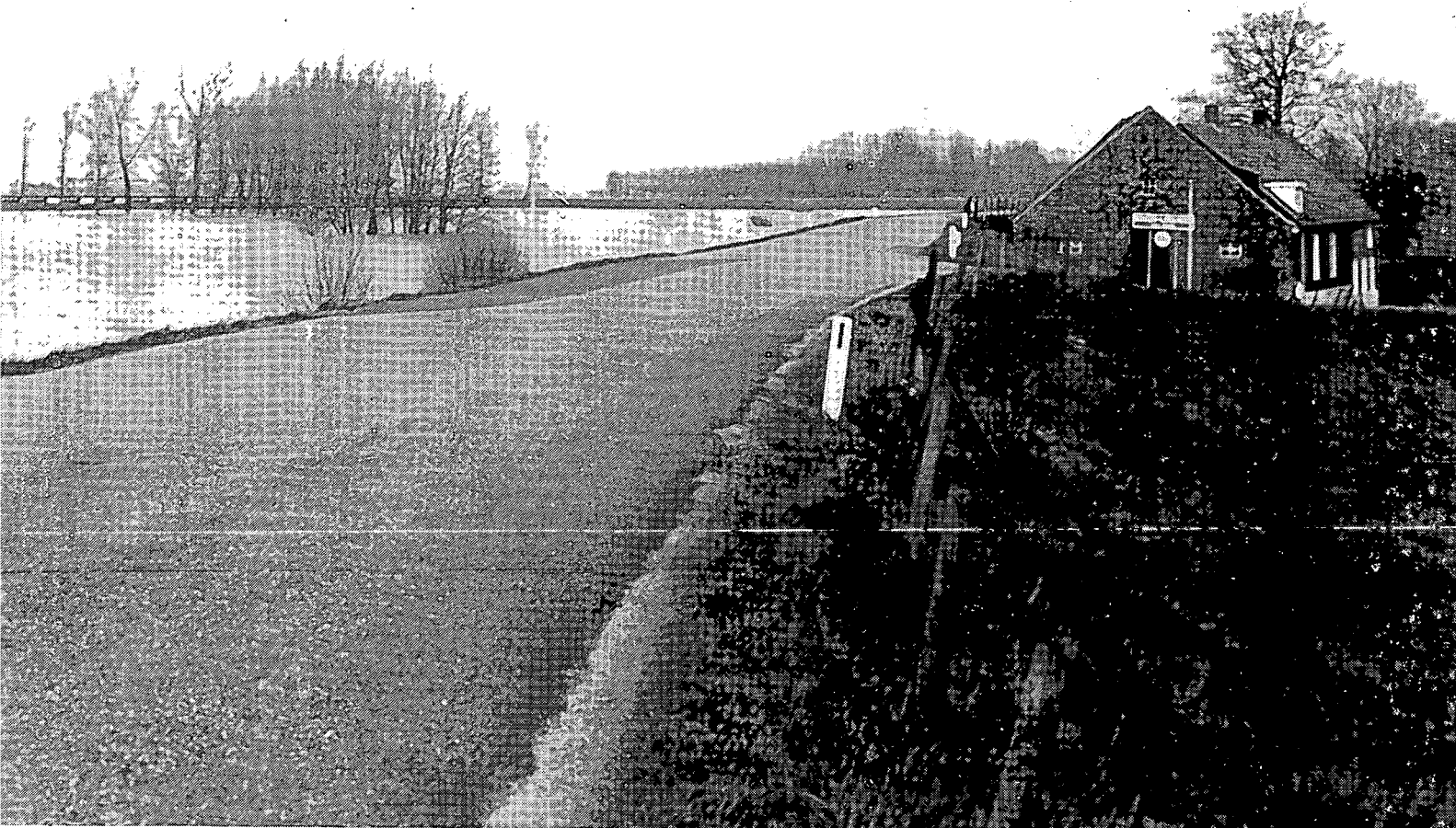


Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen

Aanvullend rapport 2: Werklijn Rijn en Maas



waterloopkundig laboratorium|wl

EAC European-American Center
for Policy Analysis **RAND**

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen

Aanvullend rapport 2: Werklijn Rijn en Maas

Auteur: R.H. Passchier

Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding	1 – 1
1.1	Probleemstelling	1 – 1
1.3	Opdracht	1 – 2
1.4	Uitvoering	1 – 2
2	Maatgevende afvoeren (Werklijn)	2 – 1
2.1	Rijn te Lobith	2 – 1
2.1.1	Effect van rivierwerken in Duitsland	2 – 1
2.1.2	Frequentie-analyse	2 – 7
2.1.3	Werklijn Rijn te Lobith	2 – 8
2.2	Maas te Borgharen	2 – 13
2.2.1	Effecten rivierwerken in België	2 – 13
2.2.2	Frequentie-analyse	2 – 13
2.2.3	Werklijn Maas te Borgharen	2 – 14

Literatuur

Lijst van tabellen

- 2.1 Veranderingen in historische piekafvoeren voor de stations Andernach en Keulen voor vier verschillende situaties (huidige retentiebekkens van 100 miljoen m³)
- 2.2 Veranderingen in historische piekafvoeren voor de stations Andernach en Keulen voor vier verschillende situaties (geplande retentiebekkens van 212 miljoen m³)
- 2.3 Resultaten frequentie-analyse gehomogeniseerde series van het station Keulen (3-parameter lognormale verdeling)
- 2.4 Resultaten Tabel 2.3 gegeven als verschil tussen historische series en de overige series.
- 2.5 Resultaten frequentie-analyse Rijn te Lobith voor verschillende herhalingstijden
- 2.6 Bepaling maatgevende afvoer (Werklijn) Rijn te Lobith voor verschillende herhalingstijden
- 2.7 Resultaten frequentie-analyse Maas te Borgharen voor verschillende herhalingstijden

Lijst van figuren

- 2.1 Regressie maatgevende afvoeren voor interval $T = 10 - 500$ jaar
- 2.2 Regressie maatgevende afvoeren voor interval $T = 500 - 10.000$ jaar
- 2.3a Werklijn Rijn te Lobith (lineaire schaal)
- 2.3b Werklijn Rijn te Lobith (logaritmische schaal)
- 2.4 Regressie maatgevende afvoeren voor interval $T = 25 - 1000$ jaar
- 2.5 Regressie maatgevende afvoeren voor interval $T = 100 - 10.000$ jaar
- 2.6a Werklijn Maas te Borgharen (lineaire schaal)
- 2.6b Werklijn Maas te Borgharen (logaritmische schaal)

Woord vooraf

Het onderzoek 'Toetsing Uitgangspunten Dijkversterking' is uitgevoerd in opdracht van de Minister van Verkeer en Waterstaat door het WL (Waterloopkundig Laboratorium) en het European-American Center for Policy Analysis/RAND (AEC/RAND). Aan het onderzoek is meegewerkt door een aantal gespecialiseerde bureaus, zoals Grondmechanica Delft (GD), het Bureau SME, het Bureau Hamhuis, Van Nieuwenhuijze en Sijmons (H+N+S) en daarnaast door een aantal adviseurs. Het rapport werd begeleid door de Commissie Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen (Commissie Boertien). De resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in de volgende rapporten:

Eindrapport	
deelrapport 1;	'Veiligheid tegen overstromingen'
deelrapport 2;	'Maatgevende belastingen'
deelrapport 3;	'Constructief ontwerp'
deelrapport 4;	'Functies, waarden en procedures'
aanvullend rapport 1;	'Maatgevende afvoer Maas'

In het deelrapport 'Maatgevende belastingen' geven wij een overzicht van het onderzoek naar de randvoorwaarden voor het ontwerpen van dijkversterkingen, dat door WL is uitgevoerd. Het onderzoek omvat een analyse van de parameters die voor het ontwerp maatgevend zijn. Dit betreft onder meer de rivierafvoer, de bijbehorende hoogwaterstanden en de waakhogte. Daarnaast hebben wij onderzoek gedaan naar het optreden en het effect van ijssdammen, die in het verleden vaak de oorzaak van dijkdoorbraken waren. Ook geven wij een overzicht van mogelijke maatregelen en het effect daarvan voor een verlaging van de maatgevende hoogwaterstanden voor een gegeven (maatgevende) rivierafvoer.

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van informatie verkregen een groep adviseurs en een groot aantal instanties en groepen, zoals waterschappen, provincies, Rijkswaterstaatsdiensten, ingenieursbureaus, wetenschappelijke instellingen en actiegroepen. Zonder deze informatie was het ons onmogelijk geweest het ons opgedragen onderzoek uit te voeren. WL en EAC/RAND zijn allen die ons informatie hebben verschaft dankbaar. Wij zijn vanzelfsprekend volledig verantwoordelijk voor de wijze waarop deze informatie is gebruikt bij het opstellen van de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek. Wij verwachten echter dat het onderzoek een duidelijk antwoord geeft op de vragen van de Minister en zal kunnen bijdragen aan een veilig behoud van het rivierengebied en de daarin aanwezige waarden.

In de voorgaande rapporten is voor de Rijn en de Maas de maatgevende afvoer gegeven voor een vooraf gekozen herhalingsstijd van $T = 1250$ jaar. Om voor een willekeurig andere herhalingsstijd de maatgevende afvoer te kunnen bepalen is voor beide rivieren de werklijn afgeleid.

De resultaten van deze aanvullende studie is beschreven in het hier voorliggende rapport met als titel:

aanvullend rapport 2: Werklijn Rijn en Maas

Rapportsamenvatting

Op verzoek van de Minister van Verkeer en Waterstaat heeft het Waterloopkundig Laboratorium en het Europees Amerikaans Centrum voor beleidsanalyse (EAC-RAND) een studie uitgevoerd naar de uitgangspunten rivierdijkversterking. De studie wordt begeleid door de commissie 'Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterking' (Commissie Boertien). In deze studie is nagegaan of er, sinds het in gang zetten van de lopende dijkversterking, zodanige veranderingen zijn opgetreden in de uitgangspunten dat thans andere keuzes zouden worden gemaakt. De resultaten van deze studie zijn in januari 1993 gepresenteerd, zie WL & EAC-RAND, 1993a t/m 1993f. Bij de uitwerking is zowel aandacht besteed aan het stroomgebied van de Rijn als dat van de Maas.

In juni 1993 is een aanvullend rapport uitgebracht, waarin een uitgebreidere studie van de Maas is weergegeven dan mogelijk was tijdens het eerste rapport van januari 1993 (WL, 1993g).

In de genoemde rapporten is voor de Rijn en de Maas de maatgevende afvoer gegeven voor een vooraf gekozen herhalingsstijd van $T = 1250$ jaar. Om voor een willekeurig andere herhalingsstijd de maatgevende afvoer te kunnen bepalen is voor beide rivieren de werklijn afgeleid.

Voor de bepaling van de werklijn is de volgende procedure gevolgd:

1. frequentie-analyse gebaseerd op afvoerpieken en jaarmaxima;
2. correctie van de resultaten uit de frequentie-analyse voor het effect van rivierwerken bovenstrooms;
3. afleiden van een functie die het verband beschrijft tussen de herhalingsstijd en de bijbehorende maatgevende afvoer (werklijn).

De frequentie-analyse is in twee delen gesplitst:

1. tot een herhalingsstijd van circa 10-25 jaar wordt de geëxtrapoleerde waarde gebaseerd op de algemene Pareto-verdeling, toegepast op een serie afvoerpieken die gelijk is aan het aantal jaren van meting;
2. voor de hogere herhalingsstijden worden de geëxtrapoleerde waarden bepaald uit het gemiddelde van verschillende frequentie-verdelingen op basis van jaarmaxima.

Deze twee-deling is noodzakelijk, omdat methode 2 een onderschatting geeft van de afvoer behorende bij korte herhalingsstijden.

Methode 1 is voor de Rijn en de Maas gelijk. Voor methode 2 zijn echter verschillende typen frequentie-verdelingen gebruikt, afhankelijk van de mate van aanpassing van de lijnen aan de data.

De berekende waarden uit de frequentie-analyse zijn gecorrigeerd voor het effect van veranderingen in het rivierprofiel bovenstrooms van de meetstations Lobith en Borgharen voor resp. de Rijn en de Maas. Voor de Rijn zijn gedetailleerde rapporten voorhanden die wij ten

behoefte van deze studie opnieuw hebben geëvalueerd, omdat voor het voorgaande rapport met name was gekeken naar de correctie bij de herhalingstijd van $T=1250$ jaar. Er is aangenomen dat de correctie-waarden die zijn berekend voor de lokatie Keulen ook kunnen worden toegepast voor het meetstation Lobith.

Voor de Maas staat slechts een eerste voorlopige studie van de effecten van de rivierwerken in België ter beschikking. Door een simpele regressie is het berekende effect gecorrigeerd aan de maatgevende afvoer. De betrouwbaarheid van deze aanname is echter niet groot en wordt enkel aangehouden om toch een correctie toe te kunnen passen.

Voor andere mogelijke effecten, zoals veranderingen in de stroomgebieden van de zijrivieren, kon niet gecorrigeerd worden omdat vooralsnog de aard en omvang hiervan niet bekend zijn.

Voor het bepalen van het verband tussen de herhalingstijden en de bijbehorende maatgevende afvoeren is een functie afgeleid tussen de twee variabelen. Om de nauwkeurigheid van de functies te vergroten is de ondergrens van de functie gelegd bij een herhalingstijd van 10-25 jaar en zijn twee intervallen in de herhalingstijd aangehouden. De volledige werklijn is wel in één figuur weergegeven, op lineaire en logaritmische schaal.

1 Inleiding

Op verzoek van de Minister van Verkeer en Waterstaat heeft het Waterloopkundig Laboratorium en het Europees Amerikaans Centrum voor beleidsanalyse (EAC-RAND) een studie uitgevoerd naar de uitgangspunten rivierdijkversterking. De studie wordt begeleid door de commissie 'Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterking' (Commissie Boertien). In deze studie is nagegaan of er, sinds het in gang zetten van de lopende dijkversterking, zodanige veranderingen zijn opgetreden in de uitgangspunten dat thans andere keuzes zouden worden gemaakt. De resultaten van deze studie zijn in januari 1993 gepresenteerd, zie WL & EAC-RAND, 1993a t/m 1993f. Bij uitwerking is zowel aandacht besteed aan het stroomgebied van de Rijn als dat van de Maas.

In juni 1993 is een aanvullend rapport uitgebracht, waarin een uitgebreidere studie van de Maas is weergegeven dan mogelijk was tijdens het eerste rapport van januari 1993, zie WL & EAC-RAND, 1993g.

In de bovengenoemde rapporten zijn de maatgevende afvoeren van de Rijn te Lobith en de Maas te Borgharen bepaald voor een herhalingstijd van $T = 1250$ jaar

1.1 Probleemstelling

Werklijn Rijn te Lobith en Maas te Borgharen

Op verzoek van de Minister van Verkeer en Waterstaat is nog een aanvullend onderzoek uitgevoerd voor de bepaling van de werklijn voor de maatgevende afvoeren van de Rijn te Lobith en de Maas te Borgharen. Voor het uitvoeren van deze aanvullende studie is gebruik gemaakt van de berekeningen van de maatgevende afvoer die zijn uitgevoerd voor het project van de Rivierdijkversterkingen. De waarden zijn berekend op basis van een middeling uit een frequentie-analyse met verschillende verdelingen. Afhankelijk van de visuele beoordeling van de aanpassing van de frequentie-lijnen aan de data zijn voor de Rijn en de Maas verschillende verdelingen gebruikt voor de middeling.

De werklijn is bepaald volgens twee methoden, die afhankelijk zijn van de herhalingstijd:

1. tot een herhalingstijd van circa 10-25 jaar wordt de geëxtrapoleerde waarde gebaseerd op de algemene Pareto-verdeling, toegepast op een serie afvoerpieken die gelijk is aan het aantal jaren van meting;
2. voor de hogere herhalingstijden worden de geëxtrapoleerde waarden bepaald uit het gemiddelde van verschillende frequentie-verdelingen op basis van jaarmaxima.

Deze twee-deling is noodzakelijk, omdat methode 2 een onderschatting geeft van de afvoer behorende bij korte herhalingstijden.

Hoewel de algemene Pareto-verdeling is afgefallen voor de extrapolatie naar hoge herhalingstijden, is deze wel toepasbaar voor het bepalen van de maatgevende afvoer bij korte herhalingstijden, omdat hier feitelijk sprake is van een interpolatie. In dit bereik is de aanpassing van de lijn aan de data voldoende nauwkeurig.

De berekende waarden moeten worden gecorrigeerd voor effecten van rivierwerken bovenstrooms, die in het algemeen afvoer-verhogend werken. Daarbij moet voor de Rijn nog rekening worden gehouden met de bestaande en geplande retentie-werken, die de verhoging weer gedeeltelijk compenseren.

Met de toepassing van deze correcties op de berekende waarden zijn de maatgevende afvoeren vastgelegd voor een aantal herhalingstijden tussen 2 en 10.000 jaar. Deze zijn geïnterpoleerd met behulp van een functie die het mogelijk maakt voor iedere herhalingstijd de bijbehorende maatgevende afvoer te kunnen bepalen over een interval van herhalingstijden dat loopt van 25 - 10.000 jaar. Hiermee is de werklijn vastgelegd.

Voor de lagere herhalingstijden (< 25 jaar) is in de tabellen de maatgevende afvoer gegeven voor $T = 2, 5$ en 10 jaar, maar deze zijn niet opgenomen in de functie, omdat hierdoor een discontinuïteit in de functie op zou treden.

Door een meer nauwkeurige benadering van de vereiste correcties over een breed afvoerbereik treden geringe verschillen op in de afvoerwaarden tussen het oorspronkelijke getal in Deelrapport 2 en de hier berekende waarden. Op de uiteindelijke maatgevende afvoer, die een afgeronde waarde is in de werklijn, heeft dit echter geen effect.

Voor andere mogelijke effecten, zoals veranderingen in de stroomgebieden van de zijrivieren, kon niet gecorrigeerd worden omdat vooralsnog de aard en omvang hiervan niet bekend zijn.

1.3 Opdracht

De opdracht is uitgevoerd onder contract HW-493B tussen de Rijkswaterstaat, Hoofddirectie, en het WL.

1.4 Uitvoering

In hoofdstuk 2 is een beschrijving gegeven van de bepaling van de werklijn van de Rijn te Lobith en de Maas te Borgharen. Hierin is opnieuw uitgebreid gekeken naar de effecten van de rivierwerken in Duitsland.

Het project is uitgevoerd door dhr. J. Bremer en drs. R.H. Passchier. De projectleiding was in handen van ir. J.H.A. Wijbenga. Tijdens het gehele project is regelmatig advies ingewonnen van prof. ir. H.J.M. Ogink.

2 Maatgevende afvoeren (Werklijn)

2.1 Rijn te Lobith

2.1.1 Effect van rivierwerken in Duitsland

In de voorgaande studie is voor de maatgevende afvoer behorende bij een herhalingstijd van 1250 jaar als schatting een verhoging van $+500 \text{ m}^3/\text{s}$ toegepast voor de Rijn te Lobith. Om een goede schatting te krijgen van de correctie-waarden bij andere herhalingstijden is opnieuw gekeken naar de studies die bekend zijn van de Duitse Rijn.

In het tweede deelrapport van de Rivierdijkversterkingen (WL & EAC-RAND, 1993d) is in hoofdstuk 2.2.1 een overzicht gegeven van de uitgevoerde rivierwerken in Duitsland. Hoofdstuk 2.2.2 geeft een overzicht van de uitgevoerde en geplande retentie-werken in Duitsland.

a Mittelrhein en Niederrhein tot Keulen

De geschiedenis van de antropogene ingrepen in de loop van de Rijn in Duitsland zijn beschreven in Engel & Mürlebach (1986) en HSG (1991).

De belangrijkste ingrepen benedenstrooms van Basel, de zogenaamde Tulla-regulering, zijn uitgevoerd in de periode 1840-1884. Hierbij heeft de Oberrhein in Duitsland een meer uniform profiel gekregen. Deze kanalisatie heeft vooral een vergrotende werking op de piekafvoeren door een vermindering van de overstroombare oppervlakte. In de periode 1817-1861 zijn belangrijke verkortingen van de rivierloop doorgevoerd, resulterend in een steiler verhang en toegenomen erosie. De belangrijkste rivierwerken waren rond 1950 beëindigd. Door de uitgevoerde werken was tussen Basel en Maxau het oorspronkelijke retentie-gebied verminderd met circa 730 km^2 . In de periode tussen 1950 en 1977 is door de bouw van stuwen (met name bij Iffezheim) nog eens 130 km^2 verloren gegaan in het Oberrhein gebied.

Het algemene effect van de maatregelen was een duidelijk steilere afvoergolf, waardoor de maxima eerder worden bereikt, en de piekafvoer toeneemt.

Dijkverhogingen zijn al vele eeuwen in uitvoering. Met name na de piekafvoer van 1955 zijn extra verhogingen uitgevoerd. In het voorjaar van 1991 zijn door de deelstaten Baden-Württemberg, Hessen en Rheinland-Pfalz gezamenlijk dijkhoogten vastgesteld voor hoogwaterbescherming.

Uit recente mondelinge informatie van H. Engel (Bundesanstalt für Gewässerkunde) volgt, dat men in Duitsland wil proberen een groot deel van de huidige verhogingen van de piekafvoeren weer teniet te doen door het aanleggen van retentiebekkens. In hoeverre dit zal lukken en op welke termijn deze werken zullen worden uitgevoerd is echter niet bekend. In 1982 is een overeenkomst getekend tussen Frankrijk en West-Duitsland waarin de beide landen zich verplichten in totaal 212 miljoen m^3 aan retentiebekkens te realiseren. Hiervan ligt 56 miljoen m^3 in Frankrijk en 156 miljoen m^3 in Duitsland. Een gedetailleerde beschrijving van de geplande bekkens is gegeven in HSG (1991).

Door de 'Hochwasserstudienkommission für den Rhein' (HSK) is in de periode 1968-1978 gezocht naar mogelijkheden om de ontstane effecten weer terug te dringen. Overigens is voornamelijk aandacht besteed aan afvoeren kleiner dan of gelijk aan de $T=200$ jaar afvoer, en is de aandacht alleen gericht op verlaging van de piekafvoer, en dus niet op het herstel van de oorspronkelijke looptijd. Als resultaat van dit onderzoek is voorgesteld een aantal retentiebekkens aan te leggen. Deze bekkens zijn alleen mogelijk bovenstrooms van Iffezheim (Maxau).

In de periode 1978-1985 heeft de Hochwasserstudiengruppe (HSG) zich beziggehouden met het traject Worms-Kaub. Hierin zijn de noodzakelijke retentiebekkens gedefinieerd voor het riviertraject benedenstrooms van de monding van de Main. Momenteel liggen de meeste van deze bekkens nog achter bandijken en zijn nog niet inzetbaar tijdens hoogwaterafvoeren.

In het voorlopige rapport van de 'Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth' (HSG, 1991) is de invloed van de veranderingen in de rivierprofielen beschreven. Alle berekeningen zijn uitgevoerd met het stroommodel van de BfG. Uit de berekeningen volgt een verkorting van de looptijd voor het afvoerstation Maxau van circa 30 uur voor een piekafvoer met een terugkeertijd van 200 jaar. Voor een aantal historische afvoeren zijn de resultaten gegeven in Tabellen 2.1 en 2.2.

Historische piekafvoer	Andernach				Keulen			
	I m ³ /s	II m ³ /s	III m ³ /s	IV %	I m ³ /s	II m ³ /s	III m ³ /s	IV %
1882/83	1889	1366	523	72	1881	1355	526	72
1920	218	221	-3	101	297	298	-1	100
1925/26	82	82	0	100	107	107	0	100
1955	498	162	336	33	521	174	347	33
april 1983	382	239	143	63	388	248	140	64
mei 1983	459	328	131	72	468	337	131	72
1988	427	365	62	86	424	361	63	85

I = Toestand 1977 minus toestand 1955 (Afvoerverhoging);
 II = Toestand 1977 'A' minus toestand 1955 (als I, maar met retentiebekkens van 100 miljoen m³);
 III = Verschil tussen I en II (vermindering van de afvoerverhoging door de retentiebekkens);
 IV = II, uitgedrukt in %.

Tabel 2.1 Veranderingen in historische piekafvoeren voor de stations Andernach en Keulen voor vier verschillende situaties (huidige retentiebekkens van 100 miljoen m³).

Historische piekafvoer	Andernach				Keulen			
	I m ³ /s	II m ³ /s	III m ³ /s	IV %	I m ³ /s	II m ³ /s	III m ³ /s	IV %
1882/83	1889	718	1171	38	1881	711	1170	37
1920	218	215	3	99	297	296	1	100
1925/26	82	82	0	100	107	107	0	100
1955	498	-115	613	-23	521	-107	628	-20
april 1983	382	202	180	53	388	210	178	54
mei 1983	459	166	293	36	468	175	293	37
1988	427	75	352	18	424	106	318	25

I = Toestand 1977 minus toestand 1955 (Afvoerhoging);
 II = Toestand 1977 'B' minus toestand 1955 (als I, maar met retentiebekkens van 212 miljoen m³);
 III = Verschil tussen I en II (vermindering van de afvoerhoging door de retentiebekkens);
 IV = II, uitgedrukt in %.

Tabel 2.2 Veranderingen in historische piekafvoeren voor de stations Andernach en Keulen voor vier verschillende situaties (geplande retentiebekkens van 212 miljoen m³).

In de Tabellen 2.1 en 2.2 is duidelijk te zien, dat zowel de mate van beïnvloeding door de rivierwerken als de invloed van de retentiebekkens op de piekafvoeren sterk afhankelijk is van de herkomst van de piekafvoer. De hoogste afvoer in Duitsland (1883) is mogelijk een uitzonderlijk geval, omdat hier door de rivierwerken de piekafvoer op de zijrivieren en de hoofdriever vrijwel samenvielen. Voor 1925/26 is het effect nul, omdat de piekafvoer ontstond benedenstrooms van de Main. Met name de bijdrage van de Ruhr kan van groot belang zijn voor de uiteindelijke piekwaarde.

Op de resultaten van de herberekening van 41 piekafvoeren te Keulen is een frequentie-analyse (3-parameter log-normale) toegepast om de verschillen in maatgevende afvoer te bepalen voor verschillende herhalingstijden. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2.3. De toepassing van een Gumbel-verdeling (met ondergrens) is op deze series niet mogelijk, omdat het geen jaarmaxima zijn. De waarden in Tabel 2.3 moeten alleen gebruikt worden voor een onderlinge vergelijking, en niet als absolute waarden.

T	Historisch (1)	1955 (2)	1977 (3)	1977 A (100 MC) (4)	1977 B (212 MC) (5)
2	7.540	7.605	7.870	7.850	7.815
5	9.140	9.250	9.650	9.580	9.490
10	10.005	10.135	10.615	10.510	10.385
25	10.950	11.090	11.675	11.520	11.355
50	11.575	11.710	12.375	12.185	11.985
100	12.145	12.280	13.010	12.780	12.560
250	12.835	12.960	13.785	13.520	13.250
500	13.320	13.440	14.340	14.035	13.735
1000	13.780	13.895	14.855	14.520	14.195
1250	13.925	14.430	15.015	14.680	14.335
2500	14.360	14.460	15.505	15.130	14.765
5000	14.775	14.865	15.975	15.565	15.175
10000	15.180	15.260	16.430	15.985	15.570

MC staat voor miljoen m³.
De waarden zijn afgerond op 5 m³/s

Tabel 2.3 Resultaten frequentie-analyse gehomogeniseerde series van het station Keulen (3-parameter log-normale verdeling).

T	Historisch (1)	1955 (2)	1977 (3)	1977 A (100 MC) (4)	1977 B (212 MC) (5)	Gewogen gemid. (6)
2	7.540	+55	+330	+310	+275	+285
5	9.140	+110	+510	+440	+350	+380
10	10.005	+120	+610	+505	+380	+420
25	10.950	+140	+725	+570	+405	+460
50	11.575	+135	+800	+610	+410	+475
100	12.145	+135	+865	+635	+415	+490
250	12.835	+125	+950	+685	+415	+505
500	13.320	+120	+1020	+715	+415	+515
1000	13.780	+115	+1075	+740	+415	+525
1250	13.925	+105	+1090	+755	+410	+525
2500	14.360	+100	+1145	+770	+405	+525
5000	14.775	+90	+1200	+790	+400	+530
10000	15.180	+80	+1250	+805	+390	+530

MC staat voor miljoen m³.
De waarden zijn afgerond op 5 m³/s

Tabel 2.4 Resultaten Tabel 2.3 gegeven als verschil tussen historische series en de overige series.

In Tabel 2.4 zijn de verschillen weergegeven tussen de maatgevende afvoeren berekend met de historische series (kolom 1) en de overige vier (synthetische) series.

Daar de historische afvoeren een inhomogene serie vormen, kan deze slechts als indicatie worden gebruikt. De verschillen met de situatie in 1955 zijn echter gering (kolom 2).

De verschillen tussen de historische serie en de overige series (Tabel 2.4) tonen dat voor een herhalingstijd van $T=1250$ jaar de maatgevende afvoer bij Keulen door de rivierwerken tussen 1955 en 1977 circa $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$ is verhoogd (kolom 3). Door de gedeeltelijke uitvoering van retentiebekkens is deze waarde weer teruggebracht tot circa $750 \text{ m}^3/\text{s}$ (kolom 4). Bij een volledige uitvoering van de geplande retentie moet altijd nog rekening worden gehouden met circa $400 \text{ m}^3/\text{s}$ hogere afvoeren ten opzichte van de historische situatie voor $T=1250$ jaar (kolom 5). Het is belangrijk dat voor de toekomstige situatie met volledige retentie de verhoging boven een afvoer van circa $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$ als constant kan worden beschouwd (circa $400 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit is het gevolg van de keuze in Duitsland voor het dempen van piekafvoeren met een herhalingstijd in de orde van $T=200$ jaar.

Voor de correctie-waarden die moeten worden toegepast op de geëxtrapolerde afvoerwaarden zoals berekend met de frequentie-analyse wordt voorgesteld een situatie te nemen die ligt tussen de huidige retentie-waarden (kolom 4) en de geplande toekomstige waarden (kolom 5). Hierbij is meer waarde gehecht aan de toekomstige situatie, gezien de lengte van de periode van extrapolatie, zodat er gekozen is voor een gewogen gemiddelde, waarbij de toekomstige situatie dubbel meetelt. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 2.4 in kolom 6.

Het is duidelijk dat andere keuzes verdedigbaar zijn, maar de keuze tussen verschillende methoden van middeling zal binnen een grens van circa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ vallen. Ook als gekozen wordt voor het meest pessimistische scenario (correctie-waarden op basis van huidige retentie-situatie, kolom 4) is het verschil met de nu gekozen middeling slechts $230 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een herhalingstijd van $T=1250$ jaar.

b Niederrhein tot Lobith

Het deel van de Rijn tussen Bonn en de Nederlandse grens, aangeduid met Niederrhein, is van speciaal belang voor het optreden van hoogwaterafvoeren in Nederland. De oppervlakte van de uiterwaarden die vrij kunnen overstromen is circa 900 km^2 . De breedte van het natuurlijke overstromingsgebied neemt stroomafwaarts toe van 4 km bij Keulen, 6 km bij Düsseldorf tot 10 km benedenstrooms van het Ruhrgebied. Door dit overstromingsgebied treedt een belangrijke demping op van de afvoergolf tussen Keulen en Lobith, waardoor de berekende waarden in Tabel 2.3 niet direct kunnen worden gebruikt voor Lobith. Als we uitgaan van een gelijke demping voor de verschillende grootte-klasse van piekafvoeren tussen Lobith en Keulen zijn de verschillen tussen de series wel toepasbaar.

De studie van de invloed van de bovenstroomse retentiebekkens op de afvoer in het Niederrhein gebied is pas in het najaar van 1990 van start gegaan en er zijn nog geen resultaten bekend. Uit de voorbeeldstudie voor de historische afvoer van 1925/26 blijkt, dat het effect van retentiebekkens op deze afvoer nul is, omdat de grootste afvoer pas ontstond benedenstrooms van de Main. De retentiebekkens liggen bovenstrooms van Worms en worden pas effectief bij afvoeren $> 3.300 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de geplande bekkens ligt de ondergrens zelfs bij $> 3.800 \text{ m}^3/\text{s}$. In 1925/26 bleef de afvoer voor de Oberrhein onder deze grens.

Dit toont aan dat de bouw van retentiebekkens slechts effect heeft voor afvoerpieken die al in het traject Basel-Worms boven een bepaalde ondergrens liggen. Afvoerpieken die in het Mittel- en Oberrhein gebied ontstaan zullen hierdoor niet worden beïnvloed. Dit verklaart waarschijnlijk de bovengrens die wordt gevonden bij de vergelijking van de afvoeren bij Keulen gebaseerd op historische series en series voor de situatie met (toekomstige) volledige retentie. Voor de hogere afvoeren wordt de genoemde ondergrens overschreden en treden de retentiebekkens in werking.

In de voorlopige versie van het rapport van de 'Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth' (1991) wordt melding gemaakt van een geplande extra aanleg van retentiebekkens met een volume van 14 miljoen m³, die met name bedoeld is voor het Mittelrhein traject en direct onder de verantwoording zal vallen van de 'Landes Rheinland-Pfalz'. Het effect van deze extra berging op de afvoer is nog niet bestudeerd.

Uit recente informatie van het Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen volgt, dat er geen plannen bestaan voor uitgebreide retentie-maatregelen in het Niederrheingebied. Hiervoor zijn geen voldoende grote oppervlakten voorhanden. Wel wordt geprobeerd bestaande polders te behouden voor retentie en in sommige gevallen dijken verder landinwaarts te verleggen. Dergelijke maatregelen worden echter genomen uit ecologische overwegingen en zullen een verwaarloosbare invloed hebben op de grootte van piekafvoeren.

Uit berekeningen van Veraart (1984) blijkt dat het inlopen van de polders geen wezenlijke reductie geeft op de piekafvoer van 16.500 m³/s, omdat de piekafvoer pas optreedt nadat de polders zijn volgelopen. Wel is er mogelijk een effect van topvervlakking door zijdelingse berging, maar dit effect is nog niet nader bestudeerd. Als conclusie wordt dan ook gesteld dat de afvoertoppen tot 17.000 m³/s (en mogelijk zelfs tot 18.000 m³/s) niet worden beïnvloed door het vollopen van de polders in het Niederrhein gebied.

Geconcludeerd moet worden dat er geen kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn aangaande de huidige en verwachte invloed van rivierwerken en retentiebekkens op de afvoeren tussen Keulen en Rees/Lobith. Voorgesteld wordt de uitkomsten van de berekeningen bij Keulen toe te passen als correctie-waarden voor de maatgevende afvoeren berekend voor Lobith. Hierdoor wordt weliswaar het effect van demping tussen Keulen en Lobith verwaarloosd, maar is de huidige correctie een conservatieve benadering, die gegeven de onzekerheden, alleszins gerechtvaardigd is.

Conclusies:

1. er zijn geen betrouwbare berekeningen voor de effecten van rivierwerken en retentiebekkens in het Niederrhein gebied;
2. hoewel de absolute waarden van de extrapolaties gepresenteerd in Tabel 2.4 niet mogen worden toegepast, zijn de verschillen tussen de extrapolaties wel bruikbaar;
3. voor afvoeren tot minimaal 17.000 m³/s worden de afvoertoppen nauwelijks beïnvloed door het vollopen van polders in het Niederrhein gebied;
4. als het effect van demping tussen Keulen en Lobith wordt verwaarloosd, kunnen de correctie-waarden bepaald in Tabel 2.4 ook worden toegepast voor de lokatie Rees/Lobith;
5. het is belangrijk te realiseren dat het effect van de rivierwerken en de retentiebekkens op individuele piekafvoeren sterk afhankelijk is van de herkomst van de afvoer.

2.1.2 Frequentie-analyse

Voor het bepalen van de werklijn van de Rijn te Lobith is een berekening noodzakelijk van de maatgevende afvoer bij een aantal herhalingstijden.

De werklijn is bepaald volgens twee methoden, die afhankelijk zijn van de herhalingstijd:

1. tot een herhalingstijd van circa 10-25 jaar wordt de geëxtrapoleerde waarde gebaseerd op de algemene Pareto-verdeling, toegepast op een serie afvoerpieken die gelijk is aan het aantal jaren van meting;
2. voor de hogere herhalingstijden wordt het gemiddelde genomen van de geëxtrapoleerde waarden bepaald met de Gumbel, de Pearson-III en de log-normale (3-parameter) verdelingen op jaarmaxima.

De frequentie-lijnen staan afgebeeld in het Deelrapport 2 op de Figuren 2.3, 2.4 en 2.5., zie WL & EAC-RAND, 1993d.

De resultaten van de frequentie-analyse zijn samengevat in Tabel 2.5. De overgang van de methode 1 naar 2 is niet perfect en het verschil tussen de twee methoden bij een herhalingstijd van 25 jaar is circa 165 m³/s. Om deze overgang enigszins geleidelijk te laten plaatsvinden, is voor deze herhalingstijd het gemiddelde genomen uit de waarden van methode 1 en 2 (10240 m³/s).

T	Gumbel (1)	Pearson (2)	Log-nor- maal (3)	Gemiddeld (4)	Pareto (5)
2	-	-	-	-	7020
5	-	-	-	-	8345
10	-	-	-	-	9245
25	10.175	10.180	10.110	10.155	10320
50	11.105	11.040	10.945	11.030	-
100	12.030	11.450	11.720	11.865	-
250	13.250	12.780	12.615	12.880	-
500	14.170	13.425	13.240	13.610	-
1000	15.090	14.025	13.835	14.315	-
1250	15.385	14.235	14.020	14.545	-
2000	16.010	14.635	14.410	15.020	-
2500	16.305	14.825	14.590	15.240	-
5000	17.225	15.395	15.140	15.920	-
10000	18.140	15.950	15.680	16.590	-

Tabel 2.5 Resultaten frequentie-analyse Rijn te Lobith voor verschillende herhalingstijden.

2.1.3 Werklijn Rijn te Lobith

De uiteindelijke werklijn is bepaald uit de som van de waarden van de frequentie-analyse en de correctie-waarden voor de effecten van de rivierwerken in Duitsland. Voor deze laatste is aangenomen dat hiervoor de waarden zoals berekend voor de lokatie Keulen van toepassing zijn. Deze waarden, waarvan de berekening is gegeven in Tabel 2.4, zijn in Tabel 2.6 gekopieerd als kolom 2.

Met de correctie-waarden zijn de uiteindelijke afvoeren aangepast. De resultaten staan in Tabel 2.6 (kolom 3).

T	Gemiddelde waarden (1)	Correctie waarden (2)	Gecorrig. waarden (3)	Werklijn (4)
2	7020	285	7305	-
5	8345	380	8725	-
10	9245	420	9665	9670
25	10.240	460	10.700	10.720
50	11.030	475	11.505	11.520
100	11.865	490	12.355	12.320
250	12.880	505	13.385	13.370
500	13.610	515	14.125	14.125
1000	14.315	525	14.840	14.770
1250	14.545	525	15.070	15.000
2000	15.020	525	15.545	15.460
2500	15.240	525	15.765	15.680
5000	15.920	530	16.450	16.370
10000	16.590	530	17.120	17.060

Tabel 2.6 Bepaling maatgevende afvoer (Werklijn) Rijn te Lobith voor verschillende herhalingstijden

Om ook voor tussenliggende herhalingstijden de afvoer te kunnen bepalen is met de gecorrigeerde waarden een werklijn afgeleid met behulp van regressie-analyse. Daarbij is gebruik gemaakt van een logaritmische functie.

De aanpassing van de functie aan de volledige serie waarden is echter matig en er is gekozen voor een twee-deling in de lijn. Om de aanpassing optimaal te laten zijn, is daarbij voor de eerste lijn de ondergrens gekozen op $T = 10$ jaar.

De twee lijnen zijn:

1. voor $T = 10 - 500$ jaar (Figuur 2.1)

$$\text{Formule: } Q = 7020 + 1150 * \ln(T)$$

2. voor $T = 500 - 10.000$ jaar. (Figuur 2.2).

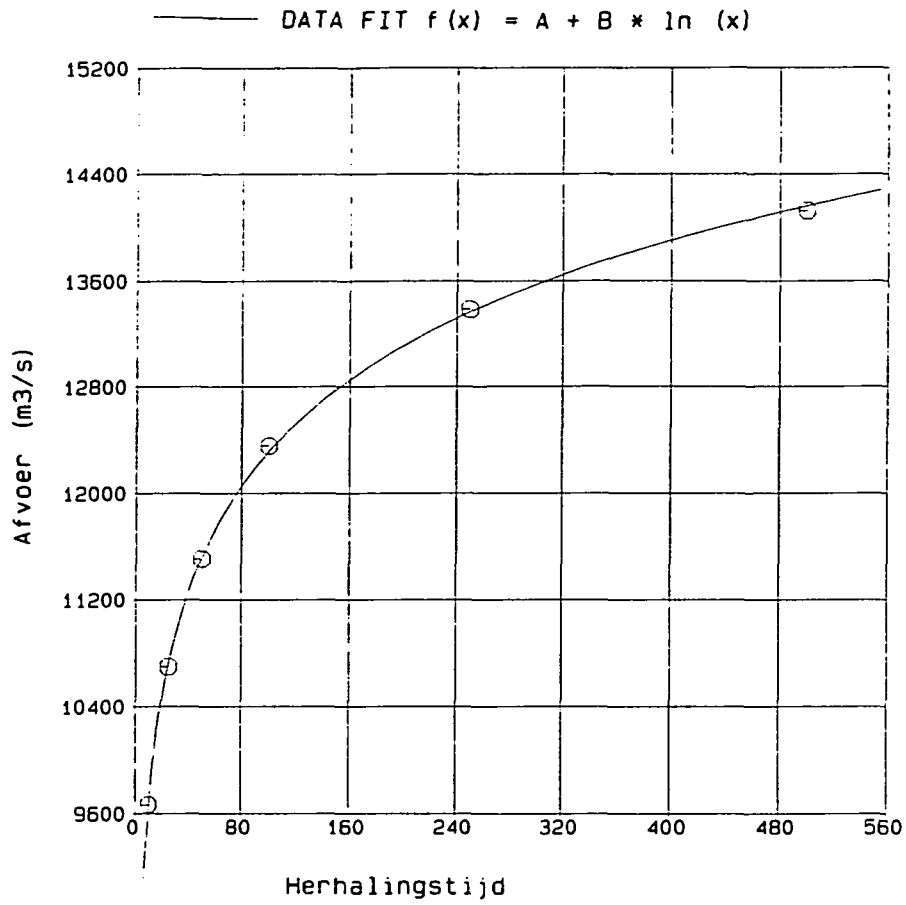
$$\text{Formule: } Q = 7900 + 995 * \ln(T)$$

$Q =$ Piekaafvoer in m^3/s ;
 $T =$ Herhalingstijd in jaren.

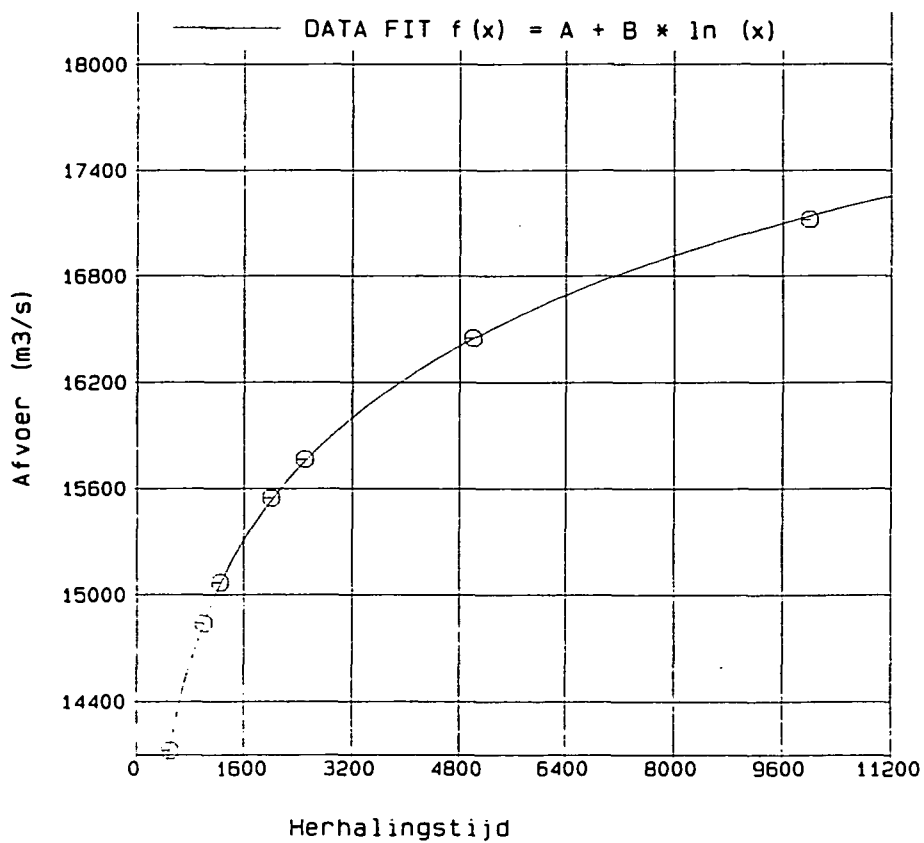
De waarden behorende bij deze werklijn zijn weergegeven in Tabel 2.6, kolom 4. Tussenliggende waarden kunnen met behulp van de twee regressie-formules worden berekend. Voor de gemeenschappelijke herhalingstijd van $T=500$ jaar is het verschil in uitkomst tussen de twee formules circa $80 \text{ m}^3/\text{s}$ en is de waarde in de tabel het gemiddelde uit de twee regressielijnen.

In Figuur 2.3 zijn de twee deel-lijnen gecombineerd tot één werklijn Rijn.

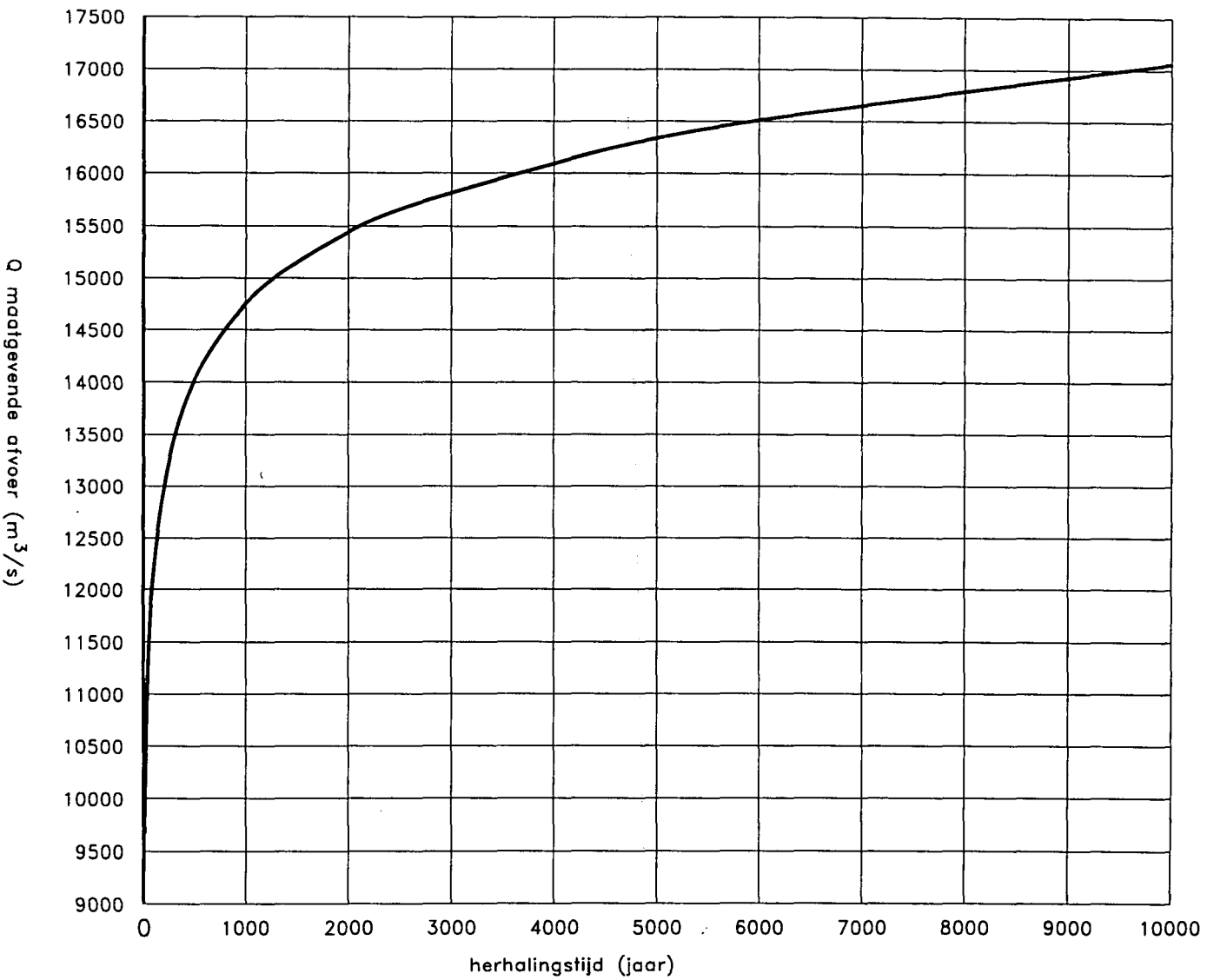
Extrapolatie van de lijnen buiten de gegeven bereiken kan leiden tot onbetrouwbare afvoerwaarden en wordt niet aanbevolen.



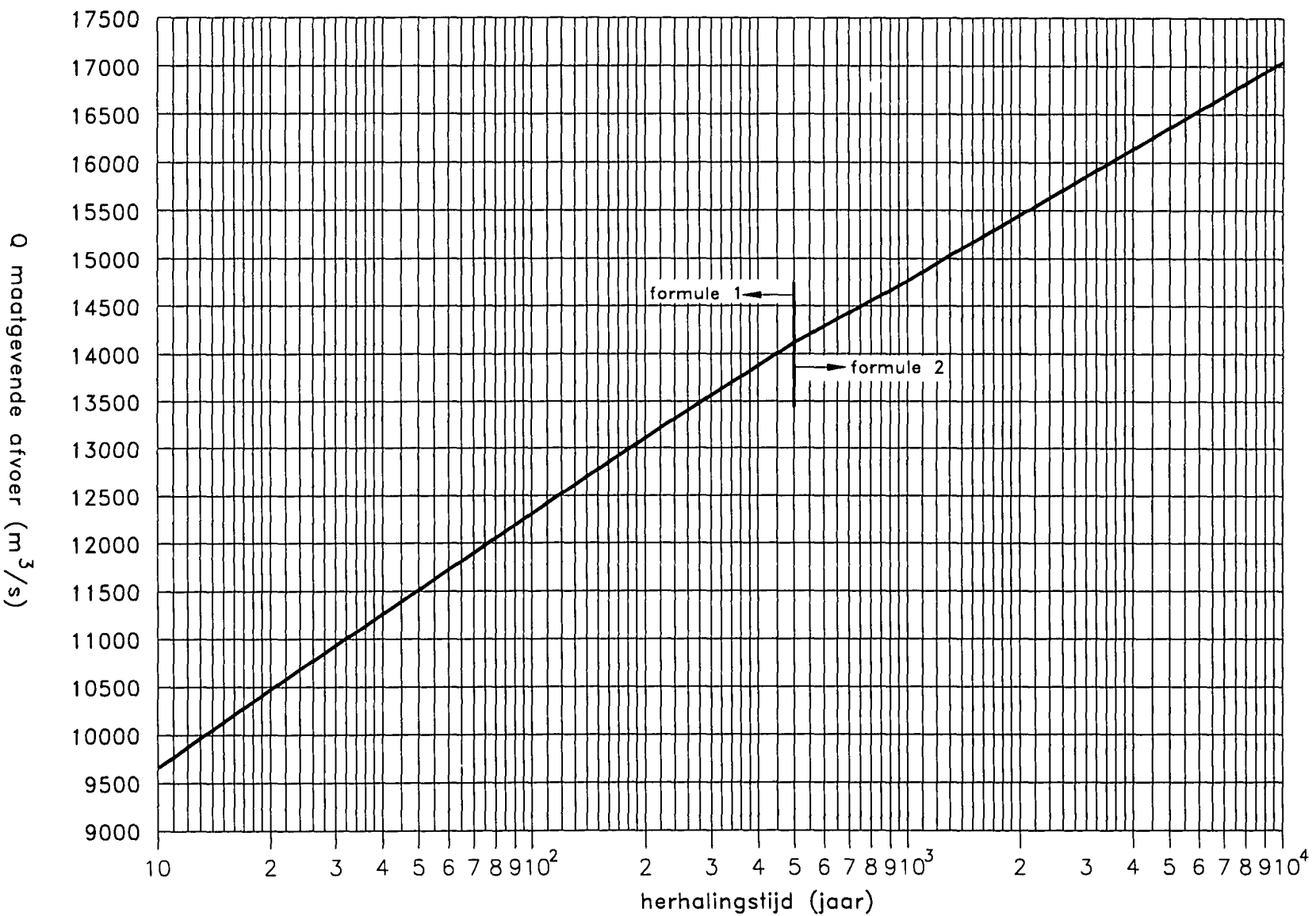
Figuur 2.1 Regressie maatgevende afvoeren voor interval T = 10 - 500 jaar



Figuur 2.2 Regressie maatgevende afvoeren voor interval T = 500 - 10.000 jaar



Figuur 2.3a Werklijn Rijn te Lobith (lineaire schaal)



Figuur 2.3b Werklijn Rijn te Lobith (logaritmische schaal)

2.2 Maas te Borgharen

2.2.1 Effecten rivierwerken in België

Zoals is opgemerkt op blz. 6-13 van het Aanvullend Rapport 1 is voor de Maas slechts de studie van Rijkswaterstaat (1988) beschikbaar voor de bepaling van de effecten van rivierwerken in België. Volgens dit rapport ligt de noodzakelijke correctie tussen de 100 en 350 m^3/s . De juiste toepassing van deze waarden op de berekende getallen uit de frequentie-analyse is alleen met zekerheid te bepalen uit een hydraulische modellering, waardoor de effecten bij verschillende afvoeren en golfvormen kunnen worden bepaald.

Om in dit geval toch een correctie toe te passen is uitgegaan van een minimale verhoging (+ 100 m^3/s) bij de gemiddelde piekafvoer (herhalingstijd $T = 2$ jaar) en een maximale verhoging (+ 350 m^3/s) voor de hoogste herhalingstijd waarmee gerekend is ($T = 10.000$ jaar). De tussenliggende correctiewaarden zijn bepaald uit een log-regressie.

Het is belangrijk te realiseren dat het mogelijke effect van veranderingen in het afvoergedrag van de zijrivieren niet in deze correcties wordt meegenomen. Een (toekomstige) studie van het volledige stroomgebied kan de aard en omvang van dit effect aangeven.

2.2.2 Frequentie-analyse

Voor de Maas te Borgharen is de werklijn bepaald volgens twee methoden, die afhankelijk zijn van de herhalingstijd:

1. tot een herhalingstijd van circa 10–25 jaar wordt de geëxtrapoleerde waarde gebaseerd op de algemene Pareto-verdeling, toegepast op een serie afvoerpieken die gelijk is aan het aantal jaren van meting;
2. voor de hogere herhalingstijden wordt het gemiddelde genomen van de geëxtrapoleerde waarden bepaald met de Gumbel, de Pearson-III, de log-normale (3-parameter) en de exponentiële verdelingen op jaarmaxima.

De frequentie-lijnen van de vijf toegepaste verdelingen zijn weergegeven in Aanvullend rapport 1: Maatgevende afvoer Maas, zie WL & EAC-RAND, 1993g (Figuren 6.1 - 6.5). De resultaten voor de verschillende frequentie-verdelingen zijn samengevat in Tabel 6.4 van dit rapport.

Het gemiddelde uit de vier frequentie-verdelingen voor jaarmaxima en de Pareto-verdeling is weergegeven in Tabel 2.7. Daar de gemiddelde waarden en de waarden uit de algemene Pareto-verdeling niet precies op elkaar aansluiten (verschil 45 m^3/s bij $T=25$ jaar), is voor deze herhalingstijd het gemiddelde van de twee waarden genomen (2240 m^3/s).

Tevens staan in deze tabel de correctie-waarden voor de invloed van de rivierwerken in België en de gecorrigeerde waarden.

T	Gemiddelde waarde	Pareto	Correctie waarde	Gecorrigeerde waarde
2	-	1385	100	1485
5	-	1695	125	1820
10	-	1925	150	2075
25	2260	2215	175	2415
50	2470	-	195	2665
100	2675	-	215	2890
250	2940	-	240	3180
500	3140	-	260	3400
1000	3335	-	280	3615
1250	3395	-	290	3685
2500	3590	-	310	3900
5000	3780	-	330	4110
10000	3970	-	350	4320

Tabel 2.7 Resultaten frequentie-analyse Maas te Borgharen voor verschillende herhalings tijden

2.2.3 Werklijn Maas te Borgharen

Voor het opstellen van de werklijn is een regressie uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van een logaritmische functie. Voor de Maas is een redelijke aansluiting mogelijk van de regressielijn aan de data, maar om de aanpassing nog te verbeteren is een twee-deling in de werklijn aangebracht en is voor de eerste lijn de ondergrens gekozen op $T = 25$ jaar. De aanpassing van de twee lijnen aan de data is voldoende nauwkeurig om een overlap in de intervallen mogelijk te maken.

De twee lijnen zijn:

1. voor $T = 25 - 1000$ jaar (Figuur 2.4)

$$\text{Formule: } Q = 1385 + 325 * \ln(T)$$

2. voor $T = 100 - 10.000$ jaar (Figuur 2.5)

$$\text{Formule: } Q = 1500 + 305 * \ln(T)$$

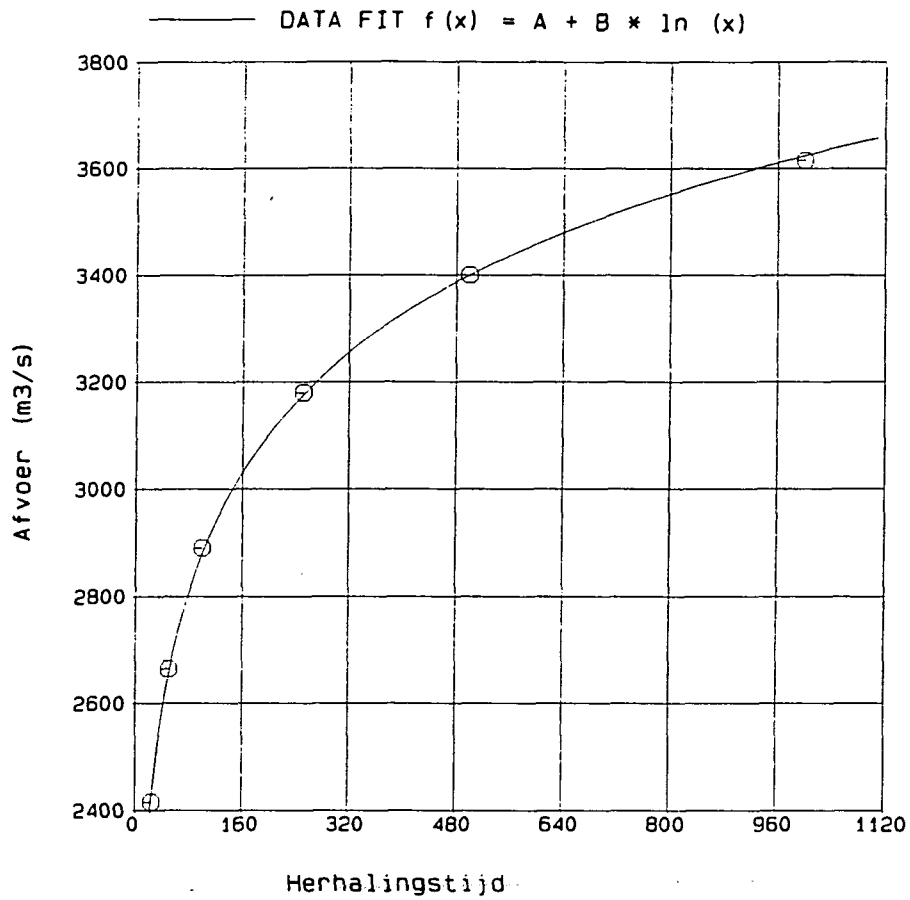
$Q =$ Piekafvoer in m^3/s ;

$T =$ Herhalings tijd in jaren.

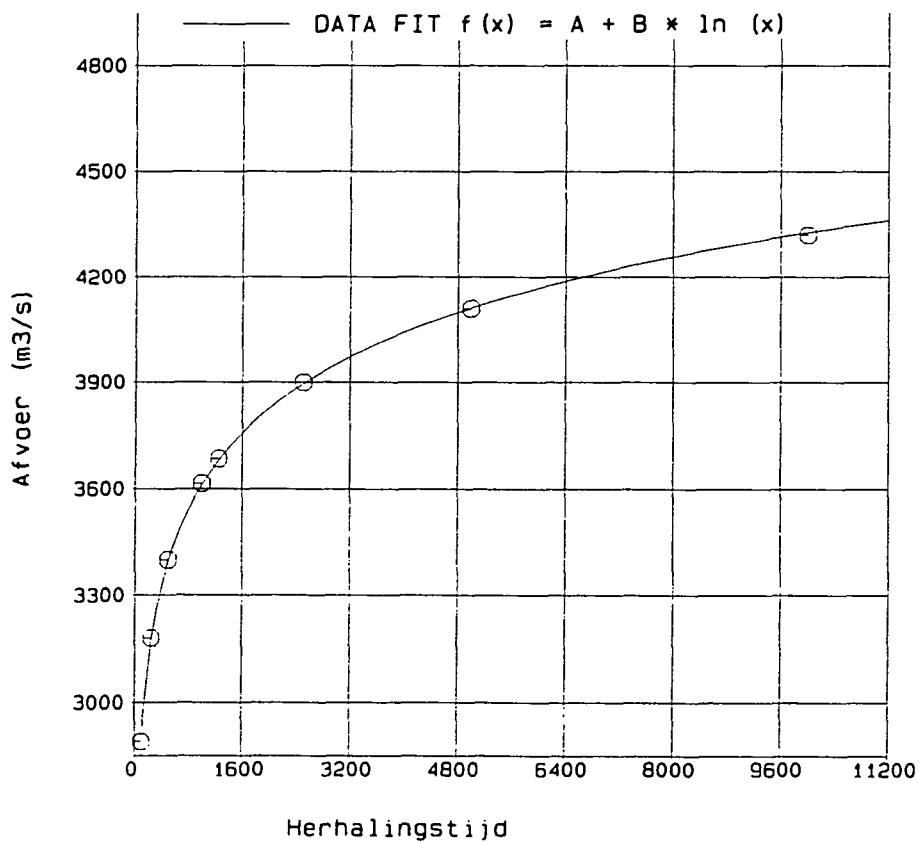
Met de toepassing van deze twee formules liggen de berekende waarden dicht bij de waarden in Tabel 2.7 en kunnen deze waarden naast die uit de werklijn worden gebruikt.

In Figuur 2.6 zijn de twee deel-lijnen gecombineerd tot één werklijn Maas.

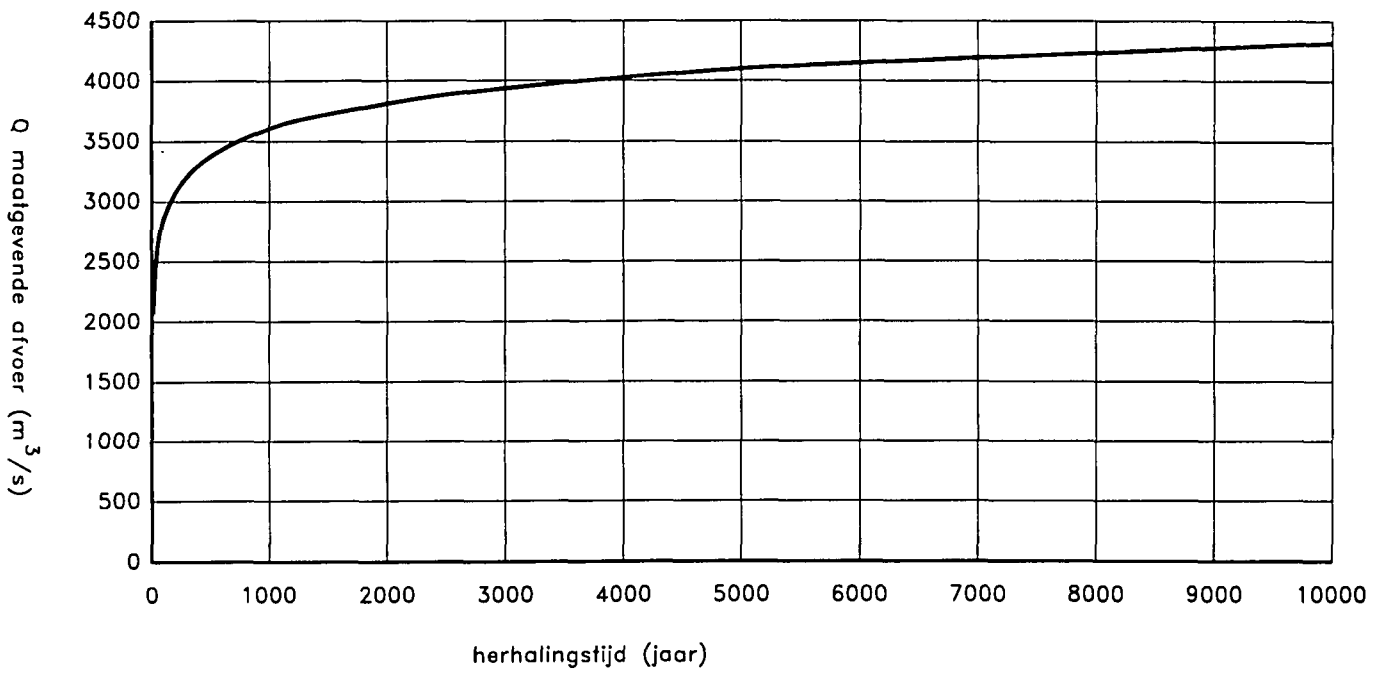
Extrapolatie van de lijnen buiten de gegeven bereik kan leiden tot onbetrouwbare afvoerwaarden en wordt niet aanbevolen.



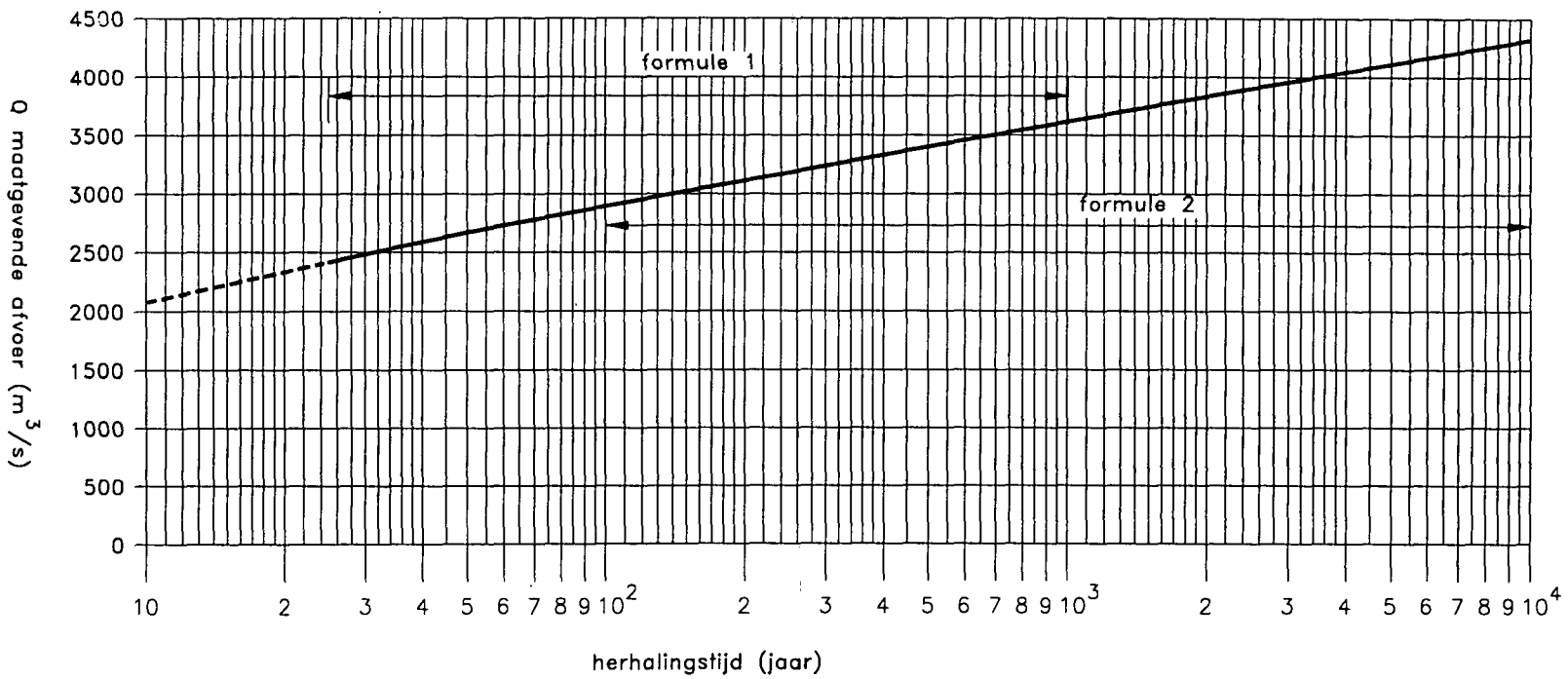
Figuur 2.4 Regressie maatgevende afvoeren voor interval T = 25 - 1000 jaar



Figuur 2.5 Regressie maatgevende afvoeren voor interval T = 100 - 10.000 jaar



Figuur 2.6a Werklijn Maas te Borgharen (lineaire schaal)



Figuur 2.6b Werklijn Maas te Borgharen (logaritmische schaal)

Literatuur

- Engel, H. & M. Mürlebach, 1986; Hochwasserretention am Rhein, mögliche Maßnahmen und deren Auswirkungen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 30, H.2/3, p.33-43.
- HSG, zie Hochwasserstudien­gruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth
- HSK, zie Hochwasser-Studienkommission für den Rhein
- Hochwasserstudien­gruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth, 1991; Der Einfluß des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Rolandswerth und darüber hinaus bis zum Kontrollpegel Köln. Bericht 1991, Entwurf.
- Hochwasser-Studienkommission für den Rhein, 1978; Schlußbericht (Basel-Worms).
- Rijkswaterstaat, 1988; Eerste schatting van de gevolgen van de normalisering van de Belgische Maas RWS, Dir. Limburg, Maastricht.
- Veraart, A.J., 1984; Mogelijke overstromingen in Duitsland en de gevolgen daarvan voor de maatgevende afvoer van de Rijn. RWS, nota 84.22.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993a: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Samenvattingen, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993b: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Eindrapport, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993c: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Veiligheid tegen overstromingen, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993d: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Maatgevende belastingen, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993e: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Constructief ontwerp, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993f: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterking; Functies, waarden en procedures, Waterloopkundig Laboratorium & European American Center for Policy Analysis.
- Waterloopkundig Laboratorium & EAC-RAND, 1993g; Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen, Aanvullend rapport 1: Maatgevende afvoer Maas, juni 1993.

Colofon

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Hoofdkantoor:
Rotterdamseweg 185, Delft
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon: (015) 56 93 53
telefax: (015) 61 96 74

Locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon: (05274) 29 22
telefax: (05274) 35 73

EAC/RAND

European-American Center for Policy Analysis
p/a TU Delft
Stevinweg 1
2628 CN Delft
telefoon: (015) 785411
telefax: (015) 781788

GRONDMECHANICA DELFT

Stieltjesweg 2
postbus 69
2600 AB Delft
telefoon: (015) 693 500
telefax: (015) 610 821

b.v. bureau sme

Canisiussingel 26
postbus 256
6500 AG Nijmegen
telefoon: (080) 22 39 38
telefax: (080) 24 19 71

Hamhuis + van Nieuwenhuijze + Sijmons

Laan van Chartreuse 168
postbus 10156
3505 AC Utrecht
telefoon: (030) 445757
telefax: (030) 446677

Informatie over het onderzoek is te verkrijgen bij:

Voorlichting Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Plesmanweg 1-6
2597 JG Den Haag
telefoon: (070) 3517120 / 3517710
telefax: (070) 3516868