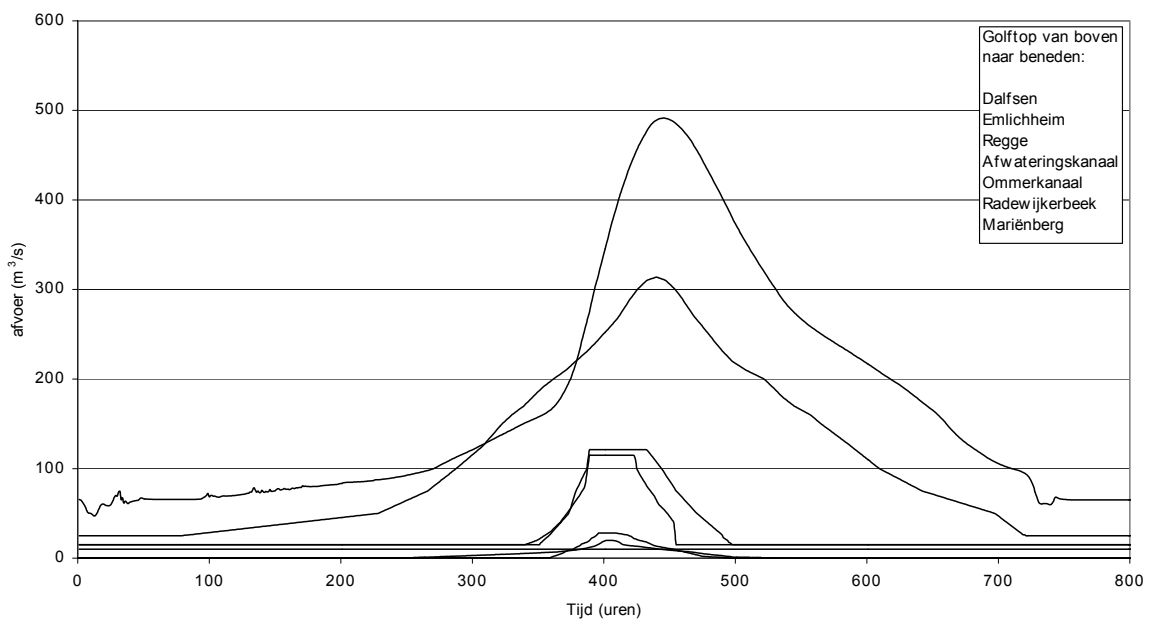
Figuur B- 1 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/50



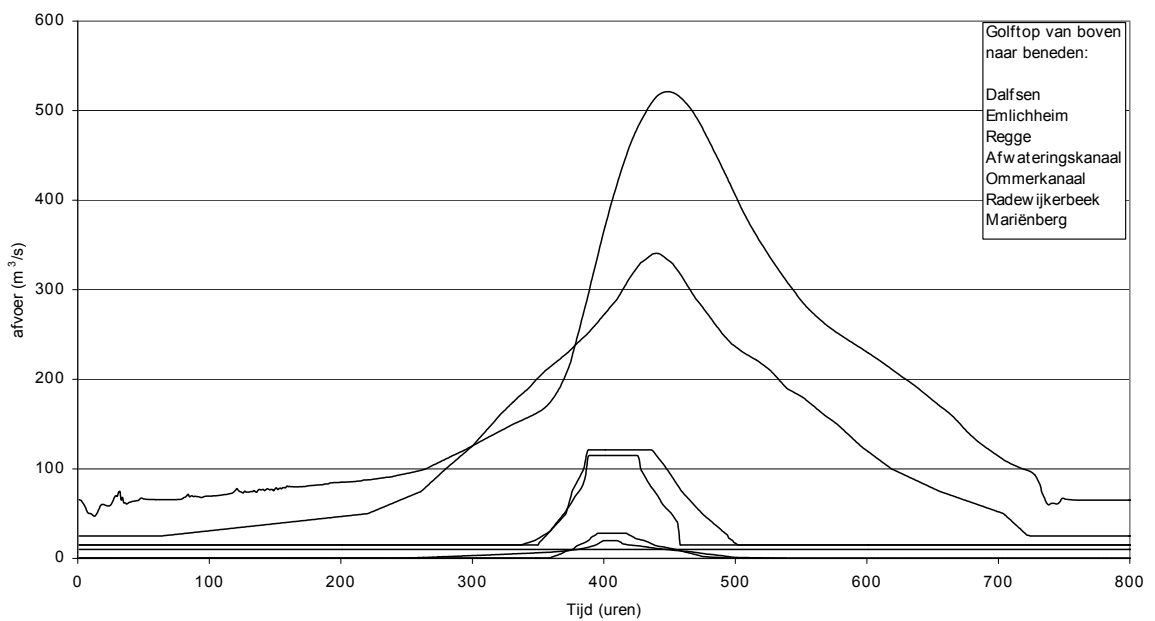
Figuur B- 2 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/100



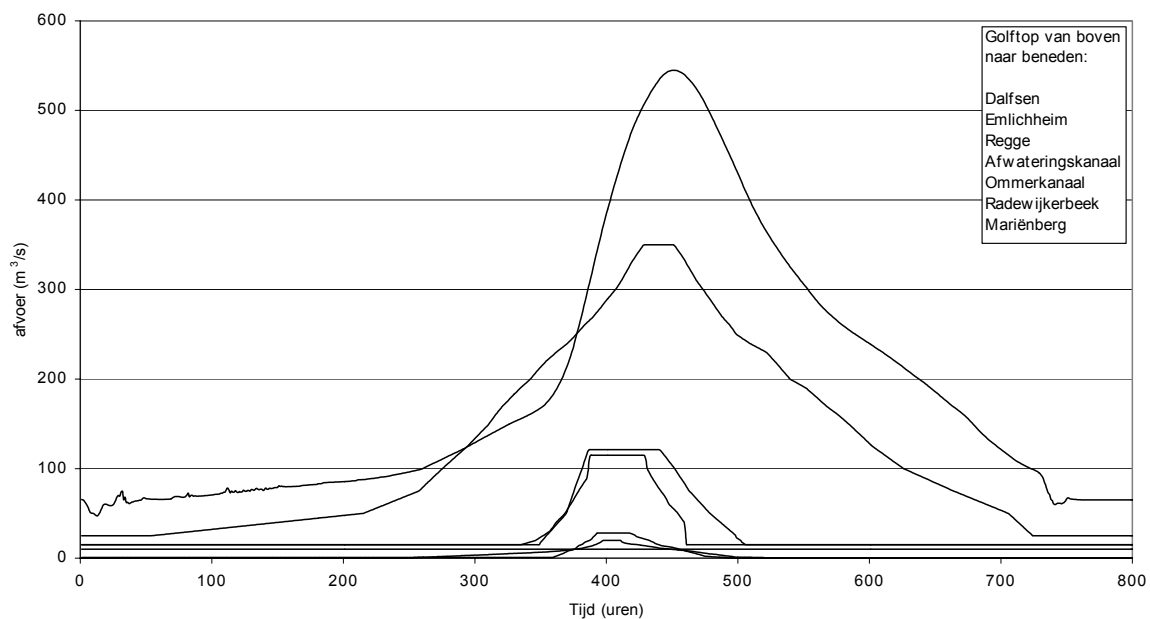
Figuur B- 3 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/250



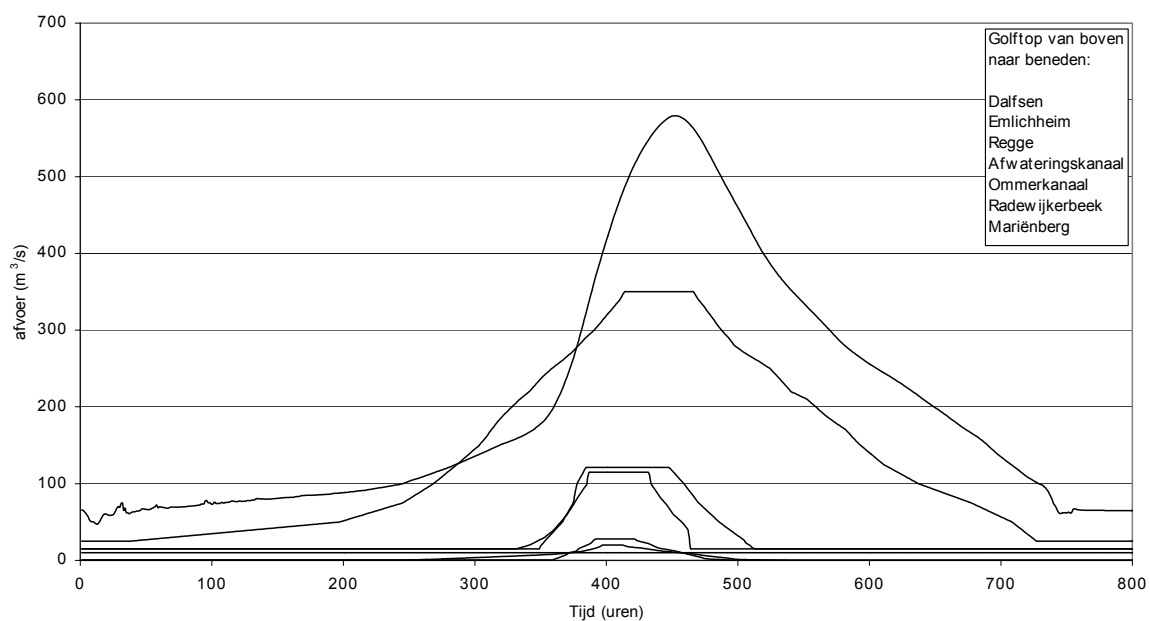
Figuur B- 4 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/500



Figuur B- 5 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250



Figuur B- 6 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/2500



Figuur B- 7 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/10000

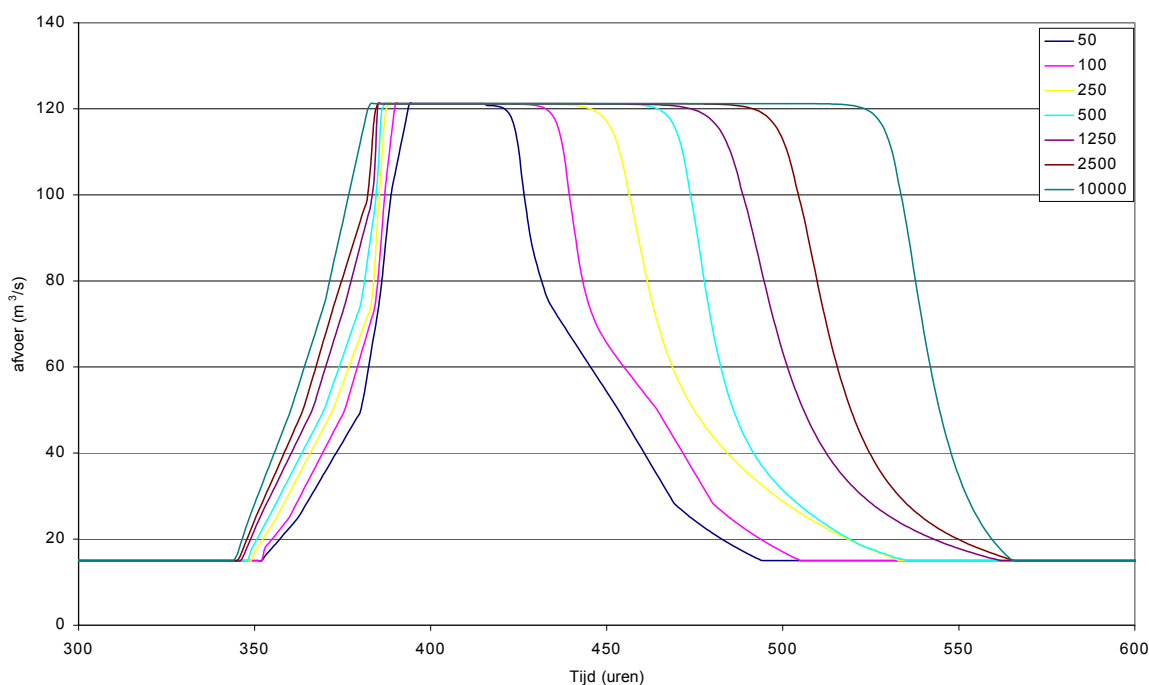
B4: De afvoergolf bij Dalfsen, met nalevering Regge

Voor de Regge is ook een afvoergolf afgeleid waarbij gecorrigeerd wordt voor nalevering. Voor de golf bij een herhalingstijd van 1250 jaar is in WL (2001) een werkblad gemaakt waarmee de nalevering bepaald wordt. Dit werkblad is gebaseerd op een gelijk volume voor de golf met en de golf zonder nalevering. Als de afvoer van de golf boven het fysisch maximum komt, wordt dit water “opgeslagen”. Op het moment dat de afvoer onder het fysisch maximum komt, wordt het

opgeslagen water via een exponentiële functie nageleverd aan de rivier. Deze methode is gebruikt bij het bepalen van de afvoergolven met nalevering voor een herhalingsstijd van 50, 100, 250, 500, 1250, 2500 en 10000 jaar.

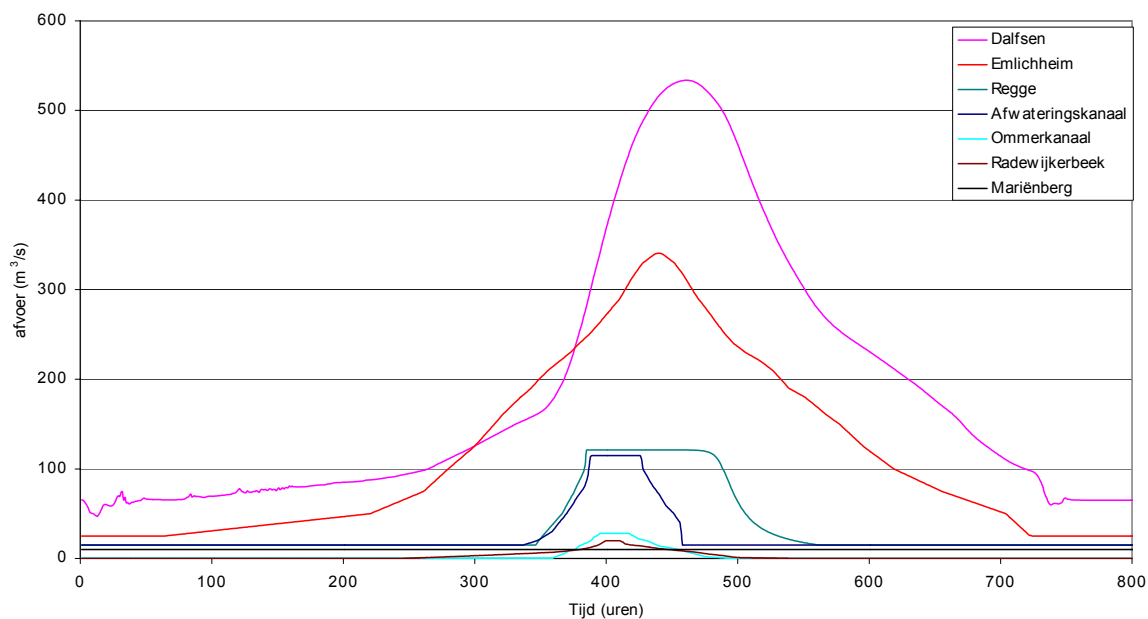
Voor de andere zijleidingen dan de Regge zijn dezelfde afvoergolven gebruikt als in het bepalen van de afvoergolf bij Dalfsen zonder nalevering.

De invoergolven van de Regge met nalevering beginnen en eindigen bij de vastgestelde drempelwaarde. De drempelwaarde is weergegeven in Tabel 6-1 en is $19 \text{ m}^3/\text{s}$. Als drempelwaarde in de golfgenerator is $15 \text{ m}^3/\text{s}$ gebruikt. Hierdoor konden makkelijker de drempels worden ingesteld. Ook bij deze golven zijn aan het einde van de reeksen kleine wandjes zichtbaar. Deze wandjes verdwijnen bij de verlenging van de golven. Enkele afwijkingen in de 'nalevering golven' worden door kleine ingrepen opgelost. In Figuur 6-7 staan de golven van de Regge met nalevering die als invoer gebruikt zijn voor de berekening van de maatgevende afvoer bij Dalfsen.



Figuur 6-7 Uiteindelijke input golven voor de SOBEK berekeningen

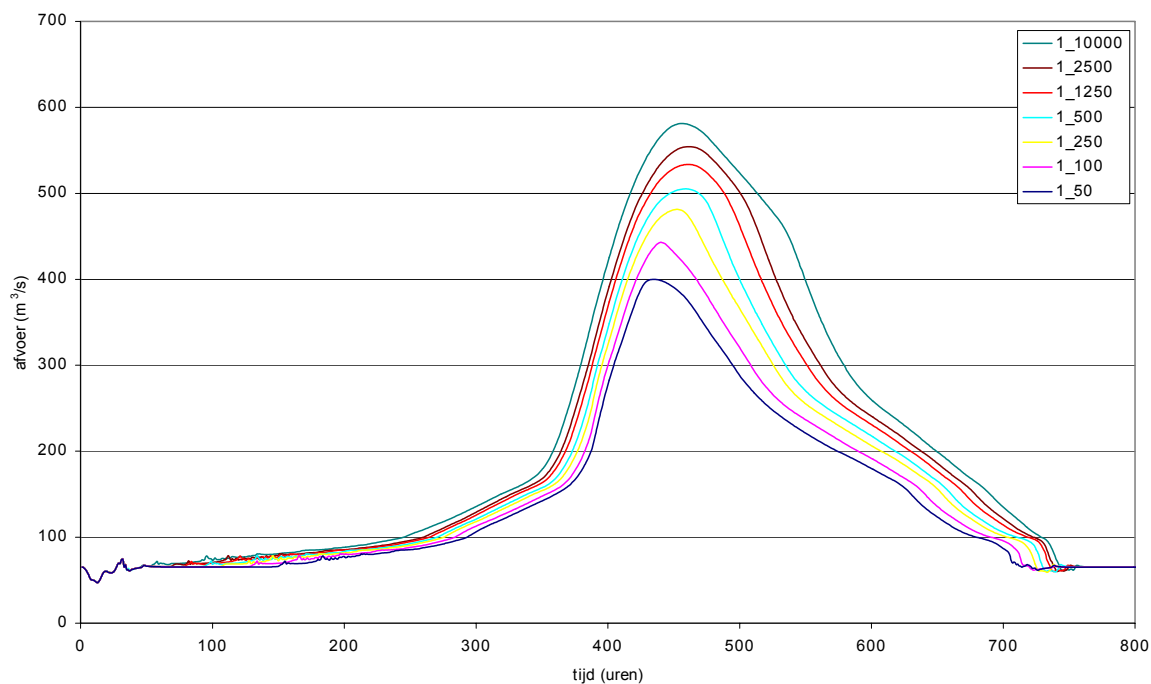
In Figuur 6-8 is de hoogwatergolf bij Dalfsen voor een herhalingsstijd van 1250 jaar samen met de golven bij de zijleidingen weergegeven. Het verschil met Figuur 6-3 is de golfvorm van de Regge, de nalevering is in het figuur duidelijk te zien. Door deze verandering van de Regge verandert de golfvorm bij Dalfsen ook.



Figuur 6-8 Afvoergolf bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250 jaar, met nalevering Regge

In Bijlage B5 zijn de afvoergolven voor Dalfsen en de zijleidingen weergegeven (met nalevering Regge) voor alle herhalingstijden.

In Figuur 6-9 worden de afvoergolven bij Dalfsen gegeven voor alle herhalingstijden bepaald met de nalevering op de Regge. De maximale afvoer bij Dalfsen voor de verschillende herhalingstijden is weergegeven in Tabel 6-5.



Figuur 6-9 Afvoergolven bij Dalfsen met nalevering van de Regge

Herhalingstijd (jaar)	Maatgevende afvoer (m ³ /s)
50	400
100	443
250	481
500	506
1250	534
2500	554
10000	581

Tabel 6-5 *Maatgevende afvoer voor Dalfsen, met de nalevering van de Regge*

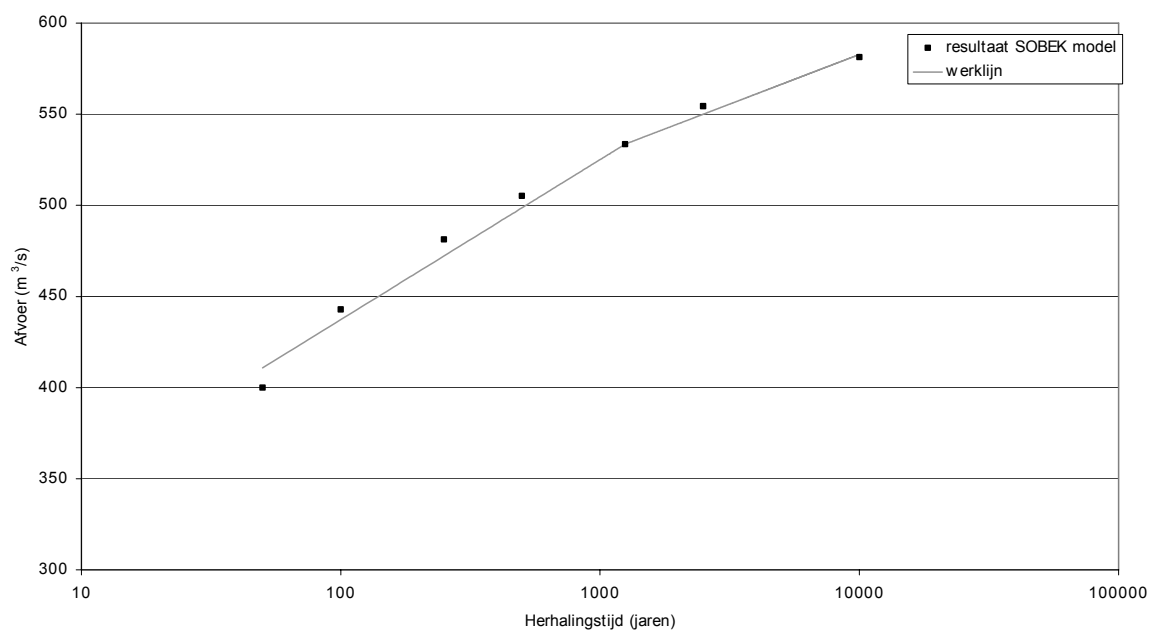
Met de maximale afvoeren bij de verschillende herhalingstijden wordt de werklijn met nalevering bij Dalfsen bepaald. Ook hier wordt gekozen voor een samengestelde werklijn, hierdoor geeft de lijn nauwkeuriger de maximale afvoer bij elke herhalingstijd.

De twee lijnen zijn zodanig berekend dat ze bij een herhalingstijd van T=1250 jaar in elkaar overgaan. De werklijn is weergegeven in Figuur 6-10.

De twee formules zijn:

Formule 1: $Q = 261.6 + 38.1 \cdot \ln(T)$ **Geldigheid voor $50 \leq T \leq 1250$ jaar**

Formule 2: $Q = 364.7 + 23.6 \cdot \ln(T)$ **Geldigheid voor $T \geq 1250$ jaar**



Figuur 6-10 *Werklijn van de Vecht te Dalfsen (met nalevering op de Regge)*

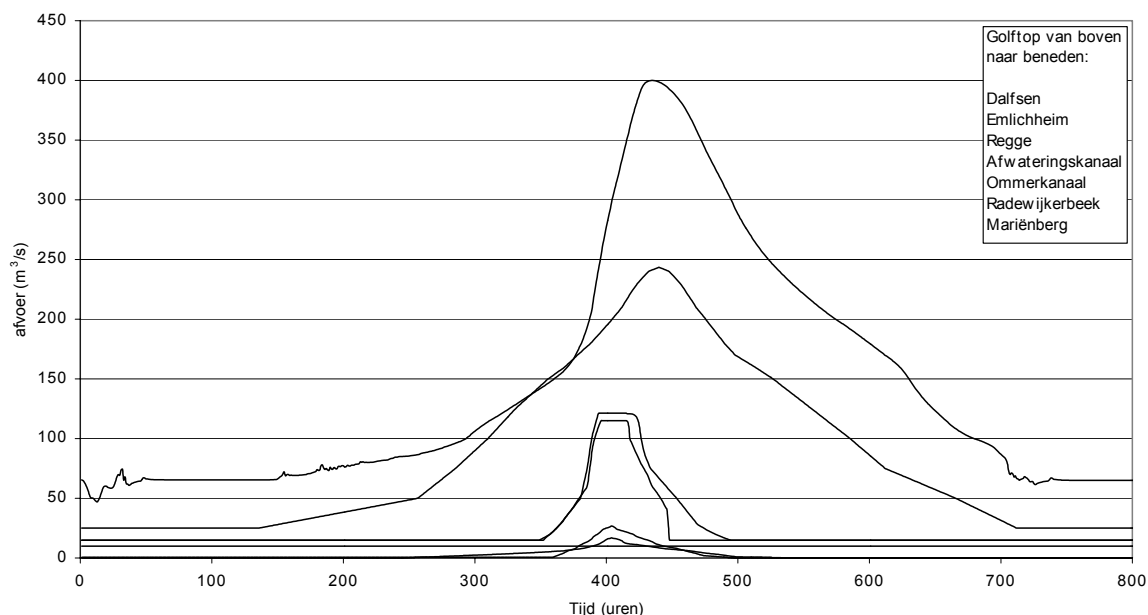
In Tabel 6-6 worden de resultaten van de werklijn vergeleken met de werkelijke waarden uit SOBEK (Tabel 6-5).

T (jaar)	Werklijn (m ³ /s)	SOBEK waarden (m ³ /s)	Vershil (m ³ /s)
50	411	400	11
100	437	443	-6
250	472	481	-9
500	499	506	-7
1250	534	534	0
2500	550	554	-4
10000	581	581	0

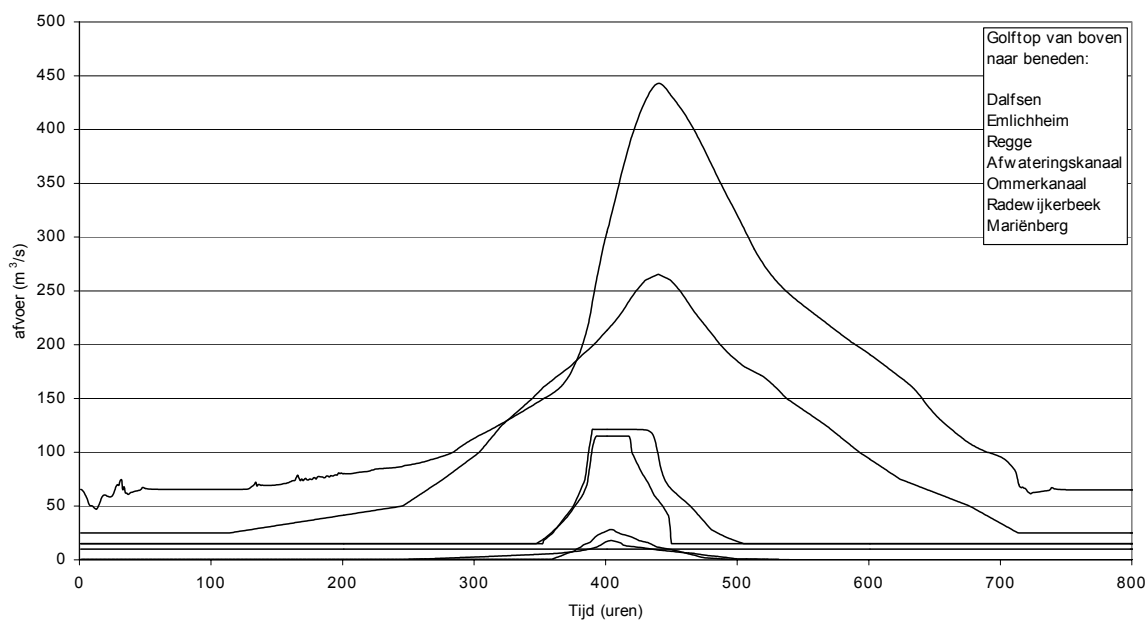
Tabel 6-6 Berekende werklijn en de waarde uit SOBEK

B5: Afvoergolven bij Dalfsen en de zijleidingen voor verschillende herhalingsstijden, met nalevering voor de Regge

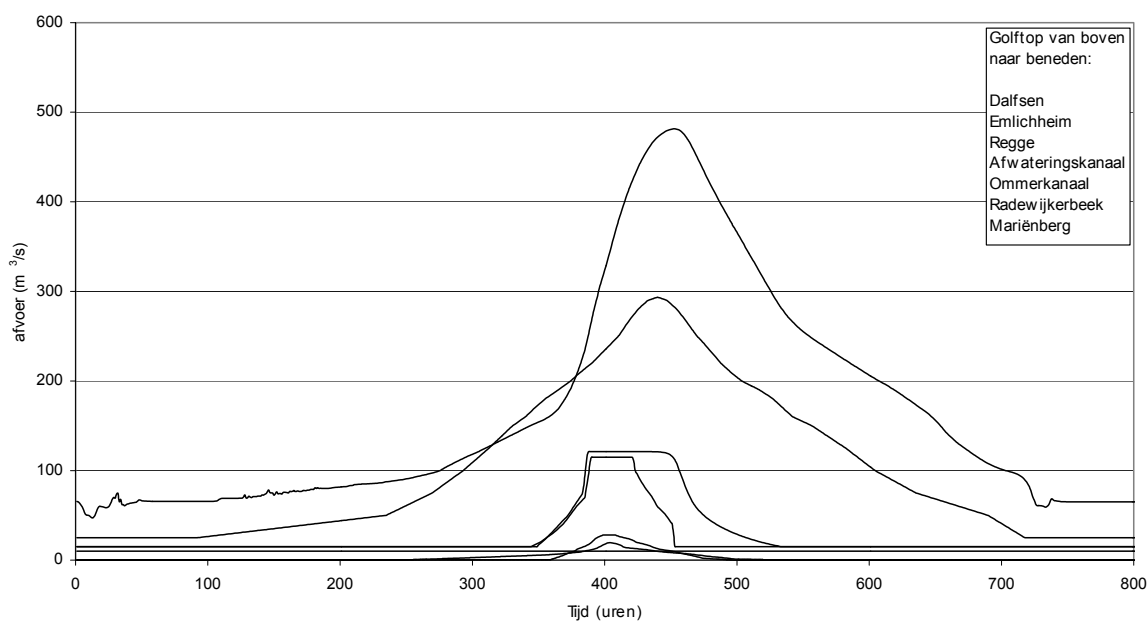
De afvoergolven bij Dalfsen voor verschillende herhalingsstijden zijn bepaald met nalevering van de Regge. Voor het bepalen van een afvoergolf bij Dalfsen zijn per herhalingsstijd afvoergolven in de zijleidingen gebruikt als input. Deze uiteindelijke afvoergolven bij Dalfsen en de bijhorende golfvormen in de zijleidingen worden hier weergegeven.



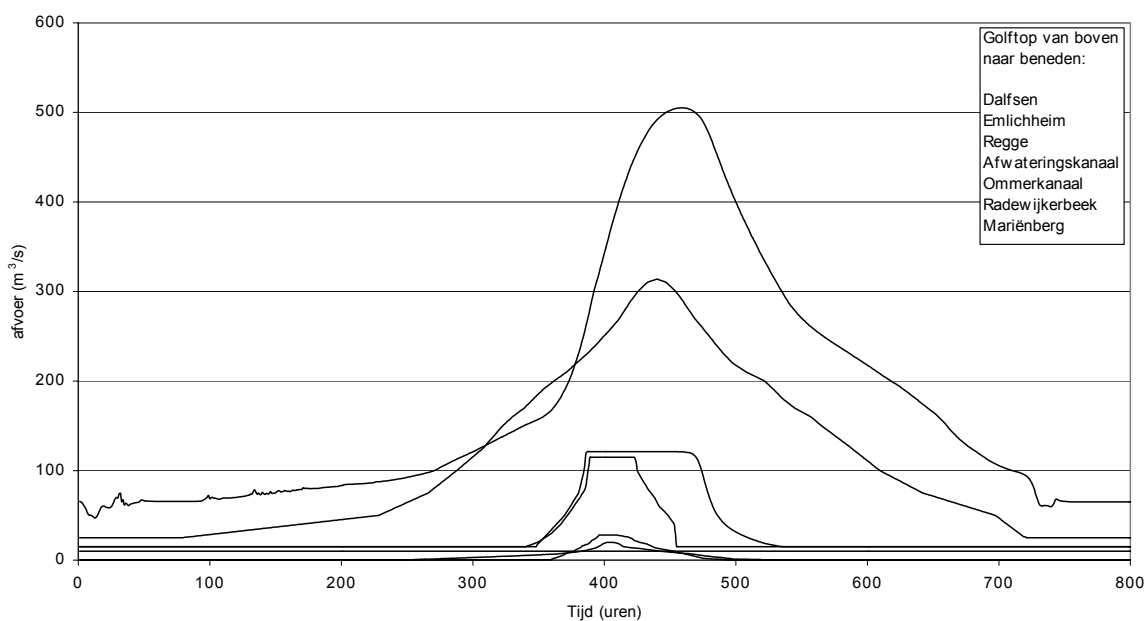
Figuur C-1 Afvoergolven bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/50



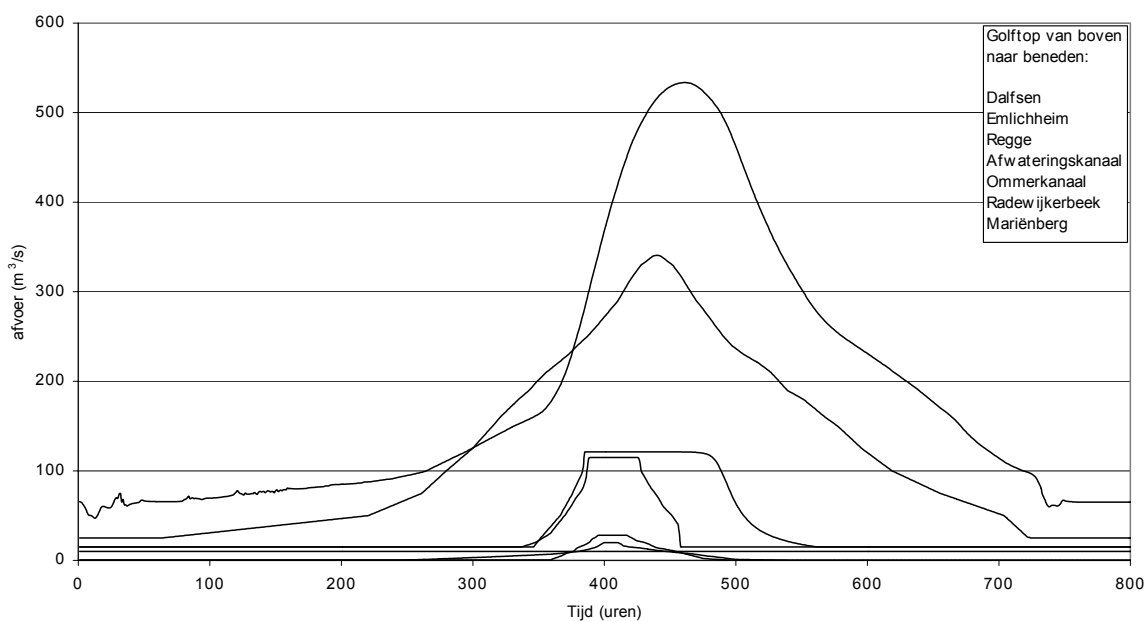
Figuur C-2 Afvoergolven bij Dalfsen en de zijleidingen, 1/100



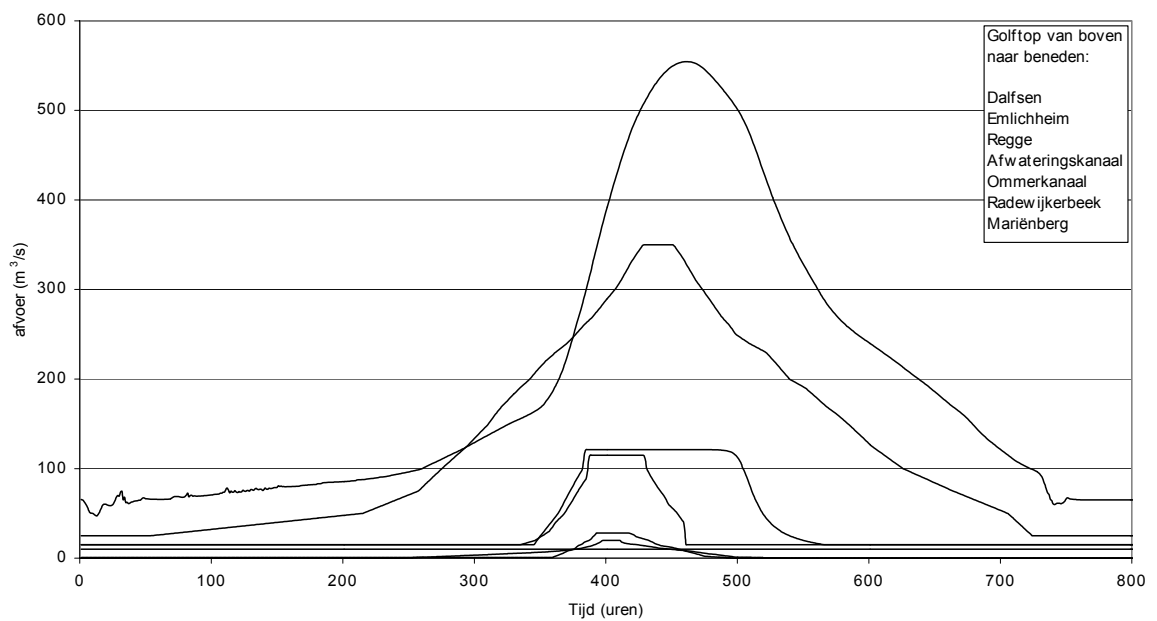
Figuur C-3 Afvoergolven bij Dalfsen en de zijleidingen, 1/250



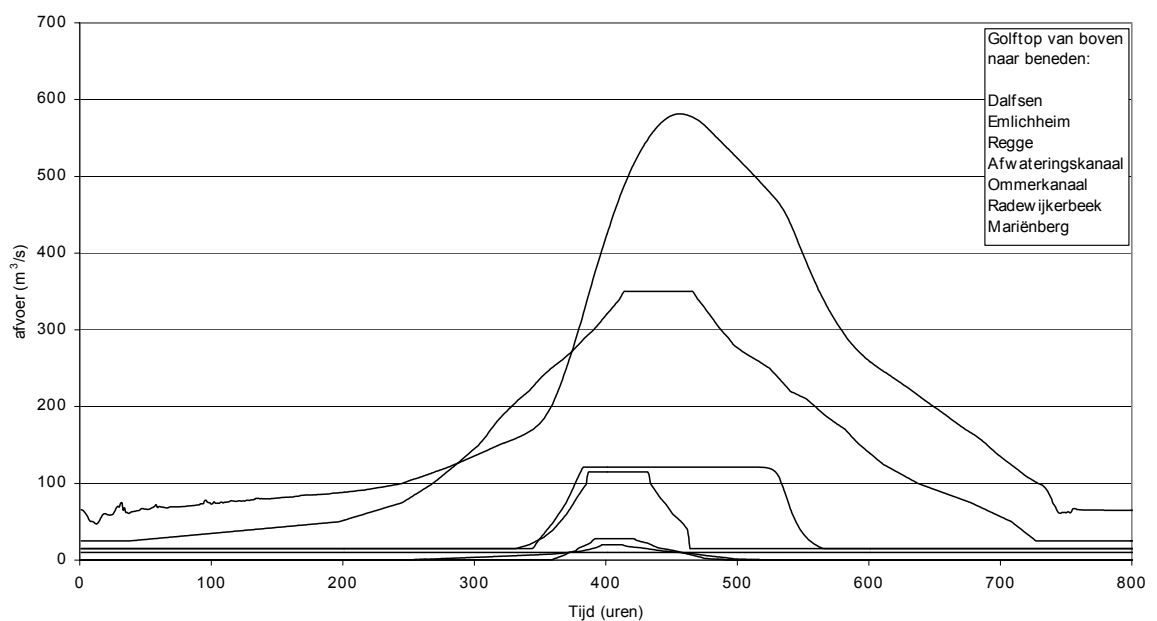
Figuur C-4 Afvoergolven bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/500



Figuur C-5 Afvoergolven bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/1250



Figuur C-6 Afvoergolven bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/2500



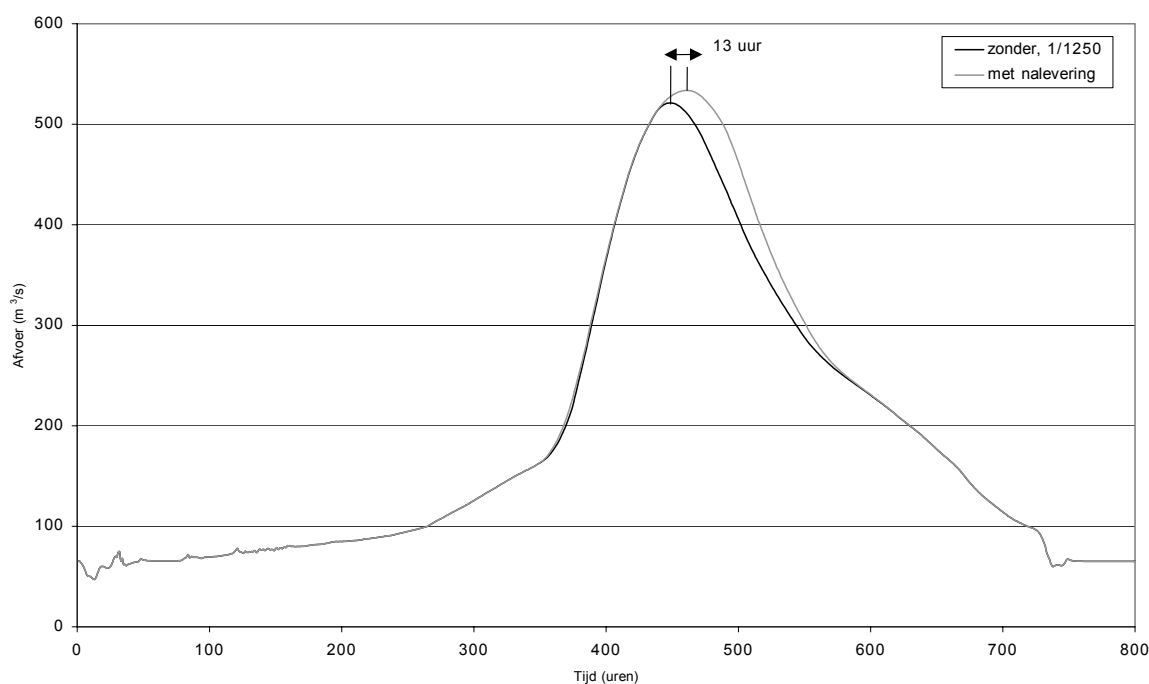
Figuur C-7 Afvoergolven bij de zijleidingen en Dalfsen, 1/10000

B6: Invloed van nalevering Regge op de afvoergolf bij Dalfsen

In deze paragraaf worden de verschillende resultaten (Regge met en zonder nalevering) met elkaar vergeleken en daarmee de invloed van het wel of niet meenemen van de nalevering van de Regge bepaald.

Het effect van de nalevering van de Regge is zichtbaar in Figuur 6-11. De golf met nalevering heeft een groter volume dan de golf zonder nalevering. De invloed van deze nalevering op de afvoergolf in Dalfsen is goed zichtbaar in Figuur 6-11. Hier bereikt de golf bepaald met de nalevering een groter maximum en is breder dan de golf bepaald zonder nalevering. Beide zijn golven met een herhalingsstijd van 1250 jaar. In bijlage B7 staan grafieken met daarin de verschillen tussen de afvoergolf bij Dalfsen met en zonder nalevering voor alle herhalingsstijden.

De verschillen tussen de maatgevende afvoer met en zonder de nalevering van de Regge staan in Tabel 6-7. Hieruit blijkt dat de verschillen tussen de maatgevende afvoeren niet oneindig toenemen met het toenemen van de herhalingsstijd. Bij een herhalingsstijd groter dan 250 jaar neemt het verschil zelfs weer af. De nalevering direct na het bereiken van het fysisch maximum is telkens ongeveer gelijk. Het enige verschil is nog de doorlooptijd van de nalevering. Dit is zichtbaar in het steeds breder worden van de afvoergolf.



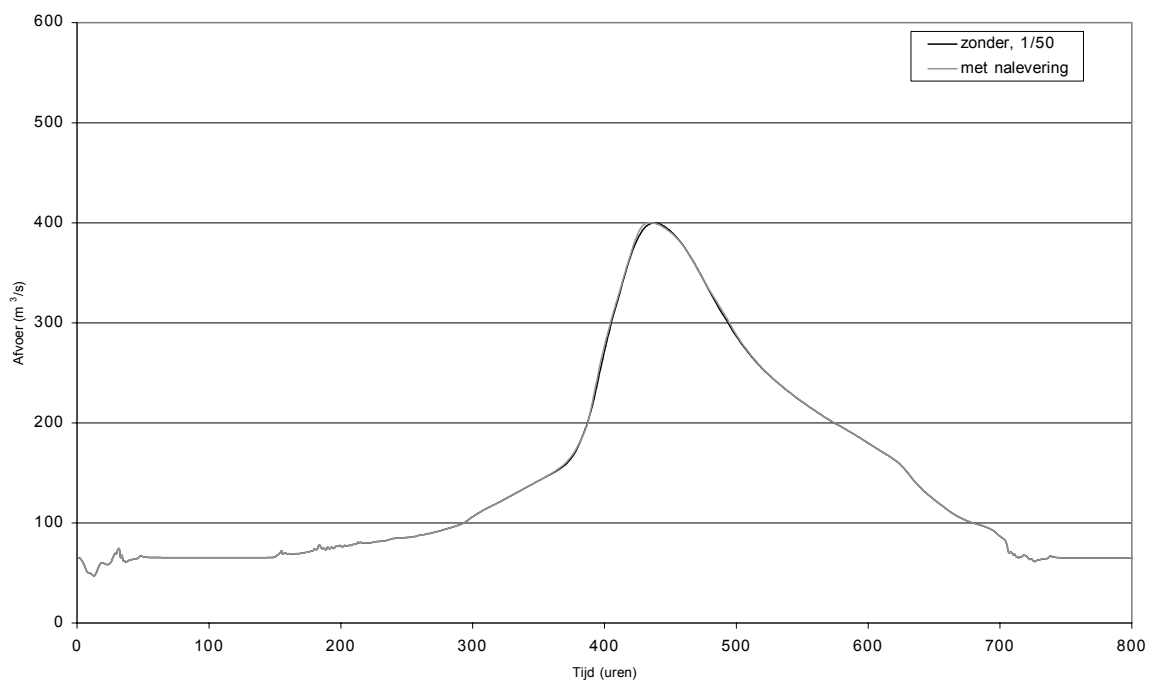
Figuur 6-11 *Golfvormen bij Dalfsen, met en zonder nalevering op de Regge*

Herhalingstijd (jaar)	Maatgevende afvoer (m ³ /s) zonder nalevering	Maatgevende afvoer (m ³ /s) met nalevering	Maatgevende afvoer (m ³ /s) verschil
50	400	400	0
100	434	443	9
250	460	481	21
500	491	506	15
1250	521	534	13
2500	544	554	10
10000	579	581	2

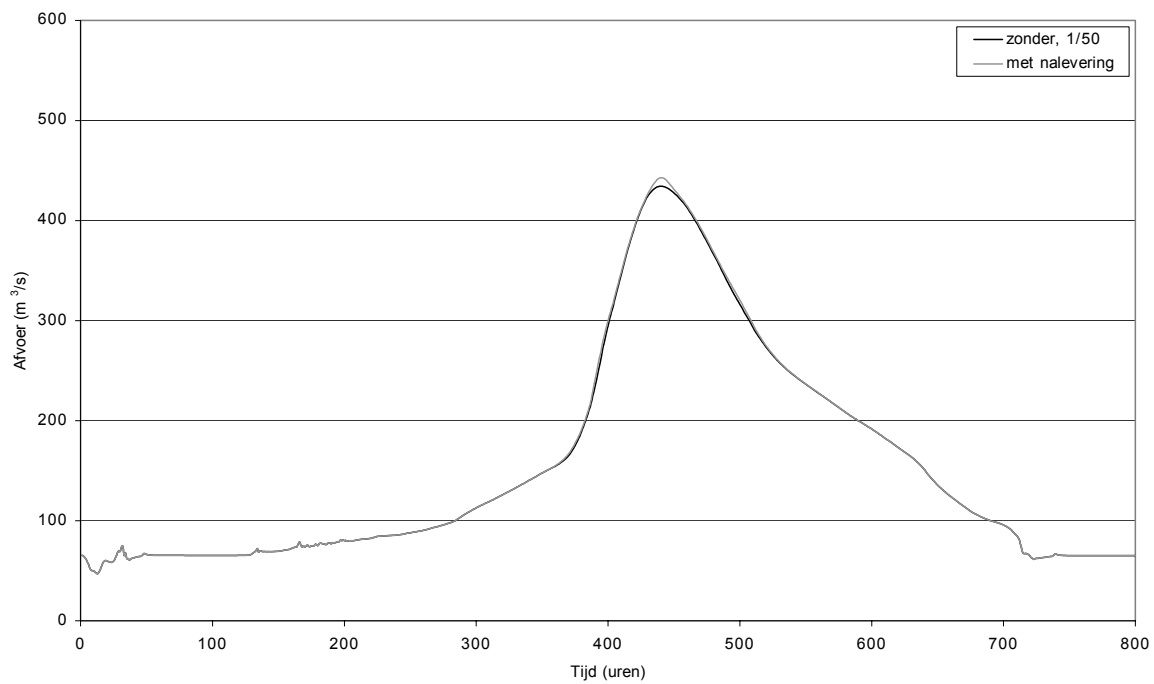
Tabel 6-7 Invloed van nalevering van de Regge op de maatgevende afvoer.

B7: Verschillen tussen de afvoergolf bij Dalfsen met en zonder de nalevering van de Regge

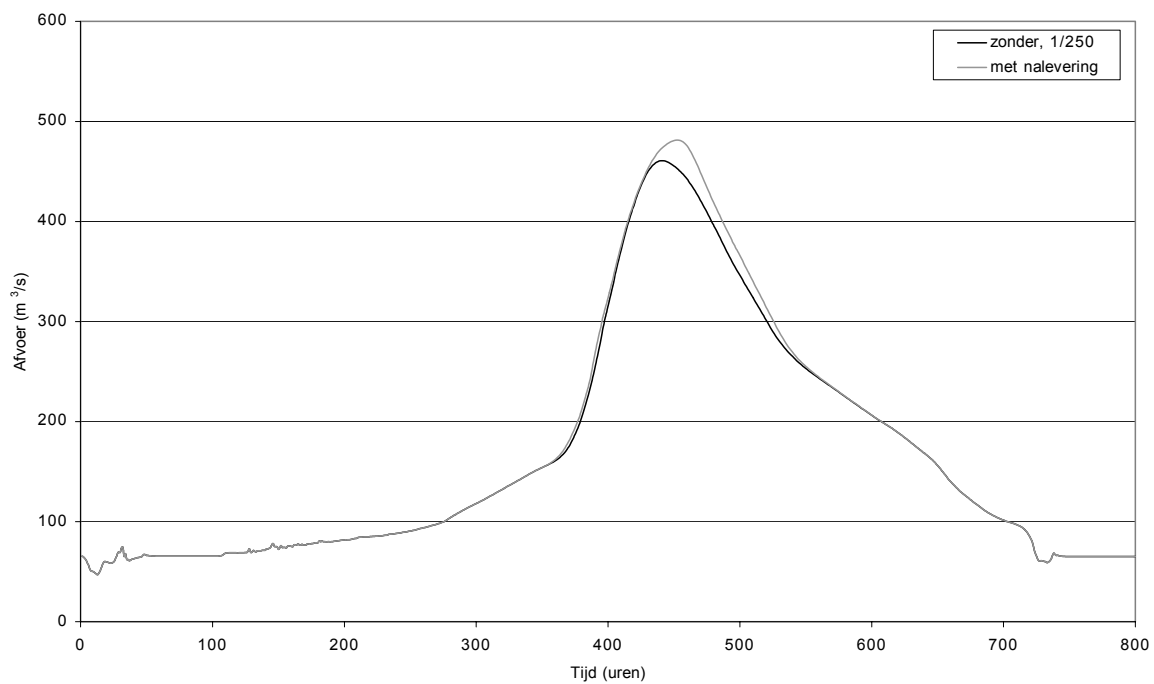
De nalevering van de Regge heeft invloed op de afvoergolven bij Dalfsen. In deze bijlage worden de afvoergolven per herhalingstijd met elkaar vergeleken.



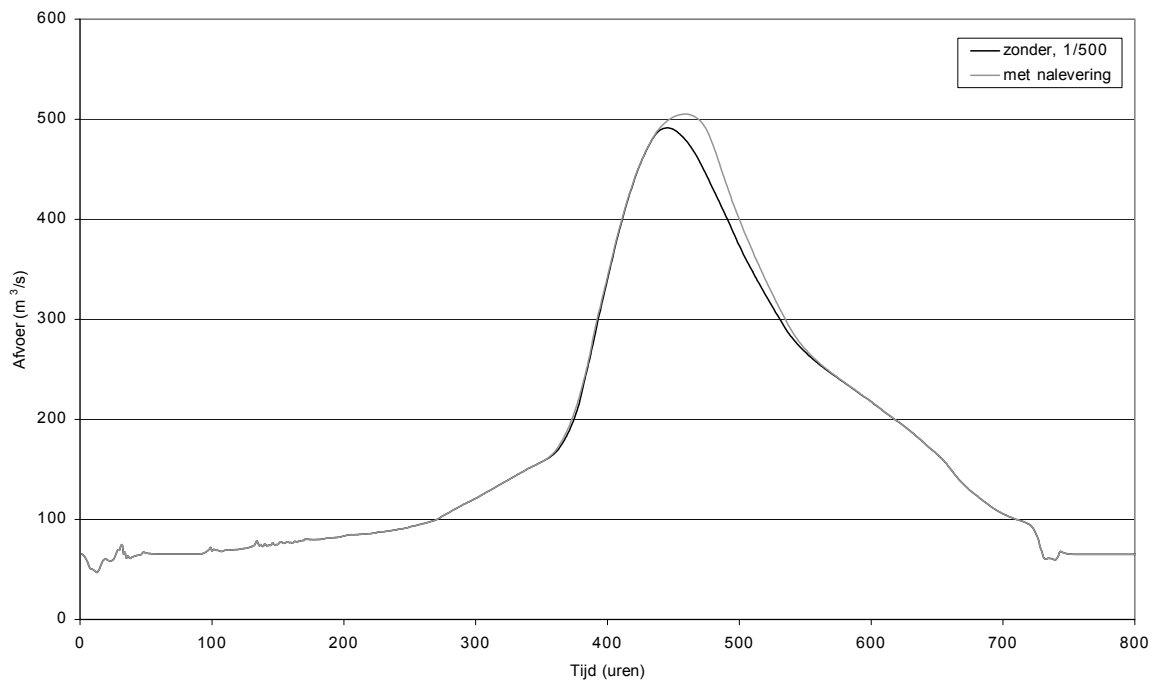
Figuur D-1 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/50



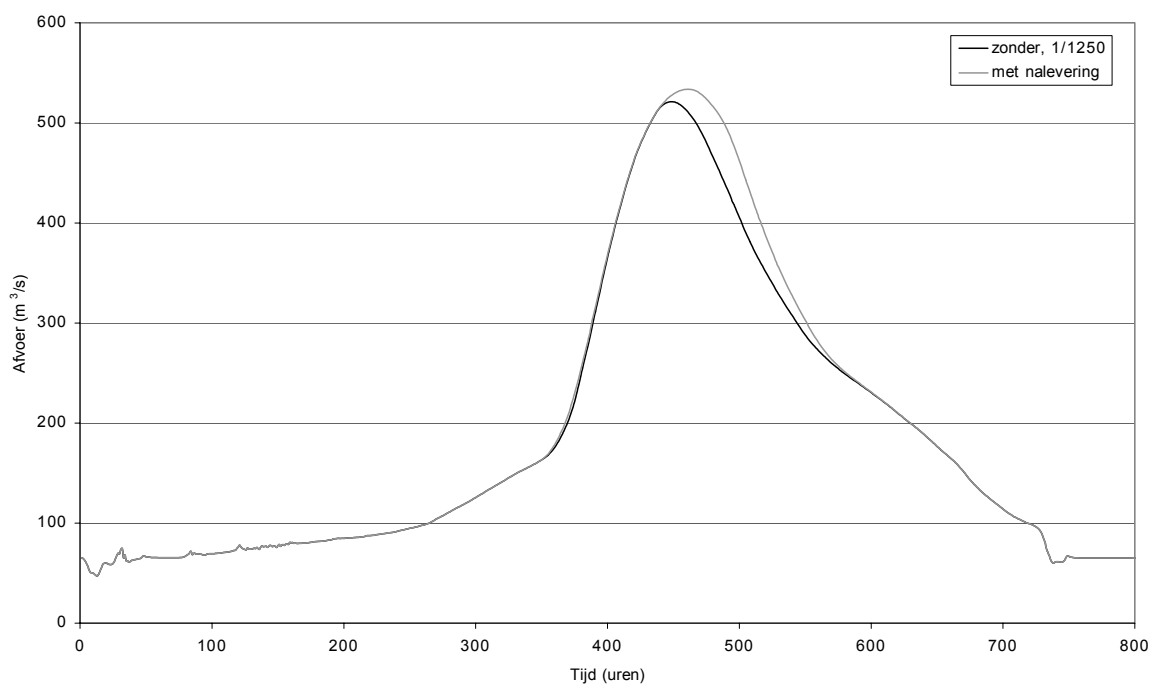
Figuur D-2 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/100



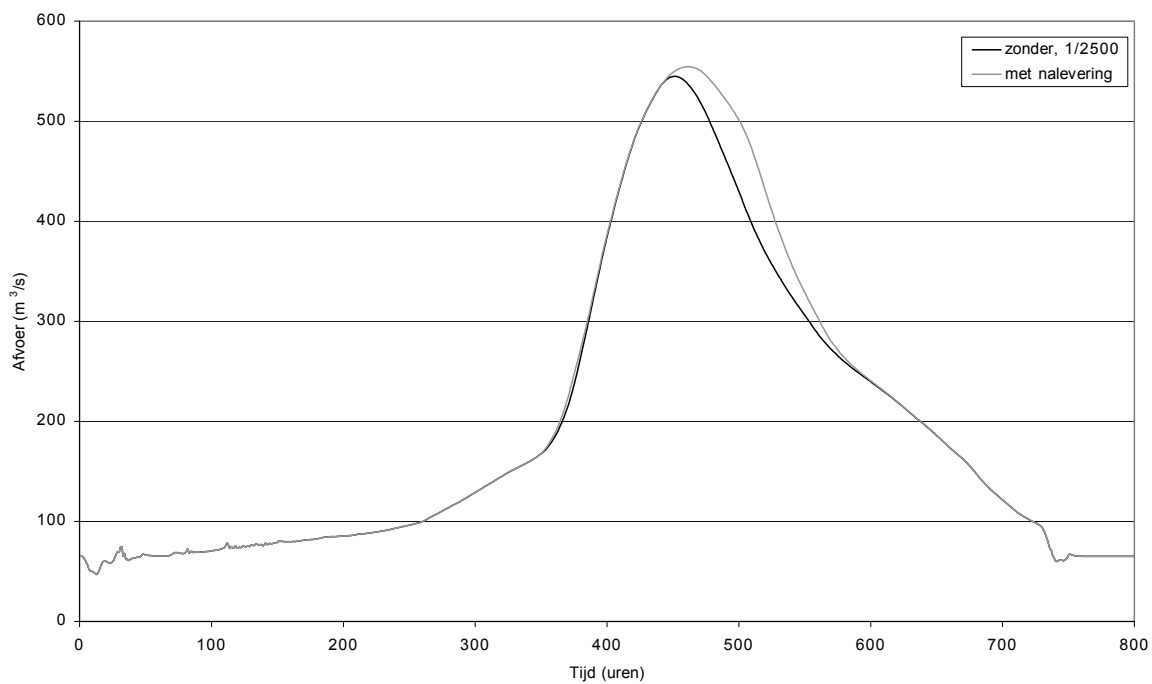
Figuur D-3 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/250



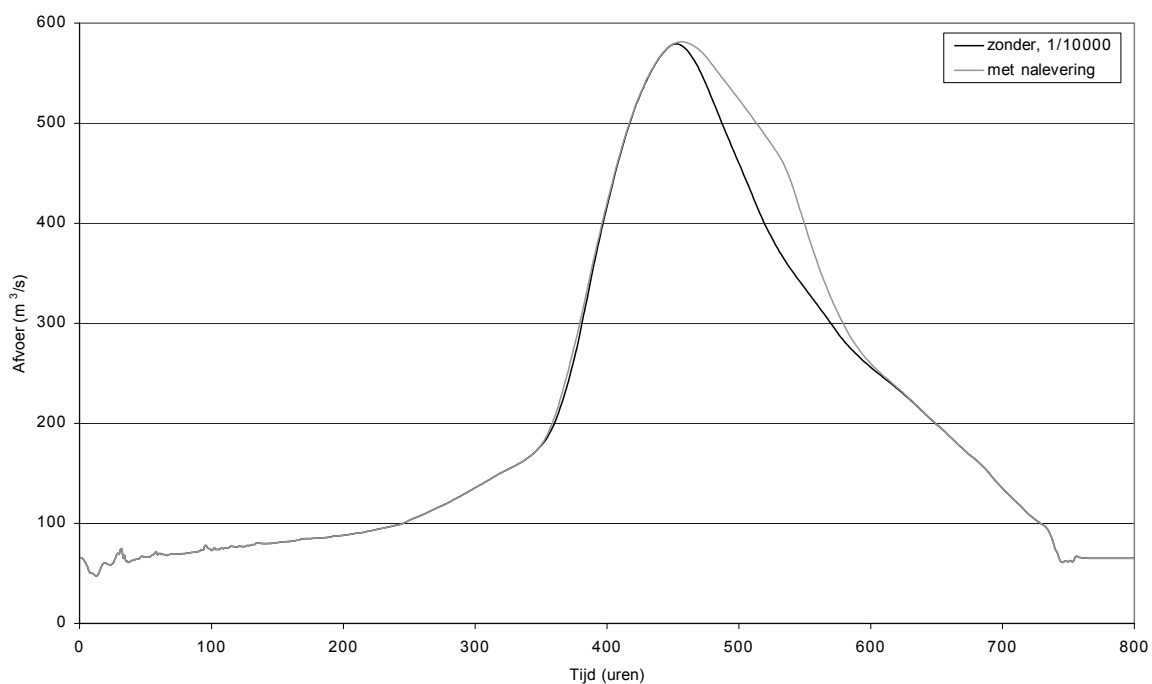
Figuur D-4 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/500



Figuur D-5 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/1250



Figuur D-6 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/2500



Figuur D-7 Golfvorm bij Dalfsen, met en zonder nalevering, 1/10000

B8: Conclusies

- Maatgevende afvoer zonder correctie voor nalevering
 - ♦ De maatgevende afvoer behorende bij een herhalingstijd van $T = 1250$ jaar voor de Vecht bij Dalfsen komt uit op $521 \text{ m}^3/\text{s}$. Op basis van maatgevende afvoeren voor verschillende herhalingstijden tussen $T = 100$ en $T = 10000$ jaar zijn relaties afgeleid waarmee voor iedere willekeurige waarde van T de bijhorende maatgevende afvoer kan worden bepaald (werklijn).
- Maatgevende afvoer met correctie voor nalevering
 - ♦ De maatgevende afvoer behorende bij een herhalingstijd van $T = 1250$ jaar voor de Vecht bij Dalfsen komt uit op $534 \text{ m}^3/\text{s}$. Op basis van maatgevende afvoeren voor verschillende herhalingstijden tussen $T = 100$ en $T = 10000$ jaar zijn relaties afgeleid waarmee voor iedere willekeurige waarde van T de bijhorende maatgevende afvoer kan worden bepaald (werklijn).