

syk  
winkels

# Natuurontwikkelingsproject Grensmaas Milieu Effect Rapportage

Hydrologie van de Grensmaas

Deel 1.1

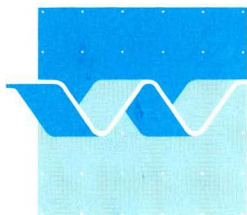
Bureaustudie

December 1995

# Natuurontwikkelingsproject Grensmaas Milieu Effect Rapportage

Hydrologie van de Grensmaas

D. Klopstra



# Inhoud

Woord vooraf

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

<b>1</b>	<b>Het Maasbekken</b> . . . . .	1 — 1
1.1	De Franse Maas . . . . .	1 — 1
1.2	De Belgische Maas . . . . .	1 — 1
1.3	De Nederlandse Maas . . . . .	1 — 3
1.3.1	De Geul . . . . .	1 — 3
1.3.2	De Geleenbeek . . . . .	1 — 3
<b>2</b>	<b>Beïnvloeding door de mens</b> . . . . .	2 — 1
2.1	De stuwen . . . . .	2 — 1
2.2	Wateronttrekkingen . . . . .	2 — 2
<b>3</b>	<b>Neerslag en afvoer</b> . . . . .	3 — 1
3.1	Neerslag . . . . .	3 — 1
3.2	Afvoer-algemeen . . . . .	3 — 2
3.3	Laagwater . . . . .	3 — 6
3.4	Hoogwater . . . . .	3 — 14

**Literatuur**



## Lijst van tabellen

- 1 Gebiedskenmerken van de Maas en haar zijrivieren
- 2 Enkele afvoercharacteristieken van de Geul en de Geleenbeek
- 3 Correcties op afvoeren te Borgharen
- 4 Laagwaterstatistieken van de Grensmaas bij Borgharen bij het huidige niveau van onttrekkingen ( $49\text{m}^3/\text{s}$ )
- 5 Zomerneerslag voor jaren waarbij geen periode zonder afvoer voor is gekomen
- 6 Laagwaterstatistieken van de Grensmaas bij Borgharen zonder onttrekkingen t.b.v. Julianakanaal
- 7 Laagwaterstatistieken van de natuurlijke afvoer op de Grensmaas bij Borgharen
- 8 Maatgevende afvoeren van de Maas bij Borgharen
- 9 Hoogwatercharacteristieken van de Grensmaas bij Borgharen
- 10 Maatgevende afvoeren van de Geul en de Geleenbeek

## Lijst van figuren

- 1 Het stroomgebied van de Maas
- 2 Langsprofiel van de Maas en de zijrivieren
- 3 Invloed van de stuw bij Linne op de waterstanden van de Grensmaas
- 4 Maandgemiddelde neerslagsom van de Maas en de zijrivieren
- 5 Maandgemiddelde neerslagsom van de Vesdre, de Amblève en de Ourthe
- 6 Maandgemiddelde afvoeren van enkele zijrivieren van de Maas
- 7 Maandgemiddelde afvoeren op de Maas te Chooz, Ampsin-Neuville en Borgharen
- 8 Jaargemiddelde afvoer van de Maas in Borgharen
- 9 Maandgemiddelde, -maximale en -minimale afvoeren van de Maas in Borgharen
- 10 Dagafvoeren Borgharen
- 11 Gemiddeld aantal onderschrijdingen van lage afvoeren per jaar en de gemiddelde duur daarvan
- 12 Gemiddelde totale onderschrijdingsduren per jaar van lage afvoeren
- 13 Trendanalyse onderschrijdingsduren van  $0.1\text{ m}^3/\text{s}$  bij het huidige niveau van onttrekkingen
- 14 Trendanalyse onderschrijdingsduren van  $50\text{ m}^3/\text{s}$  bij het huidige niveau van onttrekkingen
- 15 Zomerneerslag Maas-stroomgebied, periode 1 mei - 31 oktober
- 16 Gemiddeld aantal overschrijdingen van hoge afvoeren per jaar en de gemiddelde duur daarvan
- 17 Gemiddelde totale overschrijdingsduren per jaar van hoge afvoeren



## Woord vooraf

In opdracht van het Projectbureau Grensmaas is de Milieu Effect Rapportage (MER) Grensmaas uitgevoerd door een consortium geleid door IWACO en bestaande uit IWACO, CSO en het Waterloopkundig Laboratorium (WL). Onderwerp van studie was het Natuurontwikkelingsproject Grensmaas dat gerealiseerd kan worden door het rivierbed te verwijden. Aan de MER hebben verscheidene andere ingenieursbureaus, een aantal overheidsdiensten, universiteiten en andere research instituten bijgedragen.

De MER werd ondersteund door een rivierkundige studie die als onderdeel van de totaalopdracht door WL werd uitgevoerd. Binnen deze rivierkundige studie heeft Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS RIZA) als onderaannemer voor waterbewegingsberekeningen geparticipeerd.

De resultaten van de MER zijn samengevat in het Hoofdrapport en ondersteund door Deelrapporten. Hiervan is het Deelrapport Rivierkundige Studies tevens het eindrapport van een aparte serie rapporten. Deze aparte serie vormt een onderdeel van het archief van de MER.

Het Deelrapport Rivierkundige Studies bevat het totale resultaat op hoofdlijnen van vijf rapportseries zoals hiernaast vermeld.

Bij het rivierkundig onderzoek is gebruik gemaakt van informatie verkregen van RWS Directie Limburg en RWS RIZA. Het onderzoek werd begeleid door een door het Projectbureau Grensmaas ingestelde Klankbordgroep bestaande uit werknemers van RWS Directie Limburg en RIZA en vertegenwoordigers van buitenlandse (Duitse en Belgische) universiteiten en instellingen.

WL is volledig verantwoordelijk voor de wijze waarop de informatie is gebruikt bij het onderzoek, voor de interpretatie daarvan, alsmede voor het trekken van conclusies en het doen van aanbevelingen. De discussies met de Klankbordgroep hebben bijgedragen aan het maken van de juiste keuzes tijdens het onderzoek en de interpretatie van de resultaten.

In dit deelrapport wordt de hydrologie van de Grensmaas beschreven. Naast een algemene beschrijving wordt vooral ingegaan op de hoogwater- en laagwaterkarakteristieken van de Grensmaas en de invloed van de mens daarop.

Ir R.J. de Jong was de algemene projectleider van de rivierkundige studies. De hydrologie van de Grensmaas werd bestudeerd door ir D. Klopstra met ondersteuning van prof. ir H.J.M. Ogink. Dit rapport werd opgesteld door ir. D. Klopstra.

De resultaten van het hydrologisch, hydraulisch en morfologisch onderzoek van de Grensmaas zijn gepresenteerd in de volgende rapporten:

Natuurontwikkelingsproject Grensmaas  
Milieu Effect Rapportage

Deelrapport Rivierkundige Studies

De resultaten zijn in meer detail gerapporteerd in vijf aparte series rapporten die merendeels in het Engels zijn gesteld. De serie heeft als naam *Hydraulische en Morfologische Studies* (Hydraulic and Morphological Studies)

*Rapport serie 1 Bureaustudies (Desk studies)*

Hydrologie van de Grensmaas  
Sedimentologie van de Grensmaas  
Sedimenttransport in de Grensmaas<sup>1</sup>  
Morfologische ontwikkelingen van de MER-alternatieven<sup>1</sup>

*Rapport serie 2 Schaalmodelonderzoek (Scale Model Study)*

Ontwerp van het schaalmodel<sup>1</sup>  
Rapporten per variant

*Rapport serie 3 SOBEK*

SOBEK waterbewegingsberekeningen<sup>1</sup>  
SOBEK morfologische berekeningen<sup>1</sup>

*Rapport serie 4 WAQUA*

Rapporten per MER-alternatief en van de huidige situatie<sup>1</sup>

*Rapport serie 5 DELWAQ*

Rapporten per MER-alternatief en van de huidige situatie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> in het Engels



# 1 Het Maasbekken

Voor de navolgende beschrijving van de Maas is gebruik gemaakt van publikaties van Rijkswaterstaat (1992 en 1994b), Berger (1992) en het WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM (1994).

De Maas ontspringt in Frankrijk aan de voet van het plateau van Langres op een hoogte van circa 400 m+NAP. De totale lengte van de rivier van de bron bij Pouilly-en-Bassigny tot de monding in het Hollandsdiep bedraagt 891 km, waarvan 493 km in Frankrijk en 183 km in België, deels als grensrivier, zie Figuur 1. Het stroomgebied beslaat een oppervlakte van ongeveer 33.000 km<sup>2</sup>, waarvan 10.000 km<sup>2</sup> in Frankrijk, 13.000 km<sup>2</sup> in België, 4.000 km<sup>2</sup> in Duitsland en 6.000 km<sup>2</sup> in Nederland.

De Maas kan in drie gedeelten opgesplitst worden, ieder met hun karakteristieke hydrologische eigenschappen:

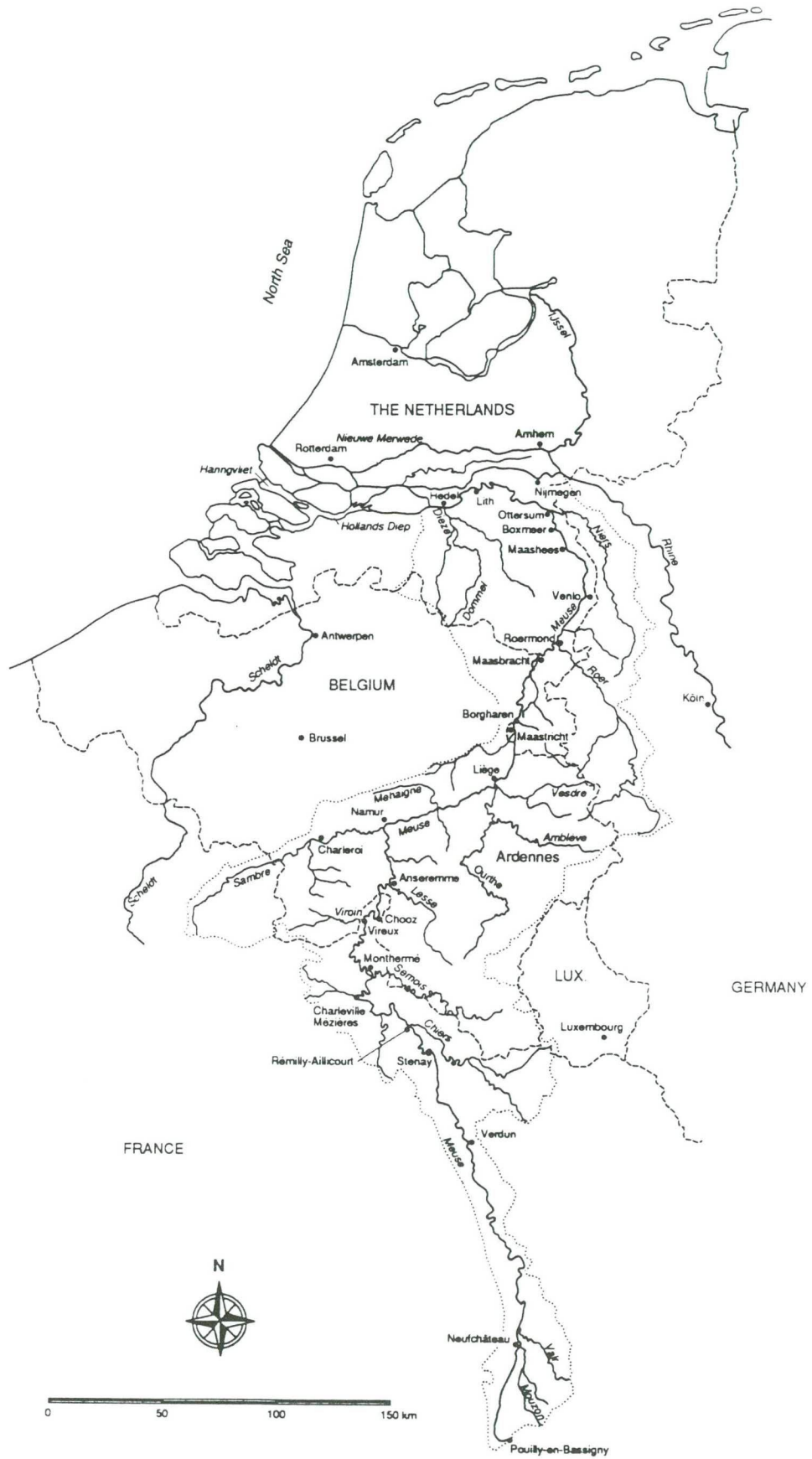
## 1.1 De Franse Maas

De Franse Maas loopt van de bron tot de monding van de Chiers en wordt ook wel de Lotharingse Maas genoemd. De Maas stroomt hier door de Liasmergels en de kalksteenlagen van de Midden- en Boven-Jura. Het stroomgebied is langgerekt en het verhang van de rivier is gemiddeld 40 centimeter per kilometer. Verder valt de afwezigheid van belangrijke zijrivieren op. Karakteristiek zijn de doorlatende gronden en het brede dal, factoren die een snelle toename van het debiet na een periode van neerslag tegengaan en anderzijds een constante grondwaterafvoer bevorderen en daarmee een zekere basisafvoer gedurende droge perioden in stand houden. De bevaarbaarheid van de Franse Maas is zowel met stuwen als met laterale kanalen verbeterd.

## 1.2 De Belgische Maas

Met de Belgische Maas wordt bedoeld het gedeelte van de monding van de Chiers in de Maas in Frankrijk tot de Belgisch-Nederlandse grens bij Eijsden. Na de samenvloeiing met de eerste belangrijke zijrivier, de Chiers, snijdt de Maas zich na Charleville-Mézières in in de paleozoïsche formaties van het hercynisch massief, dat over het algemeen een relatief lage doorlatendheid kent. Na het passeren van de Frans-Belgische grens op een hoogte van 94 m+NAP stroomt de Maas noordwaarts tot Namen door de plooiruggen van het Condruzisch plateau. Het dal waardoor de rivier hier stroomt is relatief nauw. Benedenstrooms van Namen buigt de rivier naar het oosten en verbreedt het dal zich tot Luik, waar het Albertkanaal begint. Vanaf Luik stroomt de Maas weer naar het noorden en passeert de Belgisch-Nederlandse grens bij Eijsden op een hoogte van 47 m+NAP. Het gemiddelde verhang van de Belgische Maas is 37 centimeter per kilometer. De breedte van de hoofdgeul neemt toe van 90 meter voor het traject Franse grens-Namen tot 140 meter bij Luik. Het stroomgebied van de Belgische Maas is veel breder dan dat van de Franse Maas doordat een aantal belangrijke zijrivieren samenvloeien met de hoofdrievier. De Viroin en de Semois monden nog voor de Frans-Belgische grens uit in de Maas, de Lesse bij Dinant, de Sambre bij Namen en tenslotte de Ourthe met de Vesdre en de Amblève bij Luik. Iets minder belangrijke zijrivieren zijn de Bocq, de Hoyoux en de Mehaigne. In de stroomgebieden van deze zijrivieren komen zowel ondoorlatende formaties als sterk doorlatende (karst)gesteenten voor.





Figuur 1 Het stroomgebied van de Maas

Een deel van de hoogste gebieden van het plateau van de Ardennen bezitten slecht gedraineerde gronden en vormen uitgestrekte veengebieden (Hautes Fagnes +694 m, Plateau de Tailles +652 m) die ook de brongebieden vormen van de meeste rivieren in de Ardennen. In Figuur 2 is een langsprofiel van de Maas en de zijrivieren weergegeven. Hieruit blijkt dat met name de zijrivieren uit de Ardennen relatief steile hellingen kennen. Dit veroorzaakt een zeer snel afvoerverloop naar de hoofdrivier. De Belgische Maas is volledig gekanaliseerd en de bevaarbaarheid wordt verder verbeterd door de aanwezigheid van vijftien stuwen. Met name de zes stuwen benedenstrooms van Namen kennen een groot verval en zijn gecombineerd met waterkrachtcentrales.

### 1.3 De Nederlandse Maas

De Nederlandse Maas, van Eijsden tot de monding in het Hollands Diep, kan nog opgesplitst worden in het ongestuwde gedeelte Eijsden-Maasbracht (met daarin de Grensmaas) met een relatief steil verhang van circa 40 centimeter per kilometer, en het gedeelte Maasbracht-Hollands Diep met een geringer verhang van gemiddeld 10 centimeter per kilometer. De Maas stroomt hier grotendeels in een bedding van eigen afzettingen, met uitzondering van een aantal korte trajecten waar het dal dusdanig steil en smal is dat alleen erosie optreedt. De stroomgebieden van de zijrivieren zijn hier minder groot dan in België. De belangrijkste zijn de Geul, Geleenbeek, Roer, Jeker, Swalm en de Niers. Verder staan een aantal kanalen in verbinding met de Maas zoals het Julianakanaal, de Zuid-Willemsvaart en het Maas-Waalkanaal. De twee zijbeken van belang voor de afvoer op de Grensmaas zijn de Geul en de Geleenbeek.

#### 1.3.1 De Geul

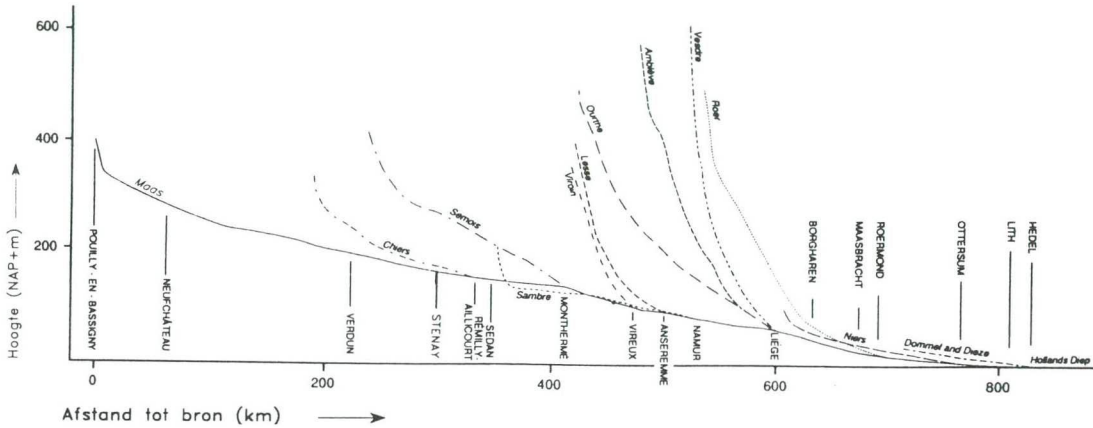
Het stroomgebied van de sterk meanderende Geul ligt in zuidelijk Zuid-Limburg en aangrenzende gebieden in België en Duitsland (WL, 1991). De Geul ontspringt in België op een hoogte van 280 m+NAP en mondt even ten westen van Meerssen uit in de Grensmaas ( $\pm$  rivierkilometer 22,5) op een hoogte van 41 m+NAP. De grootte van het totale stroomgebied bedraagt 387,75km<sup>2</sup> bij een lengte van de rivier van 58 km. Het bodemverhang varieert van 1 tot 9 meter per kilometer en is gemiddeld 4 meter per kilometer. De belangrijkste zijbeken van de Geul zijn de Selzerbeek, de Gulp en de Eijserbeek. In het stroomgebied van de Geul is een aantal voor Nederland unieke hydrologische verschijnselen aanwezig zoals bronbeken en periodiek watervoerende geulen. Door snelle oppervlakkige afvoer van neerslag tijdens perioden van intensieve neerslag is de piekafvoer van de Geul en de zijbeken vaak vele malen hoger dan de basisafvoer.

#### 1.3.2 De Geleenbeek

De Geleenbeek ontspringt bij Benzenrade op circa 120 m+NAP en mondt via de Oude Maas uit in de Maas bij Maasbracht op een hoogte van circa 27 m+NAP. De grootte van het totale stroomgebied is 398,6 km<sup>2</sup> bij een lengte van de hoofdrivier van 39,5 km. Het gemiddelde verhang bedraagt 2 meter per kilometer. De Geleenbeek stroomt voor een groot gedeelte door stedelijk gebied waardoor de afvoer snel reageert op neerslag.

De Grensmaas wordt naast de Geul en de Geleenbeek onder andere nog gevoed door de Hemelbeek, Langbroekbeek, Kingbeek, Kogbeek, Bosbeek en de Witbeek. De afvoeren van deze zijbeken zijn gering.

In Tabel 1 zijn enkele gebiedskenmerken van de Maas en haar zijrivier weergegeven.



Figuur 2 Langsprofiel van de Maas en de zijrivieren

Deelstroom gebied	Oppervlak (km <sup>2</sup> )	Lengte rivier (km)	Rivierhelling *10 <sup>-4</sup>
Maas te Stenay	3.904	299	4-6
Chiers	2.222	144	10
Semois	1.358	167	15
Viroin	593	57	20
Maas te Chooz	10.120	482	4
Lesse	1.314	83	50
Sambre	2.863	184	7
Ourthe te Tabreux	1.597	135	37
Vesdre	677	72	80
Amblève	1.052	88	50
Ourthe te Angleur	3.626	175	-
Maas te Borgharen	21.260	631	4
Geul	387.75	58	40
Geleenbeek	398.60	39.5	20

Tabel 1 Gebiedskenmerken van de Maas en haar zijrivieren



## 2 Beïnvloeding door de mens

### 2.1 De stuwen

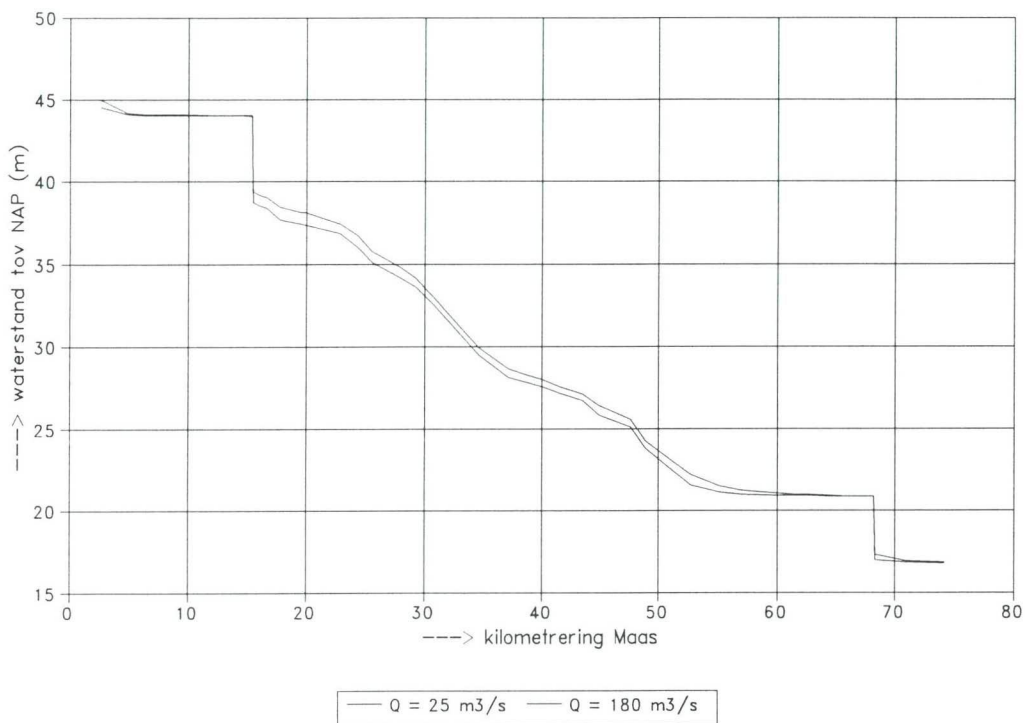
In de Maas zijn vele stuwen gerealiseerd met als doel de verbetering van de bevaarbaarheid. De Franse stuwen en de twee meest bovenstroomse Belgische stuwen zijn van het zogenoemde Poirée-Chanoine type: eenvoudige stuwen met een geringe kerende hoogte en beperkte sturingsmogelijkheden. De resterende dertien Belgische stuwen zijn van een moderner type waarbij met name de stuwen tussen Namen en de Nederlandse grens een grote kerende hoogte hebben en gecombineerd zijn met waterkrachtcentrales. Over het stuwbeheer van de Franse en de Belgische stuwen is weinig bekend, behalve dat de stuwen zodanig geregeld worden dat een bepaald stuwpeil met een bepaalde marge gehandhaafd blijft. Tijdens hoogwater worden de waterpeilen bovenstrooms van de stuwen verlaagd om de berging in de stuwpannen te verminderen. Het is daarbij niet precies bekend bij welk debiet de stuwen gestreken worden. De stuwen en de waterkrachtcentrales zorgen er voor dat er voor de Maas nauwelijks nog sprake is van natuurlijke afvoeren en waterstanden, behalve tijdens hoogwaters.

Voor de Grensmaas, die grotendeels ongestuwd is, hebben met name de stuwen van Lixhe en Borgharen en in iets mindere mate Linne een potentiële invloed op de afvoer- en waterstandsvariaties van de Grensmaas. De stuw van Lixhe ligt in België, circa 12 kilometer bovenstrooms van Borgharen, net benedenstrooms van Luik. De waterkrachtcentrale van deze stuw bezit vier turbines met een vast debiet van  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ . Met de autoriteiten in België is overeengekomen dat de turbines niet tegelijkertijd ingeschakeld mogen worden. Omdat het debiet van deze turbines niet regelbaar is resulteert aan- en uitschakeling in grote debietsvariaties benedenstrooms, dus ook op de Grensmaas. Klink (1986) stelt dat een debietsvariatie van 25% op uurbasis een kritische grens is voor de Grensmaas (RWS, 1992) omdat bij grotere variaties een drift op kan treden van bepaalde voor de Grensmaas karakteristieke organismen. Tijdens lage afvoeren zal deze grens regelmatig overschreden worden tenzij de stuw van Borgharen zodanig geregeld wordt dat de afvoervariaties gedempt worden. Het beheer van de stuw van Borgharen (aan het begin van de Grensmaas) kent sinds de zomer van 1994 de volgende doelstellingen (RWS, 1994a):

- 1 Handhaven van een gemiddeld stuwpeil van  $44 \text{ m} + \text{NAP}$ .
- 2 Handhaven van een minimum peil in verband met de scheepvaart.
- 3 Handhaven van een maximum peil voor scheepvaart (doorvaarthoogte bruggen), industrie en de bewegingswerken van de sluis te Born.
- 4 Handhaven van een minimum afvoer van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  op de Grensmaas ten behoeve van natuurwaarden.
- 5 Beperken afvoervariaties op de Grensmaas tot 25% op uurbasis ten behoeve van natuurwaarden.

Op deze manier worden de grootste debietsvariaties, die onder andere door de turbines van Lixhe veroorzaakt worden, uitgedempt. Bij afvoeren hoger dan  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$  wordt de stuw van Borgharen gestreken.

De invloed van de stuw bij Linne op de waterstanden van de Grensmaas is bij lage afvoeren tot ongeveer 15 kilometer bovenstrooms van Linne merkbaar. Berekeningen met een hydrodynamisch model illustreren dit, zie Figuur 3 waarin het waterstandsverloop op de Grensmaas bij een afvoer van 25 m<sup>3</sup>/s is weergegeven. De invloed van de benedenstroomse stuw bij Linne is merkbaar tot ongeveer rivierkilometer 54, (enkele kilometers benedenstrooms van Roosteren en Maaseik). Bij hogere afvoeren zal dit punt benedenstrooms opschuiven, zie het waterstandsverloop in Figuur 3 bij een debiet van 180 m<sup>3</sup>/s. De stuw van Linne heeft als stuwpeil 20,8 m+NAP.



Figuur 3 Invloed van de stuw bij Linne op de waterstanden van de Grensmaas

## 2.2 Wateronttrekkingen

Aan de Maas bovenstrooms van de Grensmaas wordt op diverse plaatsen water onttrokken of toegevoegd, ondermeer ten behoeve van peilbeheersing en doorstroming van kanalen, de industrie en de drinkwaterwinning. Met name tijdens lage afvoeren zal dit een merkbare invloed hebben op de afvoeren van de Maas. Langs de Maas onttrekt en loost een aantal elektriciteitscentrales water in de vorm van koelwater. Het verschil tussen de onttrokken en geloosde hoeveelheid ten gevolge van verdampingsverliezen zal veelal minder zijn dan  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . In het hierna volgende overzicht van de wateronttrekkingen en -toevoegingen zijn de onttrekkingen van de elektriciteitscentrales dan ook niet opgenomen. Dit overzicht is ontleend aan RWS (1992), RWS (1994b) en Berger (1992).

Frankrijk:

Van de Franse Maas zijn geen onttrekkingen of lozingen van meer dan  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  bekend.

België:

- Een onttrekking bij Tailfer van gemiddeld  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Brussel.
- Een variabele lozing op de Maas via de Sambre van het kanaal Charleroi-Brussel ten gevolge van schutverliezen.
- Een onttrekking voor het Albertkanaal (Luik) van gemiddeld circa  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  ten behoeve van peilbeheersing en drinkwatervoorziening van Antwerpen.
- Een toevoeging uit het Albertkanaal van gemiddeld  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  via het kanaal van Lanaye.

Nederland:

- Een onttrekking voor de Zuid-Willemsvaart bij Maastricht van gemiddeld circa  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  ten behoeve van peilbeheersing.
- Een onttrekking van gemiddeld  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  voor het Julianakanaal bij Bunde ten behoeve van peilbeheersing.
- Een lozing van ongeveer  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  door DSM op de Grensmaas bij Urmond na onttrekking van een iets grotere hoeveelheid aan het Julianakanaal bij Bunde.

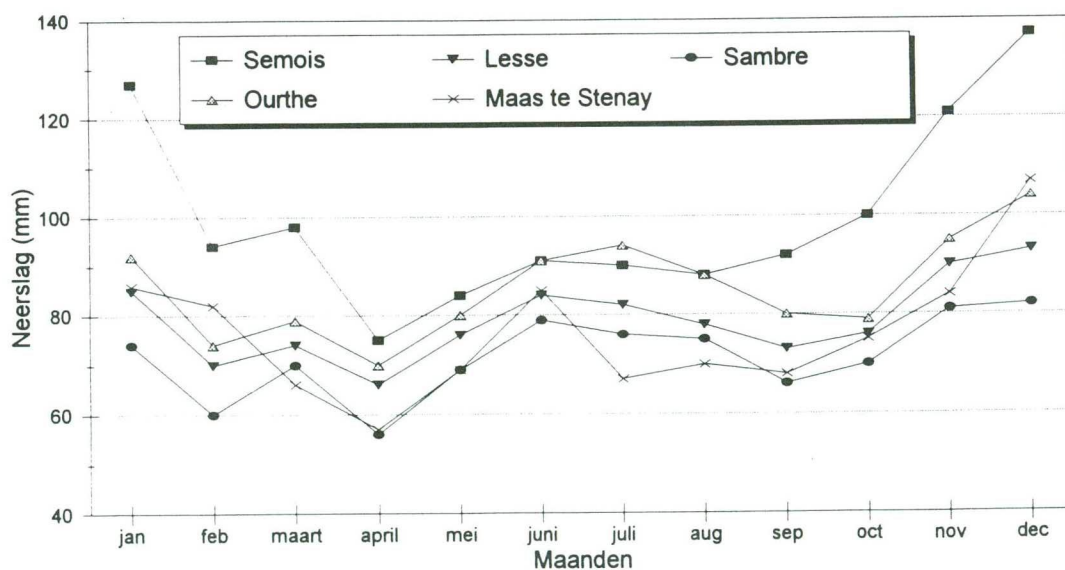


### 3 Neerslag en afvoer

De beschrijving van de neerslag- en afvoercharacteristieken van het stroomgebied in de Secties 3.1 en 3.2 is deels overgenomen uit (WL 1994).

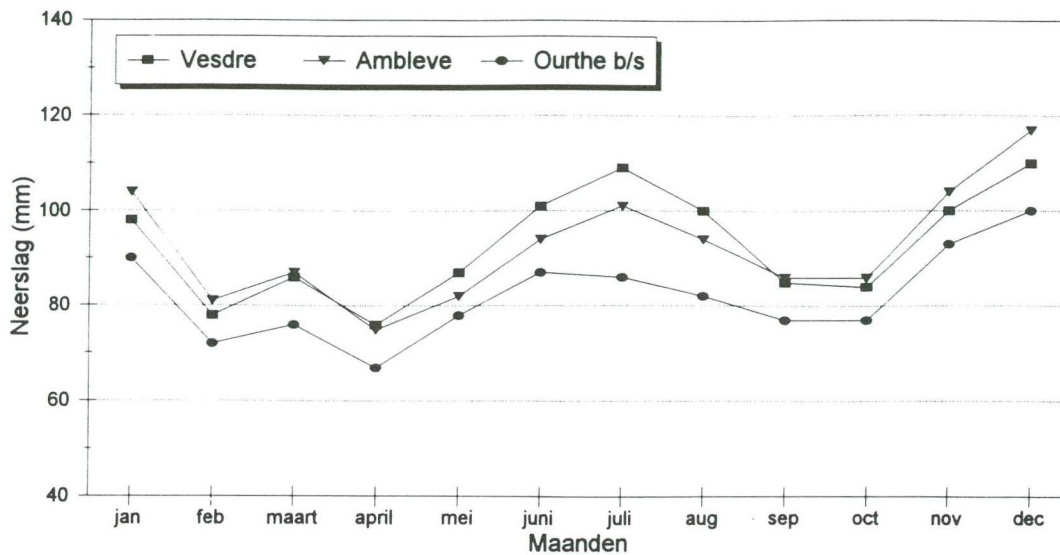
#### 3.1 Neerslag

De gemiddelde jaarlijkse neerslag in het stroomgebied van de Maas varieert van circa 800 tot 900 mm in het zuiden en westen en onder invloed van orografische effecten tot lokaal 1400 mm in de hoge Ardennen. Van de gebiedsjaarsommen (gemiddelde uit de periode 1951-1993) scoren met name de neerslagtotalen van de Semois (1196 mm), de Vesdre (1113 mm), en de Amblève (1108 mm) hoog. De neerslag in het Belgische deel van het stroomgebied (982 mm) is ongeveer 7% hoger dan in het Franse deel bovenstrooms van Stenay; daarmee komt de gemiddelde jaarsom over het gehele gebied bovenstrooms van Borgharen op circa 950 mm. De variatiecoëfficiënt (standaardafwijking/gemiddelde) in de gebiedsjaarsneerslagcijfers bedraagt ongeveer 0,17. De verdeling van de gemiddelde neerslag over het jaar in de deelstroomgebieden is weergegeven in de Figuren 4 en 5. In het algemeen valt de meeste neerslag in de zomer- en wintermaanden, terwijl in april gemiddeld de minste neerslag valt. Opvallend is dat de neerslag in het stroomgebied van de Semois enigszins afwijkt van het algemene patroon. Terwijl overal elders in het stroomgebied er geen duidelijk verschil is tussen de zomer- en wintermaandsommen, zijn in het stroomgebied van de Semois de wintermaanden aanmerkelijk natter dan de zomermaanden, zie Figuur 4. In het stroomgebied van de Ourthe is er een duidelijk verschil aanwezig tussen de deelgebieden; de neerslag in de noordelijke deelgebieden, de Vesdre en de Amblève, is circa 12% hoger dan in de Ourthe bovenstrooms van Tabreux.



Figuur 4 Maandgemiddelde neerslagsom van de Maas en de zijrivieren

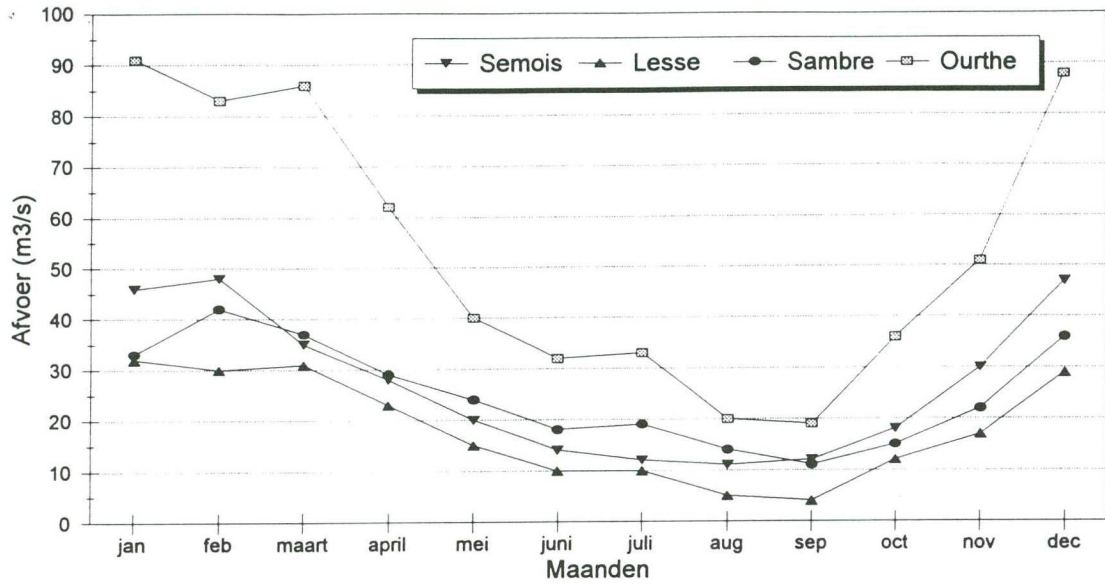
Voor een trendanalyse naar neerslagseizoens- en jaartotalen van het stroomgebied van de Maas wordt verwezen naar (WL, 1994), waar geconcludeerd wordt dat er geen sprake is van een eenduidige trend.



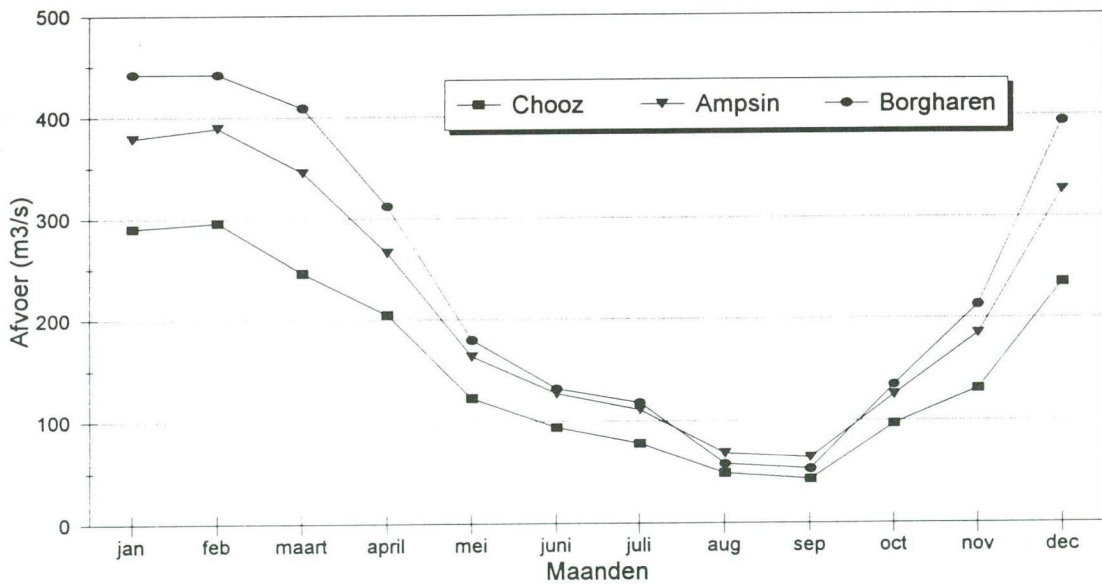
Figuur 5 Maandgemiddelde neerslagsom van de Vesdre, de Amblève en de Ourthe

### 3.2 Afvoer-algemeen

Hoewel de neerslag ongeveer gelijkmatig verdeeld is over het jaar, laat de afvoer een volstrekt ander beeld zien tengevolge van de jaarlijkse variatie in de verdamping. De maandgemiddelde afvoer bereikt een maximum in de winter en kent in augustus-september zijn minimum, zie Figuren 6 en 7. Combineert men Figuur 6 met Tabel 1 dan valt op dat van de neerslag in het stroomgebied van de Semois relatief veel tot afstroming komt; de afvoercoëfficiënt voor jaartotalen is hier globaal twee keer zo groot als die voor de Sambre. Ook de afvoercoëfficiënt voor de Amblève en de Ourthe zijn hoog. De geleidelijke toename van de Maasafvoer in stroomafwaartse richting, op basis van de maandgemiddelde afvoeren te Chooz, Ampsin-Neuville (gelegen tussen Namen en Luik) en Borgharen voor dezelfde periode (1974-1993), is weergegeven in Figuur 7. Opvallend is dat in de zomermaanden de onttrekkingen tussen Ampsin-Neuville en Borgharen groter zijn dan de bijdrage van de Ourthe.



Figuur 6 Maandgemiddelde afvoeren van enkele zijrivieren van de Maas



Figuur 7 Maandgemiddelde afvoeren op de Maas te Chooz, Ampsin-Neuville en Borgharen



De gemiddelde jaarafvoer in Borgharen zoals die volgt uit de afvoerreeks van 1911 tot en met 1994 is  $235,58 \text{ m}^3/\text{s}$ , de variatie hierop is weergegeven in Figuur 8. De laagste gemiddelde jaarafvoer van  $74,47 \text{ m}^3/\text{s}$  trad op in 1976, de hoogste van  $405,63 \text{ m}^3/\text{s}$  in 1966.

De gemiddelde, minimale en maximale maandafvoeren van de Maas in Borgharen (periode 1911 t/m 1994) zijn weergegeven in Figuur 9. De laagste maandafvoer trad op in augustus 1976 met een gemiddeld debiet van  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , de hoogste in december 1965 met een gemiddeld debiet van  $1308,29 \text{ m}^3/\text{s}$ . De hoogst gemeten afvoer in de zomer trad op in juli 1980, met een gemiddelde maandafvoer van  $656,77 \text{ m}^3/\text{s}$ .

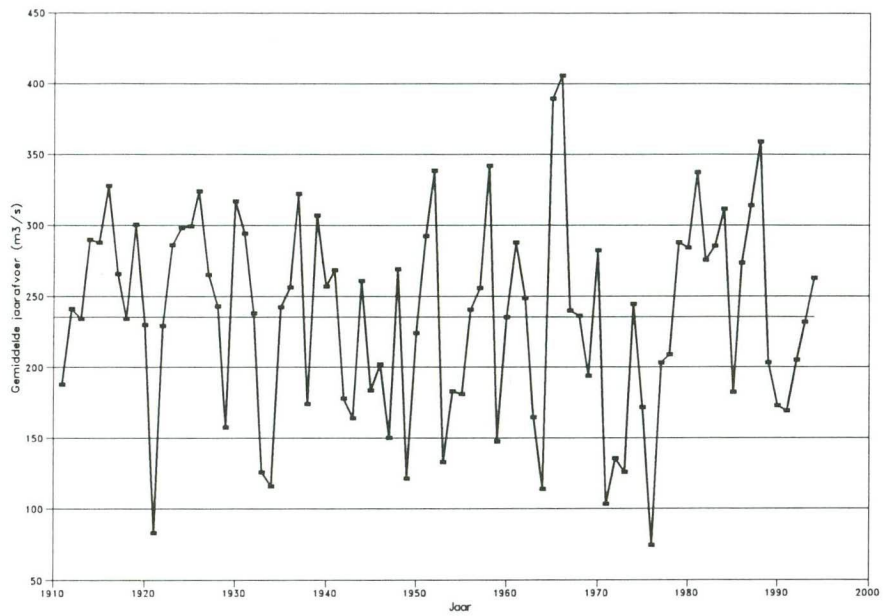
De mediane en minimale en maximale dagafvoeren in Borgharen (periode 1911 t/m 1994) zijn tenslotte weergegeven in Figuur 10. De hoogste gemiddelde dagafvoer ooit gemeten bedraagt  $3047 \text{ m}^3/\text{s}$  (december 1993), de laagste  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Voor een trendanalyse naar afvoerseizoens- en jaartotalen van de Maas wordt verwezen naar (WL, 1994), waar geconcludeerd wordt dat er geen sprake is van een eenduidige trend.

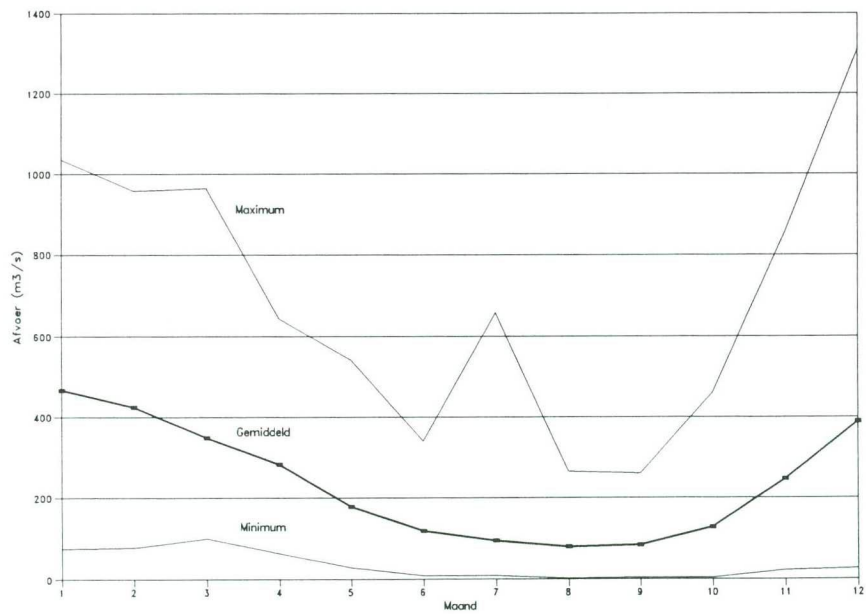
Voor de afvoer op de Grensmaas zijn verder de zijbeken de Geul en de Geleenbeek van belang. Enkele afvoercharacteristieken van deze zijrivieren (WRO, 1995) zijn opgenomen in Tabel 2.

Afvoercharacteristiek	Geul (Meerssen)	Geleenbeek (Roosteren)
Jaargemiddelde afvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	3.38	2.82
Gemiddelde zomerafvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	2.97	2.65
Gemiddelde winterafvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	3.84	3.02
Minimum dagafvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.81	0.67
Maximum dagafvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	45.1	44.5

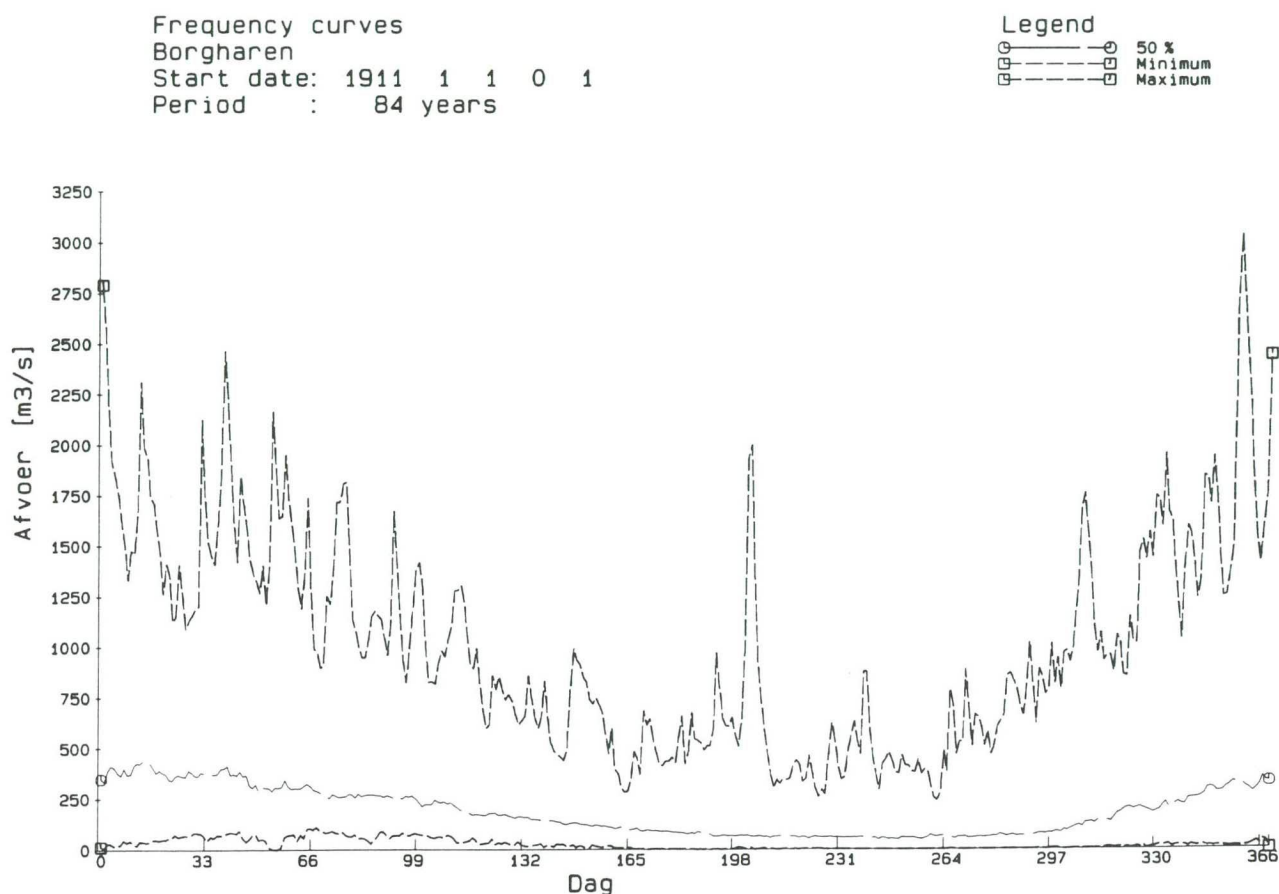
Tabel 2 Enkele afvoercharacteristieken van de Geul en de Geleenbeek



Figuur 8 Jaargemiddelde afvoer van de Maas in Borgharen



Figuur 9 Maandgemiddelde, -maximale en -minimale afvoeren van de Maas in Borgharen



Figuur 10 Dagafvoeren Borgharen

### 3.3 Laagwater

Omdat de Grensmaas niet gestuwd is, zijn de waterstanden tijdens droge perioden zeer laag en kan de rivier zelfs plaatselijk droog vallen. In 1954, '59, '64, '73 en '86 was de afvoer in Borgharen tijdelijk nul. Behalve in 1954 (februari) kwamen de perioden zonder afvoer voor in de maanden augustus, september en oktober.

Voor de ecologie van de Grensmaas is het aantal onderschrijdingen per jaar van lage afvoeren en de duur daarvan van belang. De onttrekkingen aan de Maas ten behoeve van drinkwater, scheepvaart etc. variëren in de tijd. Voor het bepalen van deze statistieken voor de huidige situatie is het noodzakelijk de afvoerreeks van Borgharen hiervoor te corrigeren omdat de onttrekkingen grote invloed hebben op lage afvoeren op de Grensmaas. Tijdens extreme droogte heeft zich in het verleden zelfs de situatie voorgedaan dat het niveau van de onttrekkingen 100% van de natuurlijke afvoer bedroeg, zodat de resulterende afvoer van de Grensmaas tot vrijwel nul reduceerde.



Om tot een natuurlijke afvoerreeks voor de Grensmaas te komen is de gemeten afvoerreeks van Borgharen gecorrigeerd voor onttrekkingen aan de Maas volgens het schema van Tabel 3 (WL, 1994). Tijdens extreme droogte is het niveau van onttrekkingen mogelijk lager geweest dan tijdens gemiddelde afvoeren (waarvoor Tabel 3 geldig is) zodat de gecorrigeerde (natuurlijke) afvoerreeks mogelijk een lichte overschatting geeft van de extreem lage ( $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) afvoeren. Een nadere analyse hiertoe is niet mogelijk omdat betrouwbare gegevens van onttrekkingen tijdens zeer lage afvoeren ontbreken.

Periode	Bijstelling 1 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Bijstelling 2 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Totaal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1911-1938	19	0	19
1939-1946	24	0	24
1947-1966	28	0	28
1967-1970	31	0	31
1971-1973	37	0	37
1974-1980	37	4	41
1981-1981	43	4	47
1982-1994	43	6	49

NB. Bijstelling 1 = onttrekkingen tussen Monsin en Borgharen  
Bijstelling 2 = onttrekking bij Tailfer

Tabel 3 Correcties op afvoeren te Borgharen

In (WL, 1994) wordt reeds beschreven dat na deze correctie een lichte inconsistentie tussen neerslag en afvoer resteert voor de periode 1911-1933. Het percentage van de neerslag die tot afstroming komt is voor deze periode iets hoger dan voor de periode erna.

De verwachting is dat de invloed van stuwmanipulaties op de gemiddelde *dag*afvoeren van de Maas te Borgharen verwaarloosbaar is, zodat hiervoor niet gecorrigeerd is. Een uitzondering hierop moet mogelijk gemaakt worden voor de invloed van het nieuwe stuwbeheer van Borgharen, dat sinds de zomer van 1994 er onder andere op gericht is een minimaal debiet van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  op de Grensmaas te bewerkstelligen. De afvoerreeks van Borgharen na 1994 is te kort om de invloed hiervan te kunnen constateren. Wel kan gesteld worden dat voor de huidige situatie, *met het huidige niveau van onttrekkingen aan de Maas*, het nieuwe stuwbeheer geen debiet van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  *garandeert* tijdens omstandigheden zoals die zich in het verleden hebben voorgedaan waarbij de afvoer tot nul reduceerde. Hiervoor is het niveau van onttrekkingen aan de Maas te hoog.

De laagwaterkarakteristieken van de Grensmaas, gebaseerd op de voor onttrekkingen gecorrigeerde afvoerreeks van Borgharen van de periode 1911-1994, zijn weergegeven in Tabel 4 en de Figuren 11 en 12.

Q (m <sup>3</sup> /s)	N	T (jaar)	duur <sub>gem</sub> (dagen)	duur <sub>std</sub> (dagen)	duur <sub>totaal</sub> (dagen)
0.1	3.45	0.29	4.38	9.7	15.11
5	3.96	0.25	5.02	11.2	19.88
10	5.06	0.20	5.15	11.6	26.06
15	6.36	0.16	5.28	11.2	33.58
20	6.74	0.15	6.04	12.6	40.71
25	7.35	0.136	6.43	13.2	47.26
30	8.02	0.124	6.81	13.8	54.62
40	8.46	0.118	8.32	16.0	70.39
50	8.51	0.117	10.00	19.3	85.10
75	9.04	0.111	13.14	25.0	118.7
100	8.95	0.112	16.47	31.0	147.4
125	9.50	0.105	18.07	35.1	171.6
150	9.52	0.105	20.37	38.8	194.0

Tabel 4 Laagwaterstatistieken van de Grensmaas bij Borgharen bij het huidige niveau van onttrekkingen (49 m<sup>3</sup>/s)

Waarin:

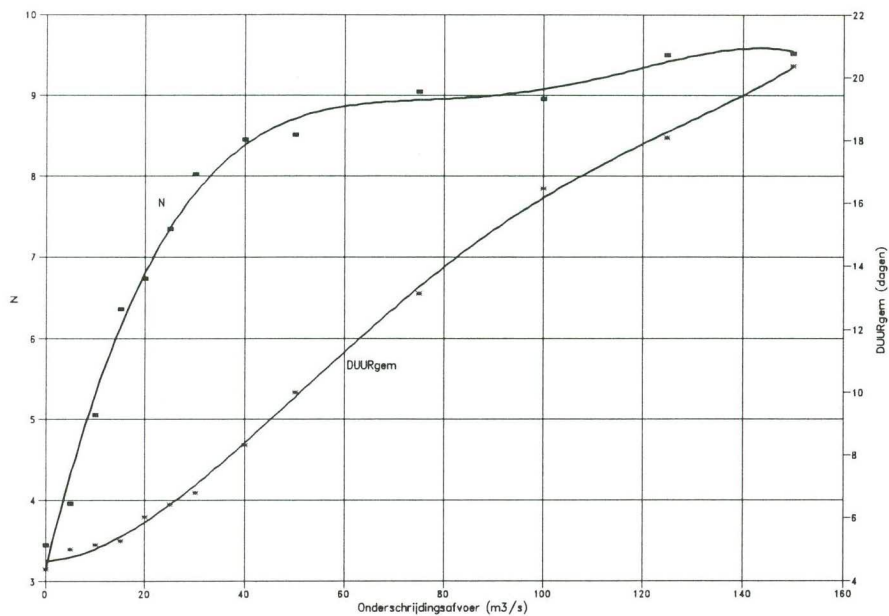
Q	=	Onderschrijdingsafvoer (m <sup>3</sup> /s)
N	=	Gemiddeld aantal onderschrijdingen per jaar
T	=	Herhalingstijd van de onderschrijding (1/N) (jaar)
duur <sub>gem</sub>	=	Gemiddelde duur van de onderschrijding (dagen)
duur <sub>std</sub>	=	Standaardafwijking van de onderschrijdingsduur (dagen)
duur <sub>totaal</sub>	=	Gemiddelde totale onderschrijdingsduur per jaar (N*duur <sub>gem</sub> ) (dagen)

Het verband tussen de onderschrijdingsafvoer en het gemiddeld aantal onderschrijdingen per jaar daarvan, de gemiddelde duur per onderschrijding en de gemiddelde totale duur van de onderschrijding per jaar, wordt gegeven door: (Voor  $Q \leq 150 \text{ m}^3/\text{s}$ )

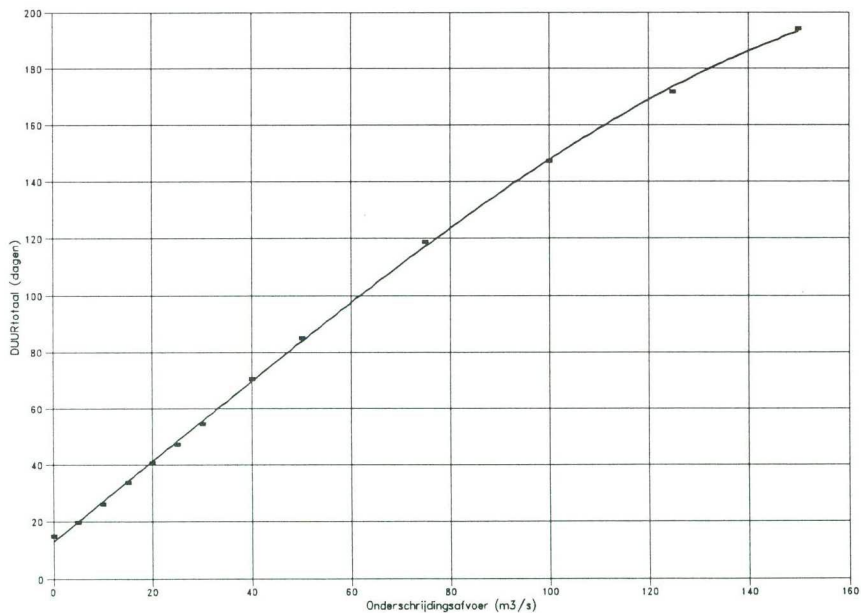
$$N = 0.257 \cdot Q - 0.423 \cdot 10^{-2} \cdot Q^2 + 0.303 \cdot 10^{-4} \cdot Q^3 - 0.772 \cdot 10^{-7} \cdot Q^4 + 3.1$$

$$duur_{gem} = 0.012 \cdot Q + 0.304 \cdot 10^{-2} \cdot Q^2 - 0.279 \cdot 10^{-4} \cdot Q^3 + 0.783 \cdot 10^{-7} \cdot Q^4 + 4.6$$

$$duur_{totaal} = 1.403 \cdot Q + 0.101 \cdot 10^{-2} \cdot Q^2 - 0.157 \cdot 10^{-4} \cdot Q^3 + 13.0$$



Figuur 11 Gemiddeld aantal overschrijdingen van lage afvoeren per jaar en de gemiddelde duur daarvan



Figuur 12 Gemiddelde totale overschrijdingsduren per jaar van lage afvoeren



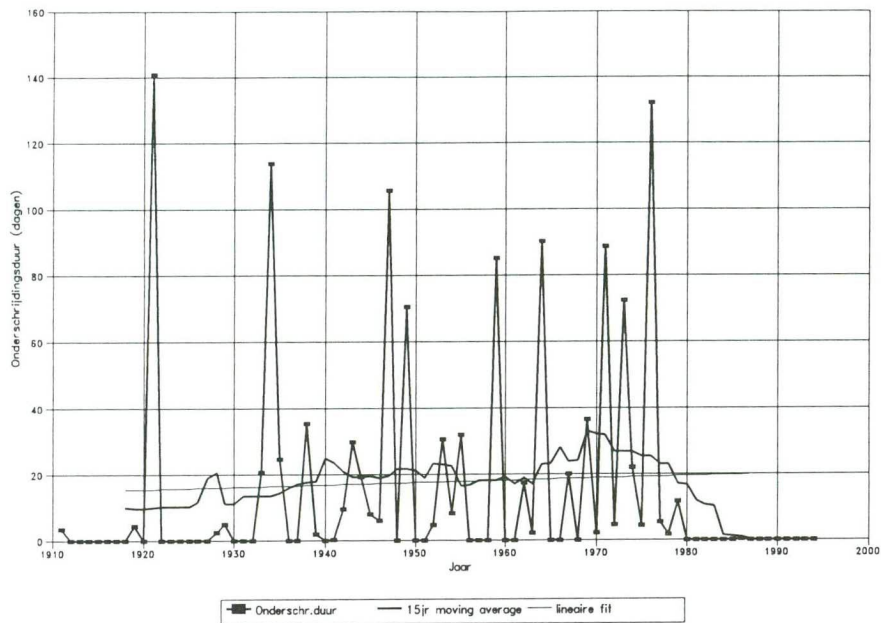
Zoals reeds beschreven hebben de onttrekkingen aan de Maas grote invloed op de laagwaterkarakteristieken van de Grensmaas. Met name bij langdurige droogte en extreem lage afvoeren ( $< 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) is het aanbod van water onvoldoende om aan alle eisen m.b.t. minimum afvoeren voor de Grensmaas en bijvoorbeeld de Zuidwillemsvaart en het Julianakanaal te voldoen. Op dat moment worden door de betrokken instanties keuzes gemaakt over de waterverdeling. Dit betekent dus dat de laagwaterkarakteristieken voor de Grensmaas niet zozeer door de natuur alswel door ingrijpen van de mens worden bepaald. In de gemeten afvoerreeks van Borgharen, en dus ook in de vastgestelde laagwaterkarakteristieken, is zowel het aspect van de natuurlijke afvoer vermindert met de reguliere onttrekkingen, alsook het effect van menselijke beslissingen m.b.t. de waterverdeling bij extreem lage afvoeren impliciet inbegrepen, echter het effect van beslissingen over de waterverdeling is hoogstwaarschijnlijk niet constant in de tijd. Zo wordt pas sinds 1994 gestreefd naar een minimale afvoer op de Grensmaas van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Omdat het niet mogelijk is de afvoerreeks van Borgharen te corrigeren voor het effect van menselijke beslissingen omtrent de afvoerverdeling bij extreem lage afvoeren zijn de in Tabel 4 weergegeven statistieken feitelijk gebaseerd op een inhomogene reeks.

Om een eventueel effect van de afvoerverdeling bij extreem lage afvoeren vast te stellen is in Figuur 13 en 14 het verloop van de onderschrijdingsduren (bij het huidige niveau van onttrekkingen) van  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  en  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  in de tijd weergegeven. Uit beide figuren blijkt dat er geen sprake is van een significante trend in onderschrijdingsduren van lage afvoeren. In Figuur 13 valt op dat in 1921 bij het huidige niveau van onttrekkingen gedurende 141 dagen geen afvoer op de Grensmaas zou zijn opgetreden terwijl in werkelijkheid in 1921 de afvoer slechts gedurende 6 dagen minder dan  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  bedroeg. Met uitzondering van 1921 komt een periode zonder afvoer niet of nauwelijks voor tussen 1911 en 1932 en van 1980 tot 1994. De vraag dringt zich op of het ontbreken van periodes zonder afvoer voor de periode vanaf 1980 veroorzaakt wordt door de natuur of door een menselijk streven om een minimaal debiet op de Grensmaas te handhaven. Uit Figuur 15 blijkt dat 10 van de 14 zomers sinds 1980 natter waren dan gemiddeld. In Tabel 5 is voor de jaren waarin geen periode zonder afvoer op de Grensmaas is voorgekomen, weergegeven wat de daarbij opgetreden hoeveelheid neerslag in de zomer was voor de periodes 1911-1932, 1933-1979 en 1980-1994.

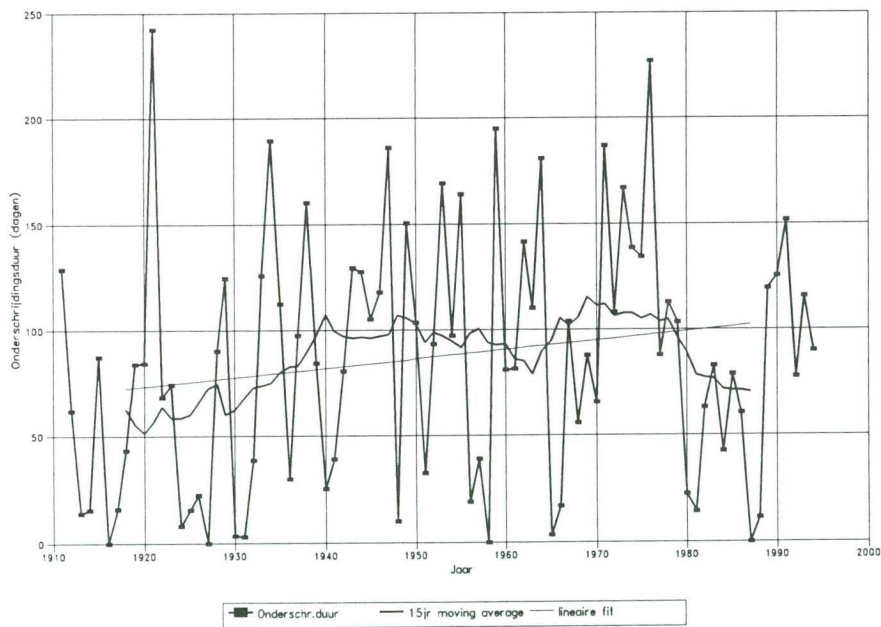
Periode	Zomerneerslag (mm)	
	Gemiddeld	Standaardafwijking
1911-1932	523	82
1933-1979	546	70
1980-1994	523	93

Tabel 5 Zomerneerslag voor jaren waarbij geen periode zonder afvoer voor is gekomen

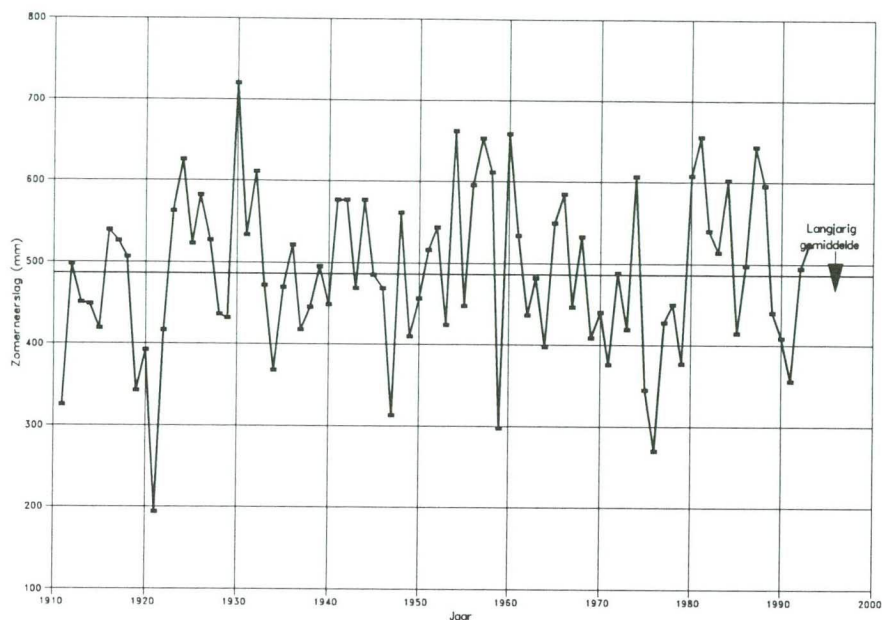
Uit deze tabel blijkt dat de hoeveelheid zomerneerslag voor de jaren waarin geen periode zonder afvoer op de Grensmaas is opgetreden voor de drie periodes vrijwel hetzelfde is. Dit is een indicatie dat het ontbreken van periodes zonder afvoer op de Grensmaas sinds 1980 het resultaat is van de hoeveelheid gevallen neerslag en niet aantoonbaar het gevolg is van een menselijk streven naar een minimaal debiet op de Grensmaas.



Figuur 13 Trendanalyse onderschrijdningen van 0.1 m<sup>3</sup>/s bij het huidige niveau van onttrekkingen



Figuur 14 Trendanalyse onderschrijdningen van 50 m<sup>3</sup>/s bij het huidige niveau van onttrekkingen



Figuur 15 Zomerneerslag Maas-stroomgebied, periode 1 mei - 31 oktober

Vanwege het ontbreken van een significante trend in de onderschrijdingsduren van lage afvoeren en het ontbreken van duidelijk bewijs voor het effect van een eventueel streven naar een minimale afvoer op de Grensmaas, wordt geconcludeerd dat de in Tabel 4 en Figuren 11 en 12 gepresenteerde laagwaterstatistieken een acceptabele benadering is van de werkelijke laagwaterstatistieken voor de periode tot 1994.

Omdat het stuwbeheer van Borgharen sinds 1994 er mede op gericht is een minimum debiet van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  op de Grensmaas te handhaven (wat wellicht invloed zal hebben op de laagwaterkarakteristieken van de Grensmaas voor de huidige situatie) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd door tevens de laagwaterkarakteristieken vast te stellen voor een situatie waarbij de onttrekking voor het Julianakanaal (van gemiddeld  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ) tot nul gereduceerd wordt ten tijde van extreme droogte. Daarbij is er dus van uitgegaan dat Nederland aan de afvoerverplichting ten behoeve van de Zuidwillemsvaart moet blijven voldoen. Deze statistieken zijn opgenomen in Tabel 6.

Tevens zijn, alleen ter informatie, de laagwaterkarakteristieken vastgesteld voor de natuurlijke afvoer, dat wil zeggen zonder kunstmatige onttrekkingen; zie hiervoor Tabel 7.

Uit de verschillen tussen de laagwaterkarakteristieken voor de huidige situatie (Tabel 4) en een situatie zonder onttrekkingen voor het Julianakanaal (Tabel 6.) en de natuurlijke afvoer (Tabel 7) blijkt dat deze statistieken uitermate gevoelig zijn voor de onttrokken hoeveelheden.



Q (m <sup>3</sup> /s)	N	T (jaar)	duur <sub>gem</sub> (dagen)	duur <sub>std</sub> (dagen)	duur <sub>totaal</sub> (dagen)
0.1	0.90	1.11	3.00	4.7	2.71
5	1.29	0.78	4.13	7.4	5.31
10	2.02	0.49	4.54	8.5	9.18
15	2.87	0.35	4.87	10.3	14.0
20	3.79	0.26	4.95	11.2	18.8
25	4.89	0.20	5.06	11.5	24.7
30	5.99	0.167	5.35	11.3	32.0
40	7.21	0.139	6.37	13.1	45.9
50	8.14	0.123	7.50	14.7	61.0
75	9.35	0.107	10.5	20.9	97.7
100	9.62	0.104	13.5	26.4	130
125	9.19	0.109	17.0	32.4	156
150	9.44	0.106	19.1	36.6	180

Tabel 6 Laagwaterstatistieken van de Grensmaas bij Borgharen zonder onttrekkingen t.b.v. Julianakanaal

Q (m <sup>3</sup> /s)	N	T (jaar)	duur <sub>gem</sub> (dagen)	duur <sub>std</sub> (dagen)	duur <sub>totaal</sub> (dagen)
0.1	0	-	0	0	0
5	0	-	0	0	0
10	0	-	0	0	0
15	0	-	0	0	0
20	0	-	0	0	0
25	0.23	4.42	1.07	1.0	0.24
30	0.55	1.83	1.98	2.4	1.09
40	1.51	0.66	4.36	7.6	6.63
50	3.29	0.30	4.81	10.2	15.8
75	7.70	0.130	6.35	13.3	48.9
100	8.87	0.113	9.79	19.2	86.8
125	8.86	0.113	13.5	25.5	120
150	9.02	0.111	16.4	31.3	148

Tabel 7 Laagwaterstatistieken van de natuurlijke afvoer op de Grensmaas bij Borgharen

Waarin:

Q	=	Onderschrijdingsafvoer (m <sup>3</sup> /s)
N	=	Gemiddeld aantal onderschrijdingen per jaar
T	=	Herhalingstijd van de onderschrijding (1/N) (jaar)
duur <sub>gem</sub>	=	Gemiddelde duur van de onderschrijding (dagen)
duur <sub>std</sub>	=	Standaardafwijking van de onderschrijdingsduur (dagen)
duur <sub>totaal</sub>	=	Gemiddelde totale onderschrijdingsduur per jaar (N*duur <sub>gem</sub> ) (dagen)

### 3.4 Hoogwater

Hoogwaters op de Maas treden vrijwel uitsluitend op in de winterperiode. In 1980 trad ook een zomerhoogwater op met een maximale afvoer van 2000 m<sup>3</sup>/s op 22 juli ten gevolge van een uitgestrekte onweersstoring boven het Franse en Belgische deel van het stroomgebied. Hoogwaterafvoergolven duren meestal slechts enkele dagen tot een week waarbij de hoogst gemeten afvoer in Borgharen in december 1993 opgetreden is met een maximaal debiet van 3120 m<sup>3</sup>/s. Voor een uitgebreide analyse naar het ontstaan en voorkomen van hoogwaters op de Maas wordt verwezen naar (WL, 1994). Voor de Grensmaas is van belang dat bij afvoeren hoger dan 1200 m<sup>3</sup>/s de stuw bij Borgharen gestreken wordt. De afvoeren waarbij de Belgische stuwen gestreken worden zijn niet exact bekend. Bij afvoeren hoger dan 1500 m<sup>3</sup>/s treedt de Grensmaas op een aantal plaatsen buiten haar oevers en bij afvoeren hoger dan 2000 m<sup>3</sup>/s krijgen de eerste dorpen (Borgharen en Itteren) te maken met wateroverlast. De herhalingstijden van piekafvoeren bij Borgharen zijn weergegeven in Tabel 8 (WL, 1995). Deze statistieken zijn gebaseerd op de jaar-maximale afvoeren tot en met het hoogwater van 1995, gecorrigeerd voor rivierwerken en veranderingen in het stroomgebied in het verleden volgens de in Boertien II vastgestelde methodiek (WL, 1994).

Herhalingstijd (jaren)	Piekafvoer (m <sup>3</sup> /s)
2	1560
5	1920
10	2190
25	2550
50	2810
100	3060
250	3380
500	3625
1000	3860
1250	3935
2500	4170
5000	4410
10000	4640

Tabel 8 Maatgevende afvoeren van de Maas bij Borgharen

Voor de ecologie van de Grensmaas zijn verder van belang het aantal overschrijdingen per jaar van bepaalde afvoeren en de duur ervan. Deze statistieken zijn opgenomen in Tabel 9 en Figuren 16 en 17.

De verstoring in de herhalingstijden en duren van hoge overschrijdingsafvoeren wordt veroorzaakt doordat deze afvoeren tot dezelfde hoogwatergolf behoren (zie de overschrijdingsduur van 2250, 2500 en 2750 m<sup>3</sup>/s).

Q (m <sup>3</sup> /s)	N	T (jaar)	duur <sub>gem</sub> (dagen)	duur <sub>std</sub> (dagen)	duur <sub>totaal</sub>
250	8.15	0.123	14.52	22.97	118.4
500	5.68	0.176	8.38	8.93	47.57
750	3.37	0.297	5.77	5.74	19.43
1000	1.95	0.512	4.31	3.79	8.41
1250	1.01	0.988	3.42	2.69	3.46
1500	0.52	1.909	2.65	1.99	1.39
1750	0.26	3.818	2.28	1.76	0.60
2000	0.11	9.33	1.91	2.08	0.20
2250	0.048	21	2.42	1.93	0.12
2500	0.024	42	2.92	-	0.07
2750	0.024	42	1.79	-	0.04
3000	0.012	84	0.83	-	0.01

Tabel 9 Hoogwaterkarakteristieken van de Grensmaas bij Borgharen

Waarin:

Q	=	Overschrijdingsafvoer (m <sup>3</sup> /s)
N	=	Gemiddeld aantal overschrijdingen per jaar
T	=	Herhalingstijd van de overschrijding (1/N) (jaar)
duur <sub>gem</sub>	=	Gemiddelde duur van de overschrijding (dagen)
duur <sub>std</sub>	=	Standaardafwijking van de overschrijdingsduur (dagen)
duur <sub>totaal</sub>	=	Gemiddelde totale overschrijdingsduur per jaar (N*duur <sub>gem</sub> ) (dagen)

Het verband tussen de overschrijdingsafvoer Q en het gemiddeld aantal overschrijdingen per jaar daarvan, de gemiddelde duur per overschrijding en de gemiddelde totale duur van de overschrijding per jaar, wordt gegeven door:

voor  $250 \leq Q \leq 800 \text{ m}^3/\text{s}$ :

$$N = 13.91 \cdot e^{-\frac{Q}{519.5}}$$

voor  $800 < Q \leq 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ :

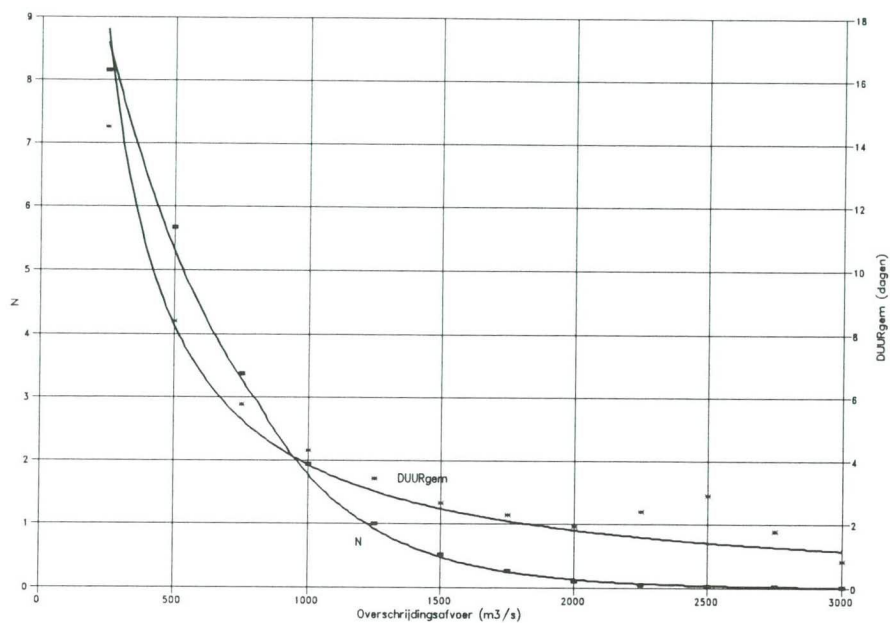
$$N = 24.69 \cdot e^{-\frac{Q}{380.5}}$$

voor  $250 \leq Q \leq 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ :

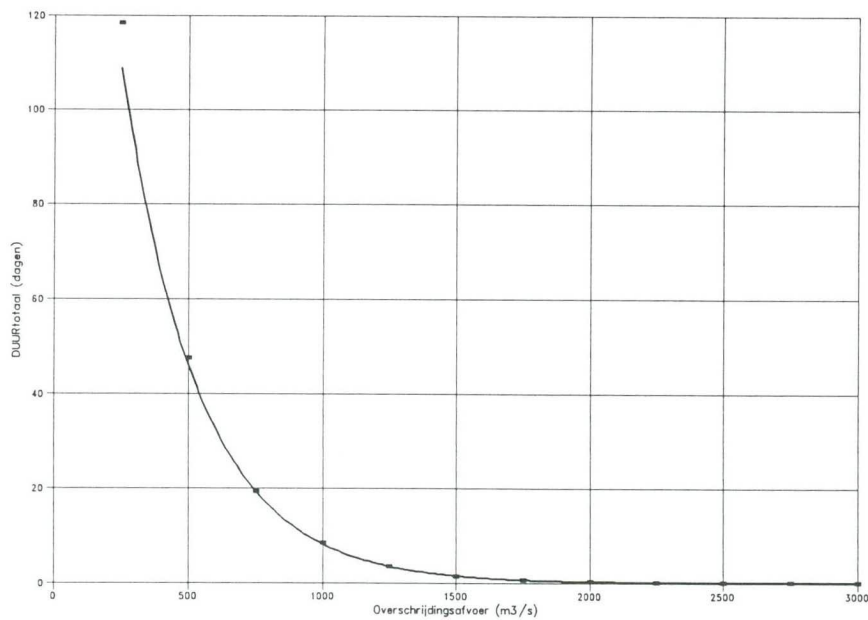
$$\text{duur}_{\text{gem}} = 7400 \cdot Q^{-1.0939}$$

$$\text{duur}_{\text{totaal}} = 258.21 \cdot e^{-\frac{Q}{289.8}}$$





Figuur 16 Gemiddeld aantal overschrijdingen van hoge afvoeren per jaar en de gemiddelde duur daarvan



Figuur 17 Gemiddelde totale overschrijdingsduren per jaar van hoge afvoeren

De statistiek van hoogwaters wordt naast de afvoer in Borgharen nog bepaald door de afvoeren van de Geul en de Geleenbeek. Door middel van een combinatie van de lognormale verdeling, de Pearson-3 verdeling en de Gumbel-verdeling zijn de herhalingstijden van de piekafvoeren van deze zijbeken vastgesteld. Voor de Geul is de afvoerreeks van Meerssen gebruikt en voor de Geleenbeek de afvoerreeks van Roosteren. Beide reeksen zijn vanaf 1972 beschikbaar. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 10.

Herhalingstijd (jaren)	Piekafvoer Geul (m <sup>3</sup> /s)	Piekafvoer Geleenbeek (m <sup>3</sup> /s)
2	31	28
5	37	36
10	40	41
25	45	46
50	48	50
100	51	54
250	55	59
500	57	62
1000	60	66
2500	64	70
5000	67	73
10000	69	77

Tabel 10 Maatgevende afvoeren van de Geul en de Geleenbeek

Voor vaststelling van de maximale afvoeren bij bepaalde herhalingstijden op de Grensmaas is de samenhang van de bepalende hoge afvoer in Borgharen met de veel geringere maximale afvoeren van de Geul en de Geleenbeek van belang. Deze samenhang wordt gegeven door: (WL, 1994)

$$Q_{\max, \text{Geul}} = 0,010355 \cdot Q_{\max, \text{Maas}} + 6,4$$

$$Q_{\max, \text{Geleenbeek}} = 0,016079 \cdot Q_{\max, \text{Maas}} - 3,2$$

(Opgemerkt wordt dat het verband tussen piekafvoeren op de Maas enerzijds en Geul en Geleenbeek anderzijds slechts globaal bestaat. Rondom de samenhang gegeven door bovenstaande formules moet dus een ruime variantie worden aangehouden.)

Bij een maximale afvoer van de Maas in Borgharen van bijvoorbeeld 3800 m<sup>3</sup>/s (T=1250 jaar) bedraagt de maximale afvoer van de Geul en de Geleenbeek volgens dit verband respectievelijk 45 en 58 m<sup>3</sup>/s met herhalingstijden van respectievelijk 25 en 220 jaar. De herhalingstijden van de maximale afvoeren op de Geul en de Geleenbeek die ongeveer samenvallen met het hoogwater op de Maas zijn dus veel lager dan de herhalingstijd van de afvoergolf op de hoofdriever zelf. De piekafvoeren op de Geul en de Geleenbeek treden daarbij iets eerder op dan de maximale afvoer in Borgharen.





## Literatuur

- Berger, H.E.J., 1992: Flow Forecasting for the River Meuse. Dissertatie Technische Universiteit Delft.
- Geenen, J.P.W., 1991: Rivierbeheer in perspectief. Verslagen Milieukunde NR. 52. Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Rijkswaterstaat, 1983: Afvoerdurlijnen Borgharen en Lith. Notanr. 82.11. Projectnr. 89.300.00.
- Rijkswaterstaat, 1992: De Maas. Verleden, heden en toekomst. Rijkswaterstaat, RIZA, vestiging Lelystad, Notanr. 91.052.
- Rijkswaterstaat, 1994a: Interne notitie Diepgangvergroting Maas (MOMARO). Nr: MMDG-N-94.009.
- Rijkswaterstaat, 1994b: Hydrologische systeembeschrijving Maas. Rijkswaterstaat, RIZA, Notanr. 94.022.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1991: Hydrologische modellering van het stroomgebied van de Geul.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1994: Onderzoek Watersnood Maas. Deelrapport 4. Hydrologische aspecten.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1995: Herberekening Werklijn Rijn en Maas 1995.
- WRO, 1995: Toegezonden notitie Geleenbeek en Geul. Waterschap Roer en Overmaas.





**locatie Delft**  
**Rotterdamseweg 185**  
**postbus 177**  
**2600 MH Delft**  
**telefoon 015 569353**  
**telefax 015 619674**  
**telex 38176 hydnl**  
**e-mail info@wldelft.nl**

*m.i.v. 10 oktober 1995*  
telefoon 015 2569353  
telefax 015 2619674

**locatie 'De Voorst'**  
**Voorsterweg 28, Marknesse**  
**postbus 152**  
**8300 AD Emmeloord**  
**telefoon 05274 2922**  
**telefax 05274 3573**  
**telex 42290 hylvo-nl**  
**e-mail info@wldelft.nl**

*m.i.v. 10 oktober 1995*  
telefoon 0527 242922  
telefax 0527 243573

