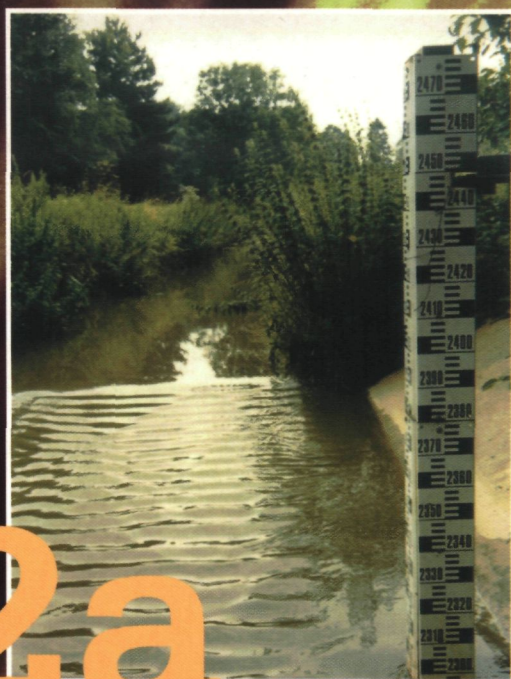


Analyse van hoogwaterafvoeren



2a

De stroomgebieden van de Kempen



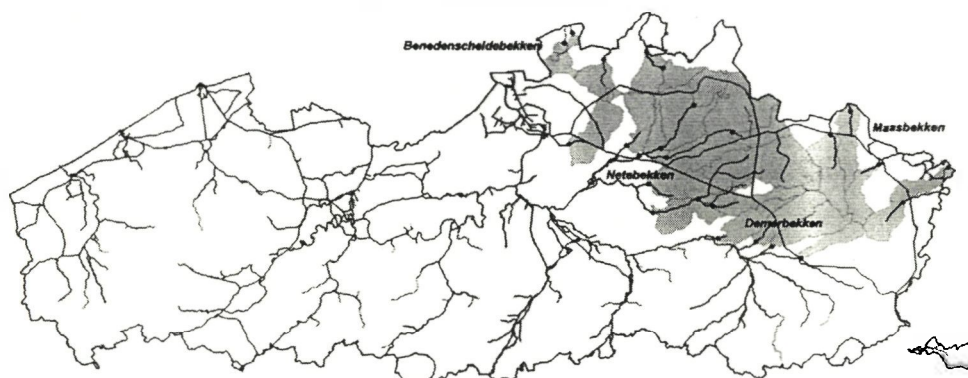
Ministerie van de
Vlaamse Gemeenschap
afdeling Water

**Analyse van
hoogwaterafvoeren
De stroomgebieden
van de Kempen**

Analyse van hoogwaterafvoeren

De stroomgebieden van de Kempen

Basisverslag



door

ir. Marcel Voet, ir. Jan Swings, ir. Bram Huyghebaert

Werkgroep voor Wetenschappelijk Onderzoek inzake Landinrichting



Ministerie van de
Vlaamse Gemeenschap

afdeling Water

De analyse van hoogwaterafvoeren is een uitgave van de afdeling Water in samenwerking met de Werkgroep voor Wetenschappelijk Onderzoek inzake Landinrichting te Merelbeke.

Verantwoordelijke uitgever

ir. Paul Thomas, afdelingshoofd afdeling Water

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Afdeling Water
Alhambragebouw
Emile Jacqmainlaan 20 bus 5
1000 Brussel
Telefoon 02/553.21.11
Fax 02/553.21.05
E-mail: water@lin.vlaanderen.be

Auteurs

ir. Marcel Voet, ir. Jan Swings, ir. Bram Huyghebaert

Werkgroep voor Wetenschappelijk Onderzoek inzake
Landinrichting
Burgemeester Van Gansberghelaan 115
9820 Merelbeke
Telefoon 09/272.28.00
Fax 09/272.28.01

Vormgeving en coördinatie productie

Luk Guillaume (ArtWork)

Fotografie cover

© Wilfried Rentmeesters

Depotnummer

D/2000/3241/266

© Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap,
afdeling Water

Alhoewel de uitgever en de auteurs alle zorg besteed hebben aan de uitwerking van deze publicatie, kunnen zij niet aansprakelijk gesteld worden voor het verder toepassen van de resultaten. Dit blijft de verantwoordelijkheid van iedere individuele ontwerper, die met kennis van zaken elke specifieke situatie en probleemstelling moet onderzoeken, in het bijzonder gelet op het complexe karakter van het hydrologisch gebeuren en de belangrijke invloed van plaatselijke factoren.

Achtergrondfoto cover: Impressie van een overstortende waterlaag over de klepstuw op de Dijle te Rotselaar. ~~Insert-foto~~ frontaal zicht van de klepstuw op de Dijle te Rotselaar.

Cover gedrukt en binnenwerk gecopieerd op Bioset papier
milieuvriendelijk en gerecycleerd. Offset zonder optische vezels.

Insert-foto: Peilschaal in de meetgoot op de Voer, zijrivier van de Dijle, te Leuven/Heverlee

De afdeling Water

De afdeling Water maakt deel uit van de Vlaamse leefmilieu-administratie AMINAL. Zij is actief op verschillende fronten.

Eerst en vooral concentreert de afdeling Water zich op de oprichting van een duidelijk rivierbekkenbeleid. Een goede overlegstructuur en organisatie per stroomgebied is immers nodig om aan 'integraal' waterbeheer te doen.

Daarbij worden oppervlaktewater, grondwater, waterloopstructuur en oevers met de bijhorende levensgemeenschappen, als één samenhangend watersysteem beschouwd en beheerd. Verschillende aspecten waaronder milieu, ruimtelijke ordening, landschap, recreatie en economische sectoren worden bij dit beheer in acht genomen.

De afdeling Water zet zich ook in voor het behoud van een kwantitatief evenwicht in de watersystemen. Hierbij moet een duurzame balans tussen de onttrekking van water en de hervoeding van de watersystemen worden nagestreefd. Grondwatertekorten worden vermeden door onder meer het verminderen van waterverspilling en door meer regenwater, oppervlaktewater en gezuiverd afvalwater te gebruiken. Gevallen van watertoevloed (bvb. overstromingen) worden aangepakt door de uitvoering van infrastructuurwerken en door richtlijnen op de ruimtelijke ordening en het landgebruik.

Verder besteedt de afdeling Water heel wat aandacht aan het herstellen van de biodiversiteit van watergebonden ecosystemen. Waterlopen en valleien moeten in deze visie de ruggengraat worden van natuurgebieden door de heraanleg van de bedding en de omgeving op een natuurlijke manier. Ook de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater door puntlozingen en diffuse lozingen (pesticiden, meststoffen) krijgt de nodige aandacht door nieuwe wetge-

ving en voorlichting van bevolking, landbouw en industrie.

Concreet vertalen deze verschillende aandachtspunten in de werking van de afdeling Water zich in allerlei activiteiten:

het opstellen en uitbouwen van meetnetten, databanken en computermodellen van waterlopen en ondergrondse waterlagen, het opmaken en overleggen van beleidsplannen en kaartmateriaal voor waterhuishouding en rivierbekkenbeheer, het opstellen van wetgeving voor het beheer van oppervlaktewater, grond- en drinkwater, het sensibiliseren en stimuleren van burgers, bedrijfssectoren en overheden, het ontwerpen, uitvoeren, ondersteunen, adviseren, vergunnen en controleren van concrete projecten waaronder de bouw en aanleg van overstromingsgebieden en wachtbekkens, computergestuurde pompstations en kunstwerken, natuurlijke oevers en visdoorgangen, infiltratiegebieden en kleinschalige waterzuivering, het ruimen van slib en het bestrijden van muskusratten, het vergunnen van grondwaterwinningen en drinkwaterbeschermingszones, de erkenning van laboratoria voor wateranalyses, de subsidiering van polders en wateringen en de controle op de investeringen van Aquafin.

Voor de uitvoering van dit alles beschikt de afdeling Water over een jaarlijks begrotingsbudget van ca. 1,5 miljard BEF (de investeringen van Aquafin en de subsidies voor gemeentelijke rioleringen niet meegerekend) en een 200-tal medewerkers, waaronder een ploeg van 90 muskusrattenbestrijders. Naast het hoofdbestuur te Brussel zijn er 5 buitendiensten, in de provinciale hoofdsteden Antwerpen, Leuven, Brugge, Gent en Hasselt.

Voorwoord van de afdeling Water

De afdeling Water van het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap is wettelijk belast met het beheer van de grotere onbevaarbare waterlopen. Deze waterlopen zorgen geregeld voor overstromingen, die zich spijtig genoeg de laatste jaren vaak herhaalden. Denken we maar aan de winters '93-'94 en '94-'95, aan augustus 1996 en vooral aan september 1998 en december 1999.

De mens heeft altijd geprobeerd deze overstromingen te verhinderen. De maatregelen die in het verleden werden genomen om wateroverlast te vermijden, gingen meestal in de richting van een snellere waterafvoer. Dit leidde echter vaak tot grotere problemen stroomafwaarts en tot een achteruitgang (vershraling) van onze leefomgeving.

De huidige beleidsvisie ten aanzien van overstromingen promoot het scheppen van ruimte voor de waterlopen. Dit komt neer op het in ere herstellen of vrijwaren van de natuurlijke functie van veel valleigronden als natuurlijke overstromingsgebieden. Overstromingen op een ongewenste plaats moeten dus aangepakt worden door het teveel aan water op toelaatbare plaatsen te bufferen.

Dit vergt een goed inzicht in het afstromingsgedrag van de waterloop en de mogelijkheden die nog in de vallei aanwezig zijn. Gelet op de huidige ruimtelijke benutting van het gebied zullen onderbouwde maatschappelijke beslissingen moeten genomen worden

en zal men de bijhorende gevolgen onder ogen moeten zien. Daartoe zullen belangen moeten worden afgewogen, meerdere oplossingsscenario's vergeleken en eventueel negatieve effecten ondervangen.

Studie, overleg en beleidsplanning

Om deze principes in de praktijk om te zetten, heeft de afdeling Water een aanpak ontwikkeld van studie, overleg en beleidsplanning. Deze aanpak wordt via een meerjarenprogramma toegepast in alle stroomgebieden die onder de bevoegdheid van de afdeling Water vallen.

De meest gebruikte techniek zijn modelleringstudies met computermodellen. Deze moeten het gedrag van het watersysteem cijfermatig weergeven en dit op zo'n manier dat verschillende scenario's van oplossingen voor knelpunten en van de effecten van maatregelen geanalyseerd kunnen worden.

De af te voeren hoeveelheden water en andere structuurtechnische kenmerken (lees: knelpunten) van het stroomgebied, zijn bepalend voor de manier waarop projecten worden uitgevoerd. Een goede inschatting van deze verschijnselen heeft zodoende een directe invloed op de kostprijs, ruimtelijke benutting, efficiëntie, enz. van maatregelen tegen bepaalde problemen zoals overstromingen.

Het afvoerverschijnsel is echter zeer complex. Hoe komt het immers dat een ogenschijnlijk zelfde regenbui de ene keer aanleiding geeft tot overstromingen en de andere keer niet? Het volstaat niet om snel een computermodel te gebruiken. Een grondige studie van de beschikbare meetgegevens en het

"De taak der wetenschap is, feiten voor schijn en bewijzen voor indrukken in de plaats te stellen."

John Ruskin, Engels schrijver (1819-1900)

toetsen van berekeningsresultaten aan waarnemingen zijn cruciaal om relevante resultaten te verkrijgen¹.

Naar een geïntegreerd beheer

In opdracht van de afdeling Water worden daarom statistische analyses uitgevoerd op de opgemeten neerslag-afvoergegevens van alle meetstations in Vlaanderen. De Werkgroep voor Wetenschappelijk Onderzoek inzake Landinrichting te Merelbeke neemt deze taak voor haar rekening.

Door het clusteren van meetstations ontstaan lange meetreeksen waaruit met meer betrouwbaarheid gepaste karakteristieken in functie van de retourperiode kunnen afgeleid worden. Men denkt daarbij aan piekdebieten van hoogwatergolven en afstromingsvolumes boven een bepaald drempeldebiet. Door deze karakteristieken te koppelen aan stroomgebiedkenmerken (zoals bijvoorbeeld landgebruik en dichtheid van het waterlopenet) kunnen deze resultaten ook gebruikt worden op willekeurige plaatsen in een stroomgebied.

Naast een controlemiddel ter bewaking van de hydrologische relevantie van modelresultaten kan de statistische analyse ook gewoon gebruikt worden om in heel Vlaanderen hydrologische grootheden te schatten, zoals bijvoorbeeld het gemiddeld jaarmaximumdebiet, runoffhoeveelheden, enz.

De publicatie die nu voor u ligt, behandelt de stroomgebieden van de zandige Kempen. Voor een maximale overdracht van informatie bevat deze publicatie niet alleen de resultaten van de statistische studie, maar ook

een schat aan meetgegevens van de bestaande meetstations.

Andere publicaties

In deze reeks is ook een publicatie beschikbaar over de stroomgebieden van de Demer, Dijle en Jeker.

Een laatste publicatie in deze reeks, over het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen, verschijnt begin 2001.

Deze publicaties maken deel uit van een groter geheel van rapporten die de afdeling Water publiceert en die allen handelen over facetten van het afvoergedrag van onze Vlaamse stroomgebieden. Zo zal weldra ook een publicatie verschijnen over het bestaande meetnet van peil- en debietstations op Vlaamse waterlopen.

De afdeling Water wenst hiermee het belang en het nut van goede meetgegevens te onderstrepen en hoopt dat deze gegevens zullen gebruikt worden om een beter inzicht in rivierafvoeren te krijgen en om betere ontwerpen van infrastructuurprojecten op te maken.

Van deze analyses zullen regelmatig updates gemaakt worden. In het bijzonder zijn door het laattijdig ter beschikking komen van meetgegevens, de zware stormen van 1998 en 1999 helaas nog niet in de analyse opgenomen.

Brussel, september 2000.

¹ TERRENS, I. (2000). Zin en onzin van het modelleren van waterlopen en rivierbekkens: een pragmatische ingenieursaanpak met respect voor onderzoek en ontwikkeling. Studiedag: Naar een geïntegreerd water- en waterloopbeheer. Technologisch Instituut, Genootschap Civiele Techniek, KIVI, Antwerpen.

Voorwoord van de auteurs

De publicatie van de studie over het afvoergedrag van onbevaarbare waterlopen in de Kempen tijdens hoogwaterperiodes is de geschikte gelegenheid om de afdeling Water te bedanken voor haar belangstelling en haar ondersteuning van de Werkgroep.

In korte tijd is er namelijk veel veranderd. De werkgroep werd uitgebreid om hoogwatergolven sneller te kunnen analyseren en daaruit criteria af te leiden voor hoogwaterbescherming. Klassieke ontwerpprocedures op basis van een ontwerpregen en een runoffcoëfficiënt leverden immers in het verleden steeds hydrogrammen met te hoge piekdebieten op. In vergelijking met de tijdreeksen bevatten de ontwerphydrogrammen ook te veel water bij hoge debieten, zelfs indien de runoffcoëfficiënt reeds uit de tijdreeksen werd afgeleid.

Bij vroegere onderzoeken werd een goed verband gevonden tussen de (gemiddelde jaarmaxima van) debietpieken van hoogwatergolven en bepaalde stroomgebiedkenmerken. We hebben het hier telkens over drie aparte gebieden in Vlaanderen. De correlatie met stroomgebiedkenmerken bleek voor het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen - één van de drie deelgebieden - eveneens mogelijk voor andere kenmerken van de hoogwatergolf, zoals het runoffvolume en de bergingen boven een bepaald drempeldebiet. Aan deze grootheden (piekdebiet, runoffvolume en volume van de golf boven een bepaald debiet) kan men bovendien een bepaalde herhalings tijd, afgeleid uit de gemeten tijdreeksen, koppelen. Het is dus duidelijk dat de resultaten van deze analyse toelaten maatregelen inzake hoogwaterbeheersing op een objectieve wijze te beoordelen. Deze vaststellingen hebben de afdeling Water ertoe gebracht het onderzoek van de

tijdreeksen over geheel Vlaanderen in een versneld tempo uit te voeren.

De afdeling Water heeft een beleid uitgestippeld waarbij beslissingen omtrent ingrepen op de waterloop en haar vallei aangepast worden aan de resultaten van de modelleringsstudies. Hierbij worden zo veel mogelijk gegevens en rekenmodellen gebruikt om de knelpunten van het totale afwateringssysteem te omschrijven en op een wetenschappelijk verantwoorde wijze alternatieve oplossingen te evalueren. In het hydrologisch gedeelte van de modelleringsstudies worden voorstellen van hydrogrammen uitgewerkt. Deze hydrogrammen zouden bij bepaalde herhalings tijden representatief moeten zijn voor de wateraanvoer in het hydraulisch deel van het modelleringsgebeuren. De voorstelhydrogrammen kunnen nu met de studies van de Werkgroep getoetst worden aan de tijdreeksen of aan de afgeleide grootheden ervan.

De toepassing van de resultaten van de studies blijft beperkt tot de orde van grootte van de gemeten stroomgebiedkenmerken. Bij de optimalisatie van het meetnet op de onbevaarbare waterlopen is getracht een breed gamma van stroomgebieden te meten om de toepassing en de betrouwbaarheid van de bekomen regressievergelijkingen te vergroten.

Ook al beperkt deze studie zich tot één van de drie deelgebieden in Vlaanderen, dan nog vormde de analyse van de hoogwatergolven een niet te onderschatten taak. De auteurs appreciëren daarom ten volle de morele steun en begeleiding van de afdeling Water, en in het bijzonder van één van haar drijvende krachten, ir. Ivo Terrens.

Merelbeke, januari 2000.

Inhoud

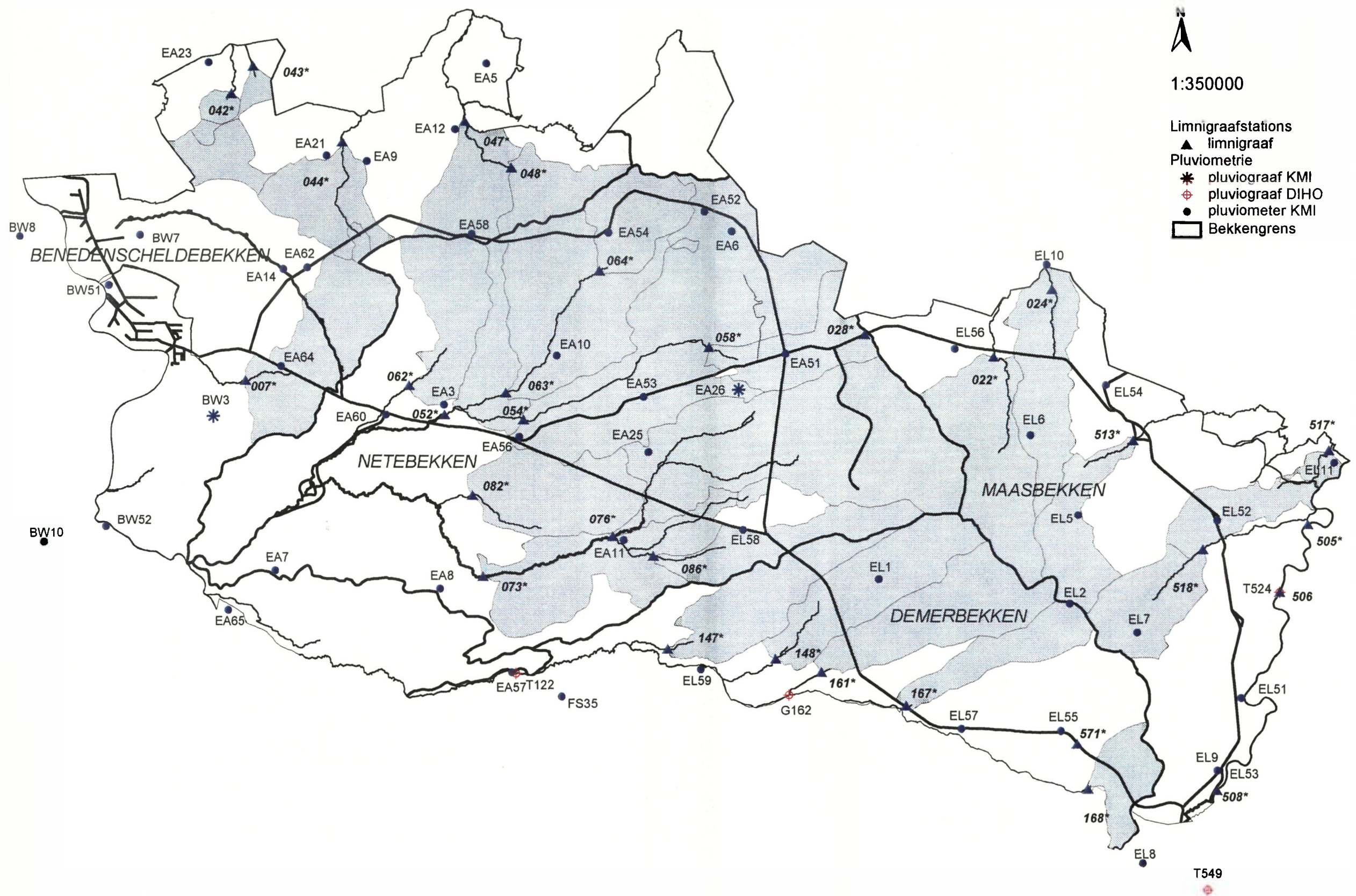
1. Inleiding	1
2. Beschikbare gegevens	3
2.1 Limnimetrische gegevens	3
2.2 Pluviometrische gegevens	15
2.3 Stroomgebiedskenmerken	16
3. Clusteranalyse van stroomgebiedkenmerken	29
4. Trend in de tijdreeksen	31
5. Runoffcoëfficiënt	33
6. Regressie van gemiddelde jaarmaxima met stroomgebiedkenmerken	37
6.1 Regressie van het hoogwaterdebiet	37
6.2 Regressie van de basisafvoer	46
6.3 Regressie van de runoffhoeveelheid	52
6.4 Regressie van bergingen boven bepaald drempeldebiet	59
7. Toename van gemiddelde jaarmaxima van hoogwaterdebiet, runoffhoeveelheden en bergingen met de herhalingstijd	87
8. Besluiten	93

Bijlagen 1b en 1c:

Per station zijn gegeven:

- een lijst van jaarmaxima van hoogwaterdebiet.
- grafieken van neerslagen en debiet van de meest markante hoogwaterperiodes.
- een lijst van de grootste runoffhoeveelheden.
- grafieken van de runoffcoëfficiënt en de runoffhoeveelheid in functie van de gebiedsneerslag over het stroomgebied.
- grafieken met de jaarmaxima, het 5-jaargemiddelde en het doorlopend gemiddelde van hoogwaterdebiet en runoffhoeveelheden.
- een lijst van jaarmaxima van bergingen boven bepaald drempeldebiet.
- grafieken met de jaarmaxima, het 5-jaargemiddelde en het doorlopend gemiddelde van bergingen boven bepaald drempeldebiet.
- grafieken van bergingshoeveelheden en -duren in functie van hun voorgekomen frequentie.

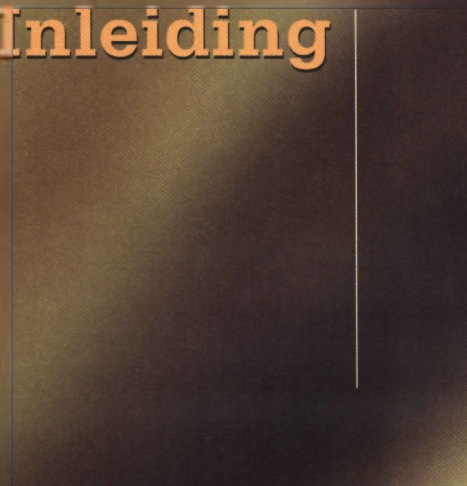
Stroomgebieden van de Kempen



1:350000

- Limnigraafstations
 ▲ limnigraaf
 Pluviometrie
 * pluviograaf KMI
 ⊕ pluviograaf DIHO
 ● pluviometer KMI
 □ Bekkengrens

1. Inleiding



1. Inleiding

In onderhavig rapport worden de hoogwatergolven bestudeerd van het IqlCV-gebied, dit is het zandige beekgebied ten noorden van de Demer en ten oosten van de Schelde, zoals bepaald in de *Frequentieanalyse van hoogwaterafvoeren in het limnimetrisch net van de Landelijke waterdienst* (1991). Uit deze studie bleek dat de meetstations in dit zandige en minder hellend gebied, eenvoudigheidshalve aangeduid als de Kempen op een éénvormige wijze reageren in hoogwaterperioden. De hoogwatergolven in dit gebied zijn gekenmerkt door matige waarden voor het gemiddeld jaarmaximum van het piekdebiet en door een kleine variatie in de reeks van jaarmaxima (het gemiddeld jaarmaximum van het piekdebiet is de gemiddelde waarde van een reeks, waarin voor ieder jaar het maximum gemeten debiet voorkomt).

Onderhavige studie werd uitgevoerd voor rekening van het Vlaamse Gewest, afdeling Water. De studie is een deelstudie van een groter geheel, waarin voor alle Vlaamse stroomgebieden getracht wordt de meetgegevens van onbevaarbare waterlopen in hun globaliteit te verwerken, en aldus referentiewaarden aan te bieden voor bepaalde vormen van hoogwaterbescherming. Door het samenbrengen van verschillende meetstations ontstaan langere tijdreeksen, die beter betrouwbare schattingen toelaten bij hogere herhalingstijden. Tevens is het mogelijk verbanden met stroomgebiedskenmerken te ontdekken en deze te gebruiken bij de studie van de hoogwaterbescherming over het gehele stroomgebied. Op deze wijze wordt de informatie uit andere analoge gebieden benut.

Onderhavige studie is beperkt tot een deelgebied van Vlaanderen, nl. het IqlCV-gebied. Voor het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen - dit is het HqHCV-gebied - en voor de droge leemstreek - dit zijn de stroomgebieden van Demer, Dijle en Jeker, of het IqHCV-gebied - zijn reeds analoge gegevens beschikbaar.

De hoogwatergolven worden ontleed op het vlak van piekdebieten en afvoervolumen, d.w.z. dat voor iedere afvoergolf van enige betekenis het afgevoerde volume water bepaald is, samen met de neerslag die de golf veroorzaakte. Deze analyse is dus gericht op het hoogwaterfenomeen en probeert zoveel mogelijk elementen uit deze golven af te leiden die kunnen helpen bij de toetsing van een concreet plan van hoogwaterbescherming voor stroomgebieden vanaf ca. 4000 ha tot 60 000 ha. De ondergrens is bepaald door het gebrek aan meetgegevens. De grotere stroomgebieden liggen allen in het Netebekken. In de andere bekkens zijn de stroomgebieden deelstroomgebieden van grotere rivieren, en is hun oppervlakte beperkt tot ca. 15000 ha. De bovengrens is dus afhankelijk van het bekken.

2. Beschikbare gegevens

2. Beschikbare gegevens

2.1 Limnimetrische gegevens

Het IqICV-gebied - verder ook aangeduid als de Kempen - bestaat meerdere stroombekkens : het volledige Netebekken, het deel van het Demerbekken ten noorden van de rivier de Demer, het deel van het Maasbekken ten noorden van het stroomgebied van de Jeker en het deel van het Benedenscheldebekken ten oosten van de Schelde en ten noorden van de Dijle.

Deze afbakening is gesteund op het voorkomen van zwak hellende en zandige stroomgebieden. De overgang van de leemstreek naar de zandstreek gebeurt vrij abrupt en de ligging van de rivieren Demer en Dijle kunnen gelden als aflijning van het IqHCV-gebied en het IqICV-gebied. De scheiding tussen het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen en de Kempen is op de Schelde gelegd. Een meer gefundeerde aflijning van deze gebieden kan enkel gebeuren op basis van meetgegevens in de overgangsgebieden.

Het meetnet op de onbevaarbare waterlopen in Vlaanderen staat onder de bevoegdheid van de afdeling Water van AMINAL. Enkele stations worden uitgebaat door DIHO, de Dienst voor Hydrologisch Onderzoek van de administratie Waterwegen en Zeewezen of door de diensten van de Zeeschelde.

De beschikbare gegevens omvatten :

- Peilgegevens van het limnimetrisch net van de afdeling Water van AMINAL.

De gegevens omvatten de tijdreeksen vanaf de oprichting van het station tot eind december 1996. De omzetting van alle uurlijkse peilen naar debieten is gebeurd met de debietkromme voor 1996 of de laatst beschikbare ijkingskromme (bij de uitvoering van werken). Hiermee wordt bekomen dat de ijkingskromme gebaseerd is op zoveel mogelijk meetpunten bij hoogwater, ten nadele van mogelijke verschuivingen in de loop der jaren. De invloed van mogelijke verschuivingen van de ijkingskromme is voor het doel van deze (hoogwater-)studie minder belangrijk geacht dan de betrouwbaarheid van hoogwaterdebieten. Voor enkele zeer jonge stations (042, 043, 044 en 047) zijn de debietkrommen gebruikt, opgesteld door DIHO met meer recente ijkingsgegevens.

Het opstellen van verschillende ijkingskrommen aan de hand van een onderzoek van alle aanwezige ijkoppels is van fundamenteel belang bij laagwaterstudies. Dit onderzoek is tot heden niet doorgevoerd. Het zou moeten resulteren in een reeks van "geklasseerde" debieten op uurlijkse en dagelijkse tijdschaal met een aangegeven betrouwbaarheid.

- Debietgegevens van DIHO.

De gegevens betreffen direct uurlijkse debieten vanaf de oprichting van het station tot einde december 1996. Deze gegevens zijn op eenvoudige vraag bij DIHO bekomen. DIHO herziet de ijkingskrommen na verloop van enkele jaren en beschikt daartoe over voldoende ijkgegevens om desgevallend de debietkrommen aan te passen.

Tabel 1 en figuur 1 geeft een overzicht van de toestand van het meetnet einde 1998. Verder in dit verslag zijn de stations betiteld met hun "DIHO"-nummer. Nummering van de meetplaatsen heeft in het verleden aanleiding gegeven tot moeilijkheden, omdat verschillende nummeringen werden ingevoerd: er bestaat een nummering volgens meerdere instanties (KMI, RUG, Water en DIHO). De DIHO-nummering is de enige met een zekere systematiek en is verder in dit verslag gebruikt. Omdat er enige vertrouwdsheid ontstaan is met de nummers van de afdeling Water, zijn deze in de tabel meegegeven. DIHO-nummers van stations met een ijkingskromme worden aangeduid met een asteriks (*). Gezien alleen dergelijke stations in de studie opgenomen zijn, is de asteriks in dit verslag eenvoudigheidshalve niet geschreven.

Tabel 1 en figuur 1 geven alle bestaande meetpunten weer. Een aantal stations zijn bij de verwerking niet behouden.

- Stations op kanalen of op de Maas zijn niet aangevraagd, omdat ze geen nut hebben voor een studie van het hoogwatergebeuren op onbevaarbare waterlopen.
- Gegevens van tijonderhevige waterlopen, het meetgebied van de diensten van de Zeeschelde, zijn evenmin aangevraagd. Gegevens van deze stations zijn niet relevant geacht voor het toepassingsgebied van deze studie.
- Metingen in stations met korte tijdreeksen.

Het is duidelijk dat de betrouwbaarheid van het gemiddeld jaarmaximum afhankelijk is van de lengte van de tijdreeks en dat de invloed van droge en natte jaren uitgevlakt wordt naarmate de tijdreeks langer is. Omdat de ijkingskromme via klassieke snelheidsmetingen bekomen wordt, moet ook de betrouwbaarheid van de ijkingskromme voor hoogwaterdebieten in vraag gesteld worden.

Dit is het geval voor stations 167 en 168 (start 1996) en voor stations 042, 043, 044 en 047 (start 1992 of 1993). Tijdreeksen over slechts enkele jaren zijn te kort om in de regressieberekeningen opgenomen te worden, en kunnen hoogstens dienen als toets voor de regressievergelijkingen.

- Stations die voor 1996 afgeschaft werden, hebben geen DIHO-nummer. Dit is het geval voor 2 stations, nl. WATER 513, Dommel te Peer, en WATER 9111, Laakebeek te Lille. De tijdreeks van 9111 is te kort om verder te verwerken, ondanks de aanwezigheid van een debietkromme. De reeks van 513 stopt in 1977: de reeks is dus kort en bevat vooral droge jaren, zodat opname in de regressievergelijkingen problematisch is.

Behalve hogervermelde meetplaatsen zijn er nog stations vóór 1996 afgeschaft: de Mark te Minderhout (tijdreeks 1978 - 1982), de Kleine Nete te Lichtaart (tijdreeks 1978 - 1984) en de Grote Nete te Geel (tijdreeks 1972 - 1983). Al deze stations werden niet verder beschouwd om reden van een slechte debietkromme.

Bij de beoordeling van de gegevens dient rekening gehouden met volgende bijzonderheden:

- De waterpeilen in een aantal stations in de Kempen, en vooral in het Netebekken, worden beïnvloed door opstuwing veroorzaakt door de ontwikkeling van waterplanten in zomerperioden. De bestaande

ijkingskrommen zijn niet aangepast om met deze invloed rekening te houden. Voorlopig kunnen enkel debieten berekend worden door de opgemeten waterpeilen te corrigeren naar "ongestuwde" peilen volgens persoonlijke en subjectieve vergelijkingen met andere stations. Het ligt in de bedoeling dit onderwerp op een meer systematische wijze te behandelen door o.m. stroomgebiedsmodelleringen op basis van neerslagreeksen.

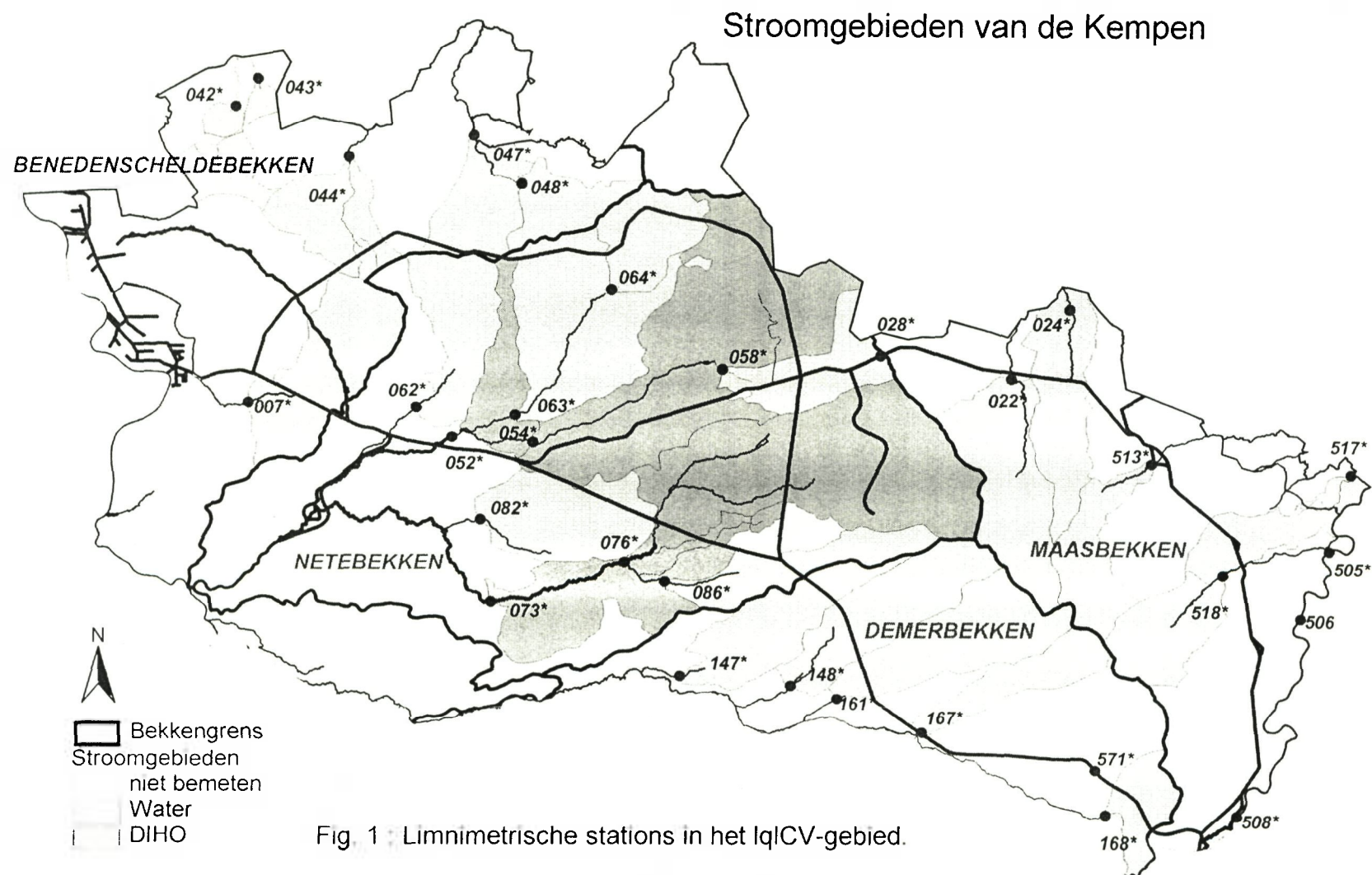
- Station 022, Dommel te Overpelt, ligt afwaarts van een wachtbekken dat sedert 1995 in bedrijf is. Alhoewel er metingen opwaarts het wachtbekken gebeuren, is nog geen vervanging gebeurd van de stationgegevens in de databank. De niet-gestoorde tijdreeks stopt in 1995.
- Station 513, Aabeek te Bree, is verplaatst na 8 jaar werking. De oude meetplaats lag ca 850m meer opwaarts, ter hoogte van een molen. In hoogwaterperioden bestond de kans dat een deel van de golf via de molenloper afgevoerd werd, dit was buiten het bereik van de limnigraaf. De nieuwe, huidige meetplaats vertoont dit gebrek niet (nieuw stroomgebied is ca. 140 ha groter dan de oude meetplaats).
- Station 517 ligt afwaarts van een verdeelwerk : dit kunstwerk zorgt voor een verdeling van de aankomende debieten naar Nederland en de grintputten van de Maas, zodat de limnigraaf de echte hoogwatergolf niet volledig kan bemeten.
- Station 007, het Schijn te Wijnegem, verkeert in een toestand analoog aan deze van 517 : in dit geval worden hoogwaterdebieten gedeeltelijk afgeleid naar het Albertkanaal, dit is stroomopwaarts van de meetplaats.
- Station 062, de Molenbeek te Pulle, ligt afwaarts van een bypass en meet in hoogwaterperioden niet alle water uit het stroomgebied. In dit punt zou dus een waarde moeten geschat worden die groter is dan de gemeten waarde.

Hieruit volgt dat de omzetting van peilen naar debieten via de normale ijkingskromme niet altijd correcte waarden voor de reële afvoer garandeert. Het is derhalve aangewezen dat de validatie van peilen en debieten zou gebeuren op een grondige manier, en dat de resultaten ervan deel zouden uitmaken van de beschikbare gegevens.

Tabel 1 : Bestaande limnigrafen in het gebied (toestand 1998)

DIHO	WATER	KAT	Waterloop	Provincie	Gemeente	Stroomgebied	Tijdreeks	
nr.	nr.			nr.		(km ²)	begin	einde
Netebekken								
Limnigrafen onder beheer van de afdeling Water								
058*	893*	KAT2	Kleine Nete	A8	Retie	6034	08/09/91	31/12/96
062*	9106*	KAT1	Molenbeek	A806	Pulle	7512	22/05/86	31/12/96
063*	531/2*	KAT1	De Aa	A9	Poederlee	20098	16/07/76	31/12/96
064*	9121/2*	KAT2	De Aa	A9	Turnhout	5762	14/05/86	31/12/96
082*	875*	KAT1	Wimp	A710	Wiekevorst	9078	08/08/89	31/12/96
086*	992/2*	KAT1	Grote Laak	L38	Vorst	6089	14/05/86	31/12/96
	9111	KAT1	Laak	A905	Lille	2893	22/05/86	31/12/89
Limnigrafen onder beheer van DIHO								
052*	052*	BEV	Kleine Nete	A8	Grobbendonk	58119	01/01/83	31/12/96
054*	054*	KAT1	Kleine Nete		Herentals	33170	01/01/88	31/12/96
073*	073*	BEV	Grote Nete		Hulshout	44347	01/01/76	31/12/96
076*	076*	BEV	Grote Nete	A7	Geel-Zammel	35882	01/01/85	31/12/95
028*	028*	BEV	Kan. Herentals - Bocholt		Lommel			
Limnigrafen onder beheer van de Zeeschelde								
		BEV	Grote Nete		Itegem			
		BEV	Kleine Nete		Grobbendonk			
		BEV	Dijle		Haacht			
Demerbekken								
Limnigrafen onder beheer van de afdeling Water								
	513*	KAT2	Dommel	L6	Peer	2168	01/01/71	31/12/77
147*	851*	KAT1	Hulpe	B3057	Molenstede	7974	01/10/86	31/12/96
148*	878/2*	KAT1	Zwarte Beek	B3013	Lummen	9629	04/05/83	31/12/96
161*	879/4*	KAT1	Mangelbeek	L45	Lummen	10067	04/05/83	31/12/96
167*	9606*	KAT2	Slangbeek	L211	Kuringen	4995	09/01/96	31/12/96
168*	9605*	KAT2	Munsterbeek	L41	Munsterbilzen	3754	09/01/96	31/12/96

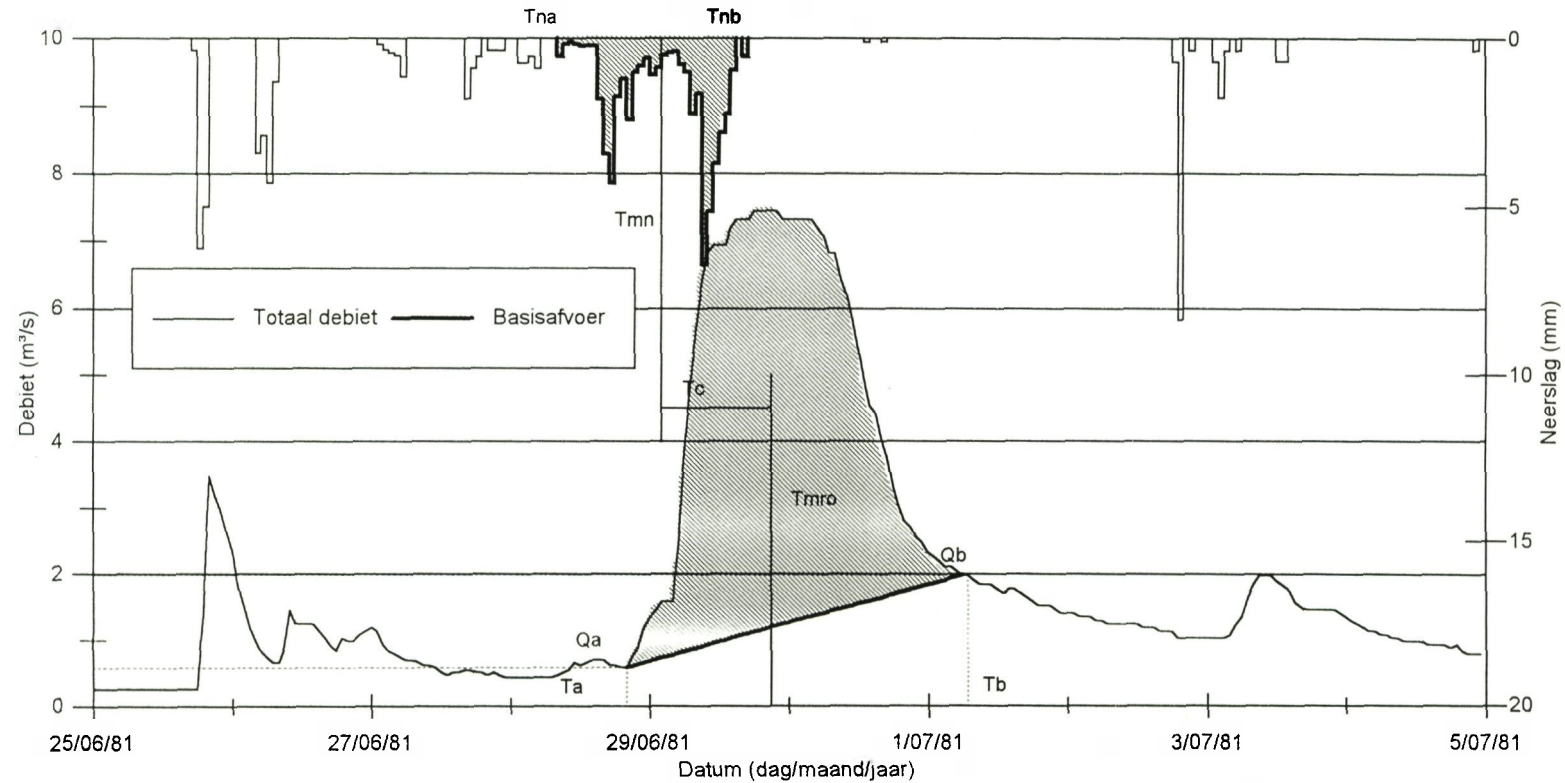
DIHO WATER nr.	KAT nr.	Waterloop	Provincie nr.	Gemeente	Stroomgebied (km ²)	Tijdreeks begin	einde
Benedenscheldebekken							
Limnigrafen onder beheer van de afdeling Water							
007*	890*	KAT1	Groot Schijn	A3	Wijnegem	10859	28/11/89 31/12/96
042*	900*	KAT2	Kleine Aa	A5	Essen-Wildert	3718	13/10/92 31/12/96
043*	899*	KAT2	Rozendaalse Vaart	A501	Essen	1083	13/10/92 31/12/96
044*	898/2*	KAT1	Grote Beek	A402	Wuustwezel	6437	24/09/93 31/12/96
047*	897*	KAT1	Mark	A4	Minderhout	10032	14/10/92 31/12/96
048*	812/7*	KAT2	Mark	A4	Merksplas	4155	22/10/82 31/12/96
Maasbekken							
Limnigrafen onder beheer van de afdeling Water							
022*	512*	KAT1	Dommel	L6	Overpelt	10958	01/01/71 31/12/96
024*	578*	KAT1	Warmbeek	L60	Achel	8391	01/02/78 31/12/96
513*	833/2*	KAT1	Abeek	L19	Bree	5842	01/01/85 31/12/96
517*	832*	KAT2	Witbeek	L53	Kessenich	5173	01/01/85 31/12/96
518*	831*	KAT1	Bosbeek	L52	Opoeteren	5515	01/01/85 31/12/96
Limnigrafen onder beheer van DIHO							
028*		BEV	Kan. Herentals-Bocholt		Lommel		01/01/89
505*		BEV	Maas		Maaseik		07/06/73
506		BEV	Maas		Dilsen		
508*		BEV	Maas		Lanaken		18/10/85
571*		BEV	Albertkanaal		Vroenhoven		1996



Het huidig rapport beperkt zich tot de analyse van 23 meetpunten, zoals in fig. 2 aangegeven. De langste individuele tijdreeks is 25 jaar (start 1971) en de samengevoegde tijdreeks bedraagt 263 jaar. In totaal zijn 2039 hoogwatergolven geanalyseerd voor de bepaling van de runoffhoeveelheid en de bijhorende neerslag. Voor de bergingsbepalingen B_{05} , dit is de waterhoeveelheid in de hoogwatergolf boven een drempeldebiet gelijk aan 50% van het gemiddeld jaarmaximum, zijn 1890 hoogwatergebeurtenissen onderzocht. In tabel 2 zijn bovenstaande aantallen uitgesplitst per station. In de mate dat de bemeten periode representatief is voor een veel langere tijdreeks, zouden de data van tabel 2 de betrouwbaarheid van de analyseresultaten moeten waarborgen.

Tabel 2 : Verwerkte limnimetrische data.

Nr	Station	Beschikbare Waterjaren	Aantal jaar	aantal golven	
				Bergingen (B_{05})	Runoff - volumen
007	Schijn te Wijnegem	1989-96	7	52	57
022	Dommel te Overpelt	1971-96	25	178	261
024	Warmbeek te Achel	1978-96	18	139	218
042	Kleine Aa te Essen-Wildert	1992-96	4	36	33
043	Rosendaalse Vaart te Essen	1992-96	4	0	0
044	Grote Beek te Wuustwezel	1993-96	3	21	17
047	Mark te Minderhout	1992-96	4	31	38
048	Mark te Merksplas	1983-96	13	101	93
052	Kleine Nete te Grobbendonk	1983-96	13	89	88
054	Kleine Nete te Herentals	1988-96	8	46	58
058	Witte Nete te Retie	1991-96	5	25	20
062	Molenbeek te Pulle	1986-96	10	44	62
063	Aa te Poederlee	1973-96	23	120	136
064	Aa te Turnhout	1986-96	10	45	46
073	Grote Nete te Hulshout	1976-96	20	111	153
076	Grote Nete te Geel-Zammel	1985-95	10	61	93
082	Wimp te Wiekevorst	1989-96	7	32	40
086	Grote Laak te Vorst	1986-96	10	69	125
147	Hulpe te Molenstede	1986-96	10	82	122
148	Zwartebeek te Lummen	1983-96	13	104	126
161	Mangelbeek te Lummen	1983-96	13	158	178
167	Slangbeek te Kuringen	1996-96	0	0	0
168	Munsterbeek te Munsterbilzen	1996-96	0	0	0
513	Aabeek te Bree	1993-96	3	34	29
513	Aabeek te Bree	1985-93	8	79	46
517	Witbeek te Kessenich	1985-96	11	82	0
518	Bosbeek te Opoeteren	1985-96	11	151	0
		<i>totaal</i>	263	1890	2039



Figuur 2 : De verschillende termen bij de bepaling van de runoff : begintijdstip runoff (Ta), eindtijdstip runoff (Tb), begindebiet (Qa), einddebiet (Qb), begintijdstip neerslag (Tna), eindtijdstip neerslag (Tnb), massamiddelpunt neerslag (Tmn), massamiddelpunt runoff (Tmro) en tijd tussen massamiddelpunten runoff en neerslag (Tc)

Het onderzoek van de hoogwatergolven is in figuur 3 geschematiseerd. De symbolen van de figuur zijn verder gebruikt als kolomtitels voor de analysegegevens van de databank van hoogwatergolven. Het onderzoek omvat voor iedere afvoergolf van enige betekenis, de bepaling van:

- het debiet aan het begin en eind van de hoogwatergolf (Q_{begin} en Q_{eind}) samen met deze tijdstippen,
- het piekdebiet van de golf (Q_{max}), en het tijdstip ervan,
- het totale runoffvolume van de golf boven het basisdebiet. Hiervoor is op zicht, maar met behulp van de berekende basisafvoer, een rechte lijn getrokken tussen het beginpunt (waar de debieten sterk toenemen) en het eindpunt (waar de debieten niet meer snel afnemen)
- het watervolume van de golf boven bepaalde debieten (B_{03} , B_{04} , B_{05} , B_{06} , B_{07} en B_{08}), en het tijdstip van maximum berging als een gecumuleerd verschil tussen de aankomende debieten en het drempeldebiet $Q_{03} \dots Q_{08}$)
- de corresponderende (Thiessen) gebiedsneerslag
- de concentratietijd of verschuiving van de neerslagpiek t.o.v. de afvoergolf.

De gegevens zijn verwerkt per waterjaar, en de scheiding tussen de waterjaren is aangenomen op 1 september.

Alle debieten zijn uitgedrukt in m^3/s , de specifieke debieten in l/s ha .

Het watervolume van de golf boven bepaalde debieten of berging boven een bepaald drempeldebiet is voorgesteld door B_{04} , B_{05} , enz. Hierbij beduidt index 04 dat de berging berekend is boven een debiet gelijk aan 40% van het gemiddeld jaarmaximum. De bergingen zijn uitgedrukt in mm water over het stroomgebied. Men heeft: $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 \text{ per ha}$.

De startwaarde van de berging is enkel gelijk aan nul indien het debiet over een voldoende lange tijd onder de drempelwaarde ligt. In hoogwaterperioden met meerdere pieken kunnen meerdere bergingen alleen bepaald worden wanneer de voorafgaande berging volledig leeg gelopen is. Op ieder uur verandert de berging met een bedrag gelijk aan het verschil tussen het ogenblikkelijke debiet en het drempeldebiet. Wanneer het debiet groter wordt dan het drempeldebiet en de berging is op dat ogenblik nog groter dan nul, smelt de huidige golf samen met de voorgaande golf, en geeft slechts aanleiding tot een enkele waarde voor de berging. Figuur 4 geeft een voorbeeld van de bergingsberekeningen waarbij meerdere pieken als een enkele golf moeten beschouwd worden voor de berging bij het gegeven drempeldebiet.

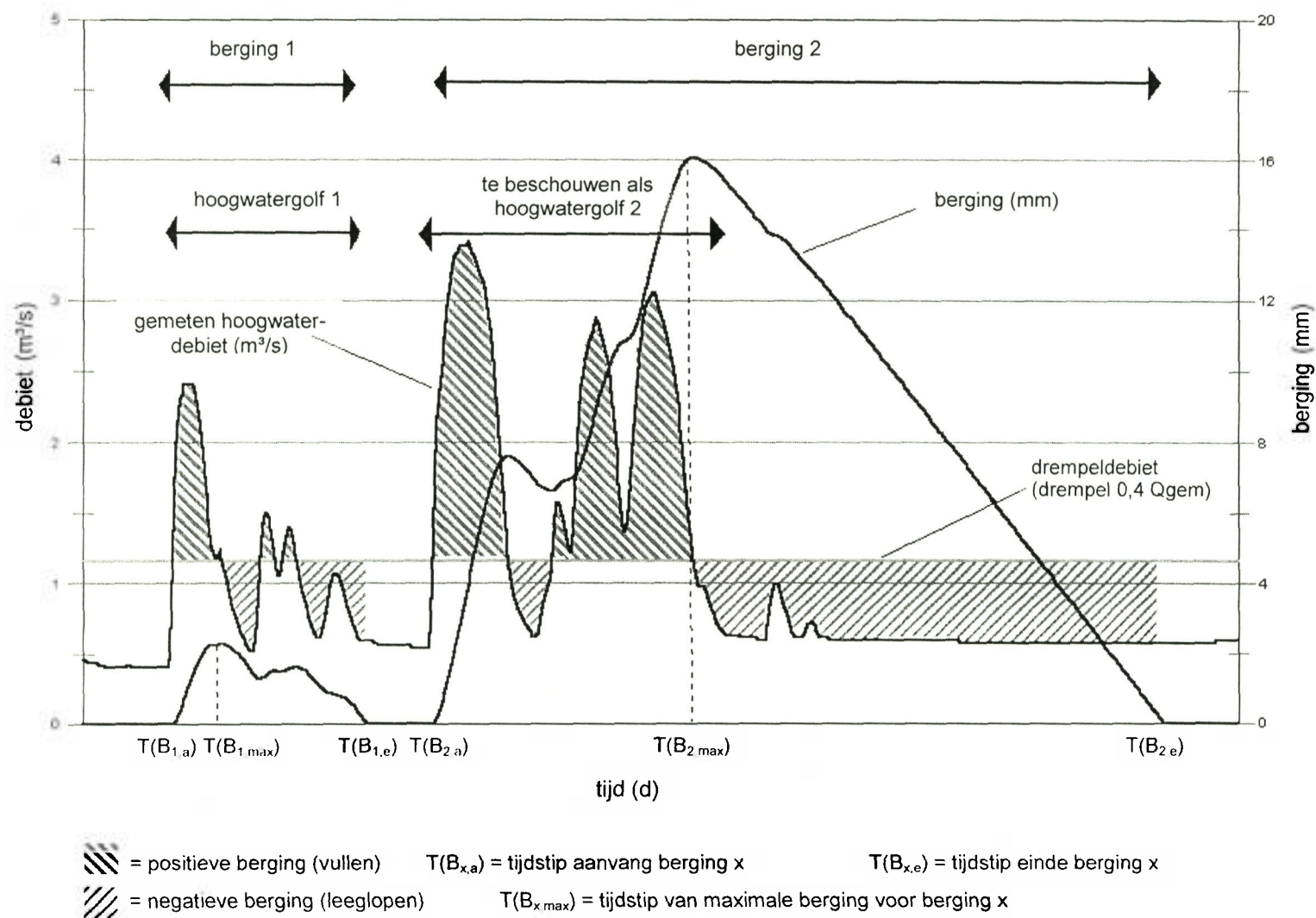


Fig. 4 : Voorbeeld van berekening van bergingen voor afvoergolven met meerdere pieken.

De scheiding van de totale hoogwatergolf in een deel basisafvoer en een deel runoff stelt bijzondere problemen. Vooral bij de grotere stroomgebieden is het niet evident om op zicht van het hydrogram, het begin- en eindpunt van de runoffgolf aan te duiden. De piekdebieten zijn in vergelijking met de andere gebieden in Vlaanderen kleiner geworden en dalende tak van het hydrogram verloopt minder steil: er is immers minder helling in het gebied. De stroomgebiedseigenschappen zijn gunstig voor grondwaterberging, gelet op de zandige bodems. Deze elementen maken dat de basisafvoer in het IqlCV-gebied een belangrijk deel van de totale afvoergolf vertegenwoordigt en dat de hoogwaterperioden extra lang duren.

Om de scheiding tussen grondwater en runoff op een meer objectieve en consistente manier te laten gebeuren, werd de methode voorgesteld door het Institute of Hydrology gevolgd. Deze procedure gebruikt gemiddelde dagafvoeren, en bestaat uit volgende stappen:

- Er worden niet overlappende blokken van 5 dagen gevormd. De minimumwaarden in ieder van deze blokken noemt men $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$.
- Men beschouwe de groepen $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots, (Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1})$. Wanneer voor iedere groep, $0.9 \cdot$ de centrale waarde $Q <$ de aanliggende waarden Q_n en Q_{n+1} , dan vormt de centrale waarde Q een punt van de basisafvoerkromme. Deze procedure wordt voor alle groepen doorlopen. De punten van de basisafvoer noemt men $Q_b, Q_{b2}, \dots, Q_b$, en de tijdsintervallen tussen deze punten zijn dus niet constant.
- Uit de puntenreeks $Q_b, Q_{b2}, \dots, Q_b$, worden door rechtlijnige interpolatie de tussenliggende dagwaarden berekend.
- Wanneer $Q_b > Q$ (uitzonderlijke gevallen) dan wordt $Q_b = Q$ gezet.
- Uit de gemiddelde dagwaarden Q_b worden de uurwaarden afgeleid. Deze uurwaarden gelden als een leidraad voor het scheiden van de hoogwatergolf, en helpen in het verminderen van subjectieve interpretatie.

In de bijlage zijn de belangrijkste hoogwatergolven van ieder station gegeven. Naast de eigenlijke debieten zijn ook gebiedsneerslagen en "basisafvoeren" getekend, berekend zoals hierboven aangegeven uit de gemiddelde dagdebieten. Tenslotte is ook de aangenomen scheiding tussen basisafvoer en runoff (onder vorm van een rechte lijn) getekend, waarmee dus de hoogwatergolf afgebakend is.

Ook met meer gesofistikeerde programma's, zoals het hydrologisch PDM-model (Probability Distributed Model) van het HR Wallingford, die basisafvoer en runoff scheiden uitgaande van parameters afgeleid uit tijdreeksen, zal altijd een subjectieve factor aanwezig zijn. Het is immers best mogelijk dat 2 opeenvolgende hoogwatergolven door de basisafvoer in 2 aparte golven gescheiden kunnen worden terwijl het klaarblijkelijk om één hoogwaterfenomeen gaat. Als de runoffhoeveelheid beschouwd wordt als de bovengrens van bergingen, (en de bergingen boven bepaalde drempeldebieten als procentuele delen van de runoff), zouden 2 opeenvolgende hoogwatergolven gescheiden of samen kunnen beschouwd worden al naargelang deze golven voor de berekening van de berging als één of meerdere evenementen voorkomen. Hierdoor wordt het mogelijk dat een hoogwatergebeuren voor B als één golf beschouwd is (omdat

afgegeven worden vóór het begin van de tweede golf). Een zekere dualiteit bij dergelijke bepalingen zal derhalve altijd aanwezig blijven.

De omzetting van peilen naar debieten is gebeurd met de debietkrommen van 1996, dit was bij de verwerking de laatst beschikbare ijkingskromme. Uiteraard zijn de tijdreeksen van stations met de geëigende debietkromme bewerkt indien de ijkingskromme tijdens de levensloop gewijzigd is door inrichtingswerken aan de rivier. Voor de meer recente stations (042, 043, 044, 048 en 058) zijn de ijkingskrommen aangenomen die door DIHO zijn opgesteld. Hierbij zijn snelheidsmetingen tot 1999 verwerkt, en is een betere betrouwbaarheid van de hoogwaterdebieten van deze stations gekomen.

Een speciaal probleem voor meerdere waterlopen is de ontwikkeling van planten in de bedding waardoor het waterpeil opgestuwd wordt en aldus buiten het toepassingsgebied van de debietkromme komt. In vele gevallen is dit effect duidelijk zichtbaar, zoals in figuur 4 is weergegeven. In andere gevallen is de invloed van de plantengroei minder opvallend en kan alleen de vergelijking met andere stations en met de regen in het stroomgebied meer duidelijkheid brengen. De tijdreeksen van deze stations werden tot heden niet aangepast omwille van de hoeveelheid werk vereist voor een gefundeerde validatie van alle debieten. Voorlopig is gecontroleerd of de onderzochte hoogwaterperiodes samenvallen met dergelijke opstuwingen, en in principe zijn deze gegevens niet in beschouwing genomen. Het is duidelijk dat een geautomatiseerde verwerking van de gegevens door dit fenomeen ernstig bemoeilijkt is, en dat validatie van de tijdreeksen in de Kempen een prioriteit zou moeten worden.

Station 063 : Aa te Poederlee

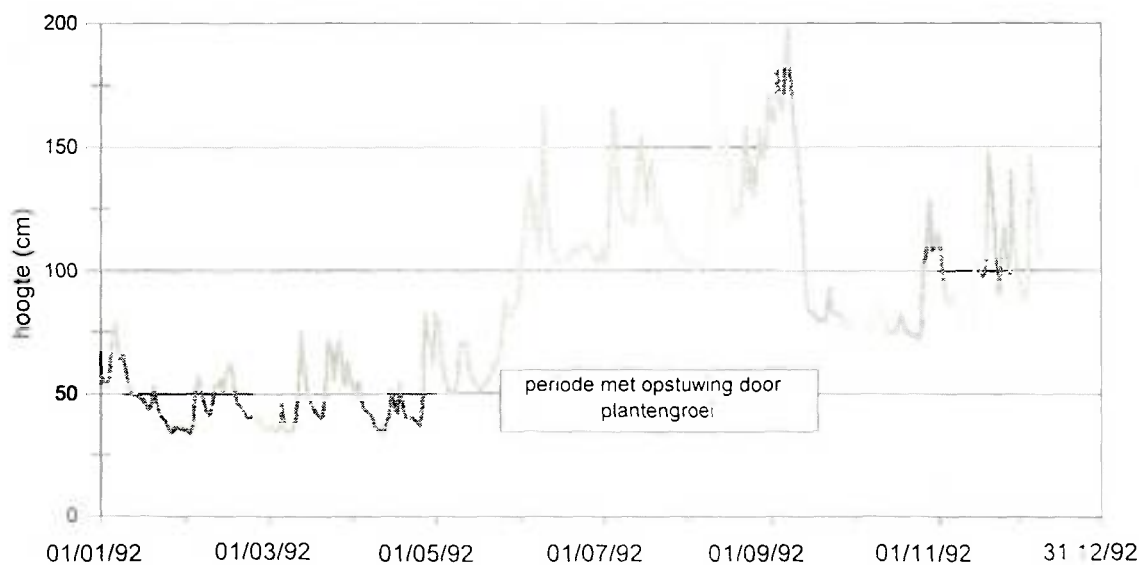


Fig. 4 : Invloed van plantengroei op de waterstand.

Behalve peilverhogingen door plantengroei in de bedding zijn bij station 518, de Bosbeek te Opoeteren, ook kunstmatige peilverhogingen aangetroffen. Een voorbeeld is gegeven in fig 5. Debieten in deze perioden kunnen niet met de "normale" ijkingskromme berekend worden. De hoogwatergolven in deze perioden zijn buiten beschouwing gelaten. Voor het onderkennen van deze toestanden is een vergelijking met omliggende stations nodig, en/of de beschikbaarheid van regengegevens : het is beschouwd als een onderdeel van een nog uit te voeren validatie van de meetreeksen.

Station 518 : Bosbeek te Opoeteren

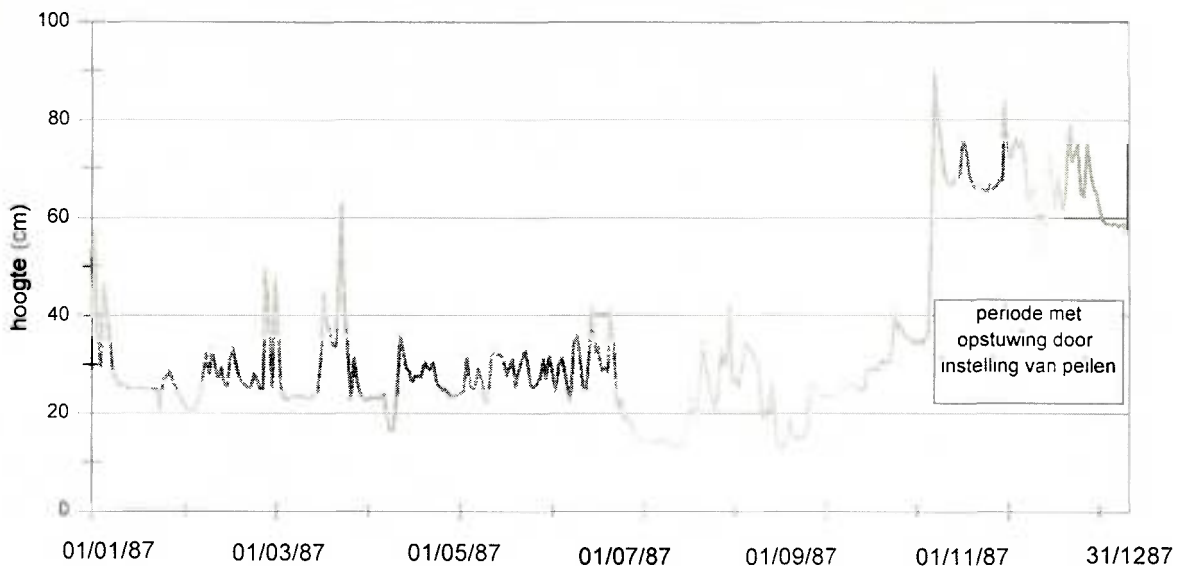


Fig. 5 : Verandering van peilen als gevolg van een peilbeheer.

2.2 Pluviometrische gegevens

De limnimetrische gegevens zijn aangevuld met regengegevens. Alle beschikbare regengegevens zijn puntneerslagen onder de vorm van uurlijkse pluviograafwaarden of van dagsommen.

Omzetting van puntneerslagen naar gebiedsneerslagen zijn doorgevoerd met Thiessenpolygonen. Voor enkele stations is dit in het begin nog handmatig gebeurd, later is de Thiessenpolygonenfunctie in ArcView systematisch gebruikt om alle gebiedsneerslagen te berekenen voor alle voorkomende gevallen (dit is het al dan niet beschikbaar zijn van regengegevens ten gevolge van het stopzetten van de metingen).

Gebiedsneerslagen steunen op zoveel mogelijk puntwaarnemingen. Gelet op de grote maaswijdte van het pluviografen-net blijft men aangewezen op de pluviometergegevens om representatieve gebiedsneerslagen te berekenen. Het KMI beschikt slechts over 10 pluviografen die Vlaamse stroomgebieden bemeten. De pluviografen van DIHO zijn van recente datum (1990) en zijn niet gevalideerd. De gemiddelde dichtheid van de pluviografen over geheel Vlaanderen bereikt nauwelijks de waarde van 1377 km² of 430 km² per pluviograaf (al naargelang de DIHO-pluviografen meegeteld worden of niet), terwijl voor de pluviometers een cijfer van 107 km² per pluviometer bekomen wordt. De specifieke cijfers voor de stroomgebieden van Demer, Dijle en Jeker zijn iets gunstiger dan de gemiddelden over Vlaanderen, want de Waalse stroomgebieden beschikken over een dichter pluviografen-net. Het blijft evenwel duidelijk dat de gebiedsneerslag moet berekend worden met de pluviometerwaarden.

Bij de pluviometers verwijst de regenhoeveelheid van een bepaalde dag naar de neerslag van 8.00 's morgens tot 8.00 uur van de volgende dag.

Ten behoeve van de bepaling van de runoff-coëfficiënt moet aan iedere hoogwatergolf de dagen toegewezen worden, waarvan de dagsom een bijdrage levert tot de voorgekomen golf. De tijdbasis van 1 dag vormt bij geïsoleerde regenbuien en hoogwatergolven geen probleem om deze gebiedsneerslag te bepalen. In de meeste gevallen is echter nadere (tijds)informatie over de dagsom nodig vooraleer deze kan gekoppeld worden aan een hoogwatergolf. Hiervoor is het tijdsverloop van de meest representatieve (meest nabije) pluviograaf gebruikt. Onzekerheid omtrent het al dan niet opnemen van bepaalde dagsommen in de totale neerslaghoeveelheid ontstaat bij het ontbreken van voldoende lange droge perioden in de pluviograafgegevens bij het begin en einde van de afvoergolf. Het voorkomen van overtrekkende regenfronten rond het tijdstip van 8.00 uur beïnvloedt de dagsom op een significante wijze en kan aldus aanleiding geven tot enige onzekerheid. Bij de meer extreme gebeurtenissen blijft de invloed van mogelijke fouten op de bepaling van de totale gebiedsneerslag eerder beperkt. In het algemeen kan aan de bepaling van de gebiedsneerslag een hoge betrouwbaarheid gegeven worden. Niettemin blijft het streefdoel een voldoende aantal pluviografen van hoge kwaliteit te bekomen om dit probleem op te lossen.

Behalve de grootte van de gebiedsneerslag is ook de concentratietijd van de hoogwatergolf bepaald als het verschil tussen het zwaartepunt van de hoogwatergolf en het zwaartepunt van het pluviogram. Bij de traditionele

ontwerphydrogrammen wordt de concentratietijd gebruikt als maat voor de aan te nemen regenduur.

De nauwkeurigheid van deze bepalingen is hoofdzakelijk bepaald door de ligging van de pluviograaf ten opzichte van het stroomgebied, en de beweging van het regenfront. De grote maaswijdte van het pluviografen-net laat niet toe een grote betrouwbaarheid aan de berekende concentratietijd te geven. Systematische verschillen ontstaan omdat de tijdreeksen van de hydrogrammen in vele gevallen gebruik maken van meerdere pluviograafplaatsen. Bovendien moet voor de perioden met ontbrekende waarnemingen een vervanging van de pluviograaf gezocht worden. Omdat de KMI-toestellen zo ver van elkaar verwijderd liggen, is voor de vervanging zoveel mogelijk gezocht naar de DIHO-meetplaatsen.

De meeste regengegevens zijn afkomstig van het KMI. De pluviograaf- en pluviometergegevens werden bekomen door bemiddeling van de afdeling Water in het kader van de opdrachten voor de oppervlaktewaterkwantiteitsmodellerings in de belangrijkste stroomgebieden. De gegevens van de DIHO-pluviografen zijn op eenvoudige aanvraag bekomen.

2.3 Stroomgebiedskkenmerken

De stroomgebiedskkenmerken worden afgeleid uit kaarten. Het beschikbaar komen van digitale gegevens biedt de mogelijkheid de stroomgebiedskkenmerken te bepalen op een meer gebruiksvriendelijke wijze dan de klassieke lengte- en oppervlakte-metingen. Vooral de klassieke oppervlaktebepalingen zijn een tijdrovende bezigheid en zijn niet altijd even betrouwbaar, ook indien bij het planimetreren geen fouten zouden gemaakt worden, omdat de kaarten niet voor deze doeleinden werden opgemaakt. Zo is het afleiden van het bodemgebruik op stafkaarten voor wat de verharding betreft een moeilijk reproduceerbare opgave. Derhalve werd voor het afleiden van mogelijks interessante stroomgebiedskkenmerken maximaal beroep gedaan op digitale gegevens. Toepassing van de regressievergelijkingen op andere stroomgebieden vereist uitgebreide software. Om dit nadeel te ondervangen wordt in een volgende stap voorzien dat de benodigde stroomgebiedskkenmerken bepaald worden tot alle individuele stroomgebieden van derde categorie. Voor een willekeurig stroomgebied hoeven dan enkel de (gewogen) gemiddelde waarden berekend te worden van de deelnemende kleine stroomgebieden.

De stroomgebiedskkenmerken van de bestudeerde stations zijn in tabel 5 samengevat. De te gebruiken eenheden voor toepassing in de regressievergelijkingen zijn deze van tabel 5.

Lengten van waterlopen

De atlas der waterlopen (VHA - de Vlaamse Hydrografische Atlas) werd ter beschikking gesteld door de afdeling Water ter gelegenheid van de studie van de optimalisatie van het limnimetrisch net op de onbevaarbare waterlopen. Gegevens over de lengte van waterlopen zijn beperkt tot de waterlopen opgenomen in deze atlas, dit is tot de geklasseerde waterlopen. Het totaal aantal km waterloop per oppervlakte-eenheid van het stroomgebied is een mogelijke parameter voor de snelheid waarmee het water van het perceel tot in de

hoofdwaterloop terecht komt. In bepaalde gebieden kunnen er beduidend meer waterlopen voorkomen dan de geklasseerde waterlopen.

Ook de lengte van de hoofdloop is in een aantal studies een nuttige parameter gebleken. Het volgen van het nummer van de hoofdwaterloop stelt soms problemen wanneer er aan het stroomopwaartse einde een zijloop bestaat die langer is en een groter gebied afwatert dan de geklasseerde hoofdwaterloop. In extreme gevallen werd deze zijloop dan verder aangenomen als de hoofdwaterloop.

Oppervlakten van stroomgebieden

De afwaterende oppervlakten zijn bepaald met behulp van de digitale atlas der waterlopen (VHA), vertrekkend van de stroomgebieden zoals bepaald in de atlas die door de afdeling Water ter beschikking werd gesteld. Ter plaatse van de limnigrafen werden bijkomende indelingen gemaakt met behulp van de digitale stafkaart.

Bodemgebruik

Voor de studie kon gebruik gemaakt worden van de digitale kaart met het bodemgebruik : een kleinschalig bodemgebruiksbestand van Vlaanderen en Brussel afgeleid uit Landsat TM satellietbeelden (1996). De kaart werd via de afdeling Water door het OC-GIS Vlaanderen ter beschikking gesteld.

De toepasbaarheid van het bestand in de originele vorm was met de toen voorhanden versie van het GIS-programma beperkt. Daarom werd (december 1998) aan het Ondersteunend Centrum GIS-Vlaanderen gevraagd het bodemgebruik op te splitsen in de 534 deelstroomgebieden, zoals deze bij de studie van de optimalisatie van het limnimetrisch net zijn afgelijnd. De gegevens zijn samengebracht tot 127 deelstroomgebieden volgens de bestaande toestand van het meetnet of tot 223 deelstroomgebieden volgens het voorstel van meetnet.

In een correlatiestudie van hoogwaterafvoeren met stroomgebiedskennmerken is de oorspronkelijke detaillering in 27 klassen niet wenselijk. In functie van het fenomeen hoogwater zijn een aantal klassen samengebracht. De herklassering leidt tot 7 klassen, waarvan 6 volledig onafhankelijke klassen voor de regressieanalyse beschikbaar blijven. Uiteraard zijn een aantal bodemgebruiken voor onderhavige studie niet relevant (slikken en schorren, zeehaven, enz) en zou een aparte studie kunnen gebeuren om bv. het verhardingspercentage van een aantal bodemgebruiken vast te stellen. Nu wordt als verhard gebied een cijfer berekend door de oppervlakten van de deelgebieden te vermenigvuldigen met hun aangenomen verhardingspercentage.

Het vochtig weiland is apart gehouden omdat deze gebieden een bufferende rol kunnen vervullen in hoogwaterperioden.

De parameter voor de verharde oppervlakte (1+ URB) is berekend als :

$$1 + URB = 1 + \frac{opp_klas1 + 0,5 \times opp_klas2 + 0,25 \times opp_klas3}{totaal\ oppervlak}$$

Tabel 3 : Vereenvoudiging van het bodemgebruik voor de studie

Vereenvoudigde klassen voor de studie		originele klassen bodemgebruikskaat
verhard gebied (URB)	verhard gebied a 100% = bodemgebruik klas 1	1 kernstadbebouwing 2 bebouwing 3 industrie en handel 4 infrastructuur 201 autosnelweg 202 gewestweg
	verhard gebied a 50% = bodemgebruik klas 2	5 zeehaven 6 luchthaven
	verhard gebied a 25% = bodemgebruik klas 3	10 open bebouwing
akker (AKK)		21 akkerbouw 27 mais en knolgewas
weide (WEI)		23 weiland (+ rest akkergewas)
vochtig weiland (DRAS)		28 vochtig weiland
struwelen (STR)		7 ontginning 35 heide 36 struikgewas 37 strand/duin 44 slikke/schorre
bos (BOS)		29 boomgaard 31 loofbos 32 naaldbos 33 gemengd bos
wateroppervlak (WATER)		51 bevaarbare waterloop 52 zoetwateroppervlak 53 estuarium 55 onbevaarbare waterloop

Bij de studie van hoogwaterafvoeren in de Kempen is het bodemgebruik volgens deze digitale kaarten vergeleken met vroeger cijfermateriaal. Hieruit werden volgende besluiten getrokken :

- De interpretatie van satellietbeelden blijft een delicaat punt. Gegevens van satellietbeelden van 1992 en latere beelden zijn moeilijk vergelijkbaar om bepaalde ontwikkelingen in het landgebruik te bewijzen.
- Data over het bodemgebruik van kleine stroomgebieden zijn minder betrouwbaar dan gegevens voor grotere stroomgebieden, want de invloed van bepaalde fouten is groter.
- Voor de toepassing van de regressievergelijkingen is het nodig dat de gegevens op een identieke wijze uit hetzelfde kaartmateriaal afgeleid worden.

Helling in het stroomgebied

Het DTM of de digitale hoogtekarten bieden de mogelijkheid een gemiddelde helling over het stroomgebied te berekenen. Een dergelijke cijfer heeft een meerwaarde ten opzichte van vroegere bepalingen door middel van de gemiddelde helling van de waterloop, zoals de S_{1085} - waarde. Hierbij worden slechts op 2 plaatsen, nl op 10% en 85% van de lengte L van de hoofdwaterloop, gemeten vanaf de stroomafwaartse zijde, de hoogten H_{85} en H_{10} op de stafkaart afgelezen.

Het DTM vertrekt van rastercellen met afmetingen van 20 x 30 m, zodat de gemiddelde helling daadwerkelijk gemiddeld wordt over het stroomgebied.

Voor de Vlaamse delen werd het DTM overgenomen van het Laboratorium voor Experimentele Geomorfologie van de KU Leuven. Aldus kon vermeden worden dat een aantal voorafgaande bewerkingen op het originele DTM op 1/50.000 van het OC-GIS moesten overgedaan worden. In het kader van hun opdracht voor het opstellen van een kaart over de "Bodemerosie in Vlaanderen" werd het DTM omgezet naar een rasterformaat van 30 op 30 m en aldus geschikt gemaakt voor verdere bewerkingen in ArcView. Net zoals voor de bodemgebruikskaat werd een gemiddelde helling berekend voor ieder deelstroomgebied volgens het bestaande meetnet.

Bodemkaart

Voor de Vlaamse stroomgebieden is de bodemkaart onder digitale vorm volledig beschikbaar: het vertegenwoordigde immers een deelopdracht bij de Werkgroep te Merelbeke belast met onderzoek omtrent Landelijk Bodembeheer. De individuele kaartbladen werden samengevoegd volgens de grenzen van de 11 stroombekkens.

De bekomen kaarten werden verder opgesplitst naar de deelstroomgebieden volgens het bestaande limnimetrisch net. De attributen in de *theme tables* werden aangevuld met de verschillende *SOIL*-klassen volgens onderstaand schema, conform de aannamen bij de vorige studie over de "Frequentieanalyse van Hoogwaterafvoeren" (1991). De vroegere scheiding tussen de al dan niet hellende gebieden was op basis van het hoogtelijneninterval op de stafkaarten. De beschikbaarheid van het DTM laat een gemiddelde helling aan te nemen als scheiding. Het blijkt dat een waarde van 0.95% een aanvaardbare scheiding maakt tussen meer hellende en vlakke gebieden. De cijfers in de tabel stellen de nummers van de klassen voor.

De klassenummers beduiden:

- 1 : zeer kleine runoff, $C = 0.15$
- 2 : kleine runoff, $C = 0.30$
- 3 : matige runoff, $C = 0.40$
- 4 : grote runoff, $C = 0.45$
- 5 : zeer grote runoff, $C = 0.50$

De *SOIL*-waarde wordt bepaald door runoffindexen proportioneel met de oppervlakte te wegen. Men heeft:

$$SOIL = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i}$$

met A_i : deelopervlak met runoffindex C_i

C_i : de klasse volgens onderstaande tabel, uitgaande van de gemiddelde helling over het volledige stroomgebied ter plaatse van de limnigraaf.

$\sum$: som over alle deelopervlakken van het stroomgebied, de verharde gebieden uitgezonderd.

Het studiegebied behoort tot de kleinste hellingklasse, alleen de stroomgebieden van 147 en 468 van het Demerbekken (met een helling van resp. 1.1% en 1.8%), en 518 (helling 1.3%) van het Maasbekken vormen een uitzondering : de klasse moet bij de meer hellende gebieden bepaald worden.

Tabel 4 : Klassering naar de parameter SOIL.

Drainage- klasse	Substraten	Helling (gemiddelde waarde over het stroomgebied)					
		< 0.95%			> 0.95%		
		Texturen					
		Z, S, P	A, L	E, U	Z, S, P	A, L	E, U
a,b,c	Geen	1	1	2	1	2	2
	(w), (u), l	1	1	2	2	2	3
	w, u, w-, u-	-	-	-	-	-	-
d,D	Geen	2	2	3	3	3	4
	(w), (u), l	2	3	3	3	4	4
	w, u, w-, u-	3	4	4	4	4	4
natter dan d	Geen	4	4	5	5	5	5
	(w), (u), l	4	5	5	5	5	5
	w, u, w-, u-	5	5	5	5	5	5

Specifieke omschrijvingen van de symbolen van drainageklasse en substraten zijn gegeven in de begeleidende teksten bij de bodemkaarten. Drainageklassen a, b, en c verwijzen naar droge gronden, de klassen d en D verwijzen naar gronden met een grondwatertafel tussen de droge en de natte gronden. De ligging van de grondwatertafel is namelijk van belang voor de mogelijke grondwaterberging, een grootheid die in de vlakke zandstreek een effect zou kunnen hebben op de hoogwatergolf. De aanwezigheid en de diepteligging van minder goed doorlatende (klei-)substraten in de zandstreek beïnvloedt eveneens de mogelijke grondwaterberging.

Bij het correlatieonderzoek bleek het nuttig ook de verschillende SOIL-groepen als aparte parameters te laten deelnemen. De parameters $SOIL_1$, $SOIL_2$, enz zijn in analogie met andere bodemgebruiken gedefinieerd als :

$$SOIL_1 = \frac{\text{oppervlakte } SOIL_1}{\text{totale oppervlakte}} = \frac{A_1}{\sum A_i}$$

Tabel 5 : Stroomgebiedskenmerken.

Tabel 5.1 : Hydrografische kenmerken van de onderzochte stations.

Nr.	Oppervlakte ha	Perimeter m	Vorm (-)	Helling %	Lhoofd m	Lwtl m	Ltot km/km ²	Saar mm
DIHO	OPP	PERI	VORM	HELL	LHFD	LWTL	LTOT	SAAR
007	10861	51418	0.21	0.30	22544	202689	1.87	802
022	10958	54727	0.20	0.46	23811	88288	0.81	798
024	8391	52805	0.16	0.50	24903	116213	1.38	771
042	3719	40287	0.09	0.53	10447	44188	1.19	827
043	1083	23021	0.05	0.36				838
044	6437	37214	0.17	0.31	10805	99962	1.55	830
047	10033	54277	0.18	0.35	18710	117947	1.18	799
048	4156	35112	0.12	0.31	9177	45630	1.10	796
052	58127	112857	0.52	0.45	39955	889559	1.53	779
054	33176	112901	0.29	0.52	31463	537996	1.62	773
058	6035	45439	0.13	0.58	11100	70692	1.17	765
062	7512	45502	0.17	0.23	19658	113643	1.51	794
063	20100	75377	0.27	0.34	32848	280068	1.39	788
064	5763	35288	0.16	0.40	17062	79051	1.37	803
073	44355	126736	0.35	0.52	60759	582580	1.31	776
076	35880	80683	0.44	0.53	46891	408191	1.14	771
082	9079	42242	0.21	0.30	17706	118066	1.30	770
086	6091	55644	0.11	0.68	25422	77705	1.28	796
147	7974	55330	0.14	1.14	23053	108596	1.36	772
148	9629	51797	0.19	0.85	26370	120190	1.25	791
161	10066	54192	0.19	0.94	21467	113636	1.13	795
167	4998	41460	0.12	0.73	10097	44598	0.89	772
168	3757	31419	0.12	1.82	6276	38266	1.02	800
513	5842	45622	0.13	0.76	20728	44272	0.76	823
517	5170	61605	0.08	0.93	18414	76648	1.48	712
518	6192	34629	0.18	1.34	14851	25882	0.42	775

Tabel 5.2 : Bodemgebruik in de onderzochte stroomgebieden.

DIHO	1+ URB	1+KLAS1	1+KLAS2	1+KLAS3	1+AKK	1+WEI	1+DRAS	1+STR	1+BOS	1+WATER
007	1.139	1.121	1.000	1.073	1.228	1.123	1.012	1.018	1.420	1.005
022	1.141	1.127	1.000	1.055	1.353	1.200	1.022	1.009	1.229	1.004
024	1.103	1.087	1.008	1.051	1.376	1.184	1.006	1.006	1.277	1.006
042	1.071	1.063	1.000	1.029	1.193	1.203	1.087	1.038	1.382	1.004
043	1.051	1.049	1.000	1.008	1.250	1.309	1.001	1.020	1.338	1.024
044	1.050	1.043	1.000	1.028	1.317	1.263	1.039	1.011	1.293	1.007
047	1.080	1.071	1.000	1.036	1.339	1.308	1.019	1.019	1.194	1.014
048	1.063	1.055	1.000	1.033	1.336	1.346	1.000	1.019	1.200	1.011
052	1.116	1.107	1.000	1.034	1.295	1.139	1.032	1.030	1.344	1.019
054	1.103	1.096	1.000	1.029	1.315	1.134	1.032	1.030	1.338	1.026
058	1.151	1.148	1.000	1.013	1.223	1.084	1.005	1.065	1.355	1.107
062	1.084	1.070	1.004	1.047	1.281	1.204	1.010	1.018	1.358	1.007
063	1.136	1.126	1.000	1.041	1.267	1.155	1.031	1.032	1.340	1.009
064	1.163	1.154	1.000	1.038	1.269	1.192	1.010	1.037	1.292	1.009
073	1.166	1.153	1.000	1.054	1.269	1.117	1.025	1.059	1.316	1.008
076	1.176	1.163	1.000	1.051	1.258	1.112	1.024	1.068	1.315	1.008
082	1.149	1.130	1.000	1.078	1.452	1.158	1.028	1.017	1.134	1.003
086	1.181	1.167	1.000	1.056	1.241	1.131	1.040	1.047	1.308	1.009
147	1.187	1.176	1.000	1.041	1.231	1.180	1.063	1.033	1.268	1.008
148	1.187	1.172	1.000	1.060	1.257	1.113	1.049	1.052	1.292	1.005
161	1.221	1.209	1.000	1.050	1.188	1.093	1.019	1.019	1.411	1.011
167	1.226	1.210	1.000	1.062	1.174	1.095	1.005	1.032	1.396	1.026
168	1.111	1.101	1.000	1.041	1.233	1.153	1.009	1.020	1.431	1.012
513	1.072	1.060	1.000	1.049	1.358	1.226	1.014	1.009	1.277	1.007
517	1.093	1.078	1.000	1.059	1.419	1.186	1.014	1.005	1.204	1.033
518	1.111	1.095	1.000	1.065	1.239	1.135	1.012	1.025	1.422	1.007

Tabel 5.3: Bodemeigenschappen van de onderzochte stations.

DIHO	SOIL	1+SOIL1	1+SOIL2	1+SOIL3	1+SOIL4	1+SOIL5
007	0.336	1.221	1.214	1.087	1.231	1.101
022	0.235	1.505	1.238	1.000	1.128	1.000
024	0.244	1.499	1.198	1.000	1.174	1.000
042	0.389	1.073	1.194	1.085	1.277	1.153
043	0.372	1.107	1.223	1.168	1.351	1.062
044	0.359	1.147	1.152	1.158	1.150	1.140
047	0.324	1.210	1.348	1.088	1.168	1.095
048	0.322	1.222	1.371	1.078	1.159	1.113
052	0.306	1.263	1.260	1.005	1.289	1.009
054	0.308	1.261	1.263	1.001	1.312	1.002
058	0.257	1.336	1.233	1.000	1.135	1.000
062	0.333	1.206	1.270	1.088	1.260	1.061
063	0.299	1.272	1.264	1.006	1.242	1.014
064	0.306	1.215	1.349	1.008	1.216	1.019
073	0.296	1.282	1.188	1.055	1.214	1.019
076	0.284	1.294	1.178	1.034	1.200	1.016
082	0.284	1.351	1.254	1.082	1.173	1.021
086	0.297	1.284	1.186	1.093	1.122	1.062
147	0.338	1.315	1.000	1.211	1.169	1.170
148	0.264	1.386	1.227	1.036	1.160	1.004
161	0.270	1.344	1.141	1.016	1.186	1.008
167	0.232	1.442	1.156	1.001	1.118	1.000
168	0.266	1.470	1.159	1.140	1.001	1.129
513	0.201	1.606	1.135	1.000	1.070	1.000
517	0.235	1.511	1.265	1.000	1.120	1.000
518	0.198	1.694	1.000	1.054	1.000	1.074

3. Clusteranalyse van stroomgebiedkenmerken

3. Clusteranalyse van stroomgebiedskenmerken

In het verder verloop van het correlatie-onderzoek van karakteristieken van hoogwatergolven met stroomgebiedskenmerken was het niet nodig de gehele groep van stroomgebieden te splitsen in 2 deelgroepen om redelijke correlaties te bekomen.

Clusteranalyse is een statistische rekenmethode om gegevens in te delen in groepen of clusters. Clusteranalyse omschrijft de deelnemende stations als elementen en de data waarop de elementen (de stroomgebiedskenmerken) geclusterd worden als parameters. Het resultaat van de analyse is een indeling in clusters waarvan de elementen in elke cluster zo weinig mogelijk verschillen terwijl de verschillen tussen de clusters onderling maximaal zijn. Twee stroomgebieden die bijna identiek zijn (bv 2 stroomgebieden op dezelfde waterloop en op korte afstand van elkaar zodat de stroomgebiedskenmerken ongeveer gelijk zijn) zullen het begin van een groep of cluster vormen. Het SAS-programma, het statistisch pakket waarmee de analyse is uitgevoerd, kent verschillende strategieën om de afstand tussen een reeds gevormde groep en een nieuw element te bepalen, al naargelang het gewicht dat aan de reeds gevormde groep wordt toegekend.

Bij de uitgevoerde clusteranalyse komen de verschillen tussen de beschikbare strategieën niet zozeer tot uiting in de samenstellende elementen van de groepen dan wel in het niveau waarop duidelijke scheiding in groepen zichtbaar wordt. De resultaten van een clusteranalyse worden voorgesteld in een dendrogram. De verschillende elementen (stroomgebieden) zijn als de bladeren aan de boom, en naarmate de elementen in groepen aan elkaar geclusterd worden, vormen zich de takken van de boom. De "root" van het dendrogram is de cluster waarin alle elementen voorkomen. De Ward-strategie is gebruikt als basis voor de voorstelling van de resultaten in een dendrogram.

In figuur 6a zijn de resultaten voorgesteld waarbij alle beschikbare stroomgebiedskenmerken als parameters in de clusteranalyse zijn ingevoerd. Men bemerkt dat de grootste stroomgebieden allen in één cluster voorkomen, mogelijks als gevolg van de kloof in stroomgebiedskenmerken (oppervlakte, perimeter en lengten van waterlopen) tussen de 5 grootste stations (063, 054, 076, 073 en 052) en de andere stations. Alle grote stations ($OPP > 20\ 000$ ha) zijn in het Netebekken gelegen. De stations buiten het Netebekken zijn niet groter dan 11 000 ha.

Een tweede clusteranalyse is gebaseerd op parameters die een procentuele verhouding van een kenmerk uitdrukken: het bodemgebruik, de eigenschappen van de bodemkaart en L_{tot} . De resultaten zijn in figuur 6b gegeven en tonen de grote stroomgebieden terug als een aaneengesloten groep. Men bemerkt tevens een scheiding tussen het Netebekken en Benedenscheldebekken enerzijds en de andere gebieden anderzijds. Het is derhalve van belang dat het Maasbekken voldoende vertegenwoordigd is in de regressievergelijkingen, en dus ook in het algemene meetnet.

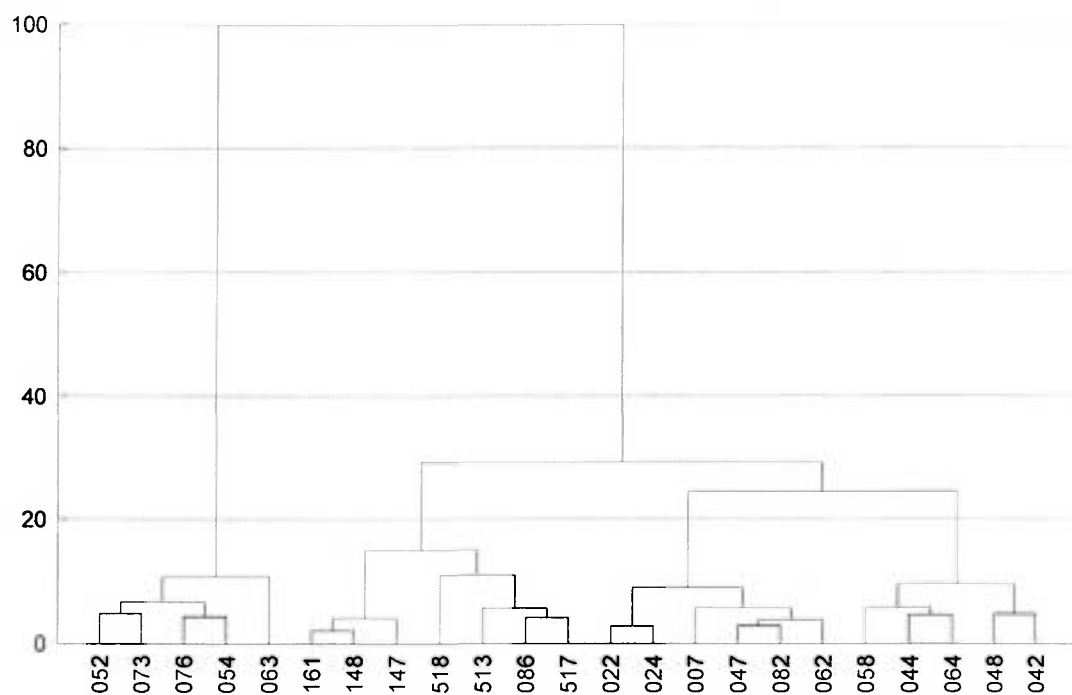


Fig 6a : Clusteranalyse met alle stroomgebiedskenmerken.

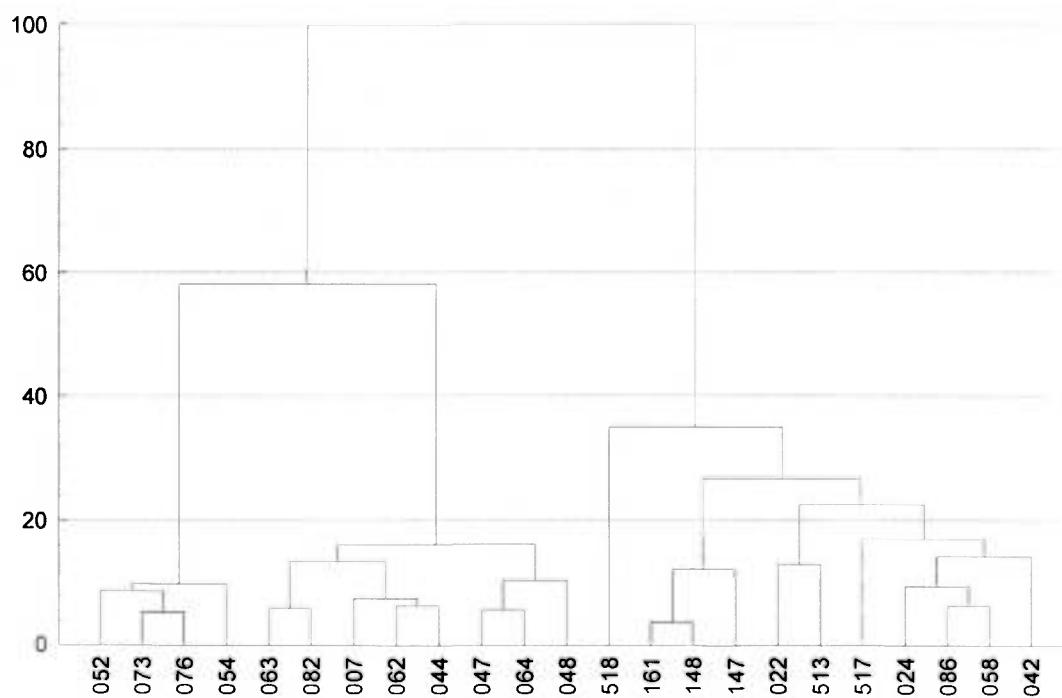


Fig 6b : Clusteranalyse met oppervlakte-onafhankelijke stroomgebiedskenmerken.

4. Trend in de tijdreeksen



4. Trend in de tijdreeksen

Voor de correlatiestudie van gemiddelde jaarmaxima met stroomgebiedskenmerken wordt bij voorkeur eenzelfde tijdreeks genomen om het effect van natte en droge jaren gelijk te verdelen over alle stations. In het correlatie-onderzoek is gewerkt met de waterjaren vanaf 1984 -1985 tot 1995 -1996. Voor de meeste stations levert dit een tijdreeks van 10 à 12 jaar. Voor vele stations behoren de hoogwatergolven van eind januari 1995 echter tot de meer extreme gebeurtenissen. Het is nog onduidelijk hoe deze golven alsook de belangrijke hoogwatergolven na 1996 de gemiddelde waarde en de spreiding in de tijdreeks zal beïnvloeden.

Voor slechts 4 stations zijn langere tijdreeksen (de vroegste vanaf 1972) beschikbaar, zodat een idee zou kunnen gevormd worden van de trend in de reeksen. In de bijlage zijn voor alle stations tekeningen gevoegd met het verloop van het jaarmaximum van het hoogwaterdebiet, van de totale runoffhoeveelheid en van de bergingen boven 3 drempeldebieten (40%, 60% en 80% van het gemiddeld jaarmaximum). Deze tekeningen zijn zowel voor de reële waarden als voor de procentuele waarden gegeven. Een éénduidige trend in de tijdreeksen blijkt niet aanwezig te zijn : voor sommige stations is er een stijgend verloop, voor andere een dalend verloop en voor nog andere stations is geen duidelijke trend aanwezig. De kortere tijdreeksen tot ca. 10 jaar vertonen de grootste variatie, en zijn dus weinig geschikt om betrouwbare uitspraken over een al dan niet stijgende trend in de gegevens te bevestigen. In alle gevallen zijn de bergingen veel meer veranderlijk dan de piekdebieten van de hoogwatergolven en de runoffhoeveelheden.

In tabel 6 is de vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde waarde over de waterjaren 1984-'85 tot 1995-'96 en over de volledige meetperiode voor de stations met een langere tijdreeks. Er zijn slechts 4 stations die een tijdreeks hebben die beduidend langer is dan 12 jaar. De procentuele verschillen tussen beide gegevens bedragen gemiddeld 10%, en schommelen tussen - 26% en +5%.

Tabel 6 : Vergelijking gemiddelde waarden over de tijdreeksen.

Station	korte tijdreeks	volledige tijdreeks	absolute afwijking	procentuele afwijking (-)
	aantal jaar	aantal jaar		
022	12	24		
024	12	18		
063	12	20		
073	12	20		
Qgem (m ³ /s)				
022	6.157	5.535	-0.6	-11
024	2.641	2.645	0.0	0
063	11.607	11.558	-0.0	-0
073	16.744	16.355	-0.4	-2

Runoff (mm)				
022	7.8	6.2	-1.6	-26
024	5.5	4.7	-0.8	-17
063	21.1	20.6	-0.5	-2
073	21.1	20.3	-0.8	-4
B ₀₄ (mm)				
022	10.3	8.9	-1.4	-16
024	10.5	8.4	-2.1	-25
063	14.0	13.2	-0.8	-6
073	36.7	32.3	-4.4	-14
B ₀₅ (mm)				
022	4.7	3.9	-0.9	-22
024	5.1	4.2	-0.9	-22
063	8.6	8.2	-0.4	-4
073	18.6	16.0	-2.6	-17
B ₀₆ (mm)				
022	1.9	1.8	-0.1	-3
024	2.8	2.3	-0.4	-19
063	5.4	5.3	-0.0	-1
073	11.1	9.7	-1.3	-13
B ₀₇ (mm)				
022	1.2	1.2	-0.0	-4
024	1.4	1.2	-0.1	-12
063	3.1	3.2	0.1	4
073	6.7	6.0	-0.7	-11
B ₀₈ (mm)				
024	0.8	0.7	-0.1	-12
022	0.8	0.7	-0.1	-11
063	1.8	1.9	0.1	5
073	4.0	3.6	-0.4	-12

5. Runoffcoëfficiënt

5. Runoff-coëfficiënt

De runoffcoëfficiënt is de verhouding van de runoffhoeveelheid over de neerslag die de golf veroorzaakte. In de bijlage is er voor ieder station een lijst met de 30 hoogste runoffgolven en bijhorende runoffcoëfficiënt opgenomen.

De n-hoogste runoffgebeurtenissen zijn per station (n=aantal waterjaren van het station) geselecteerd, en het gemiddelde ervan is in tabel 11 gegeven. De "laagste" runoffcoëfficiënten bedragen 8% voor de Warmbeek te Achel en lopen op tot ca. 34% voor de Mark. De gemiddelde waarde voor alle stroomgebieden is 24%, dit is een waarde vergelijkbaar met het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen, maar wel het dubbele van de waarde in het IqHCV-gebied (van Demer en Dijle). Het Netebekken toont een redelijk constante waarde voor de runoff-coëfficiënt van ca 27%. De beschouwde stroomgebieden in het Maas- en in het Demerbekken hebben de kleinste runoff-coëfficiënt (ca. 15%). De stroomgebieden van het Beneden-scheldebekken vertonen een variatie van 20 tot 30% in de runoff-coëfficiënt.

De regenduur van de n-hoogste runoffgolven ligt tussen 5 en 19 dagen, de gemiddelde waarde bedraagt 11 dagen.

Bij het opstellen van een ontwerp-hydrogram uitgaande van een ontwerp-regenbui moet een waarde voor de runoffcoëfficiënt aangenomen worden. Het schatten van de runoffcoëfficiënt op basis van regenduur en regenhoogte levert een (te) slechte regressie op. De schatting verbetert wanneer het piekdebiet als parameter mag meegegeven worden. Voor een individuele regenbui is het piekdebiet niet gekend, maar voor een ontwerp-hydrogram met een gegeven frequentie kan het piekdebiet vrij goed geschat worden aan de hand van stroomgebiedskenmerken. De schatting verbetert verder door stroomgebiedskenmerken als parameters op te nemen. Het probleem van de aan te nemen regenbui in functie van de gewenste herhalingsdij van de hoogwatergolf is hierdoor echter niet opgelost. Evenmin is een oplossing gegeven voor de regenverdeling binnen de totale regenduur. Gelet op de grootte van de totale regenduur (van gemiddeld 11 dagen) zal het regenpatroon een beslissende rol spelen in het ontwerp-hydrogram. In feite hebben de regressies die hieronder besproken worden, geen praktisch nut voor de bestudeerde stroomgebieden.

Alleen voor stroomgebieden met veel kleinere waarden voor de maatgevende regenduur zijn de regressies mogelijks nuttig indien extrapolatie naar deze stroomgebieden verantwoord zou zijn.

Onderstaande regressies zijn gebeurd op de n-hoogste logaritmen-waarden. De toe te passen eenheden van de parameters zijn :

- regenhoogte N_{som} : mm
- piekdebiet q_{smax} : l/s ha
- regenduur N_{duur} : uur

In de bijgevoegde tekeningen zijn de schattingen gemarkeerd per stroombekken. Gelet op de beperkte bruikbaarheid van een schatting voor de runoffcoëfficiënt, is geen indirecte bepaling ervan gebeurd door schattingen van de infiltratie zoals bij de analyse van de hoogwatergolven in de stroomgebieden van Demer en Dijle.

Tabel 7 : Regressies voor de runoffcoefficient

Tabel 7a : Regressie voor de runoffcoefficient met 3 parameters				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	6 5829	2 1943	165 550
Fout	247	3 2739	0 0133	
Totaal	250	9 8567		
RMSE	0 1151			
R ²	0 66			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-0 525	0 084	0 000	
NSOM	-0 630	0 062	0 000	
NDUUR	0 543	0 035	0 000	
QSMAX	0 888	0 048	0 000	

Tabel 7b : Regressie voor de runoffcoefficient met 4 parameters				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	7 4171	1 8543	186 977
Fout	246	2 4396	0 0099	
Totaal	250	9 8567		
RMSE	0 0996			
R ²	0 75			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	0 257	0 112	0 023	
NSOM	-0 635	0 054	0 000	
NDUUR	0 457	0 031	0 000	
QSMAX	0 734	0 045	0 000	
SOIL	1 121	0 122	0 000	

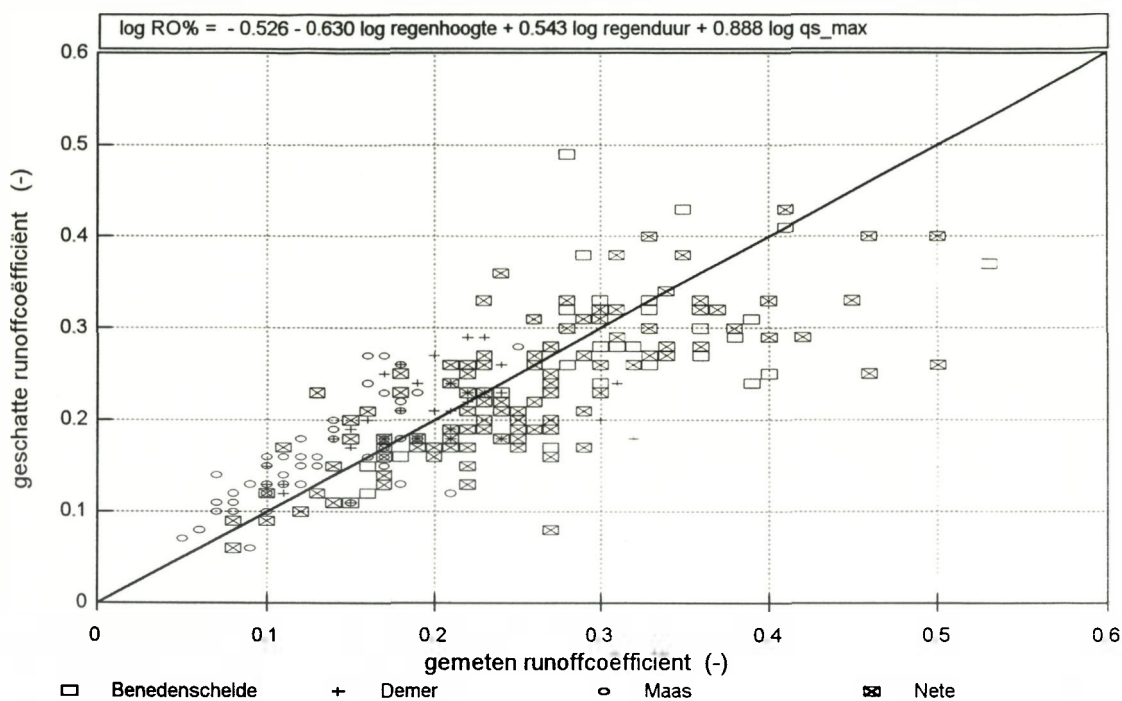


Fig. 7a : Vergelijking van gemeten en geschatte waarden van de runoffcoëfficiënt

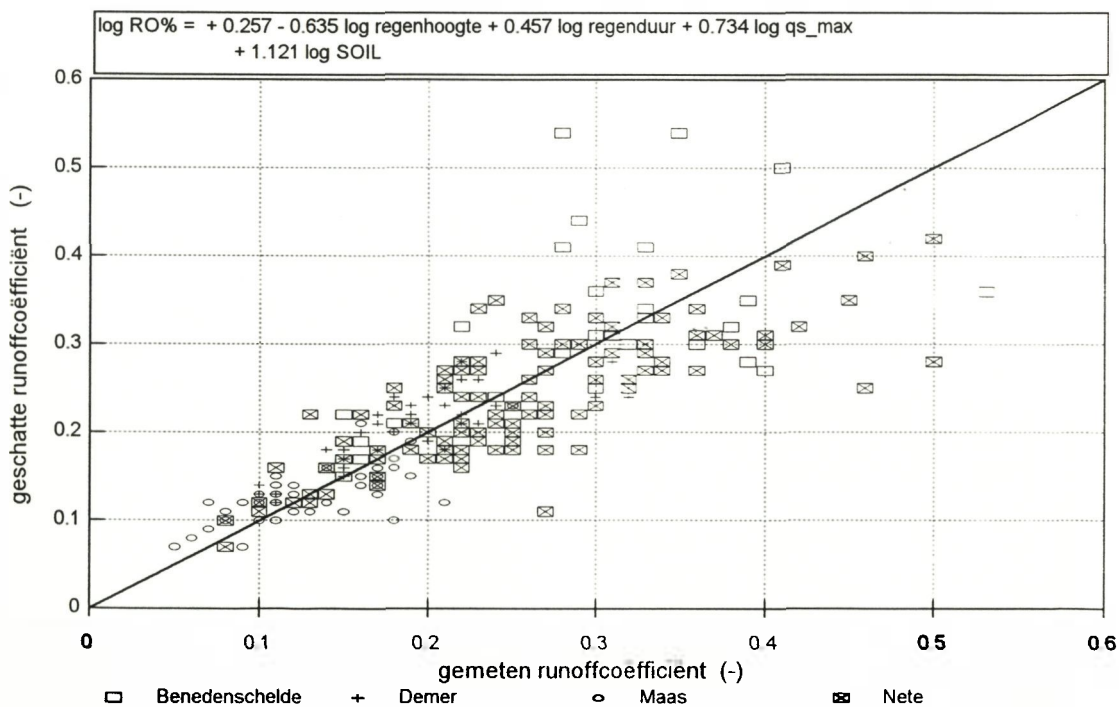


Fig. 7b : Vergelijking van gemeten en geschatte waarden van de runoffcoëfficiënt

Tabel 7 : Gemiddelde waarden per station op basis van de n-hoogste afvoergolven.

Station	aantal jaar	q max (l/s ha)	qbasis (l/s ha)	qbasis/ qmax (-)	Nsom (mm)	Runoff (mm)	runoff- coëfficiënt (-)	Nduur (uur)	Concentr tijd (uur)	Runoff duur (uur)
007	7	0.36	0.07	0.18	76	14.8	0.19	234	38	288
022	25	0.54	0.17	0.31	41	4.3	0.11	56	13	75
024	18	0.32	0.12	0.38	57	4.1	0.08	92	21	114
042	4	1.09	0.11	0.10	95	32.7	0.35	268	26	322
044	3	1.19	0.19	0.16	85	22.2	0.26	205	27	236
047	4	0.71	0.11	0.15	105	36.3	0.35	308	34	345
048	13	0.80	0.09	0.11	84	29.2	0.34	248	30	279
052	13	0.66	0.14	0.21	99	30.5	0.33	339	55	412
054	8	0.69	0.16	0.23	110	31.2	0.27	381	54	425
058	5	0.62	0.11	0.18	72	13.2	0.24	219	60	327
062	10	0.57	0.11	0.20	93	26.0	0.27	315	50	379
063	23	0.58	0.14	0.24	88	22.6	0.27	302	53	371
064	10	0.84	0.12	0.15	91	28.0	0.30	320	44	372
073	20	0.39	0.13	0.34	112	25.4	0.24	451	81	540
076	10	0.40	0.15	0.37	111	26.7	0.26	443	65	527
082	7	0.40	0.09	0.24	67	8.3	0.14	143	28	174
086	10	0.58	0.18	0.31	96	22.9	0.23	397	49	455
147	10	0.43	0.17	0.40	60	13.5	0.22	196	44	222
148	13	0.56	0.18	0.32	58	10.6	0.18	133	26	151
161	13	0.53	0.15	0.29	74	9.9	0.14	153	25	175
513	11	0.41	0.12	0.28	67	9.3	0.14	211	27	245

6. Regressie van gemiddelde jaarmaxima met stroomgebiedkenmerken

6. Regressie van gemiddelde jaarmaxima met stroomgebiedskenmerken

Het onderzoek is gebeurd met het statistisch pakket SAS, dat op het Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek te Gent, Merelbeke beschikbaar is. De regressies zijn berekend met de logaritmenwaarden van de basisgegevens. Alle verder genoemde resultaten (RSME voor Root mean square error, de correlatiecoëfficiënt R^2 , enz.) hebben betrekking op de log-waarden.

De waterjaren 1984-1985 tot 1995-1996 werden gebruikt voor de regressieanalyse van hoogwaterdebieten, runoff-hoeveelheden en bergingen boven bepaalde drempeldebieten.

6.1 Regressie van het gemiddeld jaarlijks hoogwaterdebiet Q_{gem} met stroomgebiedskenmerken

De gemiddelde waarden van de jaarmaxima van hoogwaterdebieten zijn berekend zonder het waterjaar 1995-96 voor station 022 (ingebruikname van een wachtbekken sedert 1995) en voor stations 052 en 054 (geen data voor deze stations). Station 063 heeft geen bruikbare data van jaarmaxima voor de waterjaren 1992-'93, 1993-'94 en 1995-'96 om reden van opstuwing van het waterpeil door plantengroei en voor het waterjaar 1991-'92 (ontbrekende waarden). Het waterjaar 1989-'90 is niet gebruikt voor station 086. De waterjaren 1985-'86 en 1987-'88 zijn niet gebruikt voor het gemiddelde van station 518. Omdat de variatie in de reeks van jaarmaxima eerder beperkt blijft, verandert het gemiddeld jaarmaximum weinig door het al dan niet opnemen van bepaalde waterjaren in de reeks.

Gemeten waarden van jaarlijkse hoogwaterdebieten zijn per station gegeven in de bijlage. De gemiddelde waarde van de jaarmaxima is gegeven bij de resultaten in tabel 9.

Een eerste regressie omvat alle deelnemende stations van het IqICV-gebied. Het aantal beschikbare waterjaren (n) in ieder station verschilt sterk zodat de regressie berekend is met een wegingsfactor gelijk aan $\sqrt{n}$. Bij deze vergelijking is dus de invloed van debietbeperkingen van sommige stations verwaarloosd. Minder goede schattingen zijn bekomen voor stations 007, 022, 024, 044, 082 en 147 : de Student-afwijking (of de afwijking gedeeld door de standaard fout van de schatting) van gemeten en geschatte waarde is groter dan ca. 1.5 (de Student-afwijkingen volgen een t-verdeling en waarden groter dan 2.5 zijn zeer zeldzaam). Een tweede regressie vertrekt van een geselecteerde lijst van 18 stations : de jonge stations met een tijdreeks kleiner dan 5 waterjaren en de stations met debietbeperkingen (stations 007 en 517) zijn uit de globale lijst verwijderd. Stations met een minder betrouwbaar gemiddeld jaarmaximum zijn aldus uit de reeks verwijderd. Het aantal beschikbare waterjaren is voor alle stations niet meer zo verschillend en vereist niet langer een weging van de gemiddelde jaarmaxima. Er zijn 2 vergelijkingen gegeven. Het blijkt dat de parameters in één vergelijking dezelfde zijn als voor de globale set van stroomgebieden. Meerdere stroomgebieden hebben een vergelijkbaar gemiddeld jaarmaximum en plotten op

navolgende figuren dicht bij elkaar. In een aparte figuur is een uitvergroting van deze stations gegeven. Stations 024 en 082 (en 147 in de tweede vergelijking) worden slecht geschat.

Een derde regressie is een poging om de schatting van bepaalde stations te verbeteren. Alleen stroomgebieden met een gemiddeld jaarmaximum van minder dan 10 m³/s zijn in de regressie opgenomen, en dit geeft een lijst van 13 stations. De verbetering is marginaal, want voor een betere R²-waarde te bekomen moeten 4 parameters (op een set van 13 stroomgebieden) genomen worden en de schattingen voor stations 022, 048, 147 en 148 blijven minder goed.

In onderstaande tabel 8 zijn de schattingen volgens de verschillende regressies met elkaar vergeleken. Details over iedere regressie afzonderlijk zijn nadien weergegeven.

Tabel 8 : Vergelijking van hoogwaterdebieten.

Station	Oppervlakte (ha)	Gemiddelde van gemeten jaarmaxima (m ³ /s)	Geschatte debieten (m ³ /s) volgens de regressie voor			
			alle stroomgebieden (m ³ /s)	Geselecteerde set van 18 stroomgebieden vgl 1 Vgl 2		13 stroomgebieden Qgem < 10 m ³ /s (m ³ /s)
518	5515	1 950	1 797	1 752	1 781	2 052
513	5842	2 455	2 338	2 253	2 347	2 506
517	5173	2 636	2 490			
024	8391	2 641	3 745	4 278	3 776	2 679
082	9078	2 758	4 078	4 014	4 021	3 014
048	4155	2 858	2 874	2 793	2 795	3 420
147	7974	3 364	2 757	2 816	2 629	2 856
086	6089	3 381	3 285	3 023	3 205	3 942
062	7512	3 640	4 648	4 508	4 551	3 211
042	3718	3 695	3 634			
058	6034	3 999	3 897	3 635	3 900	3 597
007	10859	4 030	6 053			
148	9629	4 721	4 599	4 598	4 596	5 607
161	10067	5 082	5 499	5 500	5 526	4 792
064	5762	5 969	4 710	4 645	4 691	6 058
022	10958	6 078	4 589	4 922	4 647	4 782
044	6437	6 821	3 841			
047	10032	6 920	5 822			
063	20098	10 804	11 413	11 954	11 615	
076	35882	13 140	15 902	14 969	16 220	
073	44347	16 744	18 099	17 209	18 419	
054	33170	22 280	17 695	19 215	18 175	
052	58119	34 503	27 364	29 080	28 339	

In het verder vervolg van het regressieonderzoek zijn gegeven :

- de resultaten van de statistische analyse : de kwadratensommen, de waarden van RMSE en R^2 , en de regressievergelijkingen, inclusief de standaard afwijking en de significantiedrempel van de parameters. Bij regressievergelijkingen zonder intercept is de R^2 -waarde door het SAS-programma op een andere manier gedefinieerd en in de tabel tussen haakjes gezet.
- figuren waarin gemeten (uit de reeks van jaarmaxima) en geschatte (volgens de regressievergelijking) waarden visueel beoordeeld kunnen worden.
- tabelwaarden met gemeten en geschatte waarden inclusief de 95%-betrouwbaarheidswaarden (voor het gemiddelde) voor de stations die in de regressievergelijking gebruikt werden.

Onderstaande tabel 9 geeft de resultaten van het regressieonderzoek van Q_{gem} in m^3/s met de stroomgebiedskenmerken van tabel 5. Er is een ingekorte naamgeving gebruikt : SOIL1 bedoelt de parameter 1 + SOIL1, enz. De gebruikte eenheden zijn deze van tabel 5 (OPP in ha, L in km, enz).

De regressievergelijkingen zijn niet altijd expliciet herschreven. Men bouwt de vergelijkingen op uitgaande van tabel 9 met de gegeven waarden voor de parameters. Zo schrijft men voor Q_{gem} voor alle stroomgebieden :

$$\log Q_{\text{gem}} = -2.106 - 2.638 \log (1+\text{SOIL1}) - 3.195 \log (1+\text{SOIL3}) + 0.801 \log \text{OPP}.$$

Regressie met alle stations van het IqICV-gebied

Tabel 9 : Regressievergelijking voor Q_{gem} voor alle stroomgebieden.

Regressie voor Q_{gem} voor alle stroomgebieden, wegingsfactor $\sqrt{n}$				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	21.7168	7.2389	81.913
Fout	19	1.6791	0.0884	
Totaal	22	23.3959		
RMSE	0.2973			
R^2	0.92			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-2.106	0.304	0.000	
SOIL1	-2.638	0.532	0.000	
SOIL3	-3.195	1.117	0.010	
OPP	0.801	0.066	0.000	

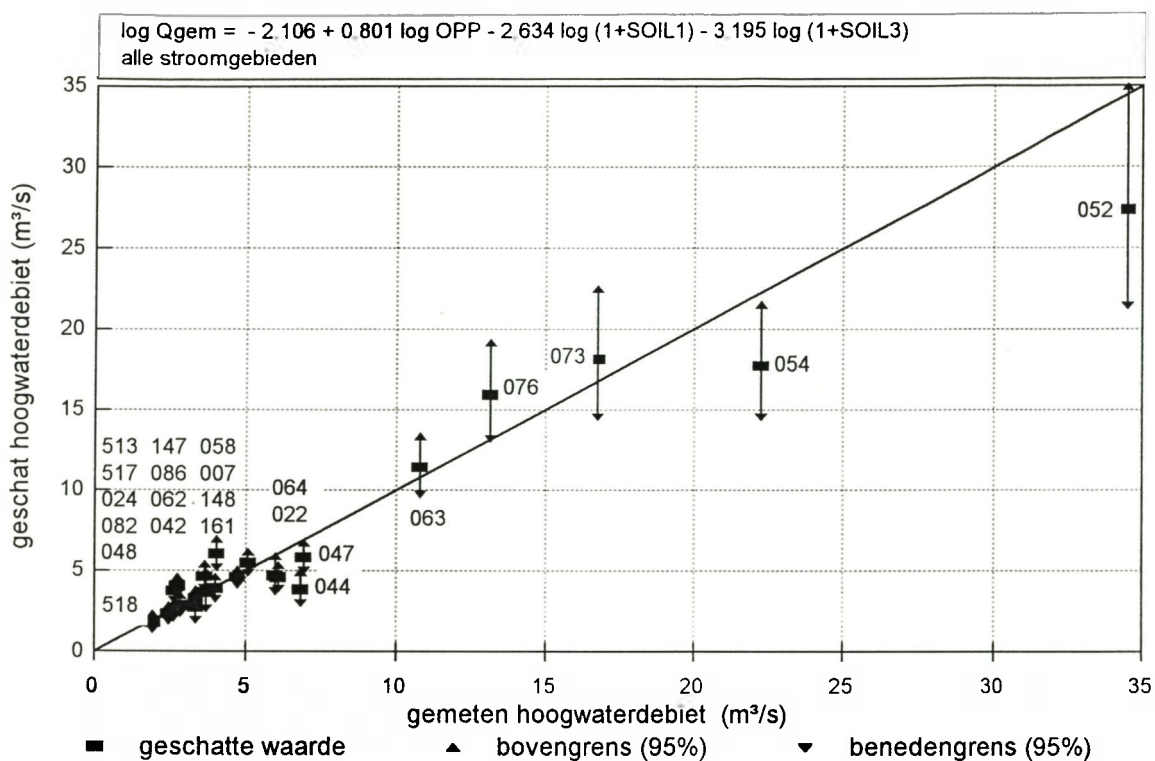


Fig. 8 : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten.

Tabel 10 : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten voor alle stroomgebieden.

Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)	95% betrouwbaarheid	
			bovengrens	benedengrens
518	1.950	1.797	1.363	2.368
513	2.455	2.338	1.894	2.886
517	2.636	2.490	2.071	2.994
024	2.641	3.745	3.196	4.388
082	2.758	4.078	3.582	4.643
048	2.858	2.874	2.365	3.494
147	3.364	2.757	1.958	3.883
086	3.381	3.285	2.832	3.809
062	3.640	4.648	3.960	5.456
042	3.695	3.634	2.672	4.944
058	3.999	3.897	3.261	4.657
007	4.030	6.053	5.240	6.992
148	4.721	4.599	4.140	5.108
161	5.082	5.499	4.883	6.194
064	5.969	4.710	3.731	5.945
022	6.078	4.589	3.916	5.376
044	6.821	3.841	2.992	4.932
047	6.920	5.822	5.013	6.762
063	10.804	11.413	9.744	13.367
076	13.140	15.902	13.206	19.150
073	16.744	18.099	14.540	22.527
054	22.280	17.695	14.552	21.515
052	34.503	27.364	21.428	34.945

Regressies voor een geselecteerde set van 18 en 13 stroomgebieden.**Tabel 11 : Regressievergelijkingen voor Q_{gem} voor een set van 18 stroomgebieden**

Tabel 11a : vergelijking 1				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2 0860	0 6953	75 298
Fout	14	0 1293	0 0092	
Totaal	17	2 2153		
RMSE	0 0961			
R^2	0 93			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-1 327	0 481	0 015	
SOIL	1 838	0 428	0 001	
SOIL3	-5 114	1 330	0 002	
OPP	0 786	0 077	0 000	

Tabel 11b : vergelijking 2				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2 0886	0 6962	76 931
Fout	14	0 1267	0 0091	
Totaal	17	2 2153		
RMSE	0 0951			
R^2	0 93			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-2 169	0 340	0 000	
SOIL1	-2 617	0 598	0 001	
SOIL3	-3 470	1 152	0 009	
OPP	0 817	0 073	0 000	

Tabel 12 : Regressievergelijking voor Q_{gem} voor 13 stroomgebieden ($Q_{gem} < 10 \text{ m}^3/\text{s}$)

Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	0 2397	0 0599	12 028
Fout	8	0 0399	0 0050	
Totaal	12	0 2796		
RMSE	0 0706			
R^2	0 79			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	2 704	0 438	0 000	
DRAS	18 092	3 788	0 001	
LTOT	-0 808	0 290	0 024	
SOIL	3 609	0 729	0 001	
SOIL3	-11 074	1 777	0 000	

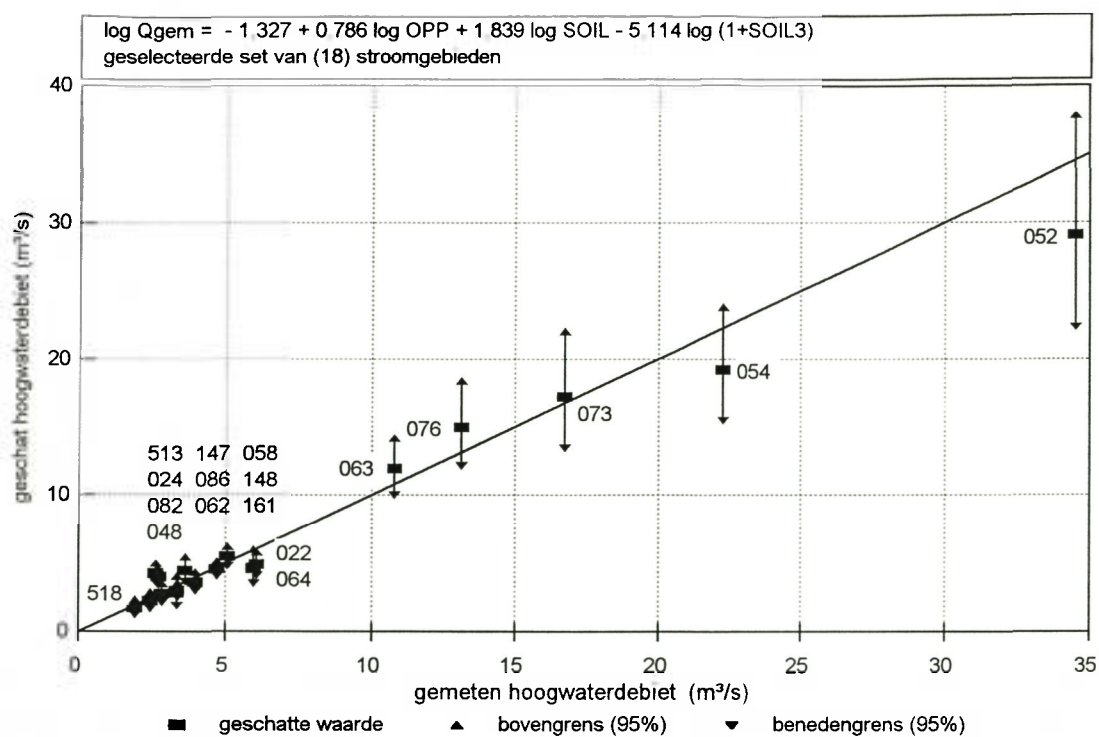


Fig. 9a : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten volgens vgl. 1.

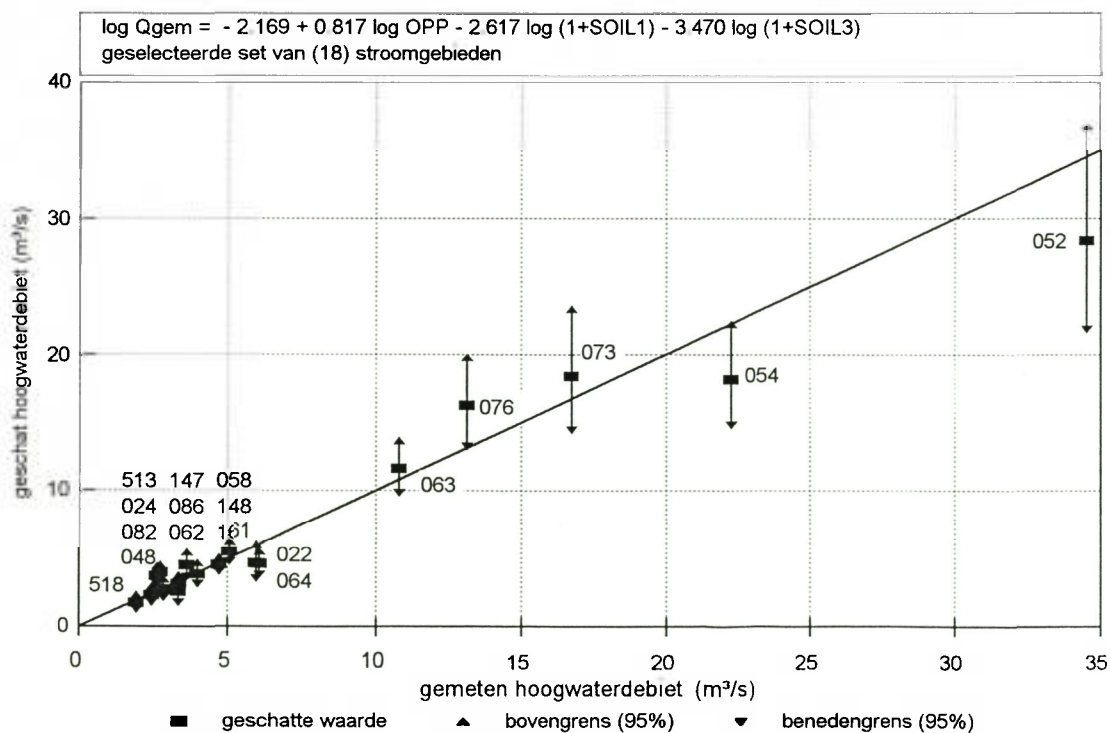
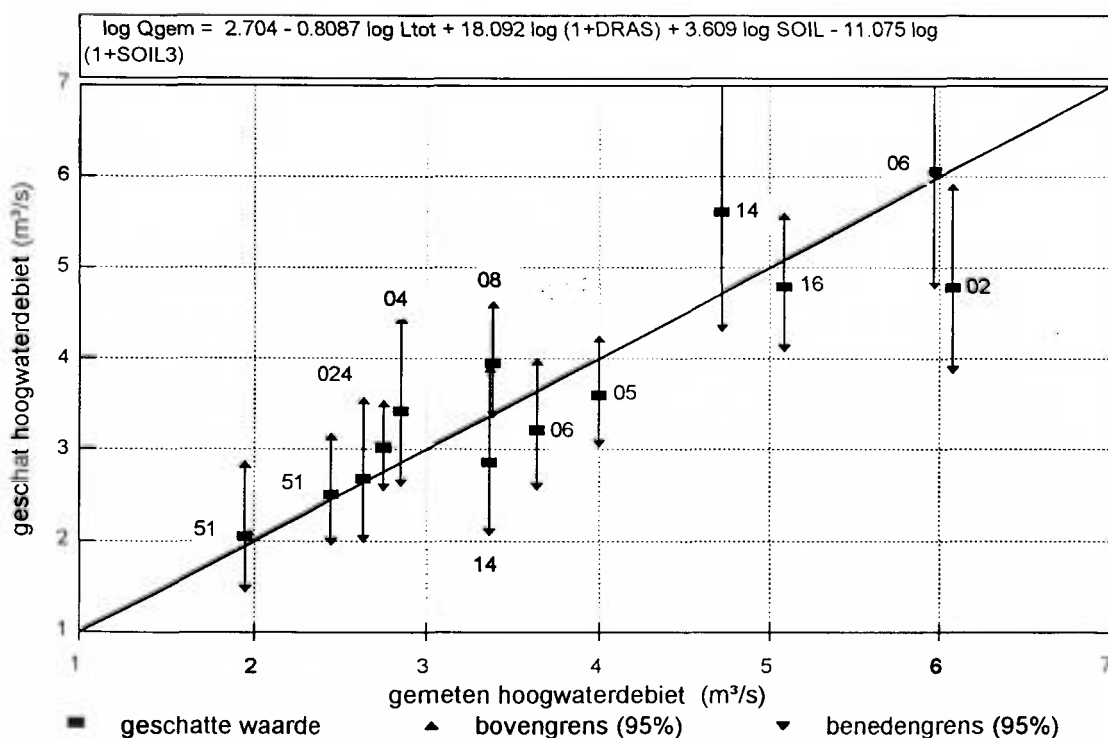
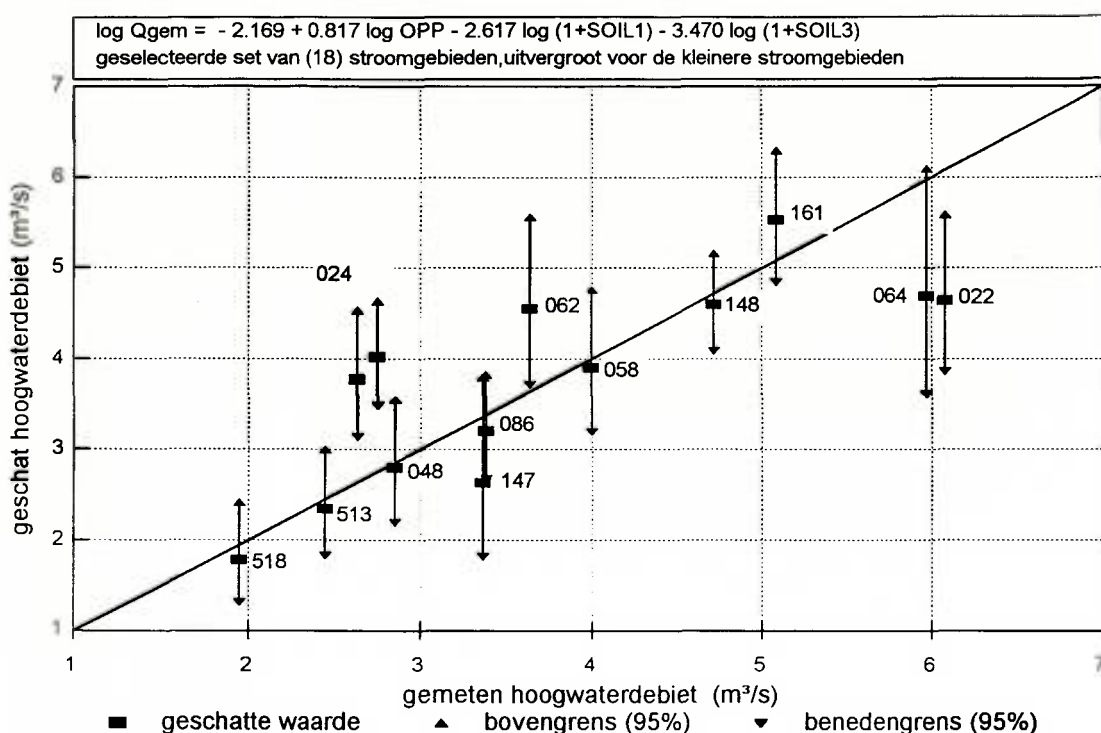


Fig. 9b : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten volgens vgl. 2.



Tabel 13 : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten voor een set van 18 stroomgebieden (betrouwbaarheidsinterval volgens vgl. 2).

bet van 10 strekkingen (betrouwbaarheidsinterval volgens vgl. 2)					
Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarden (m³/s)		95% betrouwbaarheid	
		vgl. 1	vgl. 2	bovengrens	benedengrens
vgl. 1 : $\log Q_{\text{gem}} = -1.327 + 0.786 \log \text{OPP} + 1.838 \log \text{SOIL} - 5.114 \log (1+\text{SOIL3})$					
vgl. 2 : $\log Q_{\text{gem}} = -2.169 + 0.817 \log \text{OPP} - 2.617 \log (1+\text{SOIL1}) - 3.470 \log (1+\text{SOIL3})$					
518	1.950	1.752	1.781	1.312	2.419
513	2.455	2.253	2.347	1.832	3.008
024	2.641	4.278	3.776	3.140	4.542
082	2.758	4.014	4.021	3.485	4.640
048	2.858	2.793	2.795	2.197	3.556
147	3.364	2.816	2.629	1.818	3.803
086	3.381	3.023	3.205	2.682	3.831
062	3.640	4.508	4.551	3.720	5.568
058	3.999	3.635	3.900	3.194	4.761
148	4.721	4.598	4.596	4.087	5.168
161	5.082	5.500	5.526	4.847	6.299
064	5.969	4.645	4.691	3.607	6.101
022	6.078	4.922	4.647	3.865	5.587
063	10.804	11.954	11.615	9.855	13.689
076	13.140	14.969	16.220	13.282	19.809
073	16.744	17.209	18.419	14.504	23.390
054	22.280	19.215	18.175	14.832	22.271
052	34.503	29.080	28.339	21.856	36.745

Tabel 14 : Vergelijking van gemeten en geschatte hoogwaterdebieten voor een set van 13 stroomgebieden.

Station	gemeten waarde (m ³ /s)	geschatte waarden (m ³ /s)	95% betrouwbaarheid	
			bovengrens	benedengrens
518	1.950	2.052	1.482	2.842
513	2.455	2.506	1.996	3.145
024	2.641	2.679	2.026	3.542
082	2.758	3.014	2.588	3.510
048	2.858	3.420	2.637	4.434
147	3.364	2.856	2.097	3.892
086	3.381	3.942	3.382	4.596
062	3.640	3.211	2.596	3.971
058	3.999	3.597	3.062	4.226
148	4.721	5.607	4.339	7.245
161	5.082	4.792	4.121	5.571
064	5.969	6.058	4.808	7.634
022	6.078	4.782	3.880	5.893

6.2 Regressie van de basisafvoer Q_{basis} of Q_{begin} met stroomgebiedskenmerken

Uit tabel 7 volgt dat de basisafvoer een niet te verwaarlozen deel van het totale debiet kan uitmaken. De basisafvoer is gemiddeld 30 % van het piekdebiet voor alle hoogwatergolven die in de bijlage zijn weergegeven (in de regel 30 golven per station) en voor meerdere golven is de basisafvoer even belangrijk als het runoffdebiet. Het belang van de basisafvoer is het kleinst in het stroombekken van de Benedenschelde : daar bedraagt de basisafvoer ca 15% van het piekdebiet. In de anderen stroombekkens is de bijdrage van de basisafvoer groter.

In tabel 15 is de verhouding van het basisdebiet tot het debiet gegeven voor de n-hoogste runoffgebeurtenissen.

Tabel 15 : Belang van de basisafvoer.

Station	$Q_{\text{basis}}/Q_{\text{max}}$	Station	$Q_{\text{basis}}/Q_{\text{max}}$
Benedenscheldebekken		Netebekken	
007	0.18	052	0.21
042	0.10	054	0.24
044	0.15	058	0.24
047	0.15	062	0.23
048	0.11	063	0.24
Maasbekken		064	0.16
022	0.32	073	0.34
024	0.38	076	0.37
513	0.28	082	0.28
Demerbekken		086	0.35
147	0.39		
148	0.32		
161	0.30		

Het belang van de basisafvoer en de variatie van deze waarde over de stroomgebieden geven aanleiding tot een correlatiestudie van de basisafvoer met stroomgebiedskenmerken. Bij de analyse van de hoogwaters is de scheiding tussen runoff en basisafvoer gebeurd door een rechte lijn. De debieten aan het begin en einde van de golf zijn resp. Q_{begin} en Q_{eind} genoemd. Het rekenkundig gemiddelde is Q_{basis} genoemd.

De hoogste hoogwatergolven van ieder station à rato van 1 hoogwater per meetjaar zijn gebruikt om een gemiddelde waarde te berekenen van de basisafvoer. Het zijn deze waarden die in tabel 7 zijn aangegeven. Voor stations 044 (slechts in werking vanaf 1993), 517 (station met enkel een lokaal belang) en 518 (station met een actief peilbeheer) zijn geen runoffwaarden en evenmin basisafvoeren berekend. De regressie is derhalve uitgevoerd met 18 stroomgebieden.

Er zijn regressies berekend voor Q_{basis} en Q_{begin} . Bij het gebruik van Q_{begin} moet zelf een stijgingspercentage gedurende de duur van de runoffgolf opgegeven worden. Dit kan voor zeer langdurige hoogwatergolven in bepaalde gevallen wenselijk zijn. In vergelijking met andere gebieden in Vlaanderen hebben de hoogwatergolven in de Kempen de langste duur. Voor de grootste stroomgebieden is de grootteorde van de hoogwatergolf meerdere weken.

Het onderzoek levert voor Q_{basis} slechts één goede regressie op, voor Q_{begin} zijn 2 vergelijkingen weergegeven. De vergelijking met 3 parameters produceert betere schattingen voor de grotere stroomgebieden. De stations van DIHO (052, 054, 073 en 076) bemeten de grotere stroomgebieden en hebben een basisafvoer van

schattingen voor de grotere stroomgebieden. De stations van DIHO (052, 054, 073 en 076) bemeten de grotere stroomgebieden en hebben een basisafvoer van 4 tot 8 m³/s. De stations van de afdeling Water liggen op kleinere stroomgebieden en de basisafvoer in hoogwaterperioden is kleiner dan 2 m³/s (met uitzondering van station 063). Omdat de elementen met grote waarden bij een regressie meestal veel invloed uitoefenen, is eveneens een regressie berekend met alleen de (kleinere) stroomgebieden van de afdeling Water. De parameters in deze regressie-vergelijkingen zijn in dit geval niet verschillend van de parameters van de vergelijking voor alle stations en ook de verbetering van de geschatte waarden is marginaal. Deze vergelijkingen zijn dan ook niet in dit verslag opgenomen.

Tabel 16 : Regressievergelijking van Q_{basis} met stroomgebiedskenmerken

Regressie voor Q_{basis}				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	3 0192	1 5096	196 2620
Fout	17	0 1308	0 0077	
Totaal	19	3 1500		
RMSE	0 0877			
R ²	0 95			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	- 4 382	0 240	0 000	
HELL	0 411	0 110	0 002	
OPP	1 154	0 059	0 000	

Tabel 17 : Vergelijking van gemeten en geschatte basisdebieten

tabel 17: vergelijking van gemeten en geschatte basisdebieten				
Station	gemeten	geschatte	95% betrouwbaarheid	
	waarde (m³/s)	waarde (m³/s)	bovengrens	benedengrens
log Q _{basis} = - 4 382 + 1.154 log OPP + 0.411 log HELL				
048	0 379	0 383	0 317	0 464
042	0 392	0 421	0 357	0 496
513	0 665	0 824	0 703	0 965
058	0 685	0 767	0 676	0 871
007	0 708	1 150	0 991	1 335
064	0 711	0 620	0 542	0 710
082	0 859	0 934	0 803	1 087
062	0 861	0 678	0 553	0 832
024	1 014	1 049	0 949	1 161
047	1 066	1 125	0 995	1 271
086	1 088	0 827	0 718	0 953
147	1 355	1 396	1 118	1 742
161	1 553	1 687	1 409	2 019
148	1 727	1 533	1 307	1 798
022	1 864	1 385	1 258	1 525
063	2 848	2 456	2 118	2 847
076	5 100	5 765	4 830	6 881
054	5 227	5 215	4 407	6 171
052	7 975	9 373	7 456	11 783
073	9 338	7 327	6 003	8 943

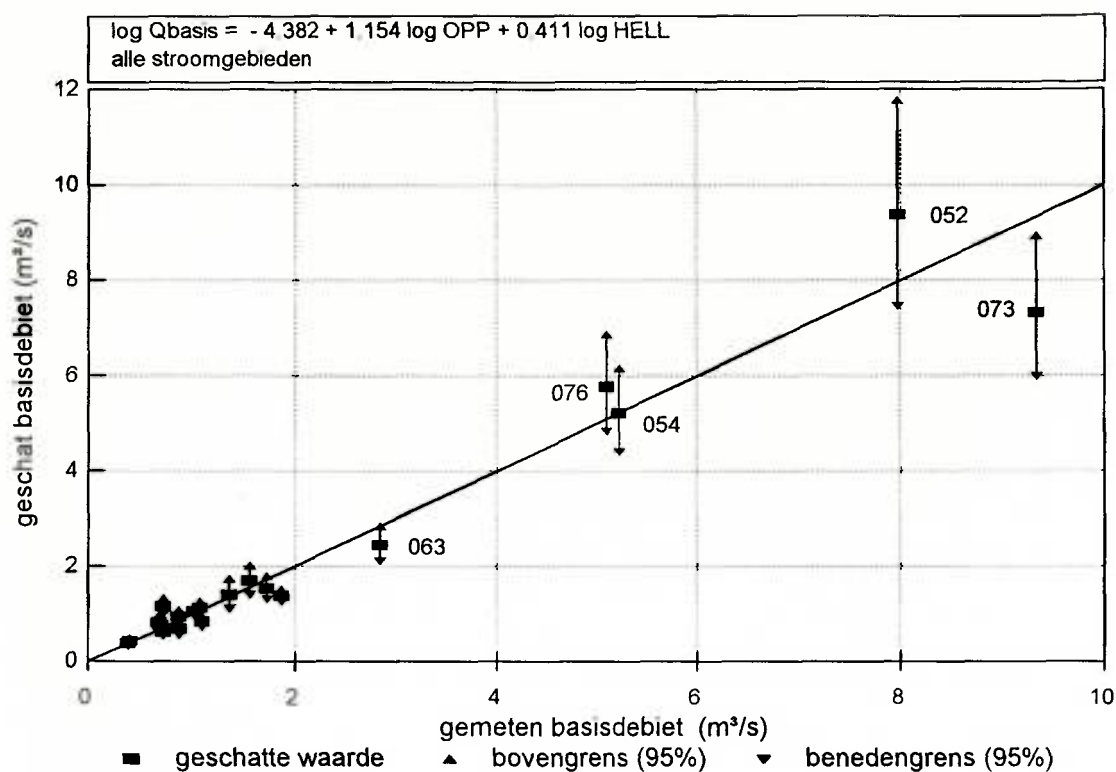


Fig. 11a : Vergelijking van gemeten en geschatte basisdebieten.

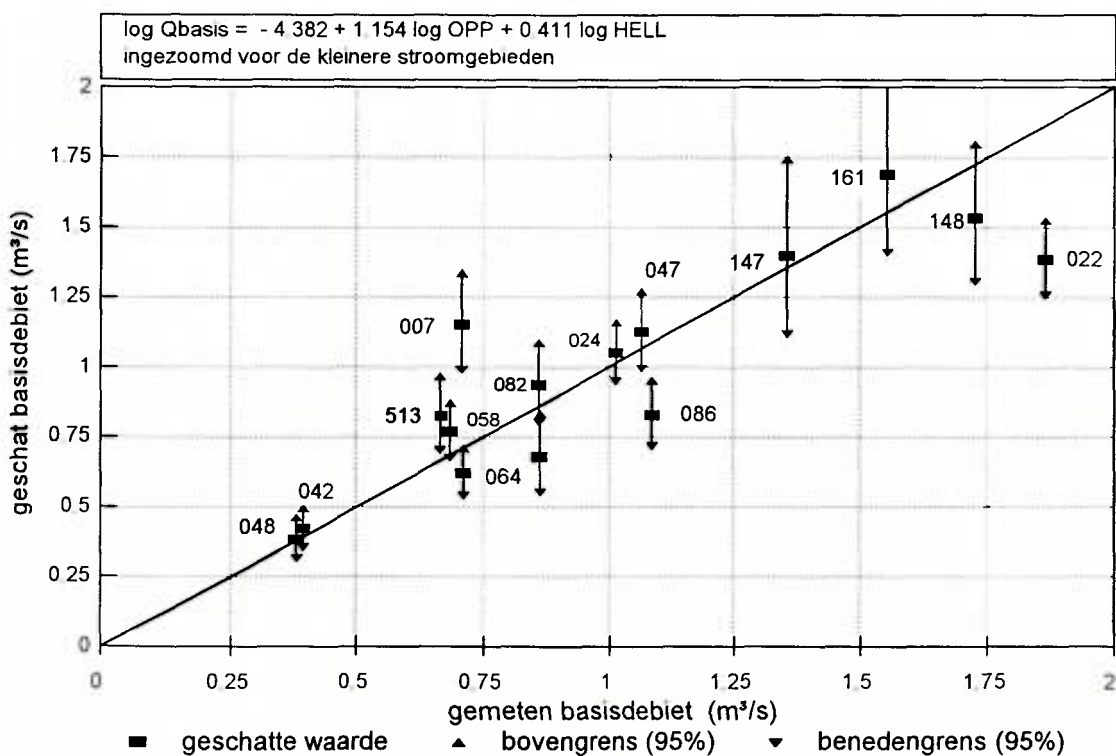
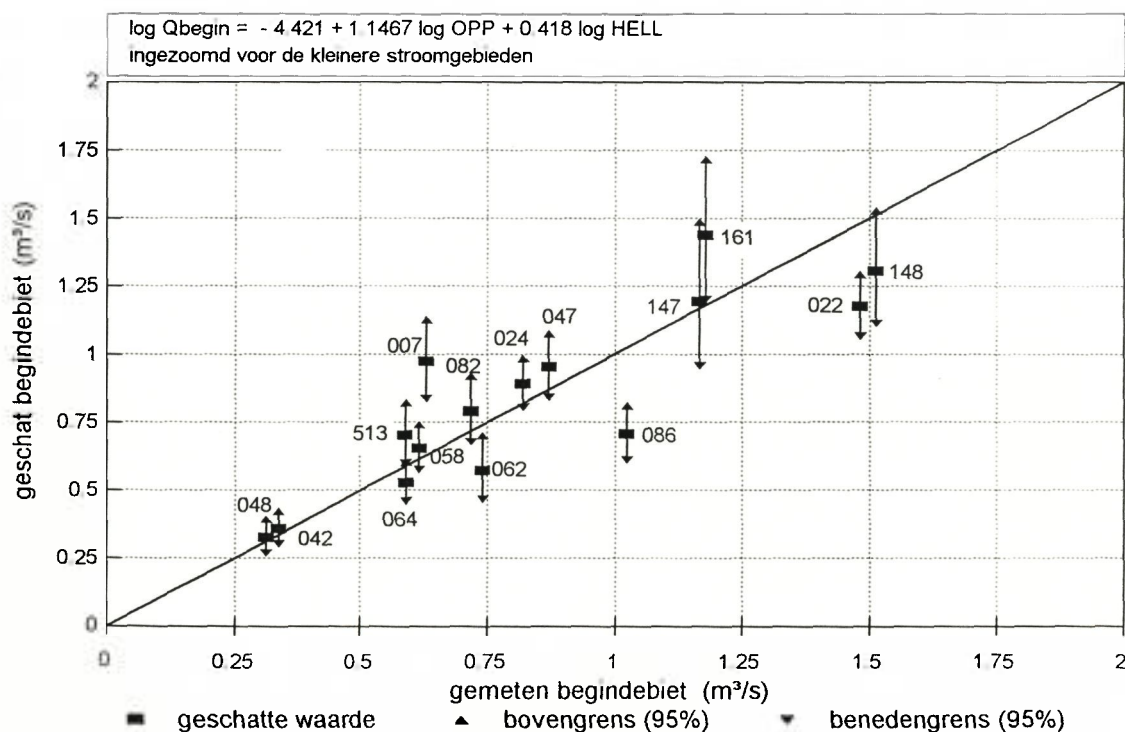
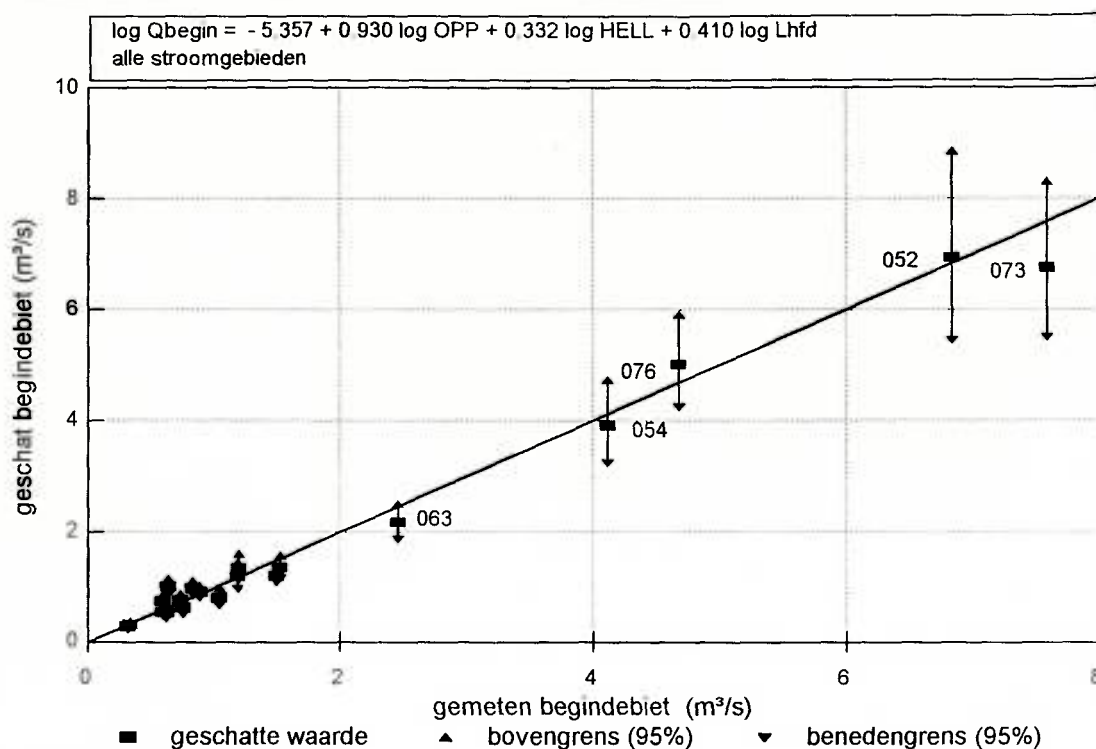


Fig. 11b : Vergelijking van gemeten en geschatte basisdebieten.

Regressies van Q_{begin} met stroomgebiedskenmerken

Tabel 18 : Regressievergelijkingen voor Q_{begin}

Regressie voor Q_{begin} met 2 parameters				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	2 9833	1 4917	195 926
Fout	17	0 1294	0 0076	
Totaal	19	3 1128		
RMSE	0 0873			
R^2	0 95			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	- 4 421	0 239	0 000	
HELL	0 418	0 110	0 001	
OPP	1 146	0 059	0 000	
Regressie voor Q_{begin} met 3 parameters				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	3 0110	1 00366	157 819
Fout	16	0 1018	0 00636	
Totaal	19	3 1128		
RMSE	0 0798			
R^2	0 96			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	- 5 357	0 499	0 000	
HELL	0 332	0 108	0 008	
LHFD	0 410	0 196	0 053	
OPP	0 930	0 117	0 000	



Tabel 19 : Vergelijking van gemeten en geschatte begindebieten.

tabel 10 - vergelijking van gemeten en geschatte begijnwaarden					
Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)		95% betrouwbaarheid	
		met 2 parameters	met 3 parameters	bovengrens	benedengrens
log Q begin = - 4.421 + 1.147 log OPP + 0.418 log HELL					
log Q begin = - 5.357 + 0.930 log OPP + 0.332 log HELL + 0.410 log Lfhd					
048	0.311	0.326	0.289	0.270	0.394
042	0.336	0.360	0.329	0.305	0.424
513	0.588	0.703	0.748	0.601	0.823
064	0.589	0.527	0.549	0.461	0.603
058	0.615	0.654	0.547	0.577	0.742
007	0.630	0.972	1.013	0.838	1.127
082	0.718	0.790	0.776	0.680	0.919
062	0.741	0.573	0.626	0.468	0.702
024	0.820	0.891	0.980	0.806	0.985
047	0.871	0.952	0.922	0.843	1.075
086	1.025	0.706	0.816	0.613	0.812
147	1.168	1.193	1.196	0.957	1.487
161	1.180	1.437	1.353	1.202	1.718
022	1.482	1.173	1.204	1.066	1.292
148	1.513	1.305	1.362	1.114	1.529
063	2.458	2.066	2.178	1.783	2.394
054	4.119	4.384	3.928	3.708	5.183
076	4.682	4.844	5.015	4.062	5.776
052	6.839	7.837	6.948	6.241	9.841
073	7.590	6.146	6.765	5.041	7.494

6.3 Regressie van de gemiddelde jaarlijkse runoffhoeveelheid RO_{gem} met stroomgebiedskenmerken

De regressie is berekend zowel voor alle stations als voor een geselecteerde set van stroomgebieden. De berekening voor alle stations gebruikt een wegingsfactor voor ieder station gelijk aan $\sqrt{n}$ (met n = het aantal beschikbare waterjaren). De geselecteerde set van stroomgebieden vertrekt van stations met een tijdreeks van minstens 5 jaar (hierdoor zijn stations 042, 044 en 047 uit de reeks geweerd). Stations 007 en 518 zijn evenmin in de reeks opgenomen omdat de volledige hoogwatergolf niet wordt geregistreerd in het station.

Bij alle berekeningen zijn verdachte perioden met hoge waterstanden (plantengroei in de bedding, kunstmatige peilverhogingen, enz.) niet beschouwd bij de bepaling van de runoffhoeveelheid.

De waarde voor het gemiddeld jaarmaximum van de runoffhoeveelheid is berekend vanaf het waterjaar 1984-1985 tot het waterjaar 1995-1996.

Regressie met alle stations van het IqICV-gebied.

Tabel 20 : Regressievergelijkingen van RO_{gem} op basis van 21 stations .

Regressie voor RO _{gem} met 3 parameters voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2.6793	0.8931	23.5970
Fout	17	0.6434	0.0379	
Totaal	20	3.3227		
RMSE	0.1946			
R ²	0.77			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	0.887	0.310	0.011	
OPP	0.265	0.079	0.004	
LTOT	-0.922	0.369	0.023	
SOIL1	-6.136	0.829	0.000	

Regressie voor RO _{gem} met 4 parameters voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	2.9261	0.7315	29.506
Fout	16	0.3967	0.0248	
Totaal	20	3.3227		
RMSE	0.15745			
R ²	0.85			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-1.875	0.670	0.013	
LHFD	0.733	0.140	0.000	
WEI	5.612	1.207	0.000	
WATER	10.905	3.045	0.003	
SOIL1	-5.205	0.531	0.000	

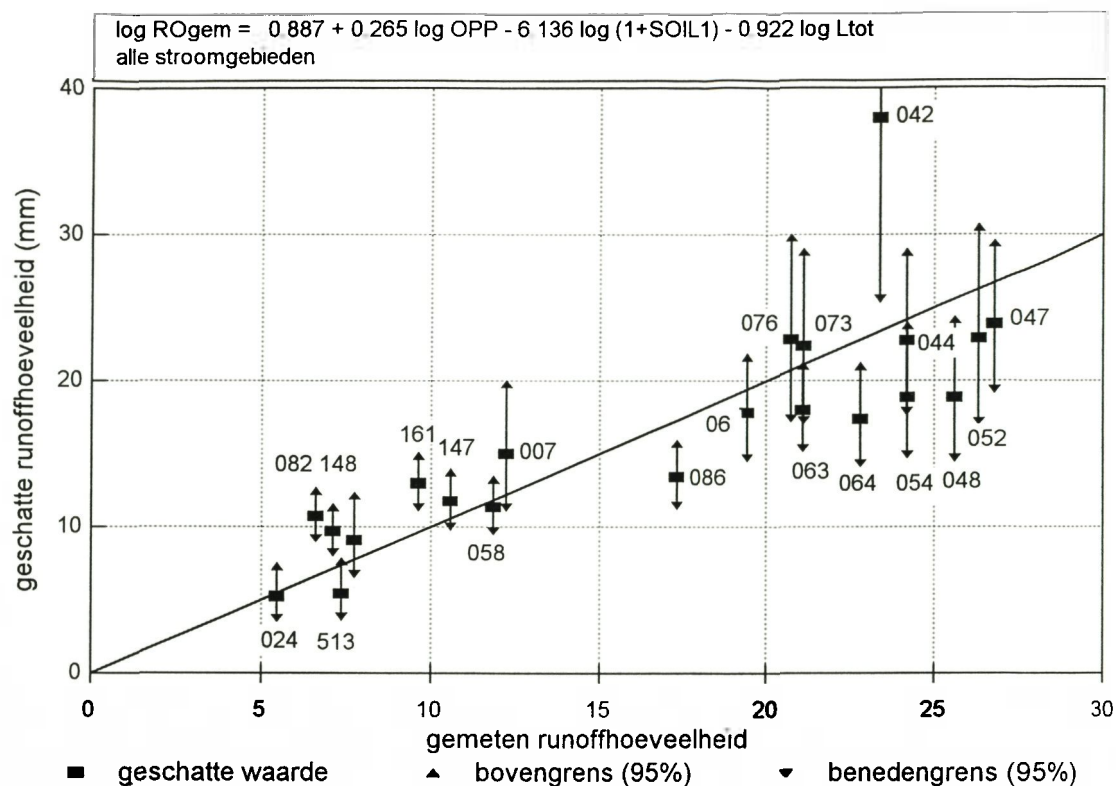


Fig. 13a : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffvolumen voor alle stroomgebieden

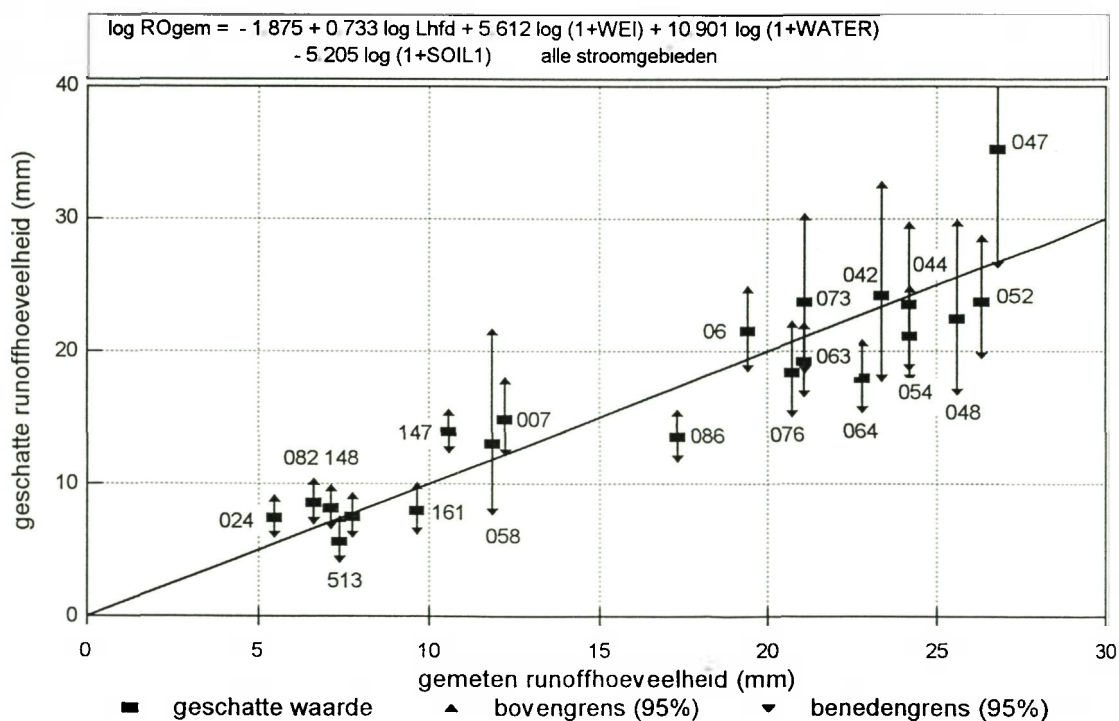


Fig. 13b : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffvolumen voor alle stroomgebieden

Tabel 21 : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffhoeveelheden voor alle stroomgebieden.

Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)	95% betrouwbaarheid	
			bovengrens	benedengrens
Schatting met 3 parameters voor alle stroomgebieden				
007	12.2	15.0	11.4	19.8
022	7.8	9.1	6.8	12.2
024	5.5	5.2	3.8	7.3
042	23.4	38.0	25.6	56.4
044	24.2	22.7	17.9	28.8
047	26.7	23.9	19.4	29.4
048	25.6	18.9	14.7	24.2
052	26.3	22.9	17.2	30.5
054	24.2	18.8	15.0	23.8
058	11.8	11.4	9.7	13.3
062	19.4	17.8	14.7	21.6
063	21.1	18.0	15.4	21.0
064	22.8	17.4	14.4	21.0
073	21.1	22.3	17.3	28.8
076	20.7	22.8	17.5	29.8
082	6.6	10.7	9.2	12.5
086	17.3	13.4	11.5	15.7
147	10.6	11.8	10.0	13.8
148	7.1	9.7	8.3	11.4
161	9.6	13.0	11.4	14.9
513	7.4	5.4	3.9	7.7
Schatting met 4 parameters voor alle stroomgebieden				
007	12.2	14.9	12.4	17.8
022	7.8	7.5	6.2	9.1
024	5.5	7.4	6.2	8.9
042	23.4	24.2	18.0	32.6
044	24.2	23.5	18.8	29.6
047	26.7	35.3	26.5	46.8
048	25.6	22.4	16.9	29.7
052	26.3	23.7	19.7	28.6
054	24.2	21.1	18.0	24.8
058	11.8	13.0	7.9	21.5
062	19.4	21.5	18.7	24.7
063	21.1	19.2	16.8	22.0
064	22.8	18.0	15.6	20.7
073	21.1	23.7	18.6	30.2
076	20.7	18.4	15.3	22.1
082	6.6	8.6	7.2	10.2
086	17.3	13.5	11.9	15.4
147	10.6	13.9	12.6	15.4
148	7.1	8.2	6.8	9.7
161	9.6	8.0	6.4	9.9
513	7.4	5.6	4.3	7.4

Regressie voor RO_{gem} voor set van stroomgebieden.

Tabel 22 : Regressievergelijkingen.

Regressie voor RO _{gem} met 3 parameters voor set stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	0.7549	0.2516	21.065
Fout	13	0.1553	0.0120	
Totaal	16	0.9102		
RMSE	0.1093			
R ²	0.79			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	1.181	0.359	0.006	
OPP	0.230	0.083	0.016	
LTOT	-1.076	0.451	0.033	
SOIL1	-7.146	1.099	0.000	

Regressie voor RO _{gem} met 3 parameters voor set stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	0.8045	0.2011	22.822
Fout	12	0.1058	0.0088	
Totaal	16	0.9102		
RMSE	0.0939			
R ²	0.85			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-1.988	0.882	0.044	
LHFD	0.761	0.178	0.001	
WEI	6.131	1.601	0.002	
WATER	11.012	3.385	0.007	
SOIL1	-5.517	0.677	0.000	

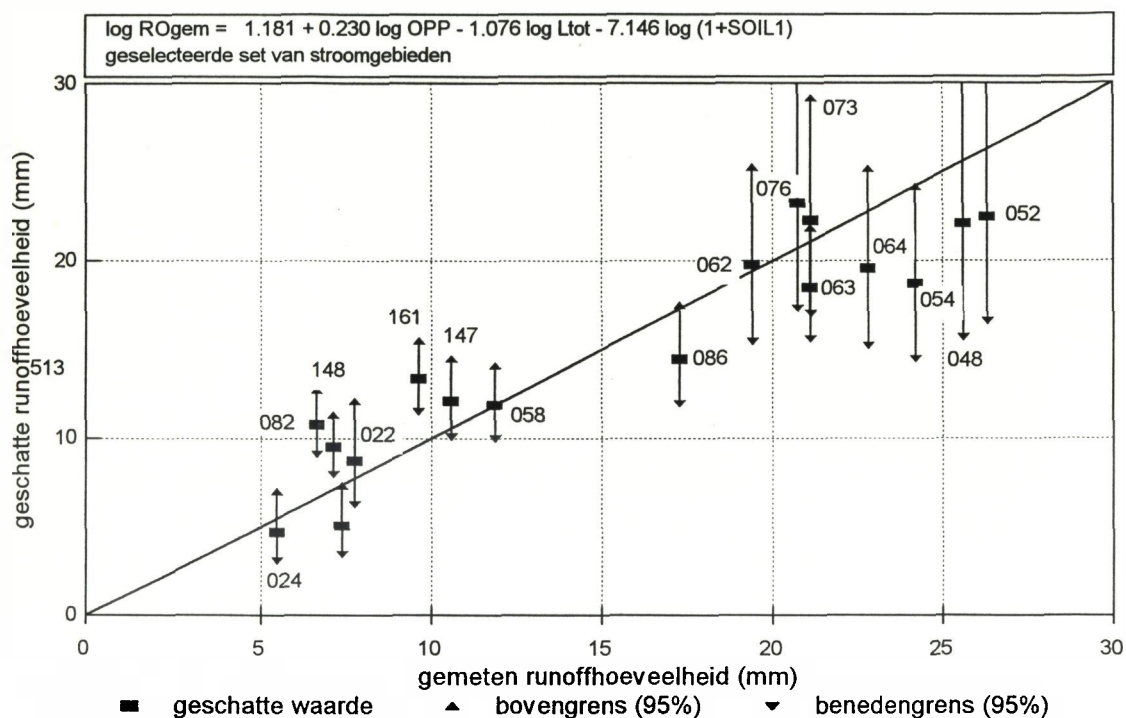


Fig. 14a : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffhoeveelheden.

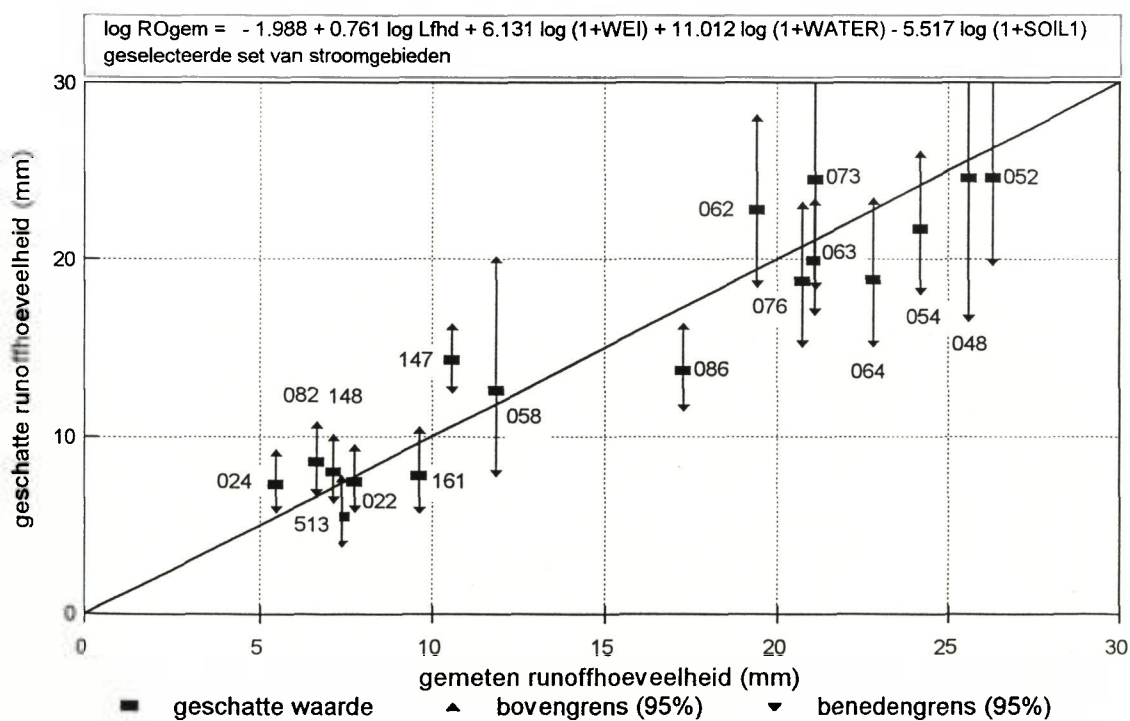


Fig. 14b : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffhoeveelheden.

Tabel 23 : Vergelijking van gemeten en geschatte runoffhoeveelheden

tabel 20 - vergelijking van gemeten en geschatte runoffhoeveelheden				
Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)	95% betrouwbaarheid	
			bovengrens	benedengrens
Schatting met 3 parameters voor geselecteerde set van stroomgebieden				
022	7.8	8.7	6.3	12.1
024	5.5	4.7	3.1	7.1
048	25.6	22.1	15.7	31.2
052	26.3	22.5	16.6	30.4
054	24.2	18.7	14.5	24.2
058	11.8	11.9	10.0	14.1
062	19.4	19.8	15.5	25.3
063	21.1	18.5	15.6	21.9
064	22.8	19.6	15.2	25.2
073	21.1	22.3	17.1	29.2
076	20.7	23.3	17.3	31.2
082	6.6	10.8	9.1	12.8
086	17.3	14.5	12.0	17.5
147	10.6	12.1	10.1	14.5
148	7.1	9.5	8.0	11.4
161	9.6	13.4	11.5	15.5
513	7.4	5.1	3.5	7.4
Schatting met 4 parameters voor geselecteerde set van stroomgebieden				
022	7.8	7.5	5.9	9.4
024	5.5	7.3	5.9	9.1
048	25.6	24.6	16.7	36.2
052	26.3	24.6	19.8	30.5
054	24.2	21.7	18.2	26.0
058	11.8	12.6	8.0	20.0
062	19.4	22.8	18.6	28.0
063	21.1	19.9	17.0	23.3
064	22.8	18.8	15.2	23.3
073	21.1	24.5	18.5	32.5
076	20.7	18.8	15.2	23.1
082	6.6	8.6	6.9	10.7
086	17.3	13.7	11.6	16.2
147	10.6	14.3	12.7	16.2
148	7.1	8.0	6.5	10.0
161	9.6	7.8	5.9	10.4
513	7.4	5.5	4.0	7.7

6.4 Regressie van bergingen met stroomgebiedskenmerken

Het gemiddeld jaarmaximum van de berging in ieder station is berekend uit de reeks van gemeten jaarmaxima. Alle reeksen vertonen grote schommelingen, en het is een moeilijke beslissing om een jaarmaximum uit de reeks te weren, ook indien het duidelijk is dat het echte jaarmaximum niet gemeten werd, bv. door het voorkomen van perioden met ontbrekende waarnemingen : de maximum waarde uit dit waterjaar - ook al is het kleiner dan het werkelijke maximum - kan het gemiddelde sterk beïnvloeden, omdat de reeks een grote variatie in waarden vertoont.

Bij de berekening van de gemiddelde jaarmaxima zijn volgende beslissingen genomen :

Station 007 : Schijn te Wommelgem.

De waarnemingen voor het waterjaar 1989-90 lijken een peilverhoging van ca. 30 cm te bevatten voor de periode half maart tot half augustus. Dit waterjaar is niet verder in de berekeningen meegenomen. De waargenomen hoogwatergolven laten niet vermoeden dat piekdebieten naar het Albertkanaal worden overgestort.

Station 048 : Zuid Mark te Merksplas.

Talrijke perioden met ontbrekende waarden in 1984 hebben voor het waterjaar 1983-84 volgens vergelijking met stations uit de omgeving, geen invloed voor alle bergingen.

Talrijke perioden met ontbrekende waarden in 1985 hebben voor het waterjaar 1984-85 volgens vergelijking met stations uit de omgeving, geen invloed op de berekende berging voor drempeldebieten groter dan 40% van Q_{gem} . Alle jaarmaxima zijn verder gebruikt voor gemiddelde waarde en spreiding, ook deze van B_{03} .

De periode met (ontbrekende maar) geschatte waarden einde december 1993 levert een jaarmaximum op gelijk aan 1.5 maal het gemiddeld jaarmaximum van de reeks. Omdat dit jaarmaximum niet bij de extremen behoort, is het niet meegerekend voor het gemiddelde.

Station 058 : Witte Nete te Retie.

Het jaarmaximum voor het waterjaar 1991-92 is gevonden in juni, een periode met opstuwing door plantengroei. In overeenstemming met de omringende stations is deze waarde vervangen door de berging in de periode december 1991. Voor B_{03} en

B_{04} bevat het jaarmaximum evenwel geschatte waarden. Het piekdebiet in juni 1992 is zo hoog dat de juistheid van de gegevens kan betwijfeld worden.

Station 062 : Molenbeek te Pulle.

Het jaarmaximum van B_{03} en B_{04} in het waterjaar 1991-92 is gevonden in een periode van opstuwing door plantengroei. Deze waarden zijn vervangen door de grootste bergingen in de periode december 1991, conform het jaarmaximum bij grotere drempeldebieten.

Het jaarmaximum voor 1993-94 bevat geschatte waarden (6 - 11 januari). De waarde is behouden omdat het één van de grotere waarden uit de reeks is.

Het jaarmaximum voor 1994-95 bevat een periode met enige opstuwing. De waarde is behouden : het vertegenwoordigt het maximum van de meetreeks.

Station 063 : Aa te Poederlee.

De ontbrekende waarden in december 1986 en januari 1987 laten niet toe een jaarmaximum te bepalen voor het waterjaar 1986-87 : het gemiddeld jaarmaximum is berekend zonder dit waterjaar.

Het jaarmaximum voor 1995-96 treedt op in een periode van opstuwing door waterplanten. Omdat dit jaarmaximum de kleinste waarde is in de voorhanden tijdreeks, werd de waarde meegerekend voor gemiddelde en spreiding van de reeks. Alle andere perioden met zichtbare invloeden van opstuwing door waterplanten zijn uit de berekeningen voor de bergingen geweerd.

Station 064 : Aa te Turnhout.

Voor het waterjaar 1993-94 is B_{03} berekend met geschatte debieten. Voor bergingen bij grotere drempeldebieten valt deze periode buiten de bergingsperiode. Alle waarden zijn gebruikt voor het gemiddeld jaarmaximum.

Station 086 : Grote Laak te Vorst.

De peilen van 1990 zijn voor een belangrijke tijd beïnvloed door werken nabij de limnigraaf. Het waterjaar 1989- 90 is uit de reeks geweerd.

Het jaarmaximum van de berging voor het waterjaar 1995-96 is gevonden in een periode van opstuwing door waterplanten. Deze waarde is behouden, want ze is de kleinste uit de reeks.

Station 513 : Abeek te Bree.

Het station op de oude locatie stond onder invloed van de schuiven van de molen verder stroomafwaarts. Preciese gegevens over de opstuwing door de molen zijn niet gegeven. Er is aangenomen dat de meeste invloed op de laagwaterpeilen terug te vinden is, waarden van B_{03} zijn dan minder betrouwbaar dan bergingen bij hogere drempeldebieten.

Station 518 : Bosbeek te Opoeteren.

Bijna alle jaren vertonen plotse peilschommelingen die het in feite onmogelijk maken bergingen te berekenen. Alle verdachte perioden zijn geweerd uit de reeks van jaarmaxima.

In het algemeen worden vragen gesteld bij de praktische toepasbaarheid van hoogwaterbescherming door het aftoppen van de hoogwatergolven wanneer de gemiddelde jaarmaxima van bergingen groter zijn dan 5 à 10 mm. Immers, indien de gewenste bescherming op minstens 10 à 25 jaar gesteld wordt, moet het gemiddeld jaarmaximum vermenigvuldigd worden met een factor van gemiddeld drie. In een vlak gebied als de Kempen zal het vinden van een berging van deze omvang (15 à 30 mm) een probleem van eerste orde vormen.

In tabel 24 zijn de gemiddelde jaarmaxima gegeven voor de tijdreeks van het waterjaar 1984-1985. Het blijkt dat bergingen B_{03} en B_{04} voor de onderzochte stroomgebieden in feite moeilijk te realiseren zijn en dat voor de grotere stroomgebieden zelfs B_{05} niet haalbaar is. Anderzijds is de waarde van B_{08} minder betrouwbaar omdat voor meerdere stations geen waarde meer gevonden is : het piekdebiet van de hoogwatergolf bereikt voor meerdere waterjaren niet meer de

drempel van 80% van Q_{gem} : de piekdebieten van de golven in de Kempen vertonen minder variatie dan in andere gebieden van Vlaanderen. Voor de regressie van bergingen met stroomgebiedskenmerken moet dus de aandacht in de eerste plaats gericht zijn op B_{06} en B_{07} .

Tabel 24 : Gemiddelde jaarmaxima van bergingen (mm).

Station	B_{03}	B_{04}	B_{05}	B_{06}	B_{07}	B_{08}
007	14.6	8.3	5.7	4.0	2.6	1.7
022	21.9	10.3	4.7	1.9	1.2	0.8
024		10.5	5.1	2.8	1.4	2.2
042	10.5	7.2	4.9	3.5	2.2	1.4
044	14.1	7.7	5.1	3.3	2.6	1.9
047	38.4	23.5	14.2	9.0	6.0	3.9
048	15.7	10.8	7.8	5.1	3.6	0.6
052	32.9	16.8	10.0	6.0	3.7	2.1
054	33.2	17.2	9.6	5.7	3.2	1.3
058	5.5	1.6	0.6	0.4	0.2	0.1
062	35.9	21.5	14.5	9.3	7.2	2.5
063		14.4	8.8	5.5	3.1	1.8
064	8.5	4.7	2.6	1.4	0.8	0.4
073		36.7	18.6	11.1	6.7	4.0
076			28.2	15.0	8.3	1.2
082	12.1	5.1	2.5	1.5	0.9	5.9
086		19.2	8.8	4.2	2.2	0.2
147		24.0	14.1	9.3	5.5	2.4
148	20.3	9.8	5.7	2.9	1.6	0.5
161	24.8	9.6	4.6	2.4	1.2	4.4
513		6.2	2.3	1.1	0.7	0.9
517	11.4	6.1	3.8	2.6	1.8	0.6
518	5.1	1.4	0.8	0.5	0.3	0.8

Regressie van bergingen met stroomgebiedskenmerken.

Een eerste regressie is berekend met alle stroomgebieden in het IqlCV-gebied, ieder station met een gewicht gelijk aan $\sqrt{n}$ waarbij n = het aantal waterjaren vanaf het waterjaar 1984-85. Deze regressie verwaarloost de invloed van debietregelende ingrepen in het stroomgebied (gebieden 007, 062, 517). De R^2 -waarde is redelijk hoog (gemiddeld 0.8 met 3 parameters voor 23 stations) en de parameters zijn significant. Schattingen van B_{08} zijn moeilijk : dit drempeldebiet ligt dicht tegen de hoogste piekdebieten van de hoogwatergolven en geeft voor de meeste jaren geen berging.

Een strengere selectie van stroomgebieden gaat uit van stations die ouder zijn dan 1991 ($n \geq 5$) en die een normale afstroming hebben (stations 007, 062, 517 en 518 zijn uitgesloten). Deze regressie is berekend zonder gewichten voor de individuele stations. De resultaten zijn bevredigend : de gebruikte parameters zijn significant en de R^2 -waarde is hoog. Schattingen van B_{08} zijn terug moeilijk.

Tabel 25a: Regressie voor B₀₃

Regressie voor B ₀₃ voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2 4248	0 8083	10 601
Fout	12	0 9149	0 0762	
Totaal	15	3 3397		
RMSE	0 2761			
R ²	0 66			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-4 862	1 248	0 002	
LHFD	1 391	0 273	0 000	
WEI	4 944	1 946	0 026	
SOIL1	-1 860	0 902	0 062	

Regressie voor B ₀₃ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	0 5585	0 2792	13 822
Fout	7	0 1414	0 0202	
Totaal	9	0 6999		
RMSE	0 1421			
R ²	0 74			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-5 714	1 326	0 004	
LHFD	1 588	0 303	0 001	
SOIL5	13 217	3 924	0 012	

Regressie voor B ₀₃ met 3 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	0 6281	0 2094	17 498
Fout	6	0 0718	0 0120	
Totaal	9	0 6999		
RMSE	0 1094			
R ²	0 85			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-5 181	1 044	0 003	
LHFD	1 574	0 233	0 001	
SOIL2	-5 178	2 146	0 052	
SOIL5	17 960	3 604	0 003	

Tabel 25b Regressie voor B₀₄

Regressie voor B ₀₄ voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	6 7401	1 6850	34 689
Fout	17	0 8258	0 0486	
Totaal	21	7 5659		
RMSE				
R ²	0 2204			
	0 87			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-6 947	1 087	0 000	
LHFD	1 936	0 218	0 000	
WEI	6 576	1 425	0 000	
SOIL	2 466	0 387	0 000	
VORM	-0 607	0 214	0 012	

Regressie voor B ₀₄ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	1 2974	0 6487	25 548
Fout	12	0 3047	0 0254	
Totaal	14	1 6020		
RMSE	0 1593			
R ²	0 78			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-5 306	0 973	0 000	
LHFD	1 424	0 221	0 000	
SOIL5	10 331	2 196	0 001	

Regressie voor B ₀₄ met 3 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	1 3732	0 4578	22 007
Fout	11	0 2288	0 0208	
Totaal	14	1 6020		
RMSE	0 1442			
R ²	0 82			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-6 252	1 010	0 000	
LHFD	1 588	0 218	0 000	
WEI	3 809	1 994	0 083	
SOIL5	8 700	2 163	0 002	

Tabel 25c Regressie voor B₀₅

Regressie voor B ₀₅ voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	8 765	2 922	35 834
Fout	19	1 549	0 082	
Totaal	22	10 314		
RMSE	0 2855			
R ²	0 83			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-5 380	1 034	0 000	
LHFD	1 652	0 206	0 000	
WEI	7 503	1 841	0 001	
SOIL	2 816	0 487	0 000	

Regressie voor B ₀₅ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	1.9720	0.9860	21.132
Fout	13	0.6066	0.0467	
Totaal	15	2.5786		
RMSE	0.2160			
R ²	0.73			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-6.534	1.229	0.000	
LHFD	1.637	0.278	0.000	
SOIL5	12.739	2.976	0.001	

Regressie voor B ₀₅ met 3 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2.1828	0.7276	22.064
Fout	12	0.3957	0.0330	
Totaal	15	2.5786		
RMSE	0.1816			
R ²	0.81			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-8.209	1.227	0.000	
LHFD	1.927	0.261	0.000	
SOIL2	4.345	1.718	0.027	
SOIL5	15.714	2.765	0.000	

Tabel 25d : Regressie voor B₀₆.

Regressie voor B ₀₆ met 3 parameters voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	9 0450	3 0150	33.347
Fout	19	1 7178	0 0904	
Totaal	22	10.7628		
RMSE	0.3007			
R ²	0.82			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-4.995	1.088	0.000	
LHFD	1.558	0.217	0.000	
WEI	7.306	1.939	0.001	
SOIL	3.184	0.512	0.000	

Regressie voor B ₀₆ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	2 1419	1 0710	20.796
Fout	13	0.6695	0.0515	
Totaal	15	2.8114		
RMSE	0.2269			
R ²	0.73			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-6.844	1.291	0.000	
LHFD	1.644	0.292	0.000	
SOIL5	14.333	3.127	0.001	

Regressie voor B ₀₆ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2 4022	0 8007	23.480
Fout	12	0.4092	0.0341	
Totaal	15	2.8114		
RMSE	0.1847			
R ²	0.82			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-8.705	1.248	0.000	
LHFD	1.966	0.265	0.000	
SOIL2	4.827	1.747	0.017	
SOIL5	17.638	2.812	0.000	

Tabel 25e : Regressie voor B₀₇

Regressie voor B ₀₇ met 3 parameters voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	9 7896	3 2632	31.947
Fout	19	1 9407	0 1021	
Totaal	22	11 7303		
RMSE	0.3196			
R ²	0.81			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-5.350	1.157	0.000	
LHFD	1.580	0.231	0.000	
WEI	8.893	2.061	0.000	
SOIL	3.312	0.545	0.000	

Regressie voor B ₀₇ met 2 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	2	2 2931	1 1466	16.903
Fout	13	0 8818	0 0678	
Totaal	15	3 1749		
RMSE	0.2605			
R ²	0.68			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-7.132	1.482	0.000	
LHFD	1.653	0.336	0.000	
SOIL5	15.523	3.588	0.001	

Regressie voor B ₀₇ met 3 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	2 7008	0 9003	22.784
Fout	12	0 4742	0 0395	
Totaal	15	3 1749		
RMSE	0.1988			
R ²	0.81			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-8.329	1.191	0.000	
LHFD	1.865	0.264	0.000	
SOIL5	16.745	2.765	0.000	
HELL	-0.912	0.284	0.008	

Tabel 25f : Regressie voor B₀₈.

Regressie voor B ₀₈ met 4 parameters voor alle stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	4	8.73769	2.18442	9.772
Fout	18	4.02378	0.22354	
Totaal	22	12.76146		
RMSE	0.4728			
R ²	0.61			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	-3.174	0.817	0.001	
STR	-29.604	8.908	0.004	
WATER	-15.814	8.445	0.078	
OPP	0.887	0.205	0.000	
SOIL3	7.452	3.010	0.024	

Regressie voor B ₀₈ met 3 parameters voor set van stroomgebieden				
Bron	Aantal vrijheidsgraden	Som van kwadraten	Gemiddeld kwadraat	F-waarde
Regressie	3	3.1700	1.0567	12.191
Fout	12	1.0401	0.0867	
Totaal	15	4.2101		
RMSE	0.2944			
R ²	0.69			
Parameter	Waarde	St. afwijking	Significantiedrempel	
INTERCEPT	1.843	0.349	0.000	
STR	-42.353	9.354	0.001	
SOIL3	11.512	3.514	0.007	
VORM	2.020	0.412	0.000	

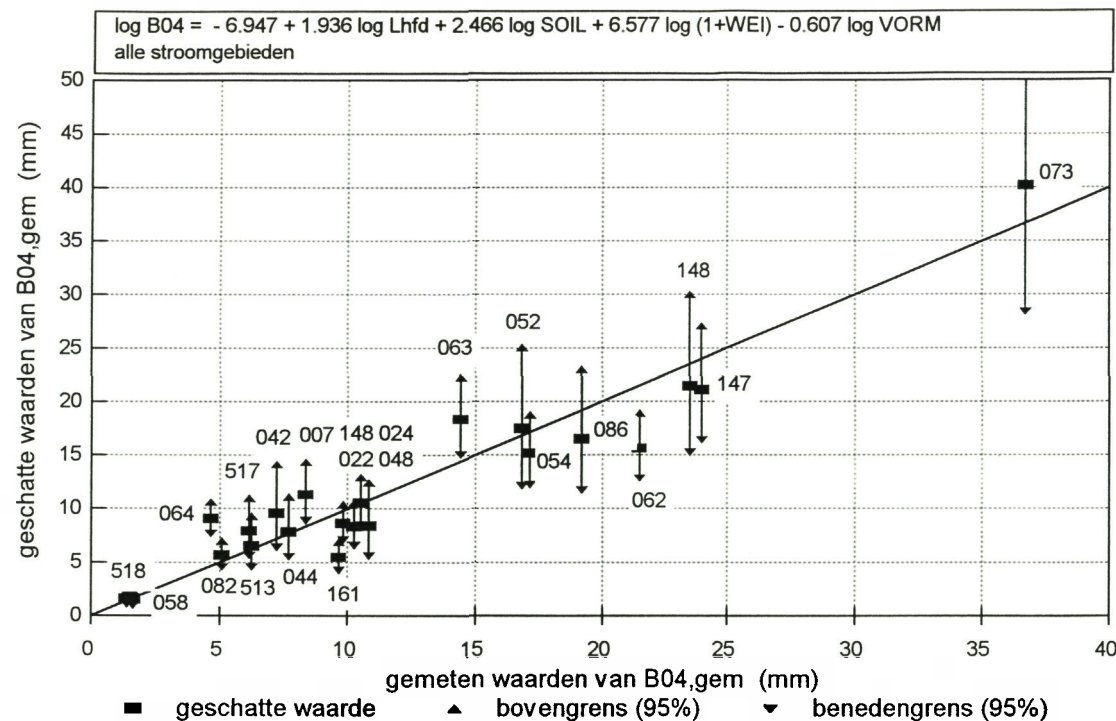


Fig. 16a : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen

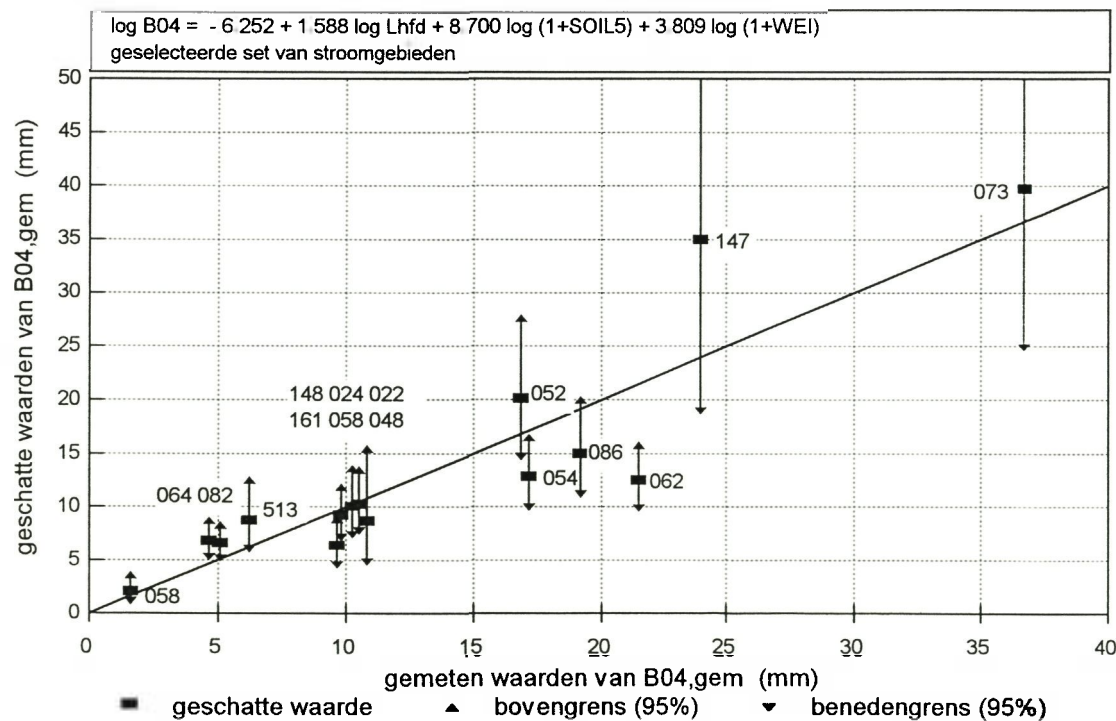
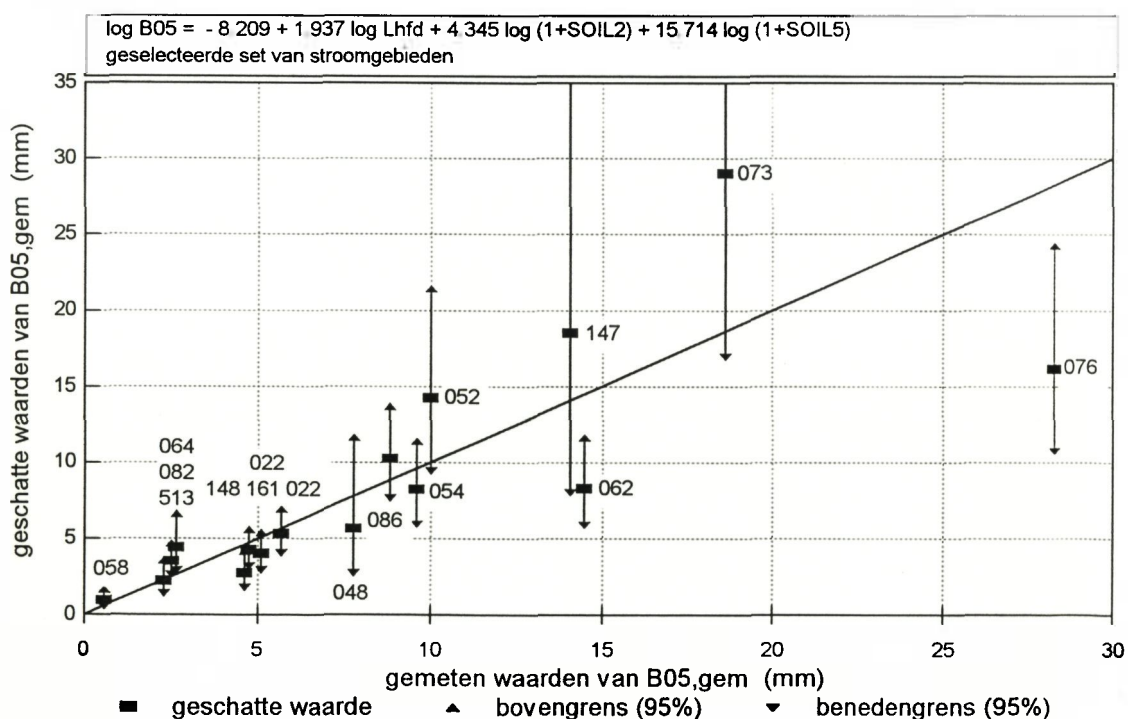
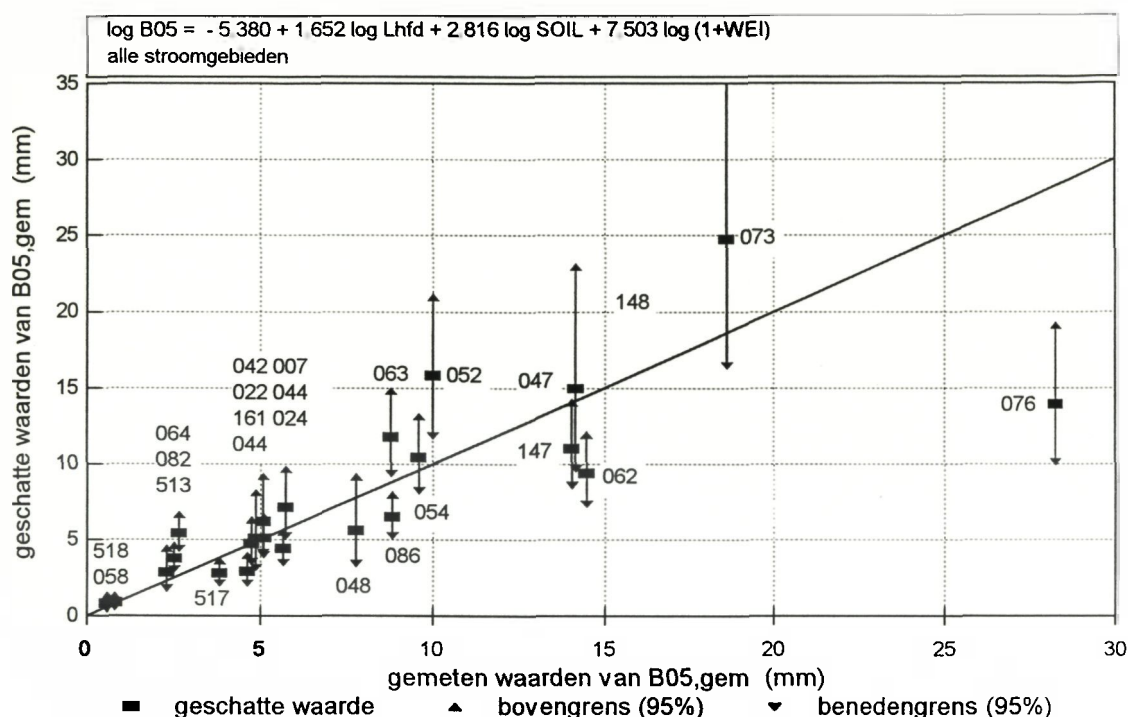


Fig. 16b : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen



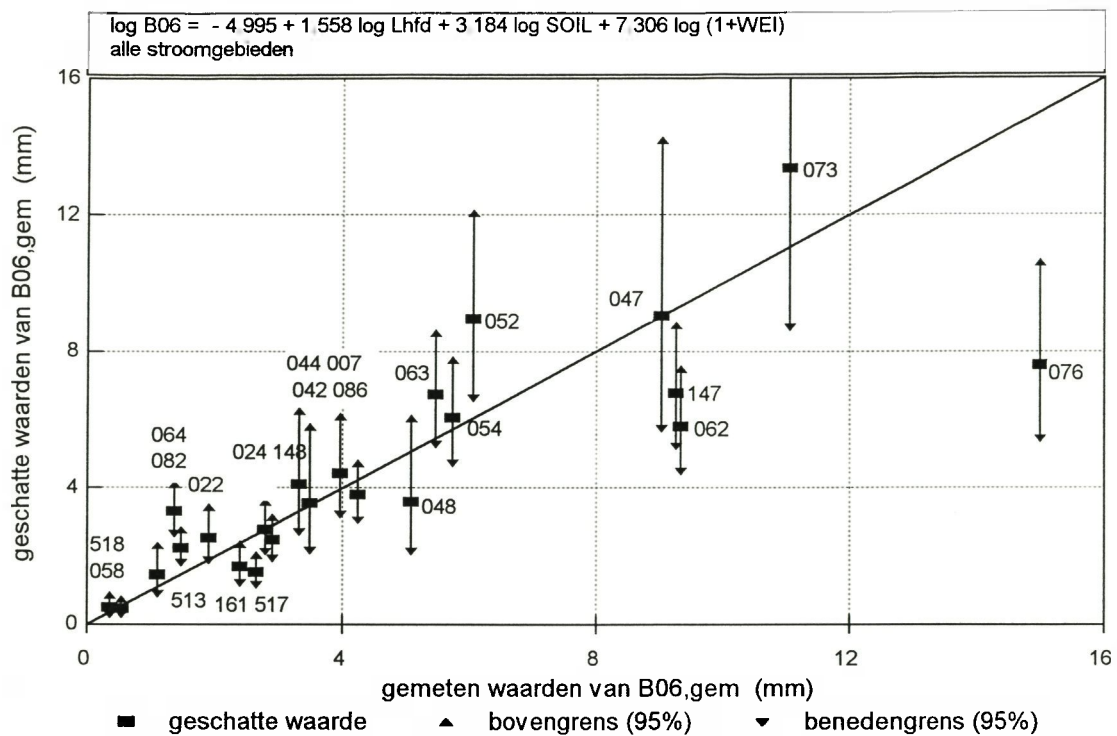


Fig. 18a : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

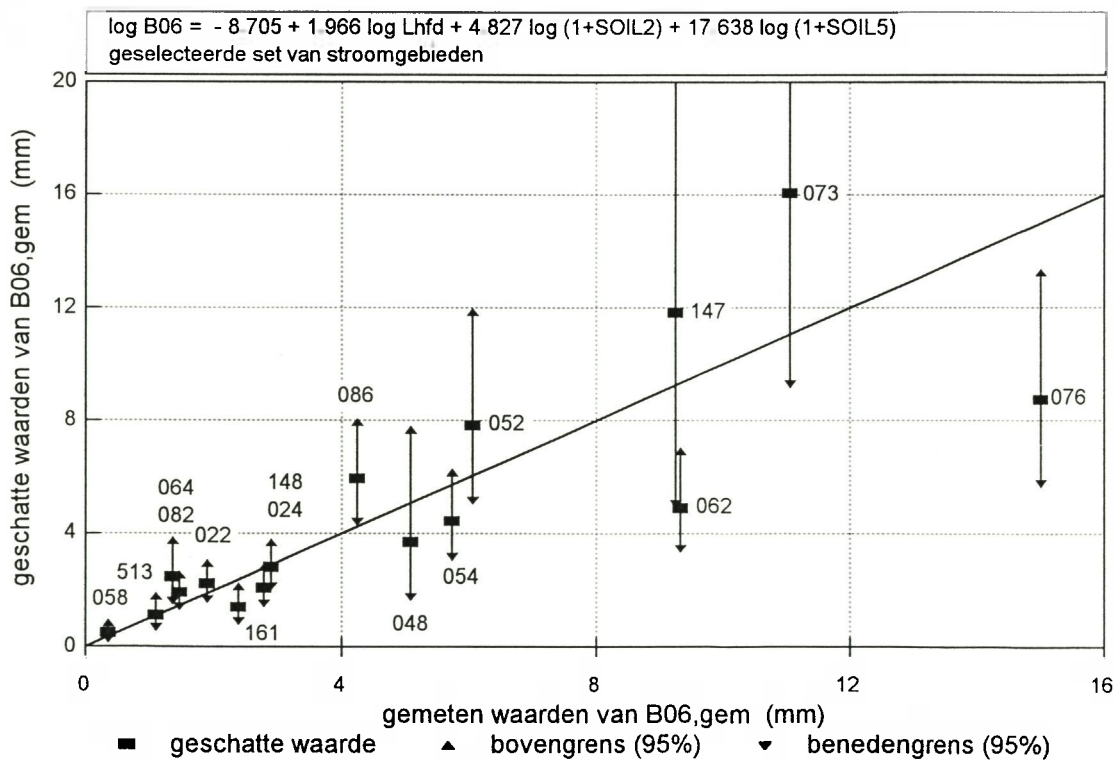


Fig. 18b : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

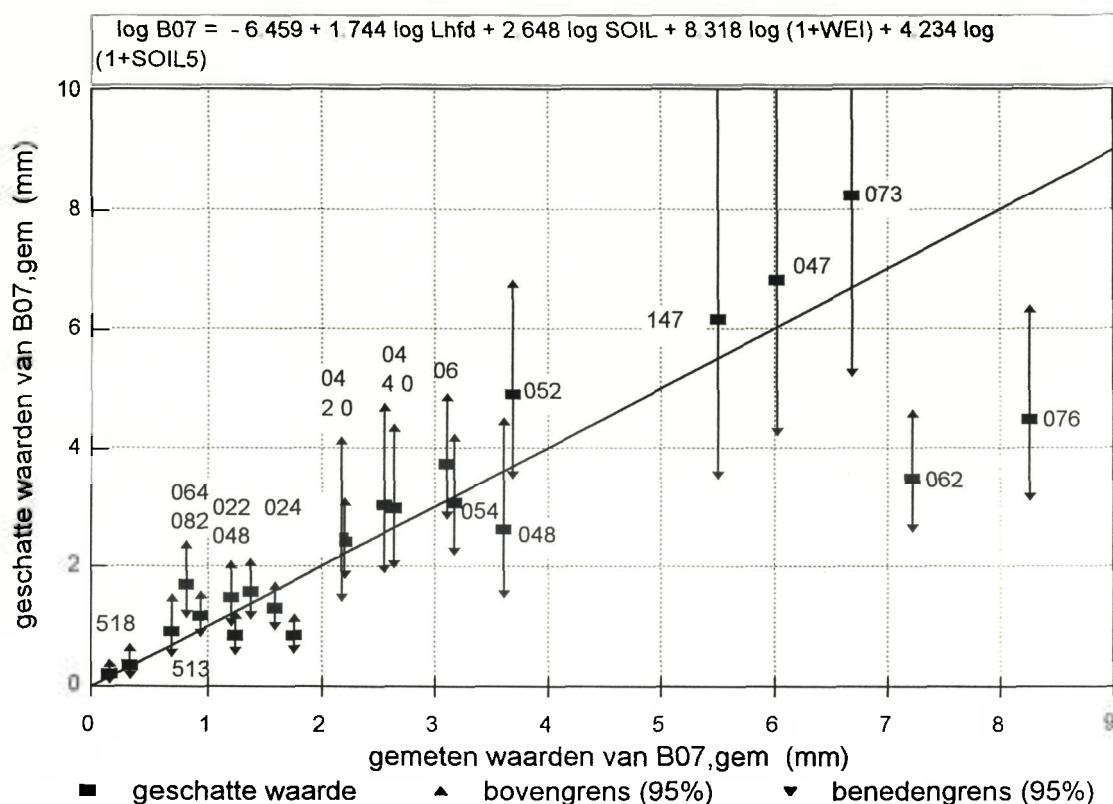


Fig. 19a : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

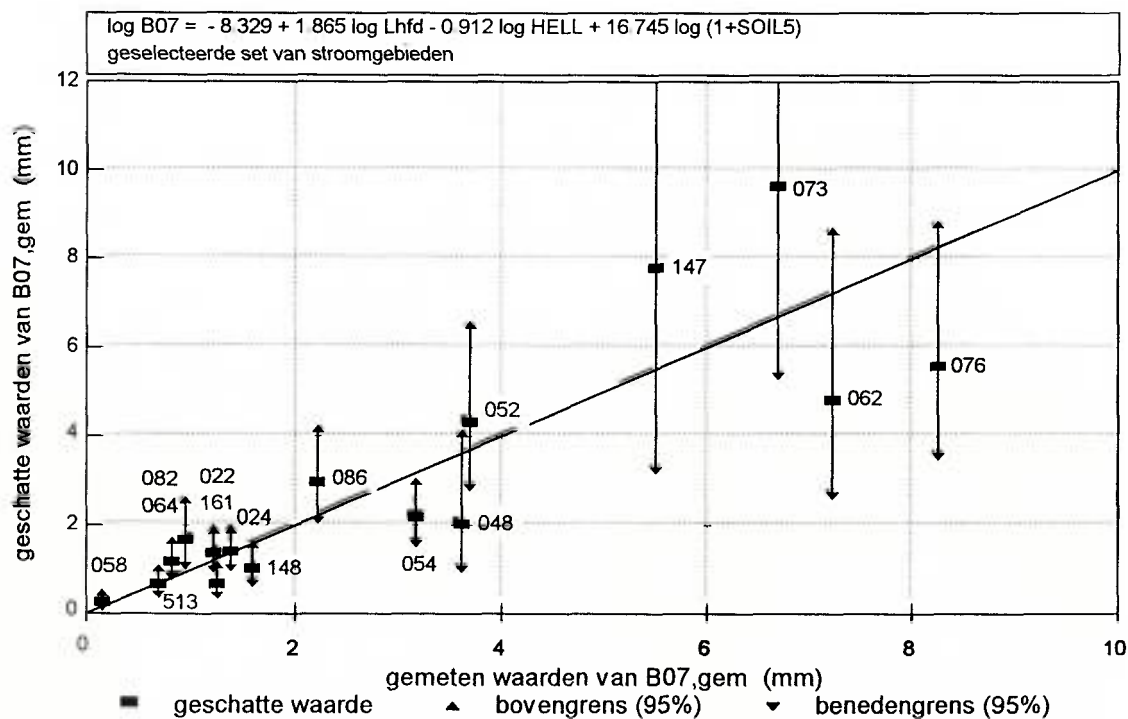


Fig. 19b : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

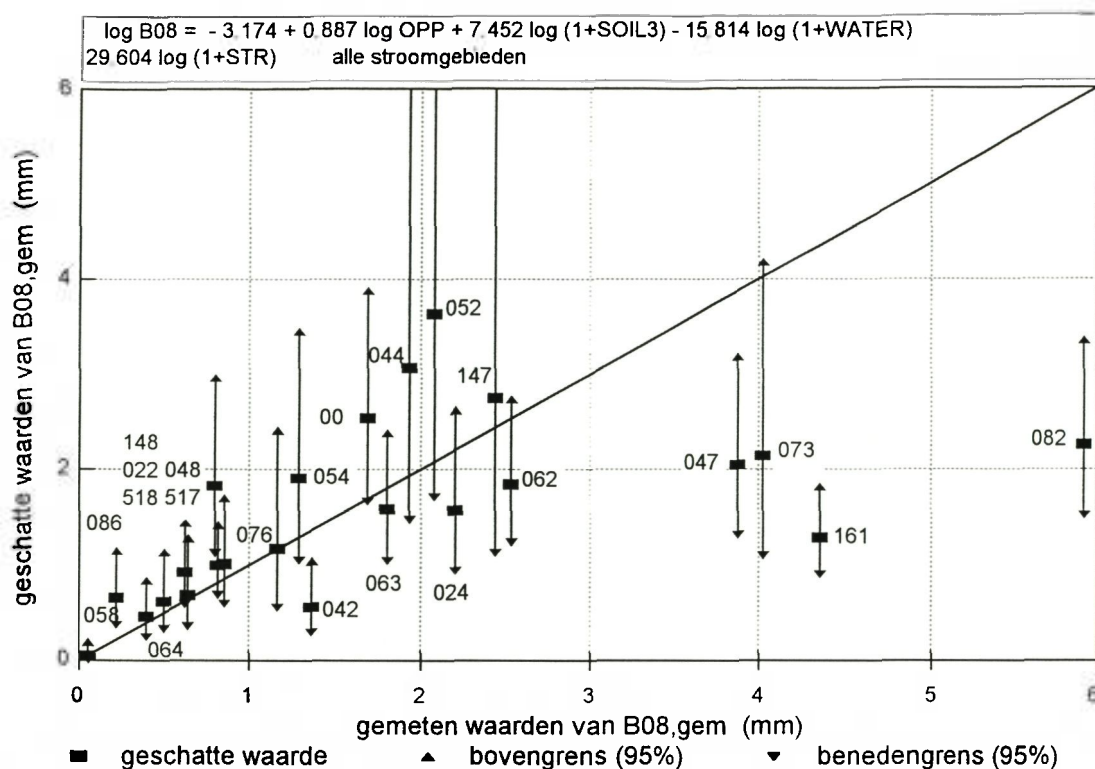


Fig. 20a: Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen

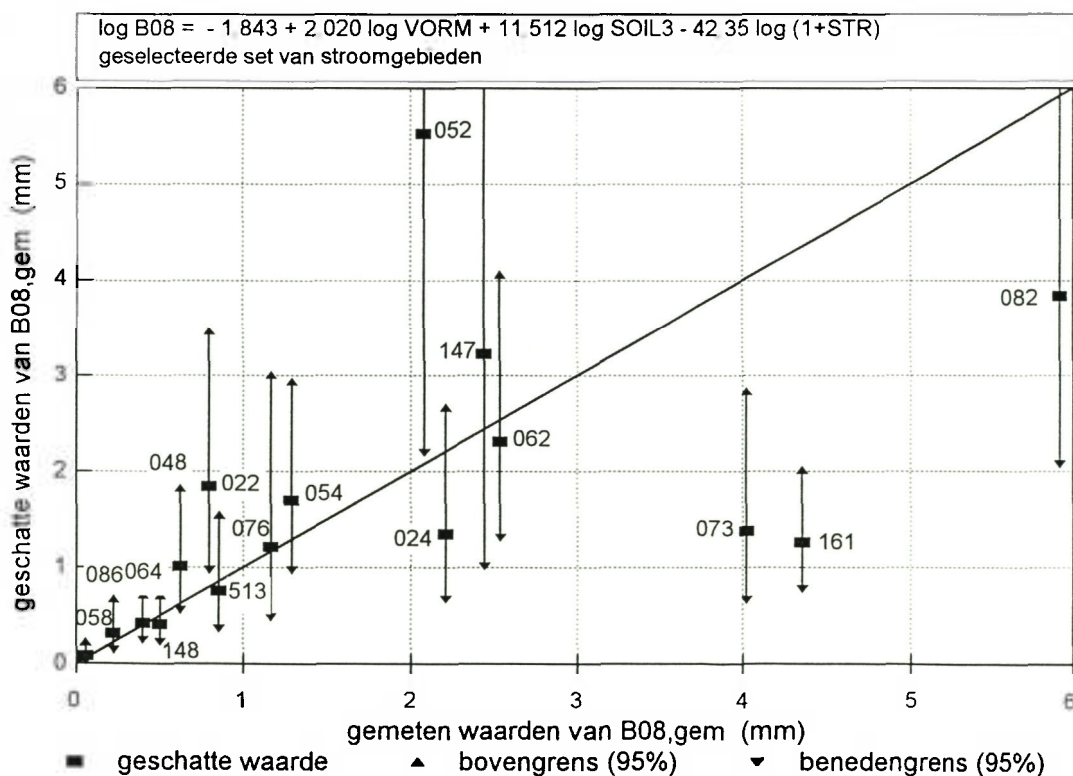


Fig. 20b: Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

Tabel 24 : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen.

Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)		95% betrouwbaarheid	
		met alle stroomgebieden vgl. (1)	geselecteerde set van stroomgebieden vgl. (2)	bovengrens	benedengrens
(1) : $\log B_{03} = - 4.862 + 1.391 \log Lhfd + 4.944 \log (1+WEl) - 1.860 \log (1+SOIL1)$					
(2) : $\log B_{03} = - 5.181 + 1.574 \log Lhfd - 5.178 \log (1+SOIL2) + 17.96 \log (1+SOIL5)$					
518	5.1	6.1			
058	5.5	5.1	5.2	3.2	8.5
064	8.5	17.6	9.1	5.9	14.1
082	9.9	13.2	14.5	11.7	17.9
042	10.5	11.8			
517	11.4	12.7			
044	14.1	13.8			
007	14.6	19.1			
048	15.7	13.4	15.2	8.8	26.3
148	20.3	18.0	22.6	17.7	28.7
022	21.9	19.5	16.9	13.3	21.5
161	24.8	13.1	25.1	15.4	41.1
052	32.9	42.8	40.6	27.1	60.8
054	33.2	30.0	24.6	18.1	33.6
062	35.9	22.9	31.6	22.3	44.8
047	38.4	32.0			
(1) : $\log B_{04} = - 6.947 + 1.936 \log Lhfd + 6.576 \log (1+WEl) + .466 \log SOIL$ - 0.607 log VORM					
(2) : $\log B_{04} = - 6.252 + 1.588 \log Lhfd + 3.809 \log (1+WEl) + 8.700 \log (1+SOIL5)$					
007	8.3	11.3			
518	1.4	1.6			
058	1.6	1.6	2.0	1.1	3.6
064	4.7	9.1	6.8	5.3	8.7
082	5.1	5.7	6.6	5.2	8.3
517	6.1	7.9			
513	6.2	6.6	8.7	6.1	12.5
042	7.2	9.6			
044	7.7	7.9			
161	9.6	5.5	6.4	4.6	8.9
148	9.8	8.6	9.2	7.2	11.9
022	10.3	8.4	10.1	7.4	13.6
024	10.5	10.5	10.3	7.8	13.5
048	10.8	8.4	8.7	4.9	15.5
063	14.4	18.3			
052	16.8	17.5	20.2	14.7	27.6
054	17.2	15.2	12.8	10.0	16.5
086	19.2	16.5	15.0	11.2	20.0
062	21.5	15.6	12.5	9.9	15.8
047	23.5	21.4			
147	24.0	21.1	35.0	19.0	64.3
073	36.7	40.1	39.7	24.9	63.5

Tabel 24 (vervolg) : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen

tabel 24 (vervolg) - vergelijking van gemeten en geschatte bergingen					
Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)		95% betrouwbaarheid	
		met alle stroomgebieden vgl. (1)	geselecteerde set van stroomgebieden vgl. (2)	bovengrens	benedengrens
(1) : $\log B_{05} = - 5.380 + 1.652 \log Lhfd + 7.503 \log (1+WEl) + 2.816 \log SOIL$					
(2) : $\log B_{05} = - 8.209 + 1.927 \log Lhfd + 4.345 \log (1+SOIL2) + 15.71 \log (1+SOIL5)$					
007	5.74	7.15			
058	0.60	0.80	0.96	0.55	1.67
518	0.80	0.88			
513	2.28	2.84	2.24	1.40	3.58
082	2.50	3.76	3.53	2.66	4.68
064	2.64	5.43	4.41	2.93	6.64
517	3.82	2.81			
161	4.61	2.93	2.76	1.82	4.17
022	4.75	4.74	4.25	3.22	5.63
042	4.86	5.11			
044	5.08	6.19			
024	5.11	5.12	4.02	2.97	5.43
148	5.68	4.40	5.33	4.09	6.95
048	7.79	5.61	5.67	2.76	11.64
063	8.80	11.80			
086	8.85	6.50	10.25	7.68	13.69
054	9.60	10.43	8.24	5.95	11.41
052	10.01	15.81	14.26	9.48	21.45
147	14.08	11.03	18.51	8.05	42.55
047	14.18	14.96			
062	14.49	9.39	8.30	5.91	11.66
073	18.63	24.75	29.02	16.96	49.65
076	28.25	13.94	16.15	10.74	24.30
(1) : $\log B_{06} = - 4.995 + 1.558 \log Lhfd + 7.306 \log (1+WEl) + 3.184 \log SOIL$					
(2) : $\log B_{06} = - 8.705 + 1.966 \log Lhfd + 4.827 \log (1+SOIL2) + 17.64 \log (1+SOIL5)$					
007	3.97	4.43			
058	0.36	0.49	0.49	0.28	0.86
518	0.54	0.46			
513	1.10	1.44	1.12	0.69	1.80
064	1.35	3.30	2.47	1.63	3.75
082	1.46	2.23	1.91	1.44	2.55
022	1.88	2.53	2.23	1.68	2.96
161	2.37	1.69	1.41	0.92	2.14
517	2.63	1.54			
024	2.77	2.76	2.08	1.53	2.82
148	2.88	2.46	2.82	2.15	3.69
044	3.31	4.11			
042	3.48	3.54			
086	4.24	3.80	5.93	4.42	7.95
048	5.07	3.59	3.70	1.78	7.69
063	5.45	6.72			
054	5.73	6.06	4.43	3.18	6.17
052	6.05	8.95	7.82	5.16	11.85
047	9.03	9.03			
147	9.26	6.77	11.82	5.07	27.56
062	9.34	5.79	4.90	3.47	6.92
073	11.06	13.35	16.05	9.29	27.70
076	14.99	7.59	8.75	5.78	13.26

Tabel 24 (vervolg) : Vergelijking van gemeten en geschatte bergingen

Station	gemeten waarde (m³/s)	geschatte waarde (m³/s)		95% betrouwbaarheid	
		met alle stroomgebieden vgl. (1)	geselecteerde set van stroomgebieden vgl. (2)	bovengrens	benedengrens
(1) : log B ₀₇ = - 5 350 + 1 580 log Lhfd + 8 893 log (1+WEL) + 3 312 log SOIL					
(2) : log B ₀₇ = - 8 329 + 1 865 log Lhfd - 0 912 log HELL + 16 74 log (1+SOIL5)					
007	2 65	2 97			
058	0 16	0 21	0 27	0 15	0 48
518	0 33	0 35			
513	0 68	0 91	0 67	0 44	1 03
064	0 81	1 69	1 18	0 83	1 66
082	0 94	1 17	1 67	1 09	2 57
022	1 21	1 47	1 38	1 01	1 89
161	1 24	0 84	0 67	0 41	1 10
024	1 38	1 57	1 40	1 04	1 90
148	1 59	1 30	1 03	0 68	1 56
517	1 76	0 85			
042	2 18	2 47			
086	2 21	2 40	2 97	2 11	4 17
044	2 56	3 03			
063	3 11	3 73			
054	3 17	3 06	2 17	1 58	2 99
048	3 62	2 62	2 03	1 01	4 07
052	3 69	4 90	4 31	2 85	6 52
147	5 51	6 15	7 79	3 24	18 76
047	6 02	6 81			
073	6 69	8 23	9 64	5 36	17 33
062	7 22	3 48	4 81	2 68	8 64
076	8 26	4 48	5 57	3 54	8 78
(1) : log B ₀₈ = - 3 174 - 29 60log(1+STR) - 15 81log(1+WATER) + 0 887logOPP +7 452log(1+SOIL3)					
(2) : log B ₀₈ = + 1 843 - 42 35 log (1+STR) + 11 51 log (1+SOIL3) + 2 020 log VORM					
007	1 69	2 54			
058	0 05	0 05	0 08	0 03	0 23
086	0 22	0 66	0 32	0 15	0 68
064	0 40	0 46	0 42	0 25	0 72
148	0 50	0 62	0 41	0 23	0 71
048	0 62	0 92	1 01	0 56	1 83
517	0 64	0 68			
022	0 80	1 82	1 84	0 98	3 47
518	0 82	0 99			
513	0 86	1 01	0 76	0 37	1 55
076	1 17	1 16	1 21	0 49	3 01
054	1 29	1 91	1 70	0 98	2 94
042	1 37	0 56			
063	1 81	1 58			
044	1 94	3 07			
052	2 08	3 63	5 52	2 20	13 85
024	2 21	1 57	1 34	0 67	2 67
147	2 45	2 75	3 23	1 02	10 24
062	2 54	1 84	2 31	1 31	4 07
047	3 88	2 05			
073	4 02	2 14	1 38	0 67	2 84
161	4 35	1 28	1 26	0 78	2 02
082	5 92	2 26	3 84	2 08	7 08

7. Toename van gemiddelde
jaarmaxima van hoogwater-
debiet, ruwtehoeveelheden
en bergingen met
de herhalingsstijd

7. Toename van gemiddelde jaarmaxima van piekdebieten, runoffhoeveelheden en bergingen met de herhalingsstijd

De toename van het gemiddeld jaarmaximum met de herhalingsstijd is bestudeerd zoals in het rapport "Frequentieanalyse van hoogwaterafvoeren", d.w.z. door het gebruik van gebiedskrommen voor alle stations die voldoen aan het homogeniteitscriterium volgens Wiltshire.

Voor de homogeniteitstest op de hoogwaterdebieten worden alle jaarmaxima geschaald door het gemiddeld jaarmaximum van het betreffende station. De spreiding van deze waarden in de stations onderling is beperkt tot afwijkingen die door de toevalligheid van de steekproef kunnen uitgelegd worden, zo niet behoren de stations niet tot eenzelfde homogeen gebied. De test wordt als voorbeeld nader uitgewerkt voor de hoogwaterdebieten. Voor runoffwaarden en bergingen boven bepaalde drempeldebieten wordt een analoge gedachtegang gevolgd.

De berekening gebeurt op de gegevens van alle stations, met uitzondering van station nr. 042, 044 en 047 (omwille van een te korte tijdreeks), en van de stations 007 en 517 (omwille van de debietbeperkingen in deze meetplaatsen). Jaren met onbetrouwbare waarden werden uitgesloten, zoals bij de berekening van het gemiddeld jaarmaximum.

De individuele jaarmaxima van elk van de 18 deelnemende stations vormen een aaneengeschaalde tijdreeks van 215 jaar voor de debietreeks. Voor de reeks van de runoffhoeveelheden en voor de bergingen wordt ongeveer eenzelfde lengte van tijdreeks gevormd (waarden van B_{04} bv. ontbreken voor sommige stations). De homogeniteitstest veronderstelt een bepaalde verdelingswet. Twee verdelingen worden verder gebruikt : de Gumbelverdeling en de G.E.V.-verdeling (General Extreme Value distributie). De parameters van deze verdelingen zijn geschat als kans gewogen momenten. Men bekomt :

- voor een Gumbelverdeling : $u = 0.877$ (u = gemiddelde),
 $a = 0.214$ (a = spreiding).

- voor een G.E.V.-verdeling : $u = 0.899$
 $a = 0.250$
 $k = 0.207$

Voor elk element uit de reeks wordt de overschrijdingskans G_{ij} van het hoogwaterdebiet i in station j berekend. Voor de onderzochte verdelingen zijn deze gelijk aan

- voor een Gumbelverdeling : $G_{ij} = e - e^{-y}$

met $y = \frac{x-u}{a}$, de gereduceerde veranderlijke

x = een individueel geschaald hoogwaterdebiet.

- voor een G.E.V.-verdeling : $G_{ij} = e - y$

met $y = 1 - k \frac{(x-u)^{1/k}}{a}$, de gereduceerde veranderlijke

x = een individueel geschaald hoogwaterdebiet.

Men berekent achtereenvolgens :

$$G'_{ij} = 2 G_{ij} - 0.5 \text{ (absolute waarden)}$$

$$R = \frac{1}{V} \sum \frac{(G'_j - G'_..)^2}{n_j}$$

met G_j = gemiddelde van de G'_{ij} -waarden in ieder station j

$G'_..$ = gebiedsgemiddelde over alle stations, elk met een wegingsfactor gelijk aan het aantal waarnemingen (of aantal jaarlijkse hoogwaterdebieten).

V = variantie van een uniforme verdeling (= 1/12)

n_j = aantal waarnemingen in station j (aantal N stations)

De R -waarde volgt een chi-kwadraatverdeling met $N - 1$ vrijheidsgraden. De nulhypothese dat alle stations deel uitmaken van één homogeen gebied wordt verworpen als de gevonden R -waarde groter is dan de getabelleerde chi-kwadraatwaarde.

Voor een Gumbelverdeling bekomt men een R -waarde van 0.13, hetgeen wijst op een homogeen gebied. De G.E.V.-verdeling levert een R -waarde van 1.36, en dus een analoog besluit. De gebiedskromme voor beide verdelingen is in figuur 22 gegeven. Het blijkt dat beide verdelingen nagenoeg dezelfde resultaten geven tot herhalingstijden van ca. 50 jaar, en dat de Gumbelverdeling de veilige waarden levert. Het verschil tussen beide verdelingen blijft beperkt en kan als een foutengrens aanzien worden. Voor grotere herhalingstijden groeit het verschil tussen beide verdelingen, en zou de Gumbelverdeling te grote debieten voorspellen.

Toepassing van de gebiedskromme veronderstelt dat eerst een waarde bepaald wordt voor het gemiddeld jaarmaximum, hetzij uit een meetreeks, hetzij als resultaat van een regressievergelijking van het gemiddeld jaarlijks hoogwaterdebiet Q_{gem} met stroomgebiedskenmerken. Om het hoogwaterdebiet bij een bepaalde herhalingstijd te vinden, dient deze waarde dan vermenigvuldigd te worden met een coëfficiënt, die voor een willekeurige herhalingstijd berekend wordt uit de gebiedskromme of voor geselecteerde retourperioden uit tabel 26 kan genomen worden. Veilige waarden worden in tabel 26 gegeven door de Gumbelverdeling, en deze waarden zijn vet afgedrukt. De tweede decimaal alsook de waarde voor $T = 200$ jaar zijn eigenlijk zonder betekenis.

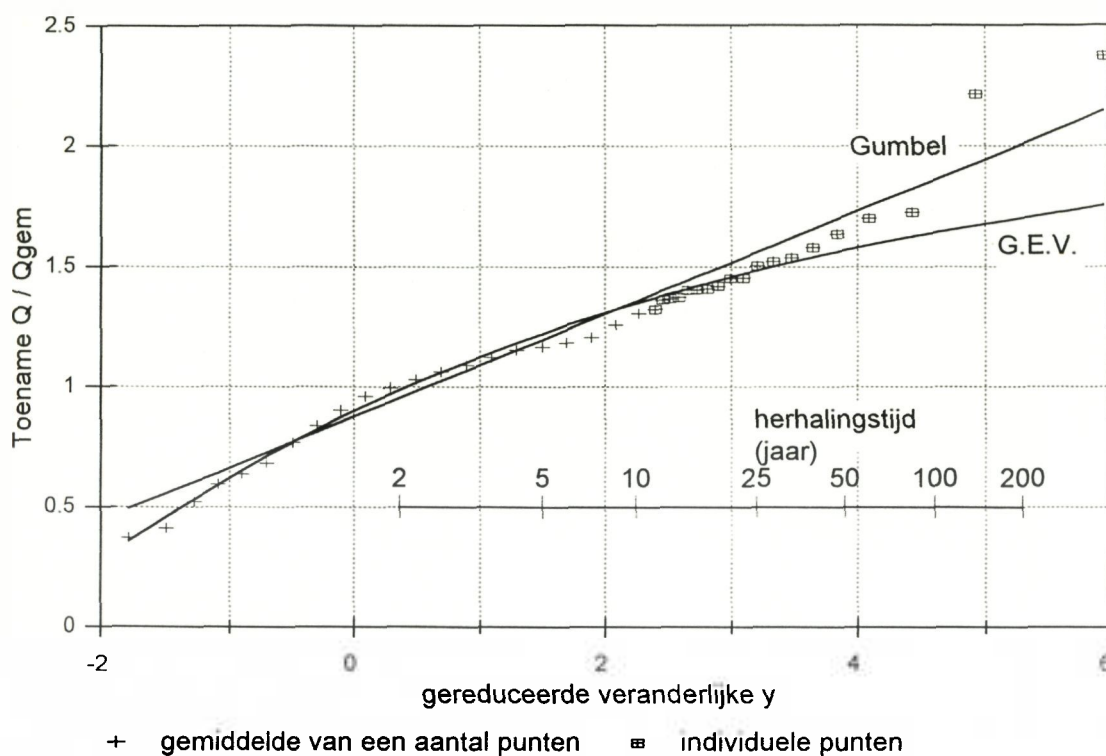


Fig. 21 : Toename van het gemiddeld hoogwaterdebiet met de herhalingstijd

Toename van de runoffhoeveelheid met de herhalingstijd.

Een analoge studie van de runoffwaarden levert volgende waarden :

- voor een Gumbelverdeling : $u = 0.679$
 $a = 0.557$

Men bekomt : $R = 0.11$

- voor een G.E.V.-verdeling : $u = 0.654$
 $a = 0.503$
 $k = -0.101$

Men vindt : $R = 0.08$

Voor beide verdelingen wordt voldaan aan het homogeniteitscriterium. De coëfficiënten van beide verdelingen verschillen weinig en de G.E.V.-verdeling levert de meest veilige (en in de tabel 26 vetgedrukte) waarden.

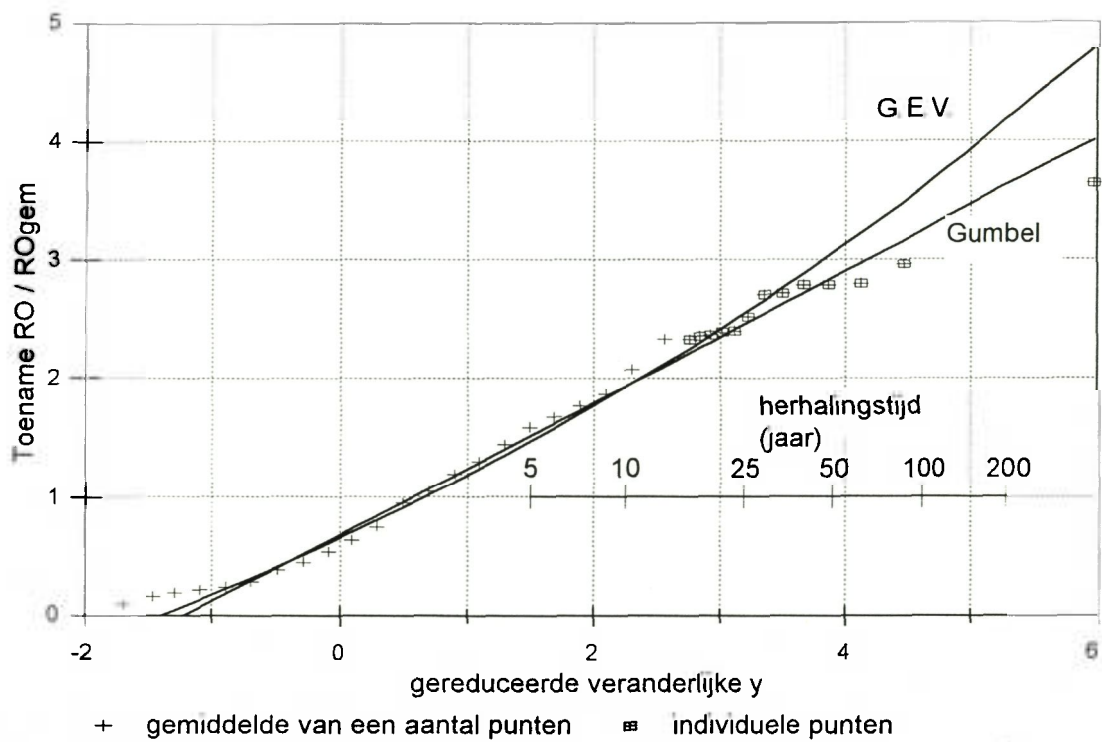


Fig. 22 : Toename van de runoff met de herhalingstijd

Toename van bergingen met de herhalingstijd.

De resultaten voor de bergingen boven 40%, 60% en 80% van het gemiddeld hoogwaterdebiet geven een homogeen gebied aan, onafhankelijk van de verdelingsfunctie. De resultaten zijn weergegeven in figuur 24. Voor enkele geselecteerde herhalingstijden zijn de cijfers ook in tabel 27 geschreven. In alle gevallen levert de G.E.V.-verdeling de veilige waarden. Uit de figuur volgt duidelijk dat de toename sterker verloopt naarmate bergingen boven een groter percentage van het gemiddeld hoogwaterdebiet moeten gezocht worden. Bij B_{06} kan men nog goede schattingen verwachten tot herhalingstijden van ca. 50 jaar. Bij B_{08} is er reeds een groot verschil tussen de schattingen volgens Gumbel en G.E.V.

Tabel 25 : Parameters van de gebiedskrommen voor B_{04} , B_{06} en B_{08}

	B_{04}		B_{06}		B_{08}	
	Gumbel	G.E.V.	Gumbel	G.E.V.	Gumbel	G.E.V.
a	0.849	0.551	0.835	0.581	0.940	0.553
u	0.510	0.407	0.518	0.426	0.458	0.331
k		-0.340		-0.298		-0.395

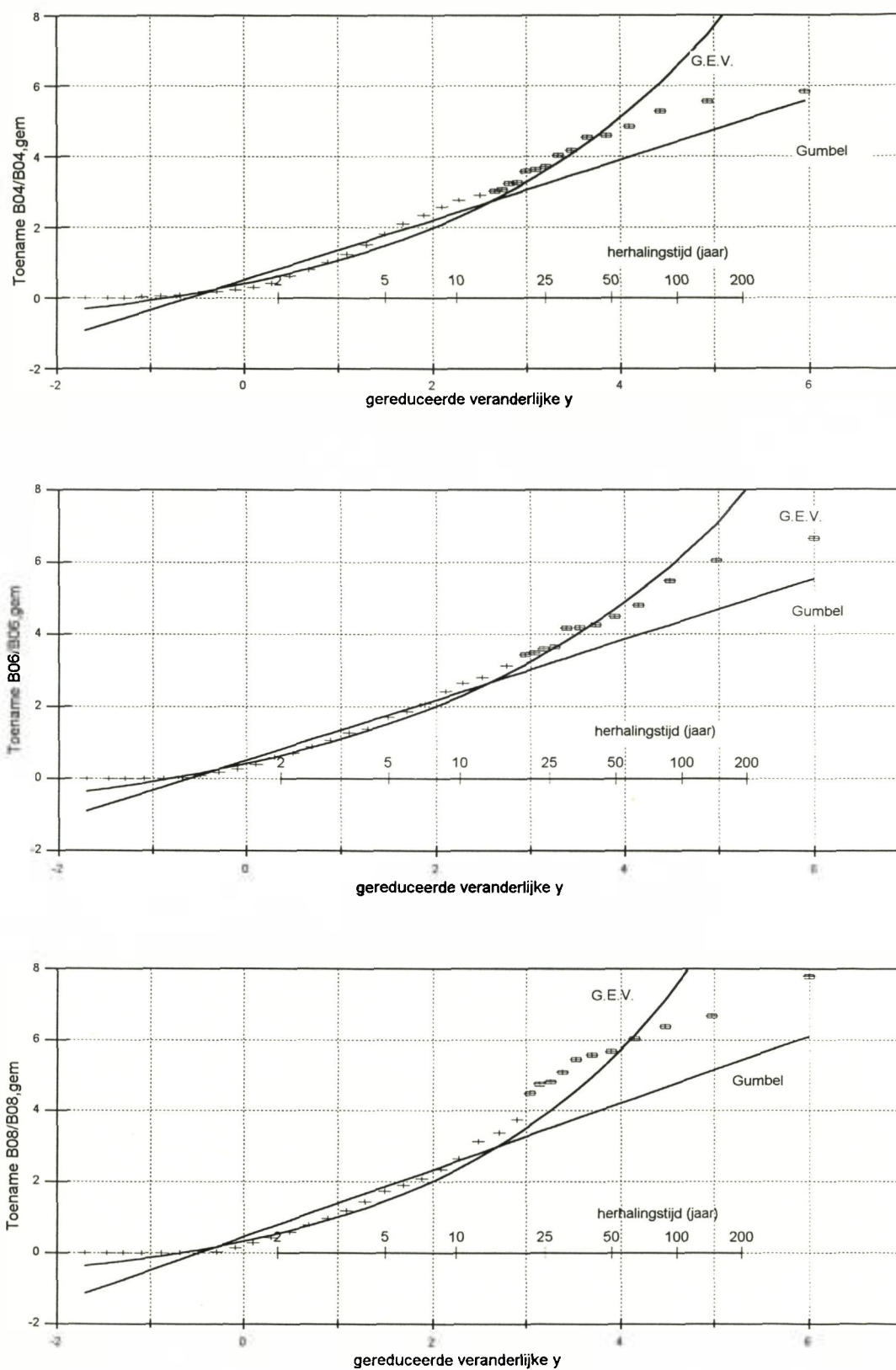


Fig. 23 : Toename van bergingen met de herhalingsjijd

De kromming van de G.E.V.-verdeling voor de hoogwaterdebieten leidt tot minder snel toenemende debieten met grote herhalingstijden : de k-waarde is positief. Bij runoffwaarden is de k-waarde nagenoeg nul, d.w.z. bijna een Gumbelverdeling. Bij bergingen is een negatieve k-waarde gevonden, en de toename verloopt hier sterker dan bij een Gumbelverdeling.

Minder snel stijgende piekdebieten kunnen verklaard worden door de aftoppende werking van overstromingen : de berging in deze gebieden vermindert het piekdebet. De verdere vervorming van het hydrogram tengevolge van deze overstromingen heeft blijkbaar weinig effect op de runoffhoeveelheid, want deze is bepaald bij lage debieten : de overstromingsgebieden zijn terug leeggelopen bij het aangenomen eindpunt van de hoogwatergolf. Bergingen boven bepaalde drempeldebieten zijn als een verschil berekend en de tijdsduur dat het debiet van de golf boven het drempeldebet ligt, is belangrijk voor de bergingshoeveelheid. De vervorming van de hoogwatergolf (en de invloed op de waarde van het gemiddeld jaarmaximum van het piekdebet) is blijkbaar van die aard dat de bergingen sterker met de herhalingstijd toenemen naarmate het drempeldebet hoger gekozen is. Voor de toename van B_{08} liggen de meetpunten eerder ver van de berekende verdelingen. De schatting van het gemiddeld jaarmaximum B_{08} met stroomgebiedskenmerken was reeds problematisch, blijkbaar is ook de manier om meer extreme bergingen B_{08} te zoeken door middel van gebiedskrommen minder geschikt.

Navolgende tabellen 26 en 27 geven een overzicht van alle coëfficiënten bij een aantal geselecteerde herhalingstijden. Voor een willekeurige herhalingstijd vindt men de toename met de volgende rekengang :

Men stelt : $z = - \ln [- \ln (1 - 1 / T)]$, met T = de gewenste herhalingstijd. De factor voor de toename van het gemiddelde is dan :

- voor een Gumbelverdeling : factor = $u + a \cdot z$
- voor een G.E.V.-verdeling : factor = $u + \frac{a}{k} (1 - e^{-k \cdot z})$

De waarden van u en a of u , a en k van de verdelingsfunctie zijn zoals hierboven gegeven voor de verschillende grootheden (debieten, runoffwaarden en bergingen).

Tabel 26 : Toename van het gemiddeld jaarmaximum van het hoogwaterdebet en de runoffhoeveelheid met de herhalingstijd.

T (jaar)	Q / Q _{gem}		RO / RO _{gem}	
	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel
2	0.99	0.95	0.84	0.88
5	1.22	1.20	1.47	1.51
10	1.35	1.36	1.92	1.93
25	1.48	1.56	2.55	2.46
50	1.57	1.71	3.06	2.85
100	1.64	1.86	3.60	3.24
200	1.70	2.01	4.17	3.63

Tabel 27 : Toename van het gemiddeld jaarmaximum van de bergingen met de herhalingsstijd

T (jaar)	GEV	Gumbel
B₀₄		
2	0.62	0.82
5	1.48	1.78
10	2.27	2.42
25	3.59	3.22
50	4.89	3.82
100	6.53	4.41
B₀₅		
2	0.64	0.82
5	1.50	1.77
10	2.27	2.40
25	3.55	3.19
50	4.78	3.78
100	6.32	4.36
B₀₆		
2	0.65	0.82
5	1.52	1.77
10	2.29	2.40
25	3.53	3.19
50	4.71	3.78
100	6.15	4.36
B₀₇		
2	0.62	0.82
5	1.51	1.80
10	2.32	2.46
25	3.66	3.29
50	4.96	3.90
100	6.59	4.51

8. Besluiten

8. Besluiten

1. Om betrouwbare regressievergelijkingen op te stellen moeten de gegevens afgeleid zijn uit stroomgebieden met een brede waaier aan stroomgebiedskenmerken. Veel stroomgebiedskenmerken zijn gecorreleerd met de oppervlakte van het stroomgebied. Met de bestaande meetreeksen worden de vergelijkingen geëxtrapoleerd bij stroomgebieden van minder dan 5000 ha.

Een optimalisatie van het limnimetrisch net moet streven naar een betere verspreiding van de meetpunten in kleinere (d.w.z. met oppervlakte kleiner dan 5000 ha) stroomgebieden. De grotere stroomgebieden zijn praktisch allen bemeten en zijn dus goed vertegenwoordigd. De optimalisatie van het limnimetrisch net zou moeten vervolledigd worden met een aanpassing van het pluviografisch net.

2. Het IqlCV-gebied heeft een apart hydrologisch gedrag : de hoogwatergolven zijn gekenmerkt door een lange duur waardoor meerdere afvoergolven in elkaar overlopen. De bijdrage van de basisafvoer in het piekdebiet is niet meer te verwaarlozen. Overstromingsbescherming van bepaalde gebieden door aftopping van de hoogwatergolven in wachtbekkens of in overstromingsgebieden moet gebeuren binnen een beperkte band van drempeldebieten, en de keuze van dit drempeldebiet is van groot belang.

Om het piekdebiet van de hoogwatergolf te verminderen en aldus het overstromingsrisico te beperken zal in de Kempen relatief meer berging moeten beschikbaar zijn als in andere meer hellende gebieden in Vlaanderen. Oplossingen van overstromingsbescherming uit hellende gebieden zijn derhalve slechts beperkt overdraagbaar naar de Kempen.

3. De toename van het hoogwaterdebiet met de herhalingstijd zwakt af bij grotere herhalingstijden, terwijl de runoffhoeveelheid en de bergingen boven bepaalde drempeldebieten sterker toenemen bij grotere herhalingstijden. Ook deze vaststelling kan invloed hebben op de conceptie van hoogwaterbescherming van gebieden. Waar een hoge herhalingstijd moet verzekerd worden, moet een ruime marge op de nodige berging genomen worden. Dit kan gebeuren door het drempeldebiet voldoende hoog te kiezen, en desgevallend een verbetering van de afvoer te overwegen.

4. De tijdreeksen zouden een voldoende lengte moeten hebben om voor het gemiddelde en de spreiding (van piekdebieten, runoffwaarden en bergingen) een waarde op te leveren die slechts in mindere mate door extra droge of natte jaren beïnvloedbaar is. De bergingen vertonen de grootste variabiliteit, en vereisen de langste tijdreeksen.

5. De regressievergelijkingen kunnen nooit betere waarden voor het piekdebiet of voor bergingen geven dan de gemeten waarden ter plaatse van een limnigraaf, gesteld dat de metingen van goede kwaliteit zijn en een voldoende lange tijdreeks vormen.

Toepassing van de regressievergelijkingen in een stroomgebied waarin een limnigraaf voorkomt, laat toe betere waarden te schatten op andere plaatsen in het stroomgebied : men kan de procentuele afwijking tussen de geschatte en de gemeten waarde ter plaatse van de limnigraaf over het gehele stroomgebied

toepassen indien de stroomgebiedskenmerken van de regressievergelijking op een normale manier veranderen over het stroomgebied.

6. De berging boven bepaalde drempeldebieten is de meest veranderlijke grootheid in deze studie. Langere tijdreeksen zullen dus vooral voor de gemiddelde waarde van de berging beter betrouwbare gegevens betekenen. Met toenemende waarden van het drempeldebiet moet de berging een kleiner percentage van de runoffhoeveelheid vormen.

7. De toename van het gemiddeld jaarmaximum van debieten en bergingen zal in de meeste gevallen beter geschat worden met de coëfficiënten van het gehele (lqICV)-gebied dan met de eigen tijdreeks, omdat de effectieve tijdreeks van het gebied beduidend langer is en dus meer extreme gebeurtenissen kan bevatten. In specifieke gevallen - stroomgebieden waar de waterafvoer niet volgens de normale manier van het lqICV-gebied verloopt - kan de eigen tijdreeks betere waarden geven.

Literatuurlijst

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. & Wood, E.F. 1985. Estimation of the Generalized Extreme Value Distribution by the method of probability weighted moments. *Tecnometrics* 27, 3 : 251-261.

Swings, J., Voet, M. 2000. Analyse van hoogwaterafvoeren in de stroomgebieden van Demer, Dijle en Jeker. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Water. 91pp.

Voet, M. 1991. Frequentieanalyse van hoogwaterafvoeren in het limnimetrisch net van de Landelijke Waterdienst. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Bestuur Landinrichting en -beheer, Vlaamse Landmaatschappij. 138pp.

Voet, M. 1995. Runoffhoeveelheden bij het ontwerp van wachtbekkens in het hellend gebied van West- en Oost-Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Water, Vlaamse Landmaatschappij. 60pp.

Wiltshire, S.E. 1986. Regional flood frequency analysis I : homogeneity statistics. *Hydrological Sciences Journal*, 31, 3, 9 : 321-333.