

De wateropgave voor Waterschap Rijn en IJssel

De wateropgave voor Waterschap Rijn en IJssel

Kwantificeren van de wateropgave voor vasthouden, bergen en afvoeren ten behoeve van de waterparagraaf in reconstructieplannen in Oostelijk Gelderland en het opstellen van de deelstroomgebiedsvisie van het Waterschap Rijn en IJssel

**P.J.T. van Bakel
F.J.E. van der Bolt
W.W. Immerzeel
M. Groenendijk
J.G. Wesseling**

Alterra-rapport 636

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

Bakel, P.J.T. van, F.J.E. van der Bolt, W.W. Immerzeel, M. Groenendijk en J.G. Wesseling, 2002. *De wateropgave voor Waterschap Rijn en IJssel. Kwantificeren van de wateropgave voor vasthouden, bergen en afvoeren ten behoeve van de waterparagraaf in reconstructieplannen in Oostelijk Gelderland en het opstellen van de deelstroomgebiedsvisie van het Waterschap Rijn en IJssel.* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 636. 104 blz.; 9 fig.; 11 tab.; 5 ref.

Kwantificeren van de wateropgave voor vasthouden, bergen en afvoeren ten behoeve van de waterparagraaf in reconstructieplannen in Oostelijk Gelderland en het opstellen van de deelstroomgebiedsvisie voor het beheersgebied van het waterschap Rijn en IJssel.

Trefwoorden: wateropgave, vasthouden, bergen, afvoeren

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €33 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 636. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Probleem- en doelstelling	13
1.3 Systeembeschrijving	14
1.4 Leeswijzer	14
2 Methode, schematisering en gegevens	15
2.1 Methode	15
2.1.1 Het ontwateringsstelsel (de neerslag-afvoerrelatie)	15
2.1.2 Het afwateringsstelsel	17
2.1.3 Reductie afvoercapaciteit	18
2.1.4 Uitgangspunten	18
2.2 Schematisering	18
2.3 Gegevens	20
2.3.1 De maatgevende regenperiode	21
2.3.2 Begingrondwaterstanden	21
2.3.3 Berging aan maaiveld en berging boven maaiveld	22
2.3.4 Afvoerrelaties detailwatersysteem	23
2.3.5 Afvoer- en bergingsrelaties hoofdwaterlopen	23
2.3.6 Afvoer uit Duitsland	24
2.3.7 Stremming van de afvoer op de IJssel	24
2.4 Rekenmethode afwatering	25
2.5 Scenario's	29
3 Resultaten	31
3.1 Balansen van de afdelingen	31
3.1.1 Resultaten neerslag-afvoer	31
3.1.2 Resultaten afwatering	33
3.2 De bergingsbehoefte voor de deelstroomgebieden	35
3.2.1 Afdeling Noord	35
3.2.2 Afdeling Midden	36
3.2.3 Afdeling Zuid	36
3.2.4 Verschillen tussen de afdelingen	37
4 Discussie	39
4.1 De methode	39
4.2 De gegevens	40
4.2.1 De neerslaggebeurtenis	40
4.2.2 Berging in de bodem	40
4.2.3 Berging boven maaiveld	41
4.2.4 Berging in waterlopen	42
4.2.5 De afvoercapaciteit	42

4.2.6 Aanvoer uit Duitsland	42
4.2.7 Hoge IJsselstanden	42
4.3 Plausibiliteit van de berekende bergingsbehoefte	43
4.4 Betrouwbaarheid van de berekende bergingsbehoefte	44
4.5 Vergelijking met Gelderland-studie	44
4.6 Relatie met de normering regionale watersystemen	45
5 Conclusies en aanbevelingen	47
Literatuur	51

Aanhangsels

1 Deelstroomgebieden afdeling Noord	53
2 Deelstroomgebieden afdeling Midden	57
3 Deelstroomgebieden afdeling Zuid	61
4 Stedelijk gebied	65
5 Afdeling noord, huidige situatie	67
6 Afdeling noord, klimaat scenario	69
7 Afdeling noord, klimaat plus 1.5Q in hoofdwaterlopen scenario	71
8 Afdeling noord, klimaat plus 1.5Q scenario	73
9 Afdeling midden, huidige situatie	75
10 Afdeling midden, huidige situatie	77
11 Afdeling midden, klimaat plus 1.5Q in hoofdwaterlopen scenario	79
12 Afdeling midden, klimaat plus 1.5Q scenario	81
13 Afdeling zuid, huidige situatie	83
14 Afdeling zuid, klimaat scenario	85
15 Afdeling zuid, klimaat plus 1.5Q in hoofdwaterlopen scenario	87
16 Afdeling zuid, klimaat plus 1.5Q scenario	89
17 Afdeling Noord	91
18 Afdeling Midden	93
19 Afdeling Zuid	95
20 Grondwater Noord	97
21 Grondwater Midden	99
22 Grondwater Zuid	101
23 Genodigden workshops	103

Woord vooraf

In opdracht van waterschap Rijn en IJssel heeft Alterra de wateropgave voor dit waterschap gekwantificeerd. Het is niet mogelijk dit te doen zonder specifieke kennis van dit beheergebied. Deze kennis is geleverd door medewerkers van het waterschap.

Deze studie is namens de opdrachtgever begeleid door E.S.J. van Tuinen. De opzet en resultaten zijn in twee workshops besproken met medewerkers van het waterschap, zowel van de centrale afdeling kaderstelling en beleid, als de afdelingen Noord, Midden en Zuid. In aanhangsel 22 is een overzicht gegeven van de genodigden voor de workshops. De medewerkers die niet bij een workshop aanwezig konden zijn hebben hun opmerkingen op de opzet en resultaten via de projectbegeleider ingebracht.

Samenvatting

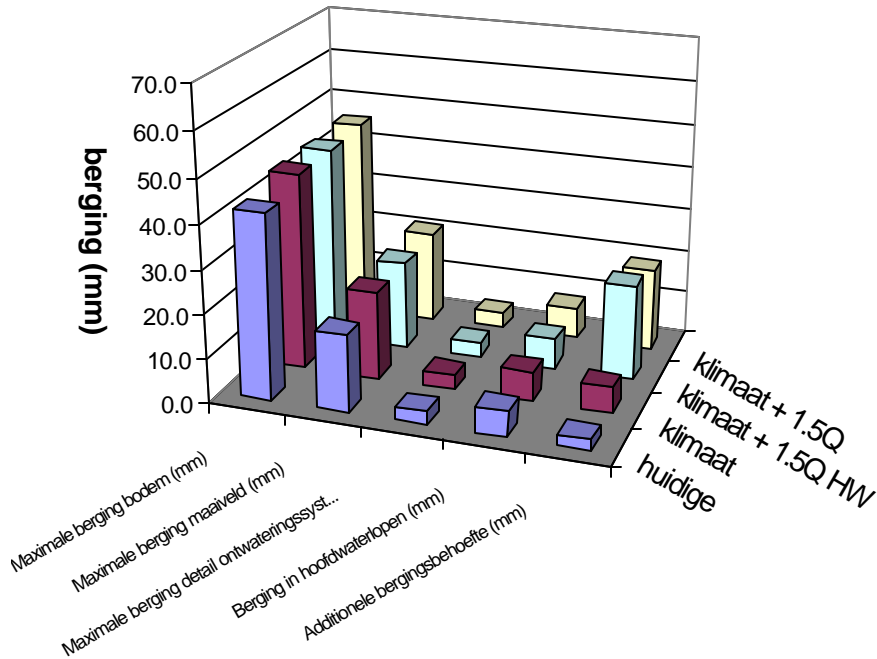
Bij het waterschap Rijn en IJssel bestaat de noodzaak om de piekafvoeren te reduceren. Deze reductie kan alleen worden gerealiseerd door tijdelijk meer water vast te houden en/of door het tijdelijk bergen van water in of vanuit de hoofdwaterlopen. De laatste vorm van berging houdt in dat gebieden meer of minder frequent onder water komen te staan. Omdat dat gevolgen heeft voor het landgebruik dient de omvang en situering van deze inundatiegebieden goed onderbouwd te zijn. Doel van de studie die in dit rapport wordt beschreven is het leveren van een kwantitatieve onderbouwing van deze wateropgave voor het waterschap Rijn en IJssel. De studie richt zich op de wateropgave in relatie tot het regionale wateroverlast als gevolg van intern waterbezwaar, veroorzaakt door extreme neerslag. Op wateroverlast als gevolg van (extreem) hoge rivierwaterstanden, en de daarmee samenhangende stremming van de lozingscapaciteit en toename van lokale kwel wordt in deze studie niet ingegaan.

Om de wateropgave te kwantificeren is een neerslaggebeurtenis gegenereerd die representatief wordt geacht voor het veroorzaken van een afvoergebeurtenis met een herhalingsdij van 100 jaar. Het beheergebied is onderverdeeld in deelstroomgebieden; voor elk deelstroomgebied zijn het ontwateringsstelsel (het detailsysteem) en afwateringsstelsel (de hoofdwaterlopen) onderscheiden. Het detailsysteem van elk deelstroomgebied is geschematiseerd tot een aantal plots. Van elke plot is met SWAP een neerslag-afvoermodel gemaakt, waarbij de beginvoorwaarden en eigenschappen worden ontleend aan landelijke databestanden. De relaties tussen openwaterstand en afvoer zijn gedefinieerd in overleg met het waterschap. Het model berekent voor iedere plot de reactie van het watersysteem op de maatgevende neerslaggebeurtenis. Het verloop van de berging in de bodem, de berging boven het maaiveld, de berging in het oppervlaktewatersysteem en de afvoer naar de hoofdwaterlopen worden berekend. De hoofdwaterlopen verzorgen de samenhang tussen de deelstroomgebieden. Daarbij is er alleen beïnvloeding van boven- naar benedenstrooms. De randvoorwaarden (aanvoer vanuit Duitsland, lozing op Rijn, IJssel of Oude IJssel) tijdens de neerslaggebeurtenis zijn afgeleid op basis van gemeten afvoeren. Het hoofdwaterlopensysteem van elk deelstroomgebied is gemodelleerd waarbij de afvoer- en bergingsrelaties en randvoorwaarden in overleg met het waterschap zijn vastgesteld. De afvoer en berging in het hoofdsysteem wordt voor elk deelstroomgebied gesimuleerd met de afvoer van direct bovenstrooms gelegen deelstroomgebieden (c.q. afvoer vanuit Duitsland) en de afvoer van het detailont- en afwateringsstelsel als instroom. Het model berekent het verloop van de berging in het hoofdwaterlopensysteem, de afvoer naar benedenstrooms gelegen deelstroomgebieden (c.q. lozing op Rijn, IJssel of Oude IJssel). Conform de ontwerpnormen is de afvoer begrensd op de maximale afvoer ($2Q$) en de bijbehorende maximale berging (kantje boord). Indien beide termen ontoereikend zijn om de instroom op te vangen wordt een additionele berging berekend. De maximale waarde van deze berging is de additionele bergingsbehoefte.

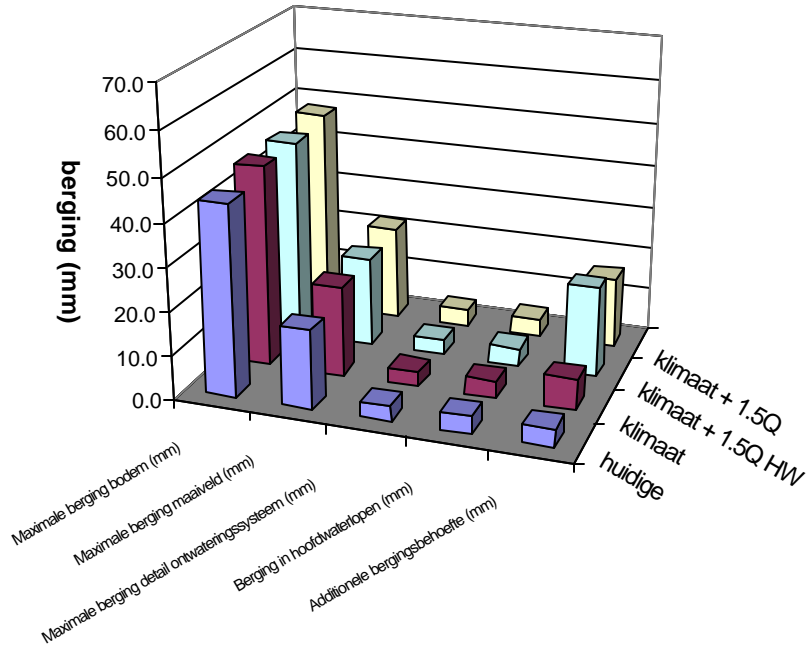
De berekeningen zijn uitgevoerd voor 4 scenario's; het huidige klimaat, een klimaatsverandering; een scenario waarbij aanvullend de afvoercapaciteit in de hoofdwaterlopen met 25% wordt gereduceerd en een scenario waarbij in peilbeheerste gebieden tevens de openwaterstand-afvoerrelatie met 25% wordt gereduceerd.

Het beheergebied van het waterschap is onderscheiden in de afdelingen Noord, Midden en Zuid. De verschillende bergingstermen voor de afdelingen zijn voor de 4 scenario's in onderstaande figuren weergegeven.

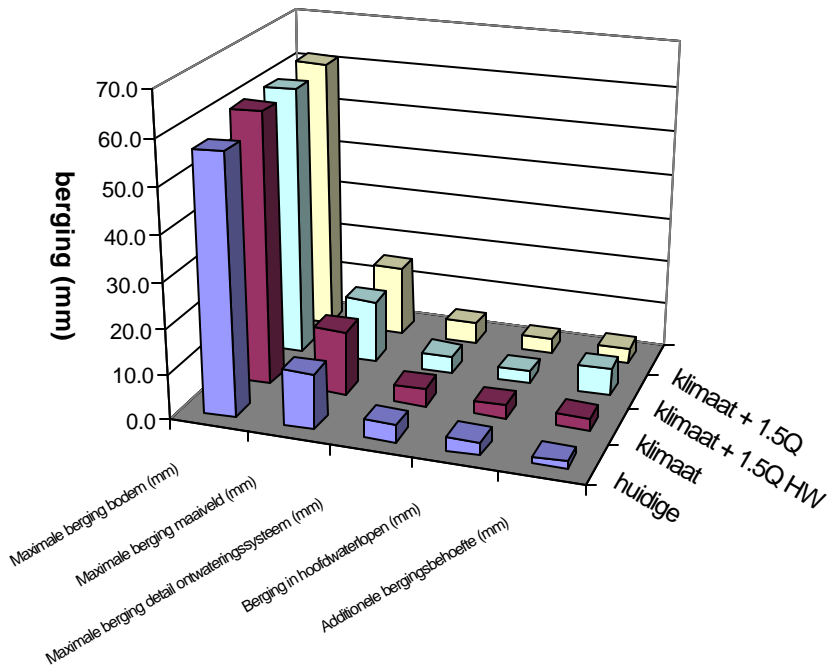
Noord:



Midden:



Zuid:



Het meest in het oog springend is dat het aandeel vasthouden (de som van berging in de bodem, op het maaiveld en berging in het detailopervlaktewatersysteem) veruit het grootst is, zeker bij het huidige klimaat. Ook verandert er relatief weinig aan genoemde bergingstermen bij de andere 3 scenario's. De berging in het hoofdwaterloopensysteem is beperkt. De term additionele berging (de wateropgave) is relatief

bescheiden van omvang in de huidige situatie. Echter een toename van 10% van de neerslag (klimaatscenario) resulteert in meer dan een verdubbeling van de wateropgave. En als de afvoercapaciteit met 25% wordt teruggebracht neemt de additionele bergingsbehoefte zeer sterk toe. Door het knippen van de toevoer vanuit het detailsysteem (laatste scenario) kan deze dramatische toename maar in beperkte mate worden terug gedrongen.

Verder is het verschil tussen Noord en Midden enerzijds en Zuid anderzijds opvallend. In Zuid is de berging in de bodem aanzienlijk hoger met als gevolg een veel geringere additionele bergingsbehoefte.

De vraag is of deze resultaten voor het waterschap Rijn en IJssel geschikt zijn als basis voor een verdere invulling van de wateropgave. Bij de methode kunnen kanttekeningen worden geplaatst.:

- Op de eerste plaats biedt de keuze om met één neerslaggebeurtenis te rekenen weinig mogelijkheden om te analyseren of de daardoor gegenereerde berging en afvoeren in de buurt komen van een situatie met een herhalingsperiode van 100 jaar, maar een inschatting is dat dit ongeveer het geval is.
- Op de tweede plaats is de gekozen tweedeling tussen detailont- en afwateringssysteem enerzijds en hoofdwatersysteem anderzijds sterk bepalend voor de uitkomsten. Bij de definiëring van de afvoerrelaties van het detailsysteem is in peilbeheerste gebieden echter impliciet rekening gehouden met de onderlinge interactie.
- Op de derde plaats zijn de gekozen afvoerrelaties van vooral het detailsysteem sterk bepalend voor de verdeling van de neerslag over berging of afvoer. Echter ze zijn ontleend aan de inrichtingspraktijk en naar inschatting redelijk overeenkomstig de huidige situatie.
- Op de vierde plaats zijn vragetekens te zetten bij de overige gebruikte gegevens zoals begingrondwaterstand en drainageweerstanden. De methode is met name gevoelig voor de berging in de bodem en de berging op het maaiveld. Andere uitgangspunten hiervoor kunnen leiden tot een aanzienlijk hogere of lagere berekende additionele bergingsbehoefte (ordegrootte +/- 10 mm).

Een gevoeligheidsanalyse zou moeten uitwijzen of de berekende additionele bergingsbehoefte systematisch wordt over- of onderschat. Deze additionele bergingsbehoefte is de restpost van een balansberekening waarin alle onzekerheden terugkeren. Het feit dat de additionele bergingsbehoefte daardoor gevoelig is voor veranderingen in neerslag of veranderingen in afvoerrelaties komt overeen met het praktijkgevoel van de waterbeheerders. Omdat de balansen realistische groottes hebben zijn de resultaten bruikbaar voor de doelstelling. Aanvullend zou de onzekerheid kunnen worden gekwantificeerd. De reactie van de additionele bergingsbehoefte op de reductie van de afvoercapaciteit met 25% geeft een goed beeld van de consequenties van zo'n beleidskeuze. De resultaten zijn bruikbaar voor een onderbouwing van de wateropgave.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De wateroverlastsituaties van 1993 (Rijn en Maas), 1995 (Maas) en 1998 (regionaal) zijn aanleiding geweest tot een herbezinning over de waterhuishoudkundige inrichting van Nederland. De Commissie Waterbeheer 21e eeuw (Cie WB21) heeft de verschillende systemen in Nederland beoordeeld en geconcludeerd dat lang niet alle systemen op orde zijn of zullen blijven. Een van de oplossingen is meer ruimte te creëren voor water, in de vorm van berging langs hoofdwaterlopen en in retentie-polders. De hiervoor benodigde ruimte vraagt echter om een goede onderbouwing omdat de consequenties voor het landgebruik groot kunnen zijn. Het waterschap Rijn en IJssel is betrokken bij de planvorming in haar gebied die voortvloeit uit de aanbevelingen van de Cie WB21 en uit de reconstructie. Een belangrijk aspect daarbij is het kwantificeren van de bekende trits vasthouden-bergen-afvoeren. Daartoe moet inzicht worden verkregen in het bestaan van regionale wateroverlast door intern waterbezwaar als gevolg van extreme neerslag. In opdracht van de provincie Gelderland heeft Alterra recent berekeningen uitgevoerd om de maximale oppervlakte-afvoer voor de gehele provincie in extreme gevallen te berekenen. Het resultaat voor het waterschap Rijn en IJssel was niet bevredigend, mede door de onvoldoende kwaliteit van de invoergegevens. De voor deze studie gehanteerde uitgangspunten worden door het waterschap Rijn en IJssel en Alterra geschikt geacht voor de bedoelde kwantificering. Het waterschap Rijn en IJssel heeft Alterra opdracht gegeven de wateropgave voor haar beheergebied met deze methode te kwantificeren. Daartoe zijn de te gebruiken gegevens opnieuw vastgesteld, zijn de afvoerrelaties opnieuw bepaald, en is de rekenmethode uitgebreid met interacties tussen deelgebieden.

1.2 Probleem- en doelstelling

Probleemstelling

Door allerlei ontwikkelingen en veranderende visies is er bij het waterschap Rijn en IJssel de noodzaak tot reductie van piekafvoeren. Deze reductie kan alleen worden gerealiseerd door meer water vast te houden en/of door vergroten van de berging in en nabij de hoofdwaterlopen. Hoe en waar dat moet worden gerealiseerd is zonder berekeningen niet vast te stellen. Deze studie moet inzicht geven in het optreden van regionale wateroverlast door intern waterbezwaar als gevolg van extreme neerslag. Op wateroverlast als gevolg van (extreem) hoge rivierwaterstanden, en de daarmee samenhangende stremming van de lozingscapaciteit en toename van lokale kwel wordt in deze studie niet ingegaan.

Doelstelling

Het doel van het project is het kwantificeren van de wateropgave in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. De resultaten moeten voor een aantal scenario's

verschillen binnen het beheergebied zichtbaar maken en een schatting van de benodigde additionele berging leveren.

1.3 Systeembeschrijving

De neerslag die in een stroomgebied valt wordt (gedeeltelijk) geborgen en (gedeeltelijk) afgevoerd. Berging kan op meerdere manieren plaatsvinden:

- berging op het maaiveld. Bij overschrijding van de infiltratiecapaciteit of wanneer het grondwater hoger stijgt dan het maaiveld wordt er water op het maaiveld geborgen;
- berging in de bodem, doordat water via het grondoppervlak infiltreert en de berging in de onverzadigde zone wordt benut (de grondwaterstanden stijgen);
- berging in het detailwaterlopend systeem. Bij hoge afvoeren loopt de openwaterstand op en vindt er berging plaats;
- berging in de hoofdwaterlopen. Tijdens hoge afvoeren stijgt de openwaterstand in de hoofdwaterlopen en vindt er berging plaats;
- berging door inundatie vanuit de hoofdwaterlopen. Indien de waterstand in de hoofdwaterlopen stijgt tot boven het maaiveld resp. de bovenkant van de kade vindt inundatie plaats waardoor water op maaiveld wordt geborgen.

De 3 eerstgenoemde vormen van waterberging zijn te beschouwen als berging bij de bron en vertegenwoordigen dus de term vasthouden uit de trits vasthouden-bergen-afvoeren. De laatste 2 vormen van berging in deze studie representeren de term bergen van de wateropgave. Het deel van de neerslag dat niet wordt geborgen wordt afgevoerd (wanneer de, bij extreme neerslaghoeveelheden, kleine verliestermen verdamping en fluxen naar het diepere grondwatersysteem, beiden orde van grootte van enkele mm/d, worden verwaarloosd). De laatste vorm komt overeen met de in deze studie berekende additionele bergingsbehoefte. Deze additionele bergingsbehoefte vormt de wateropgave voor regionale wateroverlast als gevolg van extreme neerslag.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de voor het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel uitgevoerde berekeningen om de wateropgave voor piekberging te kwantificeren. In hoofdstuk 1 worden aanleiding en de probleem- en doelstelling gegeven. In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze toegelicht, waarbij ook de benodigde gegevens en de gegevensverzameling aan de orde komen. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gegeven. Deze worden in hoofdstuk 4 nader geanalyseerd en vergeleken met de Gelderlandstudie. Ook wordt een relatie gelegd met de normering en worden in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan. Hoofdstuk 5 beschrijft de conclusies van de kwantificering van de wateropgave.

2 Methode, schematisering en gegevens

2.1 Methode

De transformatie van de maatgevende neerslaggebeurtenis naar de berging in het deelstroomgebied en afvoer van het deelstroomgebied wordt in deze studie modelmatig benaderd. Er worden 2 deelsystemen onderscheiden: het detailwaterlopensysteem (ontwateringssysteem) en de hoofdwaterlopen (het afwateringssysteem). Het ontwateringssysteem bepaalt de neerslag-afvoerrelatie voor deelstroomgebieden. De berekende ontwateringsfluxen zijn invoer voor de hoofdwaterlopen. De hoofdwaterlopen transporteren water tussen deelstroomgebieden. De structuur van het afwateringssysteem is vastgelegd.

Het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel is verdeeld in stroomgebieden. De stroomgebieden zijn onderverdeeld in deelstroomgebieden; ieder deelstroomgebied heeft een detailwaterlopensysteem waarvoor de neerslag-afvoerrelatie wordt berekend en een hoofdwaterloop die afwatert in interactie met andere deelstroomgebieden.

2.1.1 Het ontwateringssysteem (de neerslag-afvoerrelatie)

Als neerslagafvoermodel om de waterhuishouding in het ontwateringssysteem te beschrijven wordt gebruikt gemaakt van het hydrologisch model SWAP (Van Dam e.a., 1997). Daartoe zijn binnen ieder deelstroomgebied de oppervlaktes van SWAP-rekeneenheden bepaald. De hydrologische en bodemkundige eigenschappen van de rekeneenheden zijn -met uitzondering van de afvoerrelatie- ontleend aan de Stone-eenheden. STONE is door RIZA, RIVM en Alterra ontwikkeld om op landelijke schaal de belasting van nutriënten op het oppervlaktewater te berekenen. Daartoe is Nederland opgedeeld in cellen van 250 bij 250 m. Deze elementen zijn geassocieerd in ruim 6400 hydrologische eenheden, aangeduid als plots. Een plot komt op meerdere plaatsen voor. De cellen van een plot hoeven niet aan elkaar te grenzen en kunnen verspreid liggen binnen een regio. Per plot zijn de relevante hydrologische eigenschappen vastgesteld (Massop et al, 2000; Finke e.a., 2001). SWAP berekent voor iedere rekeneenheid de bergingsverandering in de bodem, op het maaiveld en in het detailontwateringssysteem, en de ontwateringsfluxen (zie kader Topsysteem STONE). De ontwateringsfluxen per rekeneenheid worden met behulp van de oppervlaktes van de rekeneenheden gesommeerd naar de ontwateringsfluxen per deelstroomgebied.

Topsysteem STONE

Per plot wordt een SWAP-model gedefinieerd dat de waterhuishouding in de bodem niet-stationair simuleert, inclusief de dynamiek van het detailontwateringssysteem. Voor de plots van het landelijk gebied zijn met behulp van hydrologische modellen de randvoorwaarden en invoergegevens berekend die als invoer dienen voor Stone. Er worden vijf drainagesystemen onderscheiden. Het primaire, secundaire en tertiaire systeem zijn afgeleid uit de breedteklassen van waterlopen in het Top10-vector bestand. Hiervoor zijn met het MONA-instrumentarium drainageweerstand berekend, gebaseerd op de formule van De Lange. Voor deze berekening zijn schattingen gemaakt voor de intreeweerstand, het doorlaatvermogen en de verticale weerstand van het topsysteem en zijn slootdichtheden afgeleid uit het Top10-vector bestand. Aan de drie drainagesystemen zijn ontwateringsbases en streefpeilen toegekend op basis van veldonderzoek en expert-judgement door Alterra. Het vierde drainagesysteem wordt gevormd door buisdrainage, waarvoor een bestand is gemaakt op basis van vuistregels. Het vijfde systeem bestaat uit een drainagemiddel nabij het maaiveld. Met het instrumentarium MONA-NAGROM zijn kwel- en wegzijgingsfluxen berekend, die dienen als onderrand voor de hydrologische berekening met SWAP in het topsysteem. Voor het pleistocene gebied is een in de tijd variabele onderrand berekend, op basis van de relatie met de berekende verandering van de grondwateraanvulling. Voor het holocene gebied is deze temporele variatie achterwege gelaten in verband met onzekerheid over de evidentie. Voor de berekening zijn 21 bodemtypen en 4 vormen van landgebruik toegepast, die direct uit de ruimtelijke indeling volgen. Tot slot zijn er kaartbeelden vervaardigd voor gebieden waar berekening en wateraanvoer mogelijk is. Met behulp van het model SWAP zijn vervolgens niet-stationaire berekeningen voor de periode 1971 tot 2000 uitgevoerd, om de waterbalanstermen voor STONE te genereren. Daarnaast is een extra berekening uitgevoerd voor de periode 1978 tot 1986, om de GHG, GLG en de waterbalans te controleren. Met de nieuwe hydrologische schematisatie kunnen uitspraken bij beleidsondersteuning worden gedaan voor regionale gebieden met een gemiddelde omvang van naar schatting 2500 ha. Afhankelijk van de mate van regionale geohydrologische homogeniteit kunnen met de hydrologie uitspraken worden gedaan voor kleinere gebieden (tot minimaal 1000 ha), of moeten uitspraken worden gedaan over grotere gebieden.

Voor de waterbergingsstudie Gelderland is voor elk watersysteem bepaald welke hydrologische Stone-plots daar voorkomen en wat de totale oppervlakte per plot is. Binnen waterschap Rijn en IJssel komen ruim 700 plots voor. Per plot worden het landgebruik, de bodemfysische eigenschappen en de hydrologische eigenschappen die de interactie grondwater-oppervlaktewater bepalen overgenomen van het Stone-databestand. Ook de relatie tussen open waterstand en berging en de relatie met de diepe ondergrond, in de vorm van kwel of wegzijging, zijn uit het STONE-databestand overgenomen.

Voor het stedelijk gebied (bebouwing en industrie) zijn aparte Stone-eenheden gedefinieerd die de volgende situaties modelleren:

- Bestaand en nieuw stedelijk gebied op droge grond (Gt VII). Het verharde deel (40%) is afgekoppeld op het grondwater, het onverharde deel is grasland.
- Bestaand stedelijk gebied op $GT < VII$. Het verharde deel (40%) loost op het rioolstelsel; het onverhard deel is goed gedraineerd grasland.
- Nieuw stedelijk gebied op $GT < VII$. Het verharde deel (40%) is afgekoppeld op het oppervlaktewater; het onverhard deel is goed gedraineerd grasland.

Vervolgens is per watersysteem gedefinieerd hoe de waterstanden in het detailontwateringssysteem reageren op de aanvoer van grondwater of oppervlakteafvoer. Dit moet worden opgegeven in de vorm van een relatie tussen open waterstand en afvoerintensiteit, de zogenoemde $q(h)$ -relatie. In polders is dit de $q(h)$ -relatie van het gemaal; in vrij afwaterende gebieden is dat een stuwformule (voor een kunstwerk) of een Manning-achtige formule (voor een waterloop). In paragraaf 2.3.4 worden de gebruikte $q(h)$ -relaties beschreven.

De berekeningen zijn uitgevoerd met SWAP 2.07d (Van Dam et al., 1997). SWAP berekent voor iedere rekeneenheid de bergingsverandering in de bodem, op het maaiveld en in het detailontwateringssysteem en de ontwateringsfluxen. De ontwateringsfluxen per rekeneenheid worden m.b.v. de oppervlaktes van de rekeneenheden gesommeerd naar de ontwateringsfluxen per deelstroomgebied.

2.1.2 Het afwateringssysteem

Per deelstroomgebied worden voor het uitstroompunt van de hoofdwaterloop de relaties vastgesteld tussen waterstand en afvoer en tussen waterstand en berging. Idealiter zijn deze relaties gemeten maar hier worden relaties gebruikt die ontleend zijn aan de ontwerpcriteria zoals beschreven in het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging, 1988). Daarbij moeten de waterstanden en debieten voldoen aan de gestelde criteria bij halve en hele maatgevende afvoer ($0,5Q$ resp. Q), met de bijbehorende waterstanden normaalwaterpeil en hoogwaterpeil. In hellende gebieden is een extra criterium gedefinieerd bij maximum afvoer ($2Q$) en bijbehorend maximaal waterpeil. Het debiet bij maximaal waterpeil is ongeveer gelijk aan 2 keer de afvoer bij hoogwaterpeil. In dit rapport wordt het debiet behorend bij het maximaal waterpeil '2Q' genoemd en wordt als maximaal waterpeil de waterhoogte gelijk aan maaiveld ('kantje boord') gebruikt. Voor ieder deelstroomgebied wordt gedurende de rekenperiode een waterbalansberekening uitgevoerd met als inkomende posten het ontwateringsdebiet berekend met SWAP en het instromende debiet van bovenstrooms gelegen gebieden, en als uitgaande post de afvoer naar benedenstroomse deelstroomgebieden. De berging is het inkomende debiet (uit SWAP en eventueel uit bovenstroomse gebieden) min het berekende uitgaande debiet. Deze berekeningen zijn in een rekenblad geprogrammeerd. De maximale verandering van de waterhoogte per iteratie is daarbij op 5 cm gezet, waardoor er maximaal binnen 1 uur (met 10 iteraties) een verandering van de waterstand van 50 cm kan optreden. Wanneer de berging groter is dan de berging bij twee maal de maatgevende afvoer is er aanvullende berging nodig. Deze additionele bergingsbehoefte wordt berekend als de benodigde berging gedurende de periode van de maatgevende bui wanneer de berging in het hoofdsysteem begrensd wordt op maaiveld ('kantje boord') en de bijbehorende afvoer begrensd wordt op twee maal de maatgevende afvoer.

2.1.3 Reductie afvoercapaciteit

In de rekenblad-berekeningen wordt per deelstroomgebied het afwaterend oppervlak bepaald. Voor de berekening van de afvoercapaciteit van het deelstroomgebied wordt daarbij opgeteld de oppervlakte van het bovenstrooms gelegen gebied, dat via het betreffende deelstroomgebied afwatert. In deze berekening wordt voor gebieden groter dan 10.000 hectare een reductie op de afvoercapaciteit toegepast, volgens een relatie op blz. 781 van het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging, 1988):

$$Q_{hr} = (a - \beta \log F) Q_h$$

waarbij Q_{hr} is gereduceerde afvoer, F is oppervlakte in ha en Q_h is afvoer voor gebieden kleiner dan 10.000 ha. Indien $F \geq 10.000$ ha zijn waarden voor $a = 1,6$ en $\beta = 0,15$ aangehouden. Deze reductie is ook toegepast voor de bovenstrooms gelegen Duitse stroomgebieden.

2.1.4 Uitgangspunten

Bij deze werkwijze zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er wordt gerekend met een maatgevende bui waarvan de herhalingstijd van de 5-daagse neerslagsom 100 jaar is bij het huidige klimaat.
- De transformatie van neerslag naar afvoer is losgekoppeld van de opslag en doorvoer in de hoofdwaterlopen.
- Een aantal deelstroomgebieden ontvangen water uit Duitsland. Voor de stroomgebieden in Duitsland is geen neerslag-afvoermodeel beschikbaar. Daarom is op basis van de gemeten afvoeren in de periode september 1998 de afvoer zodanig aangepast dat de hoogste dagafvoer overeenkomt met een dagafvoer met een overschrijdingskans van 1/100 jaar.
- Waar nodig is de stremming van de afvoer als gevolg van hoge rivierwaterstanden in de periode september 1998 als randvoorwaarde meegenomen.
- Verondersteld wordt dat de hoofdwaterlopen geen interactie met het grondwatersysteem hebben.
- Neerslag op en verdamping uit de waterlopen blijft buiten beschouwing.

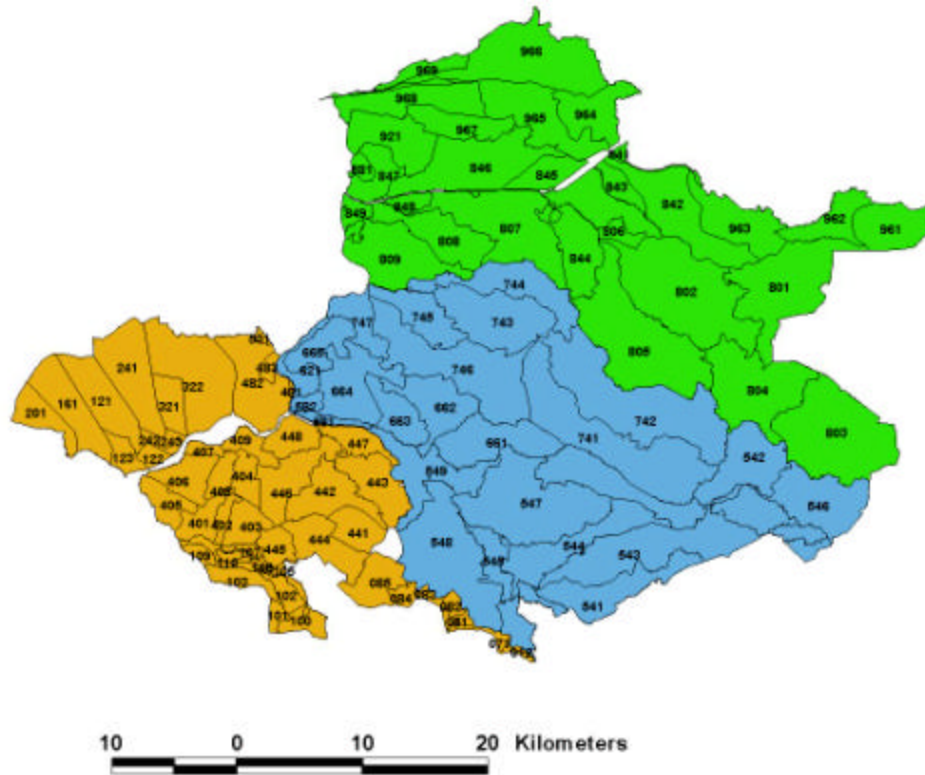
2.2 Schematisering

De deelstroomgebieden waarvan de afvoer en eventuele additionele berging berekend worden zijn in de onderstaande figuur weergegeven. In de figuur is het gehele beheergebied van het waterschap weergegeven. Het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel is onderverdeeld in de afdelingen noord, midden en zuid.

Binnen de deelstroomgebieden zijn STONE-rekeneenheden (250 x 250 m) onderscheiden. De afvoer uit het detailsysteem wordt voor ieder deelgebied bepaald

als de som van de (oppervlaktegewogen) afvoer van de STONE-eenheden binnen een deelgebied.

De relaties tussen de deelstroomgebieden zijn voor de drie verschillende afdelingen in Aanhangsel 1, 2 en 3 opgenomen. In deze aanhangsels zijn per deelstroomgebied de eigenschappen van de hoofdwatersystemen de $Q(h)$ -relatie, het type dwarsprofiel, het stroomgebied waarop het gebied afwatert en de kenmerken van een stuw of gemaal) gegeven.



Figuur 1 De onderscheiden deelstroomgebieden binnen waterschap Rijn en IJssel (Zuid nummers kleiner dan 500; Midden nummers 500 t/m 800, Noord nummers groter dan 800).

Twee situaties vragen extra aandacht bij de schematisering:

1. 'Opgeleide waterlopen', dit zijn hoofdwaterlopen waarop water vanuit het deelstroomgebied via een gemaal wordt uitgeslagen. In deze situatie bepaalt het gemaal de afvoercapaciteit en is het profiel van de bovenstroomse waterloop gebruikt om de berging te bepalen.
2. 'Doorvoerleidingen', dit zijn grote, aan weerszijden van kades voorzien waterlopen die een doorvoerfunctie hebben. Wateroverlast in de deelstroomgebieden ontstaat vaak doordat de hierop afwaterende beken een beperkte berging- en afvoercapaciteit hebben terwijl de afvoercapaciteit van de doorvoerleidingen over het algemeen groot genoeg is. Gebruik van de eigenschappen van de doorvoerleidingen maakt dat in deze deelstroomgebieden niet altijd wateroverlast wordt berekend. Na onderkennen van dit probleem is voor deze situaties de schematisering verfijnd door deze deelstroomgebieden in twee waterloopvakken

te splitsen: de beek waar de afvoer uit het deelstroomgebied op terecht komt (deze is systematisch 'nr-a' genoemd) en de hoofdwaterloop ('nr') waar de instroom vanuit de bovenstreams gelegen deelgebieden en de instroom vanuit 'nr-a' in terecht komen. Voor beide waterlopen worden de afvoer, berging en additionele bergingscapaciteit berekend.

2.3 Gegevens

In tabel 1 zijn, onderscheiden naar de sturende transport- en bergingsprocessen, de benodigde gegevens beschreven.

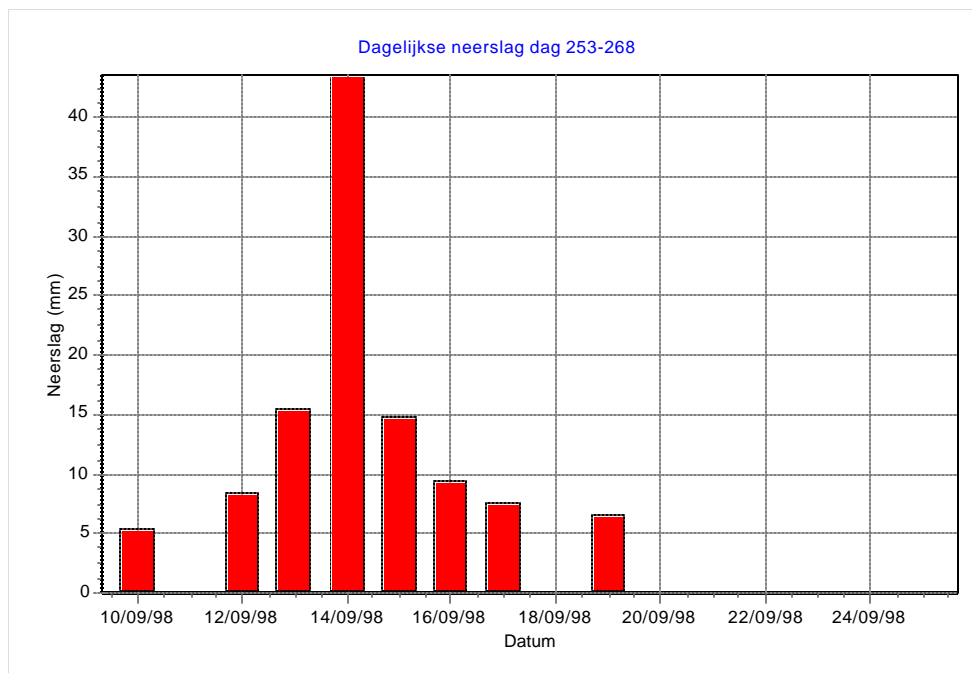
Tabel 1 Benodigde gegevens en bijbehorende bronnen

Proces	Benodigde gegevens	Bron
Neerslag minus verdamping	Gemeten maatgevende neerslagreeks	Gemodificeerde uurwaarden Kootwijkerbroek
Berging in de bodem	Bodemfysische gegevens (pF- en k(h)-relaties)	bodemkaart 1 : 250.000
	Begingrondwaterstand	Grondwatertrappenkaart 1 : 50.000
Berging op het maaiveld (bij grondwaterstanden beneden maaiveld)	Maaiveldshoogtes, maar in deze studie gesteld op maximaal 10 mm	Expertise
Berging in detail ont- en afwateringssysteem	Dichtheid en geometrie kleinere waterlopen	top10-vector plus expertise uit Stone
Afvoer detailafwateringssysteem	Afmetingen/gemaalgegevens kleinere waterlopen en kunstwerken; in deze studie ontleend aan expertisetabel (zie hoofdstuk 3)	Cultuurtechnisch Vademecum, topografie
Berging in hoofdwaterlopen	Dichtheid en geometrie hoofdwaterlopen	legger en expertise
Afvoer hoofdwaterlopen	Afmetingen/gemaalgegevens hoofdwaterlopen en kunstwerken; in deze studie voor niet-bemalen gebieden ontleend aan expertisetabel	Cultuurtechnisch Vademecum, topografie
	IJsselstanden	Rijkswaterstaat
Afvoer uit Duitsland	Meetreeksen van afvoeren bij de grens van grensoverschrijdende hoofdwaterlopen	Archief Rijn en IJssel
Stremming IJssel	Gemaalcapaciteiten, rivierwaterstanden	Archief Rijn en IJssel, Rijkswaterstaat

In de verdere subparagrafen van dit hoofdstuk wordt de herkomst van deze gegevens beschreven.

2.3.1 De maatgevende regenperiode

Als maatgevende neerslaggebeurtenis is in overleg met het waterschap de neerslagreeks met halfuurwaarden van het neerslagstation Kootwijkerbroek voor de extreme periode in het najaar van 1998 (8 september tot en met 31 september) genomen. De bui bij Kootwijkerbroek is echter niet extreem genoeg: de herhalings-tijd van deze neerslagreeks voor het winterhalfjaar (i.c. 88 mm) is ca. 80 jaar. Omdat gezocht wordt naar de zoekruimte bij een maatgevende bui met een herhalingstijd van 100 jaar is op basis van berekeningen van het KNMI de neerslagreeks met een factor 1,33 opgehoogd. De hoeveelheid neerslag voor de maatgevende neerslag-gebeurtenis met een herhalingstijd van 100 jaar bedraagt 117 mm. In Figuur 2 wordt de neerslagverdeling van de dagwaarden over de rekenperiode getoond.



Figuur 2 De neerslagverdeling van de maatgevende neerslaggebeurtenis voor het huidige klimaat.

De laatste dagen van de maatgevende neerslagperiode valt geen neerslag. De periode is verlengd om het grondwatersysteem weer terug te kunnen laten keren naar de begintoestand. Gerekend is voor een periode van 16 dagen (10 sept 1998 – 25 september 1998). Voor de verdamping is een constante waarde van 0,1 mm/d gebruikt.

2.3.2 Begingrondwaterstanden

De hydrologische situatie een het begin van de rekenperiode is sterk bepalend voor vooral de mogelijkheden van berging in de bodem. De initiële grondwaterstand en vochttoestand zijn als volgt bepaald:

1. Voor de waterhuishoudkundige beginsituatie is gebruik gemaakt van de GHG volgens de (niet-geactualiseerde) grondwatertrappenkaart 1 : 50 000 en de

gemiddelden voor de GHG per GT-klasse volgens Van der Sluis (1990) zoals gegeven in tabel 2.

Tabel 2 De bij de GT's behorende GHG's.

Gt	GHG
I	5
II	-7
III	-17
IV	-56
V	-17
VI	-61
VII	-101

2. Daarna zijn SWAP berekeningen voor de plots uitgevoerd waarbij de GHG gedurende 30 dagen constant is gehouden en als bovenrandvoorwaarde een neerslag van 2 mm d^{-1} en een referentieverdamping van 0 mm d^{-1} zijn opgelegd. Het drukhoogteprofiel dat na 30 dagen wordt berekend is gebruikt als initiële vochttoestand.

2.3.3 Berging aan maaiveld en berging boven maaiveld

Voor de maximale 'berging aan maaiveld' (i.e. bij grondwaterstanden beneden maaiveld) is op basis van een serie berekeningen 10 mm aangehouden. Dit is gedaan met behulp van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Met behulp van Digitale Terrein Modellerings technieken is voor een aantal *random* gekozen percelen (bouwland en akkers) bepaald hoeveel water per oppervlakte eenheid geborgen kon worden zonder dat het via oppervlakte-afvoer tot afstroming komt. Hier uit volgden waarden die varieerden tussen 7 en 12 mm. Omdat een gebiedsdekkende 'bergings' berekening zeer veel tijd in beslag neemt is besloten een gemiddelde waarde van 10 mm te gebruiken. Op de stuwwallen in afdeling Noord vindt veel oppervlakkige afstroming plaats. Waarschijnlijk is de infiltratiecapaciteit daar in werkelijkheid kleiner dan gedefinieerd voor de STONE-berekeningen. Hierdoor kan lokaal de snelle instroom over het maaiveld naar het oppervlaktewatersysteem van een deelstroomgebied worden onderschat met als gevolg dat de piekafvoer niet goed wordt weergegeven. Wanneer de afvoergolf snel optreedt kan de piekafvoer worden onderschat, wanneer de afvoergolf traag verloopt kan de piekafvoer worden overschat door niet meenemen van de snelle afvoerprocessen.

In natte situaties kunnen grond- en oppervlaktewaterstanden boven het maaiveld komen, deze *berging boven maaiveld* is in het model niet begrensd. De STONE-eenheden hebben geen ruimtelijke interactie, er vindt geen afstroming over maaiveld plaats naar een andere eenheid. Dit kan aan de voet van de stuwwallen tot afwijkingen leiden. In de Liemers, waar de percelen bol liggen, heeft dit geen effect; de afmetingen van de STONE-eenheden (250x250m) zijn veel groter dan de breedte van de bolle percelen.

2.3.4 Afvoerrelaties detailwatersysteem

In overleg met het waterschap zijn 5 q(h)-relaties vastgesteld voor de verschillende typen deelstroomgebieden. Voor de berekeningen zijn drie q(h)-relaties gebruikt. Tabel 3 beschrijft de gebruikte q(h)-relaties.

Tabel 3 Q(h)-relaties voor de onderscheiden typen

h _s (cm)	Type 1 (mm d ⁻¹)	Type 4 (mm d ⁻¹)	Type 5 (mm d ⁻¹)
mv+100	50	50	50
mv+30		11	
ws +90	16	11	
ws +50	9	11	
ws +20	6	11	
Ws	3	3	
ws -3	0	0	
z _b +50			20
z _b +40			14
z _b +30			8
z _b +20			4
z _b			0

Hierbij is:

- h_s = oppervlaktewaterstand (cm t.o.v mv),
- mv = maaiveld (cm),
- ws = winterstreefpeil (cm t.o.v. mv),
- z_b = diepte sloot (cm t.o.v. mv); z_b < 100 (cm t.o.v. mv)

Ook zijn de taludhellingen en bodembreedtes voor deze typen waterlopen vastgelegd zodat wanneer de lenGte aan de typen waterlopen binnen een rekeneenheid bekend zijn voor iedere waterstand de berging bekend is.

2.3.5 Afvoer- en bergingsrelaties hoofdwaterlopen

Met behulp van de onderstaande formule (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988) is de afvoer per deelstroomgebied bepaald:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2.4(b/n)^{-0.09}}$$

Hierin is Q het debiet (m³.s⁻¹), h de waterdiepte (m), b de bodembreedte (m) en n de talud helling 1:n. Deze laatste drie worden vastgelegd via het opgegeven profiel. Via het profiel en de lenGte van de waterloop is de berging in de waterloop bij iedere waterdiepte vastgelegd.

Met behulp van een bekende afvoer met bijbehorende waterhoogte is de afvoer bij een andere waterhoogte iteratief te bepalen. De bekende afvoer die gebruikt wordt is

twee maal de maatgevende afvoer. Deze heeft een bijbehorende waterhoogte gelijk aan de diepte van de waterloop.

2.3.6 Afvoer uit Duitsland

De berekening van de afvoeren vanuit Duitsland zou idealiter op dezelfde wijze plaatsvinden als de berekening van de afvoeren van de Nederlandse stroomgebieden. Van het Duitse gebied zijn echter geen STONE-eenheden beschikbaar, waardoor er geen berekeningen met SWAP kunnen worden gemaakt. Er is daarom voor gekozen om uit te gaan van de gemeten afvoeren vanuit Duitsland, op de volgende wijze:

- Gebruiken van de gemeten dagafvoeren vanuit Duitsland, voor de periode september 1998. Het verloop van de afvoer komt daarmee overeen met het verloop van de neerslag die in september 1998 is gevallen, i.c. de bui die in het SWAP model voor het Nederlandse stroomgebied is gehanteerd.
- Ophogen van de gemeten dagafvoeren, door deze te vermenigvuldigen met de factor: (max. gemeten dagafvoer 1/100 jaar) / (max. gemeten dagafvoer in sept.1998).

De watergangen met aanvoer uit Duitsland en bijbehorende kentallen staan in Tabel 4. Bij het ontbreken van meetgegevens direct aan de grens is de afvoer berekend door de op meer benedenstrooms gelegen meetpunten gemeten debieten te corrigeren aan de hand van oppervlakteverhoudingen tussen de Duitse afvoergebieden en het totale bovenstroomse afvoergebied. De vertraging van de AA-strang en de Oude IJssel naar de Pol is ruim minder dan 0,5 dag. Van de watergang vanuit Grondstein en de Oude Rijn is de vertraging niet bekend en is geen vertragingcorrectie toegepast.

Tabel 4 Data gebruikt voor bepalen afvoer uit Duitsland

Watergang vanuit Duitsland	Loost op deelstroomgebied nr.	Gebruikt meetpunt	Verhogingsfactor gemeten afvoer in september 1998	Oppervlakte afvoergebied in Duitsland (ha)
Schipbeek	961 (noord)	Reinkstuw	1,95	14.910
Berkel	801 (noord)	Stuw Rekken	1,95	38.175
Groenlose Slinge	803 (noord)	Stuw Rekken	1,95	3.650
Boven-Slinge	546 (midden)	Stuw Stemerdink brugl	1,33	5.735
Aa-strang	541 (midden)	Stuw de Pol	1,85	45.650
Oude IJssel	544 (midden)	Stuw de Pol	1,85	33.120
Watergang vanuit Grondstein	105 (zuid)	Stuw de Pol	1,85	910
Oude Rijn (inclusief grenskanaal)	71 (zuid)	Stuw de Pol	1,85	3.194

2.3.7 Stremming van de afvoer op de IJssel

Bij normale/lage rivierwaterstanden vindt vrije lozing plaats vanuit het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel, op de rivieren Rijn en IJssel. Uitgangspunt is dat de

maximale afvoercapaciteit dan $2Q$ bedraagt (16 mm/dag). Bij stijgende rivierwaterstanden kunnen een aantal hoofdwaterlopen vrij blijven lozen. Langs deze hoofdwaterlopen liggen kaden, waardoor de waterstanden in de waterloop wel gaan stijgen bij hoge rivierwaterstanden, maar de afvoercapaciteit ongeveer $2Q$ blijft. In deze hoofdwaterlopen bevindt zich dan ook geen gemaal. De belangrijkste voorbeelden zijn de Schipbeek, de Berkel en de Oude IJssel. Een aantal benedenstrooms gelegen deelstroomgebieden kan bij hogere rivierwaterstanden niet meer vrij lozen. Vanaf een bepaalde rivierwaterstand vindt vanuit deze deelstroomgebieden lozing plaats via gemalen. De afvoercapaciteit neemt op dat moment (zeer globaal) af van $2Q$ naar $1Q$.

Van alle gemalen die lozen op Rijn of IJssel is geïnventariseerd wat de gemaalcapaciteit is, en bij welke rivierwaterstand het gemaal in werking treedt. Daarnaast zijn bij Rijkswaterstaat de gemeten rivierwaterstanden in de Rijn en de IJssel in de periode september 1998 opgevraagd, per kilometerraai. Vervolgens is per gemaal bepaald op welke dagen in september 1998 geen vrije lozing mogelijk was. Voor deze dagen is in de rekenbladberekeningen de maximale afvoercapaciteit verlaagd van $2Q$ naar de capaciteit van het betreffende gemaal (Tabel 5).

Tabel 5 Gemalen in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel met relevante gegevens.

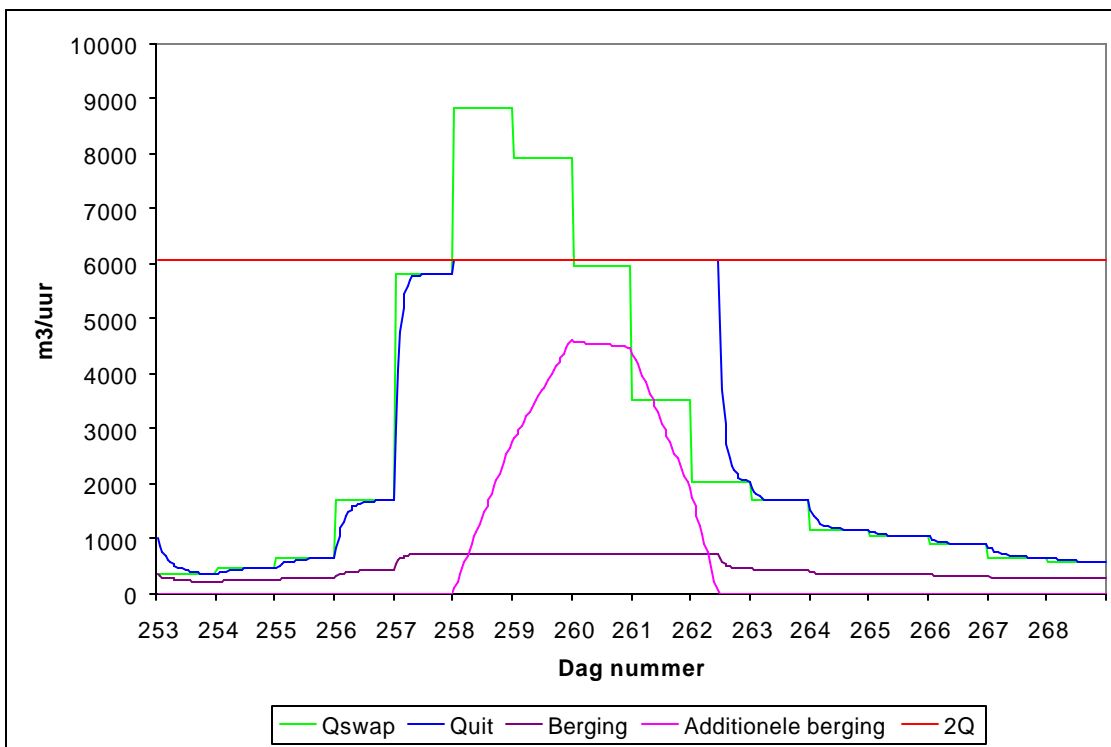
Gemaal	Voert af naar	Rivierkilometer	Rivierwaterstand waarbij gemaal in	Deelstroomgebied
Gemaal Kandia	Pannerdens Kanaal	873	+NAP10.80	110
Broekgemaal	Nederrijn	882	+NAP 9.00	123
Lauwersgrachtgemaal	Nederrijn	883	+NAP 11.30	161
Gemaal De Volharding	IJssel	885	+NAP 9.30	244
Gemaal De Laak	IJssel	889	+NAP 8.70	322
Gemaal Liemers	IJssel	897	+NAP 7.50	409
Gemaal Bevermeer	IJssel	902	+NAP 7.55	448
Gemaal Polbeek	IJssel	931	+NAP 5.00	849
Gemaal Doesburg	IJssel	902	+NAP 8.20	582
Gemaal Grote Beek	IJssel	916	+NAP 5.80	665
Gemaal Baakse Beek	IJssel	921	+NAP 6.20	745
Gemaal Helbergen	IJssel	927	+NAP 5.50	809
Gemaal Eefse Beek	IJssel	931	+NAP 4.70	847
Gemaal Dommerbeek	IJssel	939	+NAP 6.00	921
Gemaal Ter Hunnepe	966/IJssel	942	+NAP 5.00	968

2.4 Rekenmethode afwatering

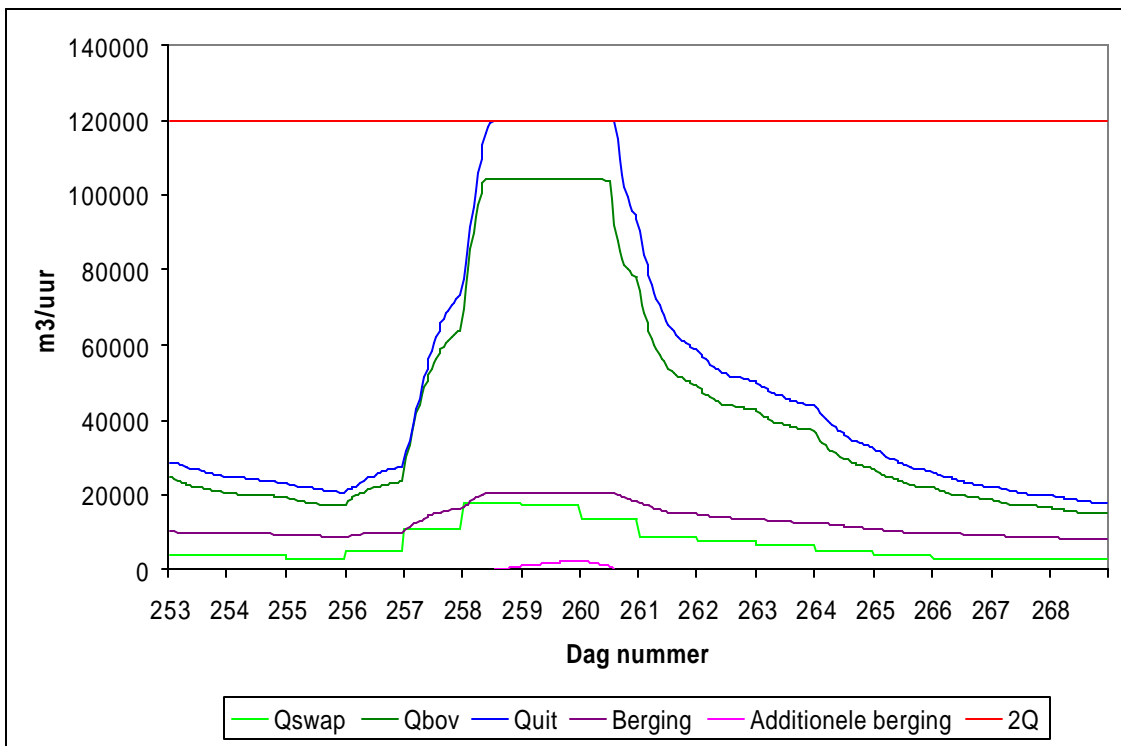
In deze paragraaf worden om de rekenmethode te illustreren drie voorbeelden gegeven van het verloop in de tijd van de balansternen binnen een deelstroomgebied. Om de reactie van het watersysteem zichtbaar te maken is daarbij **niet** de

bergingsverandering in het hoofdsysteem weergegeven (veel kleiner dan de overige balanstermen), maar de berging in het hoofdsysteem.

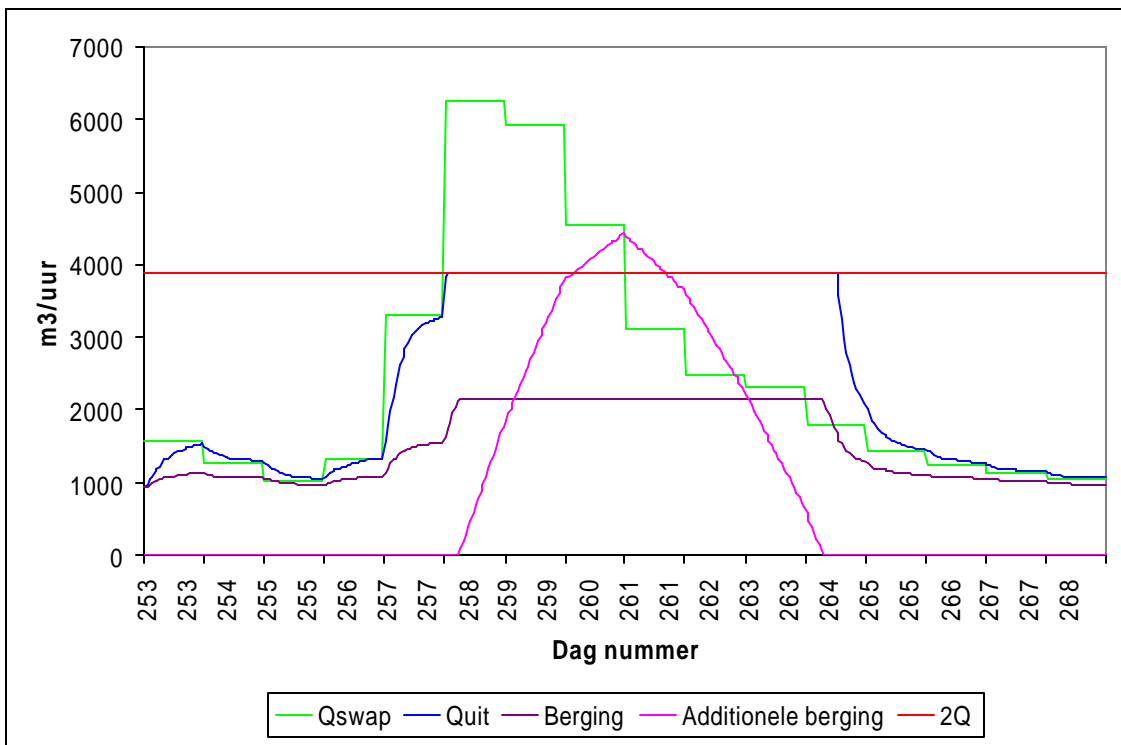
In figuur 3 wordt een voorbeeld gegeven van een deelgebied waar geen instroom is. Het verloop in de tijd van de ontwatering vanuit het gebied zelf (Q_{swap}), de bergingsverandering en de uitgaande afvoer (Q_{uit}) zijn te zien. De ontwatering binnen het deelgebied (Q_{swap}) neemt door de neerslag toe, waardoor de berging en uitgaande afvoer ook toenemen. Ook is de maximale afvoercapaciteit $2Q$ weergegeven. De additionele berging is de totale hoeveelheid water die niet kan worden geborgen of afgevoerd. Deze begint toe te nemen zodra de maximale afvoer en de maximale bergingscapaciteit worden overschreden en daalt zodra de instroom kleiner wordt dan de maximale afvoercapaciteit $2Q$. Het reservoir wordt zodra het kan leeggemaakt om een nieuwe afvoerpiek op te kunnen vangen. De bergingsbehoefte is gelijk aan de maximaal gerealiseerde additionele berging. In deze figuur is de bergingsbehoefte gelijk aan de piek in de additionele berging voordat het reservoir leeg loopt. De afvoer (Q_{uit}) is vanaf dat moment gelijk aan de instroom plus de bergingsverandering plus de leegloop van het reservoir tot het moment dat het reservoir volledig leeg is; daarna is de uitstroom weer ongeveer gelijk aan de instroom.



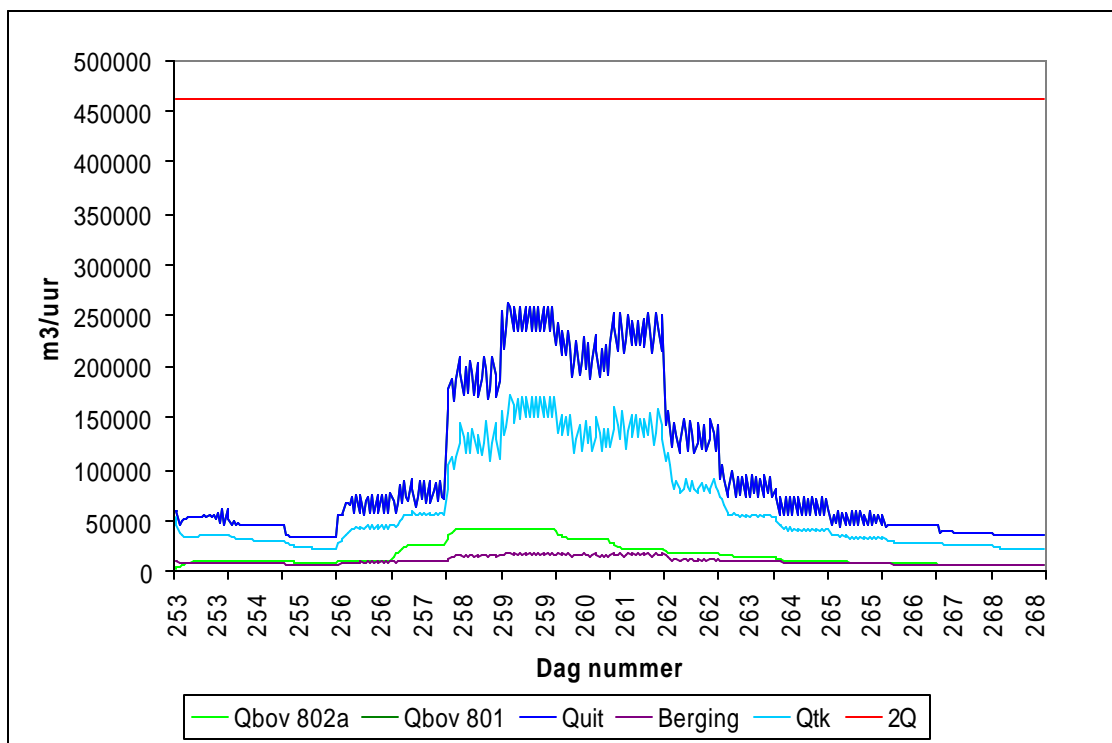
Figuur 3 De debieten (m^3/uur) en de berging (m^3) voor deelstroomgebied 447 zonder instroom (klimaatscenario).



Figuur 4 De debieten (m^3 /uur) en de berging (m^3) voor deelstroomgebied 744 met instroom (huidige situatie).



Figuur 5 De debieten (m^3 /uur) en de berging (m^3) voor deelstroomgebied 847 met een gemaal (huidige situatie)



Figuur 6 De debieten (m^3 /uur) en de berging (m^3) voor deelstroomgebied 802 met een verdeelwerk.

In Figuur 4 komt ook water van bovenstrooms gebied binnen: de afvoer van bovenstrooms (Q_{bov}). Te zien is dat deze in het bovenstroomse gebied al begrensd is op de maximale afvoercapaciteit van het bovenstroomse gebied: de piekafvoer is afgevlakt. De maximale afvoercapaciteit is voor (het benedenstroomse) deelgebied 744 groter dan voor het bovenstroomse deelstroomgebied (de lijn $2Q$ ligt boven de afgevlakte instroomgolf). Dit is correct omdat het afvoerend gebied is toegenomen. De instroom bovenstrooms resulteert samen met de interne afvoer uit het gebied (Q_{swap}) tot een overschrijding van de afvoercapaciteit in dit gebied en er wordt een geringe additionele berging berekend.

In de figuren is ook zichtbaar dat de maximale afvoer- en de maximale bergingscapaciteit op hetzelfde moment worden bereikt. Dat is conform de aannames die aan deze berekeningen ten grondslag liggen.

In figuur 5 wordt de afvoer geregeld door eenemaal. Er is geen instroom. Zodra de interne afvoer Q_{swap} de afvoercapaciteit van hetemaal overschrijdt neemt de berging in de waterlopen toe. De lijn $2Q$, berekend als $2 \times$ de gemaaicapaciteit, is in de figuur weergegeven maar bij aanwezigheid van eenemaal is de gemaaicapaciteit beperkend. Zodra Q_{swap} groter is dan de gemaaicapaciteit ontstaat additionele berging, zodra Q_{swap} kleiner wordt dan de gemaaicapaciteit neemt de additionele berging weer af tot dit reservoir weer leeg is. Gedurende het leegstromen van het additionele bergingsgebied is de uitstroom gelijk aan de gemaaicapaciteit en staan de waterlopen kantje boord. De bergingsbehoefte bij de maatgevende neerslaggebeurtenis is gelijk aan het maximum van de additionele berging.

Figuur 6 demonstreert de werking van een verdeelwerk in een waterloop zonder deelstroomgebied (een transportleiding). Water komt binnen vanuit twee bovenstroomse deelstroomgebieden. Een percentage van de afvoer gaat tot een maximum naar het Twente Kanaal (Q_{tk}). De overige afvoer gaat naar een volgend deelstroomgebied (Q_{it}). $2Q$ is in deze situatie gedefinieerd als de som van de maximale afvoercapaciteiten Q_{it} en Q_{tk} . In dit voorbeeld is er geen bergingsbehoefte. Opvallend in deze figuur zijn de oscillaties. De pieken in de afvoer van de ene waterloop vallen samen met de dalen in de afvoer van de andere waterloop. De waterbalans is kloppend en op dagbasis beschouwd hebben de oscillaties geen invloed. Vandaar dat het rekenschema voor deze situatie niet is aangepast.

2.5 Scenario's

De scenario's moeten inzicht geven in de veranderingen waarmee rekening moet worden gehouden wanneer de klimaatverandering doorzet en in de speelruimte die het waterschap heeft om de piekafvoeren te reduceren.

De volgende scenario's zijn doorgerekend:

1. Huidig klimaat met een maximale afvoercapaciteit gelijk aan $2Q$ in alle waterlopen.
2. Klimaatscenario met 10% meer neerslag in de winter (Middenscenario 2050) en met een maximale afvoercapaciteit gelijk aan $2Q$ in alle waterlopen. De toename van de neerslag is gerealiseerd door de neerslagen van de maatgevende neerslaggebeurtenis met een factor 1,1 te verhogen. De neerslag tijdens de maatgevende neerslagperiode bedraagt voor het klimaatscenario 128 mm. De afvoer uit Duitsland is gelijk gehouden.
3. Klimaatscenario volgens scenario 2 en een maximale afvoercapaciteit van $1.5Q$ in de **hoofdwaterlopen**. Bij dit 'reductie-scenario' zijn de $Q(h)$ -relaties van de **hoofdwaterlopen** met 0.75 vermenigvuldigd, de bergingsrelaties zijn niet aangepast.
4. Klimaatscenario volgens scenario 2 in combinatie met een maximale afvoercapaciteit van $1.5Q$ voor **alle waterlopen**. Bij dit 'reductie-scenario' zijn de afvoeren van **alle waterlopen** met 0.75 vermenigvuldigd. De bergingsrelaties zijn niet veranderd.

Het derde scenario is toegevoegd om de effecten van knijpen in het hoofdsysteem en vasthouden in het detailsysteem afzonderlijk zichtbaar te maken. De scenario's zijn daardoor zo gedefinieerd dat door vergelijken van de scenario's inzicht wordt verkregen in singuliere ingrepen:

- Het effect van een klimaatverandering op de verandering in benodigde additionele berging op het maaiveld (verandering scenario 2 tov scenario 1).
- Het effect van beperken van de afvoer uit de deelstroomgebieden via het hoofdsysteem middels bergen in de hoofdwaterlopen op de verandering in benodigde additionele berging op het maaiveld. (verschil tussen scenario 3 en scenario 2).

- Het effect van beperken van de afvoer uit de deelstroomgebieden door vasthouden in de bodem en 'bergen' in het detailsysteem op de verandering in benodigde additionele berging op het maaiveld (scenario 4 minus scenario 3).

De gemaalcapaciteiten blijven in alle scenario's gelijk en zijn in de scenario's 3 en 4 niet aangepast.

3 Resultaten

3.1 Balansen van de afdelingen

Vasthouden bestaat uit bergen op het maaiveld, berging in de bodem en berging in het detailwaterlopendsysteem. Deze drie balanstermen zijn gekwantificeerd met SWAP. De berging in de hoofdwaterlopen, de bergingsbehoefte (inundatie vanuit de hoofdwaterlopen bij begrensde afvoercapaciteit) en de afvoer volgen uit de waterbalansberekeningen voor de hoofdwaterlopen.

De rekenperiode blijkt lang genoeg voor het systeem om de neerslaggebeurtenis te verwerken, de bergingsverandering in het hoofdwaterlopendsysteem over de totale rekenperiode blijkt verwaarloosbaar klein (grootte orde tiende millimeters).

3.1.1 Resultaten neerslag-afvoer

In tabel 5 worden per afdeling de verschillende bergingstermen voor de scenario's gegeven. Deze zijn bepaald als de som van de binnen de betreffende afdeling gelegen deelstroomgebieden. De grootheden zijn de op enig moment binnen de rekenperiode gerealiseerde maximale berging, en de totale afvoer over de rekenperiode. Om de afdelingen met elkaar te kunnen vergelijken zijn de resultaten gegeven in millimeters.

De resultaten zijn voor de drie afdelingen van een vergelijkbare orde van grootte maar zijn niet gelijk. De verschillen worden veroorzaakt door de gebiedseigenschappen van de drie afdelingen. De maximale berging in de bodem is voor afdeling zuid het grootst en mede daardoor is de berging aan maaiveld voor deze afdeling het kleinst. In Zuid zijn de initiële grondwaterstanden dieper waardoor meer water in de bodem kan worden geborgen en er minder water aan maaiveld komt (aanslag 20 t/m 22). Bij diepere initiële grondwaterstanden in de bodem wordt meer water vastgehouden waardoor de resulterende afvoer lager is dan voor de andere gebieden. De berging in het detailsysteem is het kleinst voor afdeling Noord en het grootst voor afdeling Zuid. De totale afvoer uit Zuid bedraagt ongeveer 2/3 van de afvoer uit Noord en Midden. Dat betekent dat in Zuid het watersysteem trager op neerslag reageert en dat de grondwaterstanden in Zuid aan het eind van de rekenperiode niet zijn uitgezakt naar de initiële situatie.

Dezelfde neerslag-afvoerberekeningen zijn gebruikt voor zowel het klimaatscenario als het klimaat plus een begrenzing tot 1,5Q in de hoofdwaterlopen. Er zijn geen veranderingen aangebracht en er is geen terugkoppeling vanuit het hoofdsysteem.

Tabel 6 Overzicht van de resultaten van de SWAP berekeningen per afdeling

	Oppervlak [m2]	Totale neerslag [mm]	Maximale berging bodem [mm]	Maximale berging maaiveld [mm]	Maximale berging detailsysteem [mm]	Totale afvoer detailsysteem [mm]
Huidig klimaat						
Noord	748074661	117.00	42.28	17.67	2.99	98.37
Midden	738841785	117.00	44.01	18.19	3.48	96.16
Zuid	413668198	117.00	57.03	12.20	3.84	67.50

Klimaatscenario						
Noord	748074661	128.70	45.05	20.32	3.45	108.09
Midden	738841785	128.70	46.41	20.91	3.48	105.91
Zuid	413668198	128.70	60.35	14.22	3.87	74.78

Klimaatscenario plus 1.5Q in hoofdwaterlopen						
Noord	748074661	128.70	45.05	20.32	3.45	108.09
Midden	738841785	128.70	46.41	20.91	3.48	105.91
Zuid	413668198	128.70	60.35	14.22	3.87	74.78

Klimaatscenario plus 1.5Q in hoofd- en detailwaterlopen						
Noord	748074661	128.70	45.76	21.02	3.73	108.47
Midden	738841785	128.70	47.90	21.81	3.80	105.28
Zuid	413668198	128.70	61.37	15.25	4.48	74.75

Het klimaatscenario (10% meer neerslag, i.e. 11,7 mm) resulteert voor Noord en Midden in een toename van de afvoer met ongeveer 10 mm, in Zuid neemt de afvoer met ongeveer 7 mm toe. De berging in het grondwater en aan maaiveld vangen een deel van de extra neerslag hoeveelheid tijdelijk op, beide worden groter. De toename van de neerslag komt niet volledig tot afvoer; de grondwaterstand is in de rekenperiode niet teruggezakt naar de initiële situatie. De fluxen naar het grondwater zijn niet toegenomen omdat deze voor de STONE-berekeningen als randvoorwaarde zijn opgelegd. Een gemengde randvoorwaarde maakt dat deze fluxen kunnen veranderen bij veranderingen in de grondwaterstand. De fout die hiermee wordt gemaakt bedraagt maximaal enkele mm tijdens de rekenperiode (verandering fluxen door verandering in grondwaterstanden van maximaal enkele tiende mm per dag).

Het scenario knippen van de afvoer in de hoofdwaterlopen heeft geen effect op de bergingshoeveelheden in het detailsysteem; de terugkoppeling ontbreekt door de gevolgde werkwijze.

Verkleinen van de maximale afvoercapaciteit in het detailsysteem leidt tot een toename van de bodemberging, de berging aan maaiveld en de berging in het detailsysteem. Door de afname van de afvoercapaciteit met een kwart neemt de afvoer binnen de rekenperiode nauwelijks af. Dat betekent dat de afvoer uit het detailsysteem door vasthouden over een langere periode wordt gespreid en afgevlakt. De piekbelasting op het hoofdsysteem neemt af en de bergingsbehoefte zal afnemen.

3.1.2 Resultaten afwatering

De rekenbladberekeningen voor de hoofdwaterlopen beschrijven het gedrag van het hoofdsysteem. De inkomende fluxen (uit bovenstroomse deelgebied(en) en de ontwateringsflux uit het eigen deelstroomgebied) resulteren in een berging en in een afvoer. De afvoer kan niet groter worden dan het opgelegde maximale debiet (2Q in de huidige situatie), de berging is dan maximaal (kantje boord). De som van de niet afgevoerde afvoerhoeveelheden uit de deelgebieden (afvoeren groter dan 2Q in de huidige situatie) tijdens de rekenperiode heet de additionele bergingsbehoefte. Deze additionele bergingsbehoefte wordt binnen het deelgebied gezocht, de afvoeren uit een deelgebied zijn nooit groter dan het opgelegde maximale debiet.

Tabel 7 Waterbalanstermen en maximale berging van de hoofdwaterlopen per afdeling (mm voor oppervlak van de afdeling).

	Totale afvoer detail ontwatering [mm]	Totale afvoer uit Duitsland (mm)	Totale bergingsverandering in hoofdsysteem (mm)	Afvoer naar IJS, TK, PK, NR	Balansfout	Maximale berging hoofdwaterlopen	Additional e bergings behoefte
Huidig klimaat							
Noord	98.37	70.63	-0.04	168.97	0.00	5.95	2.53
Midden	96.16	109.96	0.89	207.01	0.00	4.02	4.07
Zuid	67.50	4.73	0.95	73.18	0.00	2.92	1.57

Klimaatscenario							
Noord	108.09	70.63	-0.44	178.28	0.00	6.85	5.93
Midden	105.91	109.96	0.83	216.70	0.00	4.02	7.26
Zuid	74.78	4.73	0.92	80.42	0.00	2.94	2.73

Klimaatscenario plus 1.5Q in hoofdwaterlopen							
noord	108.09	70.63	-0.24	178.49	0.00	7.22	21.68
midden	105.91	109.96	0.34	216.21	0.00	4.04	20.80
zuid	74.78	4.73	0.62	80.13	0.00	3.01	5.91

Klimaatscenario plus 1.5Q in hoofd- en detailwaterlopen							
noord	108.47	70.63	-0.37	178.73	0.00	7.27	18.64
midden	105.28	109.96	0.31	215.55	0.00	4.03	16.17
zuid	74.75	4.73	0.58	80.05	0.00	3.00	3.11

In tabel 7 worden per afdeling de waterbalans voor het hoofdsysteem gegeven. De afvoer uit SWAP en uit Duitsland plus de bergingsverandering tijdens de rekenperiode is gelijk aan de uitgaande afvoer naar de IJssel, Twentekanaal, Pannerdensch kanaal, en Neder-Rijn. De balansfouten zijn altijd nul. Ook worden de maximaal opgetreden berging in het hoofdsysteem en de benodigde bergingsbehoefte tijdens de rekenperiode gegeven.

De additionele bergingsbehoefte is in de huidige situatie klein (2 tot 4 mm). Dat is overeenkomstig het verwachtingspatroon: de waterlopen zijn gedimensioneerd mbv de criteria uit het Cultuurtechnische Vademecum (1988), het maximaal waterpeil (bij 2Q) wordt 1 dag per 100 jaar overschreden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor dezelfde criteria. De berekende additionele bergingsbehoefte is een indicatie voor de betrouwbaarheid van de berekeningen. Bekend is dat in 1998 bij lagere neerslaghoeveelheden inundaties zijn opgetreden, er moet dus een bergingsbehoefte worden berekend. De bergingsbehoefte is in de huidige situatie het grootst voor afdeling Midden (ruim 4 mm). In afdeling Zuid is de additionele bergingsbehoefte het kleinst. Voor afdeling Zuid zijn de berekende debieten van zowel aan- als afvoertermen veel kleiner, factor 2 tot 3 dan voor de afdelingen Midden en Noord. De geringe bergingsverandering over de rekenperiode geeft aan dat het hoofdsysteem aan het eind van de rekenperiode weer ongeveer terug is op de uitgangssituatie.

In het klimaatscenario is de afvoer uit de stroomgebieden met 7 tot 10 mm toegenomen. De afvoer uit Duitsland is daarbij gelijk gehouden. De totale afvoeren in de rekenperiode nemen logischerwijs in vergelijkbare mate toe (de bergingsverandering is immers klein). Door de toename van de afvoer neemt de bergingsbehoefte toe; de afvoercapaciteit is niet meer toereikend om al het water af te voeren en wordt meer en in meer stroomgebieden overschreden.

In het scenario knippen van de afvoer in het hoofdsysteem tot 1,5Q zijn de fluxen vanuit het detailsysteem dezelfde als bij het klimaatscenario. De reductie van de afvoercapaciteit vindt immers alleen plaats in de hoofdwaterlopen. Als reactie op deze ingreep in de afwatering neemt de bergingsbehoefte sterk toe. De mogelijkheden voor extra berging in het hoofdwaterlopensysteem zijn beperkt. Omdat de afvoercapaciteit scherper is begrensd moet het water binnen de deelstroomgebieden worden geborgen. Omdat er geen terugkoppeling is naar het detailsysteem moet dat volledig via de additionele berging worden gerealiseerd. Wanneer in bovenstroomse deelstroomgebieden de bergingsbehoefte toeneemt en de piekafvoer wordt gereduceerd, leidt dat tot een kleinere instroom in benedenstroomse deelgebieden zodat daar ook afnames in de bergingsbehoefte kunnen ontstaan. Dat betekent dat bij het zoeken naar locaties om de bergingsbehoefte te realiseren je deze niet altijd binnen een deelgebied hoeft te zoeken maar dat je er ook voor kunt kiezen bovenstrooms meer te bergen en minder af te voeren (afwenteling benedenstrooms reduceren).

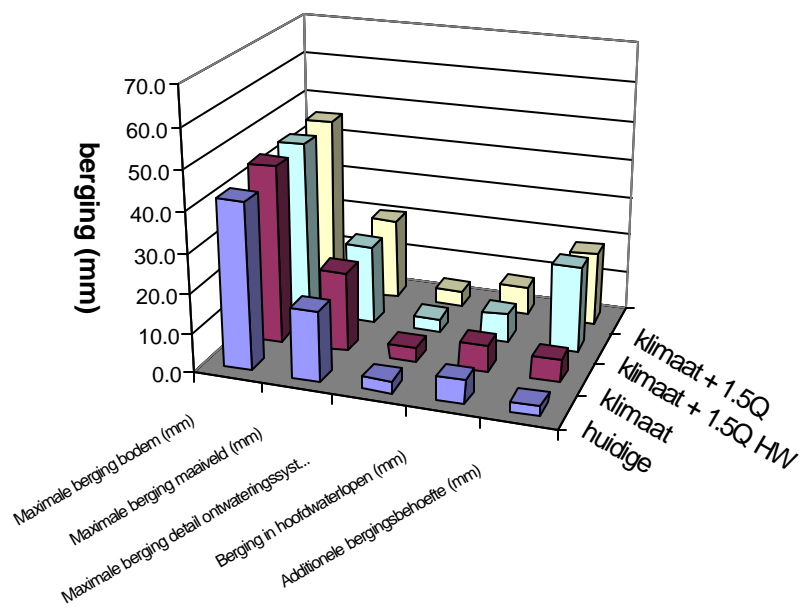
Wanneer ook het ontwateringssysteem wordt begrensd op 1,5Q wordt meer water binnen het deelgebied vastgehouden (tabel 3), de totale hoeveelheid die binnen de rekenperiode tot afvoer komt verandert nauwelijks. Omdat meer water wordt vastgehouden in het detailsysteem neemt de benodigde additionele berging ten opzichte van scenario 3 af.

3.2 De bergingsbehoefte voor de deelstroomgebieden

De tabellen met de resultaten per deelstroomgebied, waar tabel 5 en tabel 6 op zijn gebaseerd, zijn opgenomen in Aanhangsels 5 t/m 6. In deze tabellen worden de hoeveelheden maximale berging in de bodem, op maaiveld, in de waterlopen, de maximale afvoer en het percentage van de maximale afvoer ten opzichte van $2Q$ en de additionele bergingsbehoefte gegeven per deelstroomgebied. De bergingsbehoefte in de deelstroomgebieden is ruimtelijk gevisualiseerd in de aanhangsels 17, 18 en 19.

3.2.1 Afdeling Noord

Voor het huidig klimaat is de maximale berging in bodem, op het maaiveld en in het detailontwateringssysteem ('vasthouden') ca. 63 mm (figuur 7). De berging in het hoofdwaterlopiensysteem ('bergen') is met 5,3 mm meer dan een factor 10 kleiner. De additionele bergingsbehoefte is voor het gehele gebied 'slechts' 2,4 mm. De additionele bergingsbehoefte is daarmee kleiner dan de hoeveelheid water die in het detailsysteem maximaal aan maaiveld wordt vastgehouden: 17,7 mm. De hoeveelheid berging aan maaiveld in het detailsysteem wordt gestuurd door de $q(h)$ -relaties voor dit systeem. Deze $q(h)$ -relaties bepalen in sterke mate de verdeling tussen vasthouden en afvoeren en daarmee de additionele bergingsbehoefte.



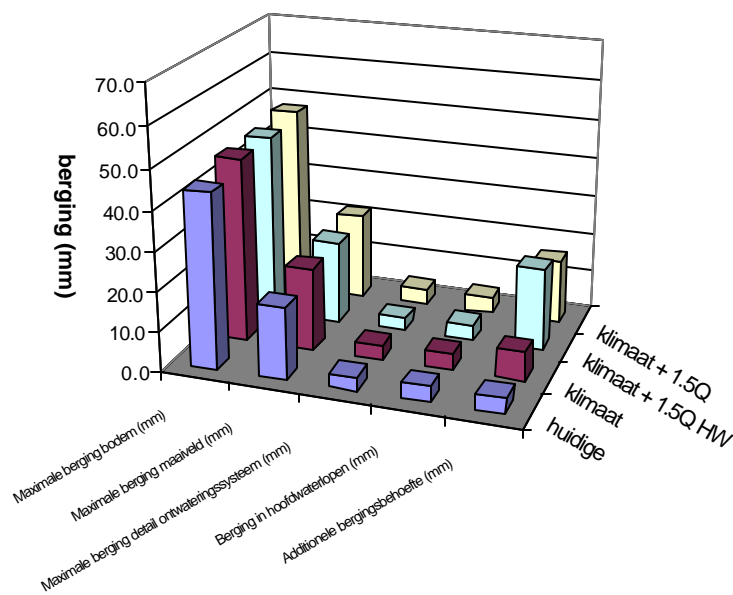
Figuur 7 De verschillende bergingstermen in de afdeling Noord voor de 4 scenario's.

In het scenario klimaat wordt vooral meer water vastgehouden (ca. 68 mm); de maximale berging in de hoofdwaterlopen wordt nauwelijks groter (5,9 mm), in de huidige situatie is voor een aanzienlijk aantal deelstroomgebieden de maximale berging in het hoofdsysteem al (bijna) bereikt. De additionele bergingsbehoefte verdubbelt bijna naar 4,5 mm. Wanneer daarbij de afvoer in de hoofdwaterlopen

wordt gereduceerd tot 1,5Q neemt de additionele bergingsbehoefte sterk toe naar 18,5 mm. Meer vasthouden door begrenzen van de afvoercapaciteit in het detailsysteem doet de bergingsbehoefte weer enigszins afnemen tot 16,6 mm. De capaciteit voor vasthouden blijkt bij een toename van de neerslag (scenario klimaat) in dit gebied beperkt omdat de hoeveelheid berging in de bodem al grotendeels benut is, de grond- en oppervlaktewaterstanden stijgen verder tot boven maaiveld.

3.2.2 Afdeling Midden

De berging bij de bron (figuur 8) heeft voor afdeling Midden hetzelfde waardebereik als in afdeling Noord (66 mm), de berging in het hoofdsysteem is kleiner (3,1 mm) waardoor de bergingsbehoefte groter is (4,1 mm). De bergingscapaciteit van het hoofdsysteem blijft in de overige scenario's gelijk en lijkt daarmee in de huidige situatie al volledig te zijn benut. Het klimaat scenario leidt tot een additionele bergingsbehoefte van 6,9 mm. Knijpen in de hoofdwaterlopen resulteert in een additionele berging van 20 mm, minder water afvoeren door aanvullend reduceren van de afvoer uit het detailsysteem doet deze bergingsbehoefte afnemen tot 16,7 mm. Het effect van vasthouden door begrenzen van de afvoer uit het detailsysteem is in Midden effectiever dan in Noord omdat in Midden nog 1,5 mm extra in de bodem wordt geborgen.

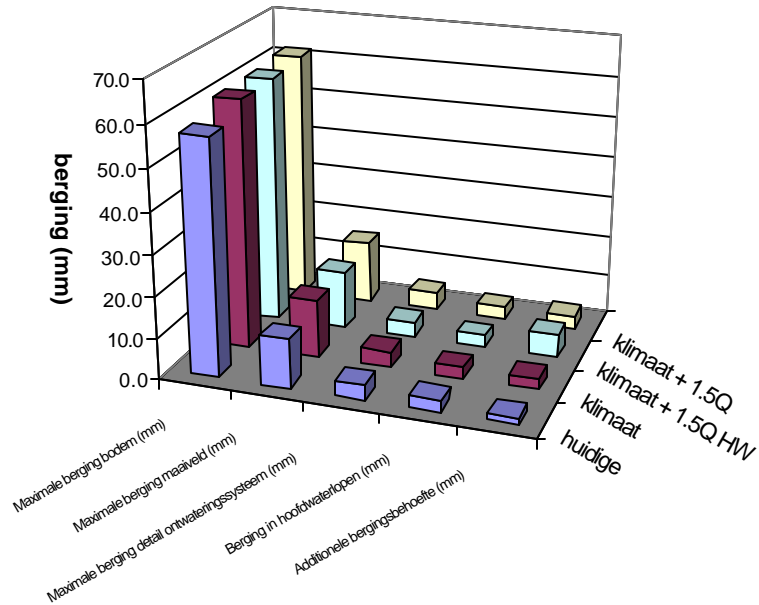


Figuur 8 De verschillende bergingstermen in de afdeling Midden voor de 4 scenario's.

3.2.3 Afdeling Zuid

In het huidig klimaat is de berging in de bodem relatief groot ten opzichte van de gebieden Noord en Midden (figuur 9). Daardoor wordt bij de maatgevende bui minder water geborgen op het maaiveld, wordt beduidend minder water afgevoerd

naar het hoofdsysteem (67 mm in Zuid versus 98 en 96 mm in Noord en Midden), en is de additionele bergingsbehoefte gering (1,3 mm). De berging in het detailsysteem neemt toe van 73 mm in de huidige situatie tot 81 mm voor het scenario klimaat en reduceren van de afvoer in alle waterlopen. De extra neerslaghoeveelheid van 11,7 mm kan grotendeels in het detailsysteem worden vastgehouden. De additionele bergingsbehoefte neemt in afdeling Zuid dan ook veel minder toe dan in de afdelingen Noord en Midden. De berging in de hoofdwaterlopen kan nauwelijks toenemen en is qua orde van grootte vergelijkbaar met de bergingscapaciteit van dit systeem in afdeling Midden.



Figuur 9 De verschillende bergingstermen in de afdeling Zuid voor de 4 scenario's.

Voor de deelstroomgebieden 122, 123 en 243 in de afdeling Zuid ontstaat ook in de 1,5Q scenario's geen bergingsbehoefte. Dat is niet conform de verwachting van het waterschap. In de bestaande situatie doet zich hier wel eens wateroverlast voor. Deze deelstroomgebieden bestaan uit hooggelegen delen van de Veluwezoom, uit stedelijk gebied aan de voet van deze stuwwal, en uit uiterwaarden langs de IJssel. De deelstroomgebieden zijn te groot om deze verschillen in gebiedseigenschappen binnen deze deelstroomgebieden te kunnen weergeven. Om deze verschillen zichtbaar te maken moet de schematisering worden aangepast, i.e. moeten de deelstroomgebieden worden opgesplitst.

3.2.4 Verschillen tussen de afdelingen

De resultaten voor de afdelingen laten zien dat de systemen binnen de deelgebieden niet hetzelfde reageren:

- afdeling Noord heeft een bergingscapaciteit in het detailsysteem die in de huidige situatie al grotendeels is benut en heeft een grote bergingscapaciteit in het hoofdsysteem;
- afdeling Midden heeft een iets grotere capaciteit in het detailsysteem maar heeft een beperkte capaciteit in het hoofdsysteem;
- afdeling Zuid heeft een veel grotere mogelijkheden voor vasthouden en heeft een beperkte bergingscapaciteit in het hoofdsysteem. Aanhangsel 20 laat zien dat er grote verschillen bestaan in bergingscapaciteit binnen afdeling Zuid. Naast een relatief natte uitgangssituatie in de Liemers en aan de westkant van de IJssel vormen de Veluwe en het Montferland zeer droge zones met een grote bergingscapaciteit.

4 Discussie

4.1 De methode

De methode beschrijft twee deelsystemen zonder terugkoppeling; het detailsysteem (ontwatering en lokale afwatering) dat lokaal als STONE-eenheden wordt doorgerekend en waarbij geen interacties via oppervlakkige afstroming en grondwater zijn gemodelleerd, en het hoofdsysteem (regionale afwatering) waar de samenhang tussen de deelstroomgebieden wordt gesimuleerd. Anders gezegd bestaat de methode uit een rekenkern vasthouden en een rekenkern bergen/afvoeren. De verdeling tussen vasthouden en bergen/afvoeren wordt gestuurd door het rekendeel vasthouden. Met name voor het scenario knippen van de afvoer in de hoofdwaterlopen (maar datzelfde geldt natuurlijk ook voor het scenario knippen in alle waterlopen) leidt het ontbreken van de terugkoppeling tot minder realistische resultaten: er is zelfs geen enkel effect op de bergingshoeveelheden in het detailsysteem. Hier wordt een probleem rond het onderscheiden van berging aan maaiveld in het detailsysteem en de bergingsbehoefte voor berging aan maaiveld vanuit het hoofdsysteem, en daarmee van het onderscheid tussen vasthouden en bergen, zichtbaar. Door de $Q(h)$ -relaties in ont- en afwateringssysteem op elkaar af te stemmen is geprobeerd hier op een doordachte wijze rekening mee te houden.

De STONE-hydrologie is niet ontwikkeld voor en is derhalve niet getoetst op extreem natte situaties. Het daarvoor gebruikte model (SWAP) kan het systeemgedrag in deze situaties goed beschrijven. De daartoe benodigde invoergegevens en met name de schematisering hoeven niet zondermeer geschikt te zijn. Toetsen aan gemeten afvoeren voor extreme neerslaggebeurtenissen is gewenst.

De neerslag wordt in SWAP als halfuurwaarden ingevoerd, de resultaten van SWAP zijn op dagbasis. Om de reacties van het systeem beter te beschrijven is het voor de toepassing van SWAP als neerslag-afvoermodel gewenst deze inconsistentie in tijdstapgrootte voor in- en uitvoer in SWAP op te heffen.

De gehanteerde methodiek lijkt voor stedelijk gebied een onderschatting van de wateroverlastproblematiek te geven. Dit geldt bijvoorbeeld voor het stedelijk gebied van Arnhem in de zone vlak langs IJssel en Nederrijn, en de kernen in de Liemers. Wateroverlast kan hier al ontstaan als de waterlopen nog (lang) niet “kantje boord” staan. Ook kunnen problemen ontstaan bij hoge rivierwaterstanden. Problemen hierbij zijn de schematisering (grote deelstroomgebieden versus vaak lokaal stedelijk gebied), de voorafgaand aan de studie in overleg met de begeleidingscommissie gemaakte aanname dat wateroverlast optreedt bij kantje boord, en dat beïnvloeding door de rivierstanden is berekend voor de situatie in 1998.

Een ander voorbeeld betreft het stroomgebied dat afwatert via de Polbeek (noordelijk deel van Zutphen). Dit stroomgebied bestaat voor circa 60% uit verhard terrein en kan daardoor hogere afvoerpieken genereren dan berekend in deze studie

(standaard uitgegaan van 40% verhard gebied binnen stedelijk gebied). Zoals bekend zijn voor stedelijk gebied juist kortdurende extreme buien maatgevend voor het ontstaan van “water op straat”. De voor deze studie gehanteerde bui van 5 dagen kan daarom een onderschatting geven van de wateroverlast in stedelijk gebied.

Vanwege de grote belangen in stedelijk gebied is het uitvoeren van een gedetailleerdere studie gericht op de wateroverlast in stedelijk gebied op zijn plaats.

Deelstroomgebieden kunnen via het afwateringsstelsel alleen afvoeren naar benedenstrooms gelegen deelstroomgebieden (of rivieren). Dat betekent dat er geen terugstuwning wordt berekend (beïnvloeding van een bovenstrooms gelegen deelstroomgebied door een direct benedenstrooms gelegen deelstroomgebied).

Toepassen van het instrument voor deelstroomgebieden waar tijdens een extreme bui (b.v. najaar 1998) de afvoeren adequaat zijn gemeten is gewenst om in te kunnen schatten hoe goed het systeemgedrag in extreem natte situaties met de hier toegepaste methode wordt beschreven.

4.2 De gegevens

Gebruik van niet-adequate data kan resulteren in een niet correcte bergingsbehoefte. Om de rekenresultaten te kunnen interpreteren moet nadere aandacht worden gegeven aan de invoergegevens. In deze paragraaf wordt voor de gegevens aangegeven wat de onzekerheden zijn en hoe deze door kunnen werken op de berekende bergingsbehoefte.

4.2.1 De neerslaggebeurtenis

Gerekend is voor een maatgevende neerslaggebeurtenis waarvan is aangenomen dat deze een herhalingstijd van 100 jaar heeft. Voor het klimaatscenario is de hoeveelheid neerslag met 10% vergroot. De geringe verandering in de bergingstermen voor het klimaatscenario tov de huidige situatie geeft aan dat de berekende additionele bergingsbehoefte gevoelig is voor de hoeveelheid neerslag. Een verdere toename van de neerslag leidt tot een nagenoeg gelijke toename van de bergingsbehoefte.

4.2.2 Berging in de bodem

De GHG is bepaald mbv de oude GT-kaart en de daarbij behorende gemiddelde GHG per GT-klasse. In de Landelijke Steekproef Kartering is statistisch een verandering in GHG aangetoond voor de GT-vlakken (Tabel 8)

Tabel 8 GHG en GLG per GT-klasse, en op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden afgeleide waarden voor Utrecht/Gelderland en Oost-Gelderland.

Gt	GHG (cm-mv)			GLG (cm-mv)		
	Sluys	Utr/Geld	Oost-Geld	Sluys	Utr/Geld	Oost-Geld
I	-5	24		38	67	
II + Iib	7 + 32	29		66 + 67	88	
III + IIIb	17 + 32	53	56	103 + 102	126	134
IV	56	49	58	104	129	137
V + Vb	17 + 32	59	73	135 + 142	157	168
VI	61	70	76	155	173	184
VII + VIII	101 + 185	160	160	190 + 281	230	216

De LSK-waarden zijn voor alle GT's dieper (er is verdroging opgetreden), voor sommige GT's ligt de LSK-waarde buiten het traject van de GT (de GT is veranderd c.q. de GT-kaart is verouderd). Omdat het aantal LSK-waarnemingen beperkt is, is het raadzaam uit te gaan van de waarden voor het totale Utrechts/Geldersche reconstructiegebied. De GT's VII en VIII op de stuwwallen hebben veel diepere grondwaterstanden (> 300 cm-mv) en dienen daarom anders te worden benaderd.

Niet toepassen van de LSK-correctie leidt tot een nattere situatie en daarmee tot een onderschatting van de bodemberging en tot een overschatting van de bergingsbehoefte en mogelijk ook de afvoeren uit het hoofdsysteem. Een daling van de initiële grondwaterstanden met 20 tot 40 cm kan bij ondiepe grondwaterstanden resulteren in een verdubbeling van de bergingscapaciteit in de bodem met grote gevolgen voor de afvoer en bergingsbehoefte. Naarmate de grondwaterstanden dieper zijn zal het effect van een daling van de grondwaterstanden kleiner zijn.

Voor STONE is gerekend met de bodemfysische parameters volgens de Staringreeks. De Staringreeks bevat uitdrogingscurven, zodat een overschatting van de vochtgehalten in de bodem en daarmee een overschatting van de bergingscapaciteit in de bodem het gevolg kan zijn. Afhankelijk van het type bodem en de grondwaterdynamiek kunnen hierdoor overschattingen van de berging in de bodem van zo'n 20% ontstaan. De overschattingen zullen met name groot zijn in situaties met diepe grondwaterstanden.

De effecten van de uitdrogingscurven en de initiële grondwaterstanden werken tegengesteld, welk effect groter is bepaalt de verandering in bergingscapaciteit. In hoeverre deze effecten elkaar compenseren kan niet goed worden aangegeven omdat de processen verschillend van aard zijn.

4.2.3 Berging boven maaiveld

De rekenresultaten laten vaak een berging boven maaiveld zien. Deze wordt in natte situaties bereikt doordat het grondwater boven maaiveld stijgt. Als maximale gebiedsgemiddelde (tijdelijke) berging boven maaiveld zijn dergelijke hoeveelheden van 15 tot 20 mm denkbaar. De interactie tussen rekeneenheden via het grondwater en afstroming over maaiveld zijn in de gevolgde methode niet meegenomen.

Verlagen van de berging boven maaiveld door lateraal transport is met de gevolgde methode niet mogelijk. Een afname van de berging boven maaiveld leidt direct tot een toename van de additionele bergingsbehoefte wanneer de berging in het hoofdsysteem al maximaal is.

4.2.4 Berging in waterlopen

De lengte aan waterlopen van het detailsysteem is bepaald op basis van de top10-vectorbestanden (deze bevat alle waterlopen). Dit leidt aantoonbaar tot een overschatting van de berging in het detailsysteem omdat de hoofdwaterlopen hier niet uit zijn gefilterd. Het effect op de resultaten is niet groot door de kleine hoeveelheid berging in dit systeem in het studiegebied.

4.2.5 De afvoercapaciteit

De $q(h)$ -relaties voor het detailsysteem bepalen de verdeling tussen afvoeren en bergen/afvoeren. Door de gebruikte $q(h)$ -relaties voor het detailsysteem kunnen oppervlakte- en grondwaterstand ver boven maaiveld stijgen. Hierdoor wordt veel water vastgehouden en komt minder water tot afvoer zodat de additionele bergingsbehoefte wordt onderschat. Een overschatting van bodemberging en berging aan maaiveld leiden tot een onderschatting van de afvoer en van de aanvullende bergingsbehoefte. Een gevoeligheidsanalyse naar deze sturende invoer is gewenst om de ranges in berekende bergingsbehoefte te kwantificeren.

4.2.6 Aanvoer uit Duitsland

Verondersteld wordt dat deze voor de scenario's niet veranderd. Omdat de aanvoer voor de afdelingen Noord en Midden groot is (grootte orde bijna gelijk aan de neerslag van de maatgevende bui!) zullen veranderingen in deze aanvoer vrijwel meteen leiden tot veranderingen in de bergingsbehoefte.

4.2.7 Hoge IJsselstanden

In deze studie zijn de rivierwaterstanden van september 1998 als randvoorwaarde gebruikt. Deze rivierwaterstanden waren niet extreem hoog, en veroorzaken een beperkte stremming van de lozingscapaciteit van de regionale wateren. In de praktijk treden regelmatig ($T=2$ à 5 jaar) wateroverlastsituaties op als gevolg van hoge rivierwaterstanden.

Fenomenen die bij hoge rivierwaterstanden een rol spelen zijn:

- Een afname van gemaalcapaciteiten door een grotere opvoerhoogte. Hier is in de berekeningen geen rekening mee gehouden (de gemaalcapaciteit blijft constant en wordt nul zodra het kritiek peil wordt overschreden).

- Opstuwung bovenstrooms voor vrije lozingspunten. Deze blijft in de berekeningen beperkt tot het op de rivier lozende deelgebied. Terugstuwung naar bovenstrooms gelegen deelgebieden wordt niet berekend.
- Een toename van rivierkwel in kwelgevoelige binnendijkse gebieden. Hierdoor moet de onderrandvoorwaarde voor de naastgelegen STONE-rekeneenheden worden aangepast.

Om de twee laatste processen mee te nemen is het gebruik van een integraal regionaal waterstromingsmodel nodig.

4.3 Plausibiliteit van de berekende bergingsbehoefte

De methode berekent voor deelstroomgebieden en afdelingen de maximale bergingshoeveelheden voor de maatgevende bui. Omdat de resultaten niet zijn getoetst aan gemeten afvoeren moet worden nagegaan of de rekenresultaten plausibel zijn.

Een schatting voor de maximale berging in de bodem kan worden gemaakt door uit te gaan van een GHG van 40 cm – mv en een bijbehorende bergingsfactor voor zandgronden van 0,05 tot 0,10 wordt voor de berging in de bodem een range van 40 tot 80 mm verwacht. Bij ondiepere GHG en/of bodems met een kleine bergingscapaciteit zal de bergingscapaciteit kleiner zijn, bij diepere GHG's en/of bodems met een grotere bergingscapaciteit groter. De rekenresultaten zijn in overeenstemming met deze schatting.

De grootte van de berging op het maaiveld is moeilijk te schatten. De berekende maximale hoeveelheden van 15 tot 20 mm zijn niet onrealistisch maar lijken, omdat het gebiedsgemiddelden zijn, mogelijk aan de hoge kant. Daarbij moet er rekening mee worden gehouden dat regionale interacties (zowel via maaiveld als via het grondwater) niet zijn gemodelleerd en dat de $q(h)$ -relaties van het detailsysteem de resulterende grond- en oppervlaktewaterstanden in het detailsysteem bepalen.

De berging in het oppervlaktewatersysteem is in gebieden als Oost-Gelderland gering en komt overeen met de verwachting. De maximale berging in de watersystemen wordt volledig bepaald door gebruikte dimensies en de lengte aan waterlopen binnen een deelstroomgebied (lengte waterloop per oppervlakte-eenheid). Voor Noord is de berging in het hoofdsysteem twee keer zo groot als Midden en Zuid.

De effecten van veranderingen (klimaat en begrenzen maximale afvoer) worden bepaald door de resterende bergingscapaciteit binnen het gebied. Wanneer een systeem zijn grenzen bereikt neemt de additionele bergingsbehoefte snel toe. De afdelingen hebben andere eigenschappen en reageren anders, op deelstroomgebiedsniveau zijn de verschillen nog groter.

4.4 Betrouwbaarheid van de berekende bergingsbehoefte

De nauwkeurigheid van de rekenresultaten is op dit moment niet te kwantificeren:

- de STONE-schematisering is ontwikkeld noch getoetst voor extreme situaties;
- er is geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor sterk sturende parameters als initiële grondwaterstand en $q(h)$ -relaties van het detailsysteem;
- het gebruikte instrument is niet gevalideerd mbv een gemeten afvoergolf.

De resultaten zijn realistisch. Het is duidelijk dat de $q(h)$ -relaties (praktijkconform) een sleutelrol vervullen in de verdeling tussen het detailsysteem en de hoofdwaterlopen: een verandering in deze $q(h)$ -relaties leidt tot andere bodemberging en berging aan maaiveld en tot een tegengestelde verandering in de additionele bergingsbehoefte.

Op dit moment kan alleen gegeven de grootte van de bergingstermen in het detailsysteem een schatting worden gemaakt met welke marges in de rekenresultaten rekening moet worden gehouden. Onnauwkeurigheden in berging in de bodem en berging aan maaiveld in het detailsysteem kunnen tot relatief grote veranderingen in de additionele berging leiden (grootte orde +/- 10mm). Onnauwkeurigheden in de berging in het detailsysteem en het oppervlaktewatersysteem hebben veel minder effect (grootte orde +/- 1mm). Met name de $q(h)$ -relatie van het detailsysteem en de initiële grondwaterstand sturen de verdeling tussen vasthouden en bergen/afvoeren.

4.5 Vergelijking met Gelderland-studie

In 2001 is in opdracht van de provincie Gelderland voor de gehele provincie met een vergelijkbare aanpak de gewenste bergingsbehoefte berekend (Van Bakel e.a., in voorbereiding). De verschillen ten opzichte van de in dit rapport beschreven methode zijn:

- de neerslag in de maatgevende regenperiode is iets lager (100 i.p.v. 117 mm);
- de afvoerrelaties van het detailafwateringssysteem zijn voor Oost-Gelderland niet opgesplitst naar wel of niet peilbeheerst;
- er is geen koppeling tussen de deelstroomgebieden aangebracht;
- de berekende additionele berging wordt per stroomgebied met een Gis-protocol 'weggezet' naar de laagste locaties die via de hoofdwaterlopen kunnen worden bereikt;
- met de toestroming vanuit Duitsland en de mogelijke beperking van de lozing op Rijn of IJssel is geen rekening gehouden.

De resultaten van beide berekeningen zijn daarom niet helemaal vergelijkbaar. In de Gelderlandstudie wordt voor de huidige situatie een gemiddelde additionele bergingsbehoefte berekend van enkele mm's. Dat is vergelijkbaar met de resultaten in dit rapport.

4.6 Relatie met de normering regionale watersystemen

Bij de normering draait het om de vraag: is het systeem op orde en het antwoord is bijvoorbeeld: ja, het is op orde omdat de kans dat grasland inundeert vanuit de hoofdwaterlopen minder is dan gemiddeld 1 keer per 10 jaar. De resultaten van onderhavige studie worden gebruikt om gebieden aan te wijzen die de berekende additionele berging kunnen bergen. Dus gemiddeld 1 keer per 100 jaar stromen deze gebieden helemaal vol (lees de ontwerpberging wordt voor 100% gebruikt). Voor langere herhalingstijden inunderen nog andere gebieden maar voor korter herhalingstijden is de aldus aangelegde berging ruim voldoende gedimensioneerd. In principe is er dus geen gebied buiten de aan te leggen bergingsgebieden dat inundeert met een herhalingstijd korter dan 100 jaar. Dat is dus ruim boven de norm van de meeste vormen van landgebruik. Anders gezegd: bij acceptatie van de normen in het huidige klimaat zit nog de nodige rek om de gevolgen van klimaatwijzigingen op te vangen. Het waterschap hanteert het uitgangspunt dat ingelanden een 'historisch' recht hebben op het huidige veiligheidsniveau.

De toegepaste werkwijze wijkt af van de aanpak voor de landelijke normeringsstudie. De belangrijkste kenmerken van de normeringsaanpak zijn dat wordt gewerkt met stochasten (de belangrijkste zijn de beginsituatie en de neerslag) en dat een economisch-probabilistische aanpak (vergelijking kosten maatregelen en schades en weging met herhalingstijden) wordt gevolgd om de optimale inundatiefrequentie af te leiden. Wat het eerstgenoemde kenmerk betreft: door in onderhavige studie van slechts 1 beginsituatie en 1 maatgevende neerslagperiode uit te gaan is de herhalingstijd van de berekende waterstanden en berging feitelijk niet te geven. Doordat slechts met 1 *event* wordt gerekend is ook niet na te gaan of er teveel of te weinig berging in economische zin wordt voorgesteld.

5 Conclusies en aanbevelingen

De berekening van de aanvullende bergingsbehoefte is wat betreft het neerslag-afvoerproces gedetailleerd uitgevoerd, zowel qua proces als qua ruimtelijk onderscheid. De interacties tussen rekeneenheden via afstroming en grondwaterstroming zijn niet meegenomen. Daarnaast is een rekenkundige ont koppeling aangebracht tussen detailontwatering en -afwatering (vasthouden) en de afwatering via het hoofdsysteem (afvoeren/bergen). Daardoor zijn de uitkomsten sterk bepaald door de daarvoor geformuleerde uitgangspunten en aannames. Met de name de ontwatering is sterk sturend, een gevoeligheidsanalyse voor de $q(h)$ -relaties is daarom gewenst.

Voor de interpretatie van de resultaten is het essentieel te weten dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor 1 maatgevende regenperiode en dat de deelstroomgebieden geen bovenstroomse interactie (terugstuwing) hebben.

De berekende bergingscapaciteiten zijn voor de afdelingen van een vergelijkbare orde van grootte maar zijn niet gelijk (tabel 5). De verschillen worden veroorzaakt door de gebiedseigenschappen van de drie afdelingen. Omdat Zuid diepere grondwaterstanden heeft en een grotere interactie (wegzijging) met het regionale grondwatersysteem worden de gevolgen van de scenario's in Zuid meer door het systeem opgevangen en is de additionele bergingsbehoefte in Zuid klein ten opzichte van de andere afdelingen. In Midden blijkt met name het hoofdwatersysteem beperkend, in Noord is dat de berging in de bodem. De verschillen tussen Noord en Midden zijn echter gering (grootte orde van enkele millimeters).

Tabel 9 Maximale berging en additionele bergingsbehoefte (mm) voor de afdelingen (huidige situatie).

	Bodem	Maatveld	Detailsysteem	Hoofdsysteem	Bergingsbehoefte
Noord	42.3	17.7	3.0	5.9	2.5
Midden	44.0	18.2	3.5	4.0	4.4
Zuid	57.0	12.2	3.8	2.9	1.6

Noord en Midden hebben anders dan Zuid een grote aanvoer uit Duitsland. In dat licht bezien is de berging in het hoofdsysteem van Midden klein. Verwacht zou worden dat de berging in het hoofdsysteem voor Midden vergelijkbaar moet zijn met Noord en groter dan Zuid. De bergingsbehoefte is daardoor het grootst in Midden.

Tabel 10 Vasthouden, bergen en afvoeren (mm) voor de afdelingen in de huidige situatie

	Neerslag	Aanvoer uit Duitsland	Vasthouden (max)	Afvoeren	Bergen (max)
Noord	117	71	63	169	8,5
Midden	117	110	66	207	8,1
Zuid	117	5	73	73	4,5

Door de toename van de neerslaghoeveelheid bij een klimaatverandering neemt de bergingsbehoefte toe voor het scenario klimaat. Knijpen in het hoofdsysteem (zonder terugkoppeling met het detailsysteem) resulteert in een grote toename van de bergingsbehoefte. Ook knijpen in de afvoer van het detailsysteem leidt tot vasthouden en daarmee tot een kleinere bergingsbehoefte dan bij alleen knijpen in het hoofdsysteem.

Tabel 11 Bergingsbehoefte voor de afdelingen

	Huidig	Klimaat	Klimaat en 1,5Q in de hoofdwaterlopen	Klimaat en 1,5Q in alle waterlopen
Noord	2,5	5,9	21,7	18,6
Midden	4,1	7,3	20,8	16,2
Zuid	1,6	2,7	5,9	3,1

De effecten van veranderingen (klimaat en begrenzen maximale afvoer) worden bepaald door de resterende bergingscapaciteit binnen het gebied. De afdelingen hebben andere eigenschappen en reageren anders, op deelstroomgebiedsniveau zijn de verschillen nog groter. Omdat het afvoerproces drempels bevat (als bergingscapaciteit wordt overschreden treden plotseling grote effecten op) kunnen de effecten van de scenario's per deelgebied en in mindere mate per afdeling anders zijn. Alle veranderingen in invoergegevens voor het detailsysteem kunnen daardoor ook leiden tot plotselinge, grote veranderingen in de afvoeren in het hoofdsysteem en in de additionele bergingsbehoefte. Met name de $q(h)$ -relatie van het detailsysteem en de initiele grondwaterstand sturen de verdeling tussen vasthouden en bergen/afvoeren. Een gevoeligheidsanalyse naar deze sturende invoer is gewenst om de ranges in berekende bergingsbehoefte te kwantificeren.

Omdat is gerekend met slechts 1 maatgevende neerslaggebeurtenis sluit de gevolgde werkwijze niet zonder meer aan bij de Normering Regionale Watersystemen. De berekende bergingsbehoefte zijn indicaties van de bergingsbehoefte in een situatie met een herhalingsperiode van 100 jaar.

De kritiek op de methode kan voor een groot deel worden voorkomen door de zogenoemde Brabant-methode toe te passen waarbij met behulp van een geïntegreerd model van het onverzadigd-verzadigd-oppervlaktewatersysteem (Simgro) een groot aantal gebeurtenissen (combinaties van begintoestand bodem en neerslag) wordt doorgerekend conform de methode Normering Regionale Watersystemen. De in Brabant toegepaste methode vereist dat de leggergegevens in een GIS met correcte topologische relaties beschikbaar zijn.

Deze studie geeft inzicht in het optreden van regionale wateroverlast door intern waterbezwaar als gevolg van extreme neerslag. De gebruikte methode maakt verschillen binnen het beheergebied zichtbaar en levert een schatting van de benodigde additionele berging. Voor de keuze van de locaties voor waterberging bij ontwerp en realisatie is de gebruikte methode niet geschikt.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, W.W. Immerzeel en J. Wesseling, 2002. Waterberging in Gelderland. Bepaling van de benodigde ruimte voor waterberging met behulp van Swap en DTM-technieken. (in voorbereiding).

Cultuurtechnische Vereniging, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum.

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk and C.A. van Diepen. 1997. Theory of SWAP version 2.0; Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. DLO-Staring Centrum. Technical Document 45. 167 p.

Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A.Beusen. 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA rapport 2001.017. 100 p.

Massop, H.Th.L, T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen. 2000. Hydrologie voor STONE: schematisatie en parameterisatie. Wageningen, Alterra-RIZA-RIVM. Alterra-rapport 038.

Deelstroomgebied			Voert af naar deelstroomgebied					Representatief profiel			
nr.	Systeem	type Q-h relatie	nr.	percentage	Afvoer bij vrije afvoer op buitenwater	Buitenwaterstand waarbij gemaal in werking	Afvoer bij te hoge buitenwaterstanden	Gemaalcapaciteit (m3/s)	WH1	WH2	WN1
808	Berkel	qh1	809	100%						1	
809	Berkel	qh1	IIS	100%	Vrije aflaat in Zutphen	5,50 +NAP	Gemaal Helbergen	5,3 m3/s		2	
841	Maserveld	qh1	TK	100%	Vrije lozing	nvt*					-
842	Zuidelijk Afwateringskanaal	qh1	TK	100%	Via stuw	nvt*				2	
843	Slinge	qh1	TK	100%	Via stuw	nvt*				1	
844	Grote Waterleiding	qh1	TK	100%	Via stuw	nvt*				1	
845	(Eefse Beek)	qh1	TK	100%	Via stuw	nvt*					1
846	Eefse Beek	qh1	IIS	100%	Via stuw		In uitzonderlijke gevallen lozing op 847			2	
847	Eefse Beek	qh1	IIS	100%	Via stuw	4,70 +NAP	Gemaal Eefse Beek	1,08 m3/s			1
848	(Eefse Beek)	qh1	IIS	100%	Via stuw		(Noodbemaling)				1
849	Polbeek (Eefse Beek)	qh1	IIS	100%	Via stuw		Gemaal Polbeek	max. 2,0 m3/s, normaal 1,0 m3/s			1
881	Flierderbeek	qh1	IIS	100%	Vrij	ca. 6,00 +NAP	Geen				-
921	Dommerbeek	qh1	IIS	100%	Via stuw	6,00 +NAP	Gemaal	1,0 m3/s		2	
..	Duitse deel Schipbeek		961		Oppervlakte 14.912 ha, tijdreeksen (bij ca. 2Q) gebruiken voor debiet						
961	Schipbeek	qh5	962	100%					3		
961a											
962	Schipbeek	qh5	963	100%					3		
963	Schipbeek	qh1	965	80%	Door sifon onder Twentekanaal			Bij Qm ca. 36 m3/s	4		
963	Schipbeek	qh1	TK	20%	Via overlaat 20 m breed	nvt*		Bij Qm ca. 10 m3/s			
963a											
964	Schipbeek	qh4	965	100%	Continu bemalen (broekgebied, Schipbeek opgeleid)		Bemaling	Max. 2,5 m3/s	4		

Deelstroomgebied			Voert af naar deelstroomgebied						Representatief profiel		
nr.	Systeem	type Q-h relatie	nr.	percentage	Afvoer bij vrije afvoer op buitenwater	Buitenwaterstand waarbij gemaal in werking	Afvoer bij te hoge buitenwaterstanden	Gemaalcapaciteit (m3/s)	WH1	WH2	WN1
965	Schipbeek	qh1	966	100%						2	1
965a											
966	Schipbeek	qh1	IJS	100%	Via aflaat op IJssel		Door opleiding Schipbeek is afvoer altijd mogelijk		4		
966a											
967	Schipbeek (Dortherbeek)	qh1	968	100%						1	
968	Schipbeek (Dortherbeek)	qh1	IJS	100%	Via duiker lozend op laatste deel Schipbeek	5,00 +NAP	Gemaal ter Hunnepe	3,9 m3/s		2	
969	Schipbeek	qh1	968	100%	Via grondduiker onder Schipbeek		zie opm.**		4		

* In de workshop werd ingebracht dat de kans op gestremde lozing als gevolg van extreem hoge waterstanden in het Twentekanaal (ten oosten van de sluis bij Eefde) zeer klein is

**969 bij IJsselstand > 5,00 +NAP onder directe invloed gemaal ter Hunnepe. Bij IJsselstand > 6,60 +NAP wordt gebied 969 afgesloten, waardoor geen afvoer meer naar 968 plaats vindt. 969 loopt dan onder. Bij een IJsselstand van 7,70 m +NAP kan het vijzelgemaal Ter Hunnepe niet meer malen. Gebied 968 kan dan dus ook niet meer lozen. 968 en 969 inunderen (enigszins gestuurd) ca. 1/100 jr.

Het retentiebekken bij stuw Mallem treedt in werking bij een afvoer van 81 m3/sec, de capaciteit is 2.300.000 m3

Aanhangsel 2 Deelstroomgebieden afdeling Midden

Matrix met afstroomrichtingen en eventuele afvoerverdelingen (bij ca. 2Q).

Verdeelpunten vet weergegeven

Tevens type Q-h relatie per deelstroomgebied aangegeven (zie toelichting in notitie 2)

Codering lozingspunten buitenwater: IJS = IJssel

Afdeling Midden

Deelstroomgebied			Voert af naar deelstroomgebied						Representatief profiel	
nr.	systeem	type Q-h relatie	nr.	percentage	Afvoer bij vrije lozing op buitenwater	Buitenwaterstand waarbij gemaal in werking	Afvoer bij gestremde lozing op buitenwater	Gemaalcapaciteit (m3/s)	WH1	WH2
541	AA-Strang	qh1	543	100%	Uit Duitsl. 45.650 ha				35 m op waterlijn	
541a										
542	Keizersbeek	qh5	543	100%					3	
543	Keizersbeek	qh1	544	100%					3	
543a										
544	Oude IJssel	qh1	545	100%	Uit Duitsl. 33.120 ha				25 m op waterlijn	
544a										
545	Oude IJssel	qh1	548	100%					40 m op waterlijn	
545a										
546	Boven Slinge	qh5	547	100%	Retentiebekken #1 Uit Duitsland 5.735 ha				3	
547	Boven Slinge	qh1	548	100%					3	

548	Oude IJssel	qh1	549	100%						33 m op waterlijn
548a										
549	Oude IJssel	qh1	IJS	100%	Via stuw in Doesburg	Oude IJssel vast peil van 10 m+NAP, (gedeeltelijke) stremming treedt dus op bij IJsselstanden hoger dan 10 m+NAP			50 m op waterlijn	
549a										
581	Oude loop IJssel	qh1	582	100%						4
582	Doesburg	qh1	IJS	100%	Via stuw	in + 8.20 m +NAP	Gemaal Doesburg	1 m3/s		3
621	Fraterwaard/Spaensweerd	qh1	IJS	100%	Uiterwaard		Gemaal		nvt	1
661	Grote Beek	qh1	662	100%						2
662	Grote Beek	qh1	663	100%						3
663	Grote Beek	qh1	664	100%						3
664	Grote Beek	qh1	665	100%						2
665	Grote Beek	qh1	IJS	100%	Gemaal Grote Beek	Binnenwaterstand in: + 5,80 m NAP uit: +5,40 m NAP Buiten:+5,80	Gemaal Grote Beek	10,33 m3/s bij een opvoerhoogte van 1,5 m*		3
741	Veengoot	qh1	743	100%						3
742	Baakse Beek Boven	qh1	743	>90%	Retentiebekken #2					3
742	Baakse Beek Boven	qh1	744	<10%						3
743	Veengoot	qh1	744	100%						3
744	Baakse Beek Onder	qh1	IJS	100%	Via stuw / Groene Kanaal	+NAP 9,60 (kans <1/100 jr)	Naar 745			3

745	Baakse Beek Onder	qh1	IJS	100%	Gemaal Baakse Beek	Binnenwaterstand in: + 6,20 m NAP uit: +5,50 m NAP Buiten: +6,20	Gemaal Baakse Beek	10,33 m3/s bij een opvoerhoogte van 1,5 m*	3
746	Oosterwijkse Vloed	qh1	745	100%					2
747	Bakerwaardse Laak	qh1	745	100%	Naar 746 via gemaal Bakerwaard	in: + 5,40 m NAP uit: + 4,80 m NAP	Naar 746 via gemaal Bakerwaard	max. 1,83 m3/s	2

- #1 Retentiebekken Bredevoort, max. 1.000.000 m3
Debiet in Slinge op max. 14 m3/s
gehouden
- Oude IJssel 32525 ha Duits stroomgebied
Aa-strang 45650 ha Duits stroomgebied
78175 ha Duits stroomgebied
- #2 Retentiebekken Vragender beek tbv Baakse Beek
Gegevens nog te verzamelen.

	Gemaal Grote Beek	Gemaal Baakse Beek
Inslag (binnen)	+NAP 5,80	+NAP 6,20
Max.cap	10,33 m3/s, bij opvoerhoogte 1,50 m	10,33 m3/s, bij opvoerhoogte 1,50 m
1/50 jr	IJsselstand +9,68 opvoerhoogte 3,88 m cap. 6,83 m3/s	IJsselstand +9,24 opvoerhoogte 3,04 m cap. 8,83 m3/s
1/100 jr (1995)	IJsselstand +9,81 opvoerhoogte 4,01m cap. 6,40 m3/s	IJsselstand +9,37 opvoerhoogte 3,17 m cap. 8,50 m3/s
1/1250 jr	IJsselstand +10,25 opvoerhoogte 4,45 m cap. 4,33 m3/s	IJsselstand +9,80 opvoerhoogte 3,60 m cap. 7,53 m3/s

Aanhangsel 3 Deelstroomgebieden afdeling Zuid

Matrix met afstroomrichtingen en eventuele afvoerverdelingen (bij ca. 2Q).
Verdeelpunten vet weergegeven
Tevens type Q-h relatie per deelstroomgebied aangegeven (zie toelichting in notitie 2)
Codering lozingspunten buitenwater: IJS = IJssel, TK = Twentekanaal, PK = Pannerdensch kanaal, NR = Neder-Rijn
Afdeling Zuid

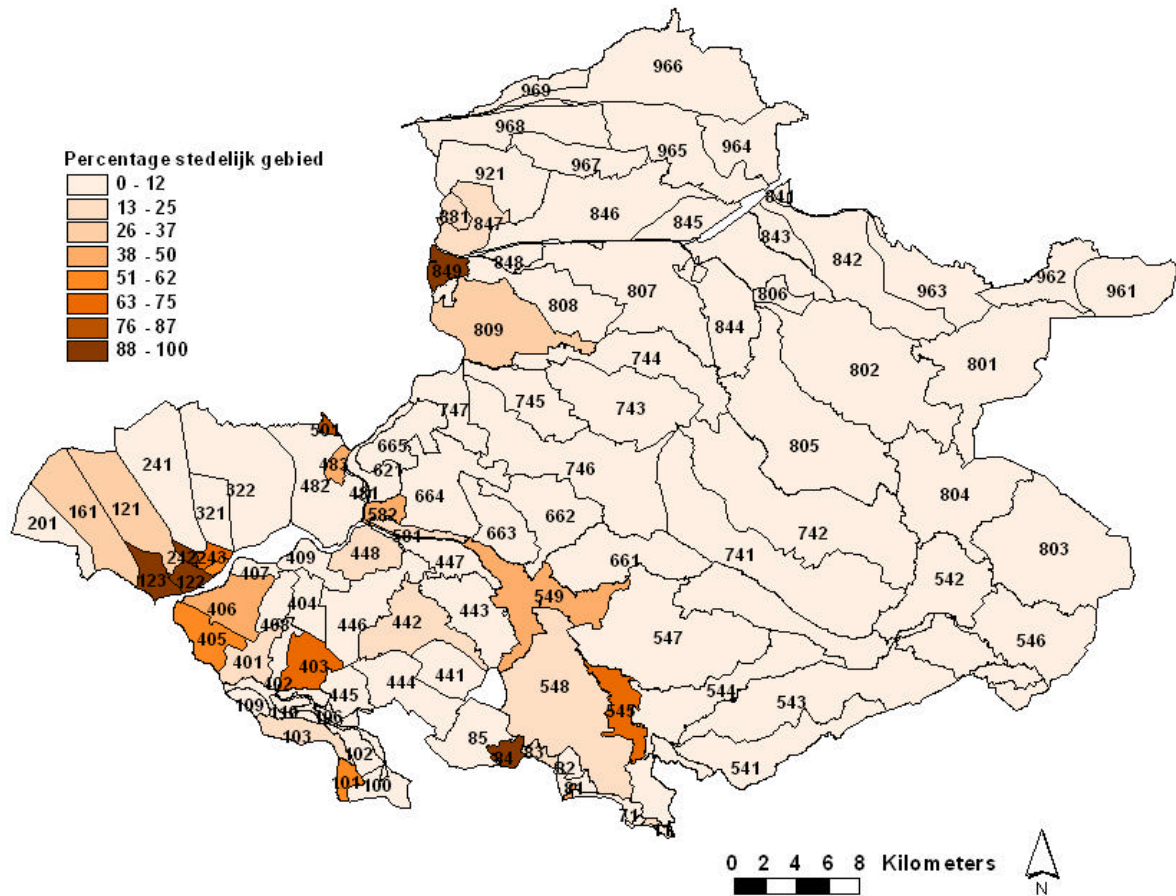
Deelstroomgebied			Voert af naar deelstroomgebied						Representatief profiel		
nr.	systeem	type Q-h relatie	nr.	percentage	Afvoer bij vrije lozing op buitenwater	Buitenwaterstand waarbij gemaal in werking	Afvoer bij gestremde lozing op buitenwater	Gemaalcapaciteit (m3/s)	WH1	WH2	(WN 1 evt.)
11	Berghse maten	qh1		100%	watert af richting Duitsland				1		
12	Berghse Maten	qh1		100%	watert af richting Duitsland				1		
13	Berghse Maten	qh1		100%	watert af richting Duitsland				1		
71	Berghse Maten	qh1	72	100%	3.194 ha uit Duitsland					3	
72	Berghse Maten	qh1	81	100%						3	
81	Berghse Maten	qh1	82	100%					3	1	
82	Berghse Maten	qh1	83	100%					3	1	
83	Berghse Maten	qh1	84	100%					3	1	
84	Berghse Maten	qh1	85	100%					3	1	
85	Berghse Maten	qh1	110	100%					3	1	
100	Rijnwaarden	qh4	110	100%	Omgeving Spijk, merendeels bemalen	+NAP 9,75 in Oude Rijn	Gemaal De Mars	0,367 m3/s			2
101	Rijnwaarden	qh4	103	100%		+NAP 11,30 in Oude Rijn	Gemaal 's Gravenwaard	0,60 m3/s			3

102	Rijnwaarden	qh4	110	100%		+NAP 9,80 in Oude Rijn	Gemaal Ossenwaard	0,67 m3/s		2	
103	Rijnwaarden	qh1	110	100%						3	
104	Rijnwaarden	qh1	110	100%						1	
105	Rijnwaarden	qh1	106	100%	910 ha vanuit Duitsland					2	
106	Rijnwaarden	qh1	110	100%						2	
107	Rijnwaarden	qh4	110	100%		+NAP 10,30 in Oude Rijn	Gemaal Rosandse Polder	0,17 m3/s		2	
108	Rijnwaarden	qh1	110	100%	geen WRIJ-watgangen						1
109	Rijnwaarden	qh4	110	100%		+NAP 10,40 in Oude Rijn	Gemaal Pannerdense Waard	0,58 m3/s		3	
110	Rijnwaarden	qh1	PK	100%		+NAP10,80	Gemaal Kandia*	10 m3/s, opvoerhoogte 4 m	4		
401	De Liemers	qh1	402	100%					2	1	
402	De Liemers	qh1	404	100%					2	1	
403	De Liemers	qh1	404	100%						2	
404	De Liemers	qh1	409	100%					3	2	
405	De Liemers	qh1	406	100%					2	1	
406	De Liemers	qh1	407	100-x					3	2	
406	De Liemers	qh1	401	x		+NAP 8,50 in Duiven	Gemaal Vergert (sted. gebied Duiven)	0,15 m3/s		2	
407	De Liemers	qh1	409	100%					3	2	
408	De Liemers	qh1	409	100%						3	

409	De Liemers	qh1	IJS	100%		+NAP 7,50	Gemaal Liemers	11 m3/s opvoerhoogte 4,5 m	3	2	
441	Bevermeer	qh1	442	100%					1	1	
442	Bevermeer	qh1	IJS	100%	Via hoge leiding naar Broekhuizerwater				1	1	
443	Bevermeer	qh1	IJS	100%	Via hoge leiding naar Broekhuizerwater				2	2	
444	Bevermeer	qh1	445	100%					1	1	
445	Bevermeer	qh1	446	100%					1	1	
446	Bevermeer	qh1	448	100%					3	2	
447	Bevermeer	qh1	448	100%						2	
448	Bevermeer	qh1	IJS	100%	Via Broekhuizerwater	+NAP 7,55	Gemaal Bevermeer	8,67 m3/s opvoerhoogte 2,5 m	3	2	
121	Zuid Oost Veluwe	qh5	122	100%					1	1	
122	Zuid Oost Veluwe	qh5	123	100%						2	
123	Zuid Oost Veluwe	qh5	NR	100%		+NAP 9,00	Broekgemaal	1,67 m3/s	2	2	
161	Zuid Oost Veluwe	qh5	NR	100%			Lauwersgrachtgemaal	0,09 m3/s	2		
201	Zuid Oost Veluwe	qh5	NR	100%			Geen gemaal		1		
241	Zuid Oost Veluwe	qh5	243	100%					1		
242	Zuid Oost Veluwe	qh5	243	100%						1	
243	Zuid Oost Veluwe	qh5	244	100%					1	1	
244	Zuid Oost Veluwe	qh5	IJS	100%		+NAP 9,30	Gemaal De Volharding	2,09 m3/s		2	
321	Zuid Oost Veluwe	qh5	322	100%					1		
322	Zuid Oost Veluwe	qh5	IJS	100%			Gemaal De Laak	0,83 m3/s	1		

481	Havikerwaard	qh1	IJS	100%						2
482	Havikerwaard	qh1	483	100%					2	2
483	Havikerwaard	qh1	IJS	100%			Geen gemaal		2	1
501	Zuid Oost Veluwe	qh5	IJS	100%			Geen gemaal	Kern Dieren	1	

Aanhangsel 4 Stedelijk gebied



Figuur. Oppervlakte stedelijk gebied in de deelstroomgebieden (%).

Tabel. Definitie stedelijk gebied in STONE-eenheden

Gt	Oppervlak	Kaart	Beschrijving	Ontwatering
>=VI I	Verhard en Onverhard	Bestaand en nieuw	Stad op GT>=VII	Stone-eenheid 957
<VII	Verhard	Bestaand	Verhard lozend op rioolstelsel	Tertiaire sloot, bodembreedte = 10 cm, diepte = 100 cm, talud = 1: 3. Pompovercapaciteit 17 mm d ⁻¹ . Slaat aan als waterstand boven 100 cm -mv komt, onafhankelijk van waterstand Bij 80 cm -mv zit overstort met capaciteit 10 mm d ⁻¹ per 10 cm stijging.
<VII	Verhard	Nieuwe	Verhard lozend op oppervlaktewater	Greppels op 10 cm -mv en drainageweerstand 10 d. Overige weerstanden op oneindig.
<VII	Onverhard	Bestaand en nieuw	Onverhard GT < VII	Afgeleid van Stone-eenheid 2354. Drains op -120 cm, Rd= 50 d, geen kwel, 1 secundaire waterloop met karakteristieken van GT VI op zandgrond, Q(h)-relatie van de polder met gemaalcapaciteit van 22 mm d ⁻¹ .

Aanhangsel 5 Afdeling noord, huidige situatie

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
801a	45643557	5	1406481	868912	150721	54260	30429	100	268720
801	0	0	0	0	0	202584	262200	100	13147
802a	63386950	7	2338307	1189093	258895	115965	19016	100	26059
802	0	0	0	0	0	445906	161000	72	0
803	54610851	10	2167209	913041	215301	25509	60747	100	831
804	40537653	5	1557413	687782	139026	191061	87281	100	103663
805a	59963821	4	2149932	1291264	180223	116480	39976	100	190136
805	0	0	0	0	0	377752	123389	100	91648
806	5569594	4	250167	98646	18202	154974	304197	83	7589
807a	43240207	11	2060659	664616	190190	48935	26880	93	0
807	0	0	0	0	0	0	20882	94	0
808	24371950	8	1190799	409713	94643	29680	16248	100	268
809	30535220	28	1433686	445771	216341	621867	35913	98	517787
841	976082	0	52577	10716	3200	444	519	80	0
842	35075942	5	1477672	647499	124256	88650	23384	100	11691
843	6828016	2	286819	139138	19074	20056	4552	100	10285
844	40436244	3	1781538	751181	121165	81496	26643	99	0
845	10858387	9	486732	204566	42770	44924	7239	100	17286
846	39232573	2	1771190	737302	100449	123710	26155	100	15783
847	11329041	15	588632	146002	60315	157657	3888	51	106120
848	4237209	0	213266	63941	11625	25888	2310	82	0
849	4365613	92	148682	1419	85536	19316	2910	100	7878
881	3128310	13	200714	20487	15863	6143	891	43	0
921	22092287	11	1288695	291306	98051	31856	11546	78	0
961a	19811427	0	721375	366199	45966	29030	13208	100	79956
961	0	0	0	0	0	86405	120675	100	176529
962	14361675	0	534007	294504	29009	83358	129206	100	84704
963a	24108192	6	944975	455192	87386	115945	16072	100	3266
963	0	0	0	0	0	179888	160825	93	0
964	18869411	0	980674	273918	75434	58690	9000	72	0
965a	29922397	0	1168997	675026	60843	95185	19948	100	121385
965	0	0	0	0	0	207046	145386	100	1965
966a	48312015	0	2233623	779267	111331	115945	27813	86	0
966	0	0	0	0	0	184345	173536	100	6147
967	14727414	1	659212	309502	34876	39756	9818	100	27952
968	23013243	3	1173866	359820	75943	157597	26724	87	0
969	8529378	0	357883	125452	23123	109657	4108	72	0

Aanhangsel 6 Afdeling noord, klimaat scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
801a	45643557	5	1506822	965528	142183	54260	603970	100	517154
801	0	0	0	0	0	202584	216735	100	14151
802a	63386950	7	2507776	1350179	252482	73120	0	100	202757
802	0	0	0	0	0	447534	162896	73	0
803	54610851	10	2292693	1043777	182749	25509	60747	100	134729
804	40537653	5	1672649	796412	138214	191061	87281	100	265407
805a	59963821	4	2298858	1438550	172078	116480	39976	100	356981
805	0	0	0	0	0	377752	123389	100	183504
806	5569594	4	270877	116161	18880	145370	307390	84	0
807a	43240207	11	2176571	776951	167851	48935	28827	100	5910
807	0	0	0	0	0	159049	23254	100	55187
808	24371950	8	1263972	476649	85801	29680	16248	100	41357
809	30535220	28	1455576	514909	154570	908626	36605	100	804546
841	976082	0	57736	11964	4306	444	557	86	0
842	35075942	5	1579631	741484	122432	88650	23384	100	87288
843	6828016	2	307033	155288	20876	20056	4552	100	29765
844	40436244	3	1912564	863898	130339	81496	26957	100	51142
845	10858387	9	513873	232554	36889	44924	7239	100	56450
846	39232573	2	1892123	857502	109959	123710	26155	100	96247
847	11329041	15	616653	183383	52491	212460	3888	51	160922
848	4237209	0	229342	77988	13812	25888	2542	90	0
849	4365613	92	130354	1619	49643	19316	2910	100	16378
881	3128310	13	209991	32849	15847	6683	1099	53	0
921	22092287	11	1360303	367026	91248	31856	12654	86	0
961a	19811427	0	784081	407011	51088	29030	13208	100	176201
961	0	0	0	0	0	86405	108828	100	784677
962	14361675	0	577706	330274	31082	83358	117426	100	123152
963a	24108192	6	1015106	516311	83783	56650	16072	100	66218
963	0	0	0	0	0	342331	133498	84	0
964	18869411	0	1066917	348793	96054	58729	9000	72	0
965a	29922397	0	1255553	757659	67167	95185	19948	100	6156
965	0	0	0	0	0	207046	134618	99	0
966a	48312015	0	2403999	909827	139741	115945	30193	94	0
966	0	0	0	0	0	184345	164345	100	5907
967	14727414	1	702836	351101	39307	39756	9818	100	82233
968	23013243	3	1251833	424931	84277	276884	28675	93	109316
969	8529378	0	384346	147196	27544	116885	4638	82	0

Aanhangsel 7 Afdeling noord, klimaat plus 1.5Q in hoofdwat- lopen scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
801a	45643557	5	1506822	965528	142183	54260	1017762	100	930946
801	0	0	0	0	0	202584	2779274	100	2576690
802a	63386950	7	2507776	1350179	252482	73120	0	100	851713
802	0	0	0	0	0	428880	102787	66	0
803	54610851	10	2292693	1043777	182749	25509	45560	100	659700
804	40537653	5	1672649	796412	138214	191061	65461	100	535317
805a	59963821	4	2298858	1438550	172078	116480	29982	100	1069086
805	0	0	0	0	0	377752	92542	100	393233
806	5569594	4	270877	116161	18880	134992	227241	62	0
807a	43240207	11	2176571	776951	167851	48935	21620	100	368218
807	0	0	0	0	0	159049	24146	100	164798
808	24371950	8	1263972	476649	85801	29680	12186	100	242685
809	30535220	28	1455576	514909	154570	1005208	27454	100	901128
841	976082	0	57736	11964	4306	444	488	100	206
842	35075942	5	1579631	741484	122432	88650	17538	100	427894
843	6828016	2	307033	155288	20876	20056	3414	100	104129
844	40436244	3	1912564	863898	130339	81496	20218	100	445085
845	10858387	9	513873	232554	36889	44924	5429	100	159740
846	39232573	2	1892123	857502	109959	123710	19616	100	446477
847	11329041	15	616653	183383	52491	217158	3888	69	165621
848	4237209	0	229342	77988	13812	25888	2119	100	16663
849	4365613	92	130354	1619	49643	19316	2183	100	66966
881	3128310	13	209991	32849	15847	7204	1099	70	0
921	22092287	11	1360303	367026	91248	31856	11046	100	70474
961a	19811427	0	784081	407011	51088	29030	9906	100	349081
961	0	0	0	0	0	86405	81621	100	3240322
962	14361675	0	577706	330274	31082	83358	88069	100	205612
963a	24108192	6	1015106	516311	83783	56650	12054	100	311681
963	0	0	0	0	0	342331	100123	84	0
964	18869411	0	1066917	348793	96054	58729	9000	95	0
965a	29922397	0	1255553	757659	67167	95185	14961	100	573657
965	0	0	0	0	0	207046	102044	100	3952
966a	48312015	0	2403999	909827	139741	115945	24156	100	232193
966	0	0	0	0	0	184345	123259	100	173325
967	14727414	1	702836	351101	39307	39756	7364	100	224608
968	23013243	3	1251833	424931	84277	464808	23135	100	297240
969	8529378	0	384346	147196	27544	130104	4265	100	7769

Aanhangsel 8 Afdeling noord, klimaat plus 1.5Q scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
801a	45643557	5	1515571	974321	144701	54260	991970	100	926858
801	0	0	0	0	0	202584	2767705	100	2565121
802a	63386950	7	2562015	1403532	303207	73120	0	100	466411
802	0	0	0	0	0	533439	100395	100	565946
803	54610851	10	2299681	1050889	183771	25509	45560	100	710615
804	40537653	5	1678592	802549	140570	191061	65461	100	557526
805a	59963821	4	2386547	1526110	188947	116480	29982	100	601256
805	0	0	0	0	0	377752	92542	100	357632
806	5569594	4	279689	124971	19506	150016	222615	81	0
807a	43240207	11	2212501	812552	177752	48935	21620	100	179665
807	0	0	0	0	0	159049	19492	100	52838
808	24371950	8	1280445	492775	90899	29680	12186	100	150700
809	30535220	28	1488556	547465	164951	952856	27454	100	848776
841	976082	0	57991	12127	4472	444	488	100	16
842	35075942	5	1608124	769727	134880	88650	17538	100	219990
843	6828016	2	315053	163216	22055	20056	3414	100	56302
844	40436244	3	1961091	912418	148563	81496	20218	100	179343
845	10858387	9	522480	241189	38903	44924	5429	100	112726
846	39232573	2	1925709	891186	115750	123710	19616	100	241247
847	11329041	15	625357	191979	53812	192294	3888	69	140756
848	4237209	0	232926	81498	15160	25888	2119	100	2162
849	4365613	92	130376	1634	49724	19316	2183	100	66612
881	3128310	13	211401	34244	15786	7204	1007	64	0
921	22092287	11	1377069	383753	93211	31856	11046	100	6471
961a	19811427	0	788194	410659	51995	29030	9906	100	348238
961	0	0	0	0	0	86405	81621	100	3240322
962	14361675	0	580352	332921	31494	83358	88069	100	222790
963a	24108192	6	1040339	541079	97640	56650	12054	100	162702
963	0	0	0	0	0	342331	100123	84	0
964	18869411	0	1066917	348793	96054	58729	9000	95	0
965a	29922397	0	1272867	775088	91429	95185	14961	100	385429
965	0	0	0	0	0	207046	102044	100	3868
966a	48312015	0	2427542	932953	149779	115945	24156	100	14742
966	0	0	0	0	0	184345	123259	100	114539
967	14727414	1	718104	366304	41709	39756	7364	100	142532
968	23013243	3	1273423	446062	92288	465875	23135	100	298307
969	8529378	0	390820	153556	32717	123498	3863	91	0

Aanhangsel 9 Afdeling midden, huidige situatie

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
541a	35799594	5	1429019	625607	138813	33420	23866	100	37
541	0	0	0	0	0	69414	266579	91	12629
542	39576604	2	1547125	708990	111676	83644	26384	100	134963
543a	53470841	4	2325807	1002476	174271	358162	35253	99	0
543	0	0	0	0	0	206393	325026	94	0
544a	27683293	8	1280613	497468	126196	94345	18456	100	26504
544	0	0	0	0	0	33672	537417	100	38324
545a	9931588	42	398319	73932	125530	44740	6372	96	0
545	0	0	0	0	0	103155	542636	100	30070
546	58195197	4	2457190	902985	227046	321321	60448	79	0
547	54982876	9	2693197	910482	226839	65120	13567716	92	0
548a	50726509	11	2162031	1028578	209757	48870	33818	100	128119
548	0	0	0	0	0	96347	657819	100	48942
549a	25601704	29	1160125	246691	263030	80290	15359	90	0
549	0	0	0	0	0	219351	671023	100	28836
581	3288520	24	111824	27826	19506	41156	1344	61	0
582	3290612	39	128697	26141	31965	902	3348	76	0
621	7429161	0	214658	138470	9326	4288	4953	100	241
661	26214621	10	1212985	496828	100286	36239	17476	100	37007
662	21395647	5	995172	367469	81346	73425	30093	95	0
663	13910562	2	629538	276926	38918	13750	41014	100	477
664	26092230	4	1267274	526786	79746	31122	58409	100	1194
665	13139787	9	610423	317455	38004	22011	37188	55	1765374
741	61318601	2	2794333	1185009	196750	197362	40879	100	45541
742	65153750	3	2675922	1332722	230035	210683	43436	100	106222
743	33911424	0	1396749	713515	78380	125697	99699	100	157442
744	26861781	10	1144119	489100	105960	206778	119730	100	56964
745	17321315	4	719096	380330	48880	30360	53911	100	370020
746	51317483	5	2611645	899997	169350	118832	33003	96	0
747	12228085	4	549565	261750	33514	1547	8152	100	19522

Aanhangsel 10 Afdeling midden, huidige situatie

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
541a	35799594	5	1429019	625607	138813	33420	23866	100	37
541	0	0	0	0	0	69414	266579	91	12629
542	39576604	2	1547125	708990	111676	83644	26384	100	134963
543a	53470841	4	2325807	1002476	174271	358162	35253	99	0
543	0	0	0	0	0	206393	325026	94	0
544a	27683293	8	1280613	497468	126196	94345	18456	100	26504
544	0	0	0	0	0	33672	537417	100	38324
545a	9931588	42	398319	73932	125530	44740	6372	96	0
545	0	0	0	0	0	103155	542636	100	30070
546	58195197	4	2457190	902985	227046	321321	60448	79	0
547	54982876	9	2693197	910482	226839	65120	13567716	92	0
548a	50726509	11	2162031	1028578	209757	48870	33818	100	128119
548	0	0	0	0	0	96347	657819	100	48942
549a	25601704	29	1160125	246691	263030	80290	15359	90	0
549	0	0	0	0	0	219351	671023	100	28836
581	3288520	24	111824	27826	19506	41156	1344	61	0
582	3290612	39	128697	26141	31965	902	3348	76	0
621	7429161	0	214658	138470	9326	4288	4953	100	241
661	26214621	10	1212985	496828	100286	36239	17476	100	37007
662	21395647	5	995172	367469	81346	73425	30093	95	0
663	13910562	2	629538	276926	38918	13750	41014	100	477
664	26092230	4	1267274	526786	79746	31122	58409	100	1194
665	13139787	9	610423	317455	38004	22011	37188	55	1765374
741	61318601	2	2794333	1185009	196750	197362	40879	100	45541
742	65153750	3	2675922	1332722	230035	210683	43436	100	106222
743	33911424	0	1396749	713515	78380	125697	99699	100	157442
744	26861781	10	1144119	489100	105960	206778	119730	100	56964
745	17321315	4	719096	380330	48880	30360	53911	100	370020
746	51317483	5	2611645	899997	169350	118832	33003	96	0
747	12228085	4	549565	261750	33514	1547	8152	100	19522

Aanhangsel 11 Afdeling midden, klimaat plus 1.5Q in hoofdwaterlopen scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
541a	35799594	5	1506390	717318	120271	33420	17900	100	353058
541	0	0	0	0	0	69414	220591	100	393562
542	39576604	2	1668450	808647	119829	83644	19788	100	616210
543a	53470841	4	2476406	1154511	187183	358162	26735	100	583979
543	0	0	0	0	0	206393	258983	100	494031
544a	27683293	8	1338104	571581	106265	94345	13842	100	403876
544	0	0	0	0	0	33672	403063	100	1883121
545a	9931588	42	359699	80237	76076	44740	4966	100	100395
545	0	0	0	0	0	103178	406977	100	120012
546	58195197	4	2612605	1044808	201486	321321	57229	100	199658
547	54982876	9	2815061	1064719	194399	65120	14607761	100	603304
548a	50726509	11	2220305	1137994	162788	48870	25363	100	803499
548	0	0	0	0	0	96347	493364	100	1442534
549a	25601704	29	1128868	288743	168796	80290	12801	100	193200
549	0	0	0	0	0	219351	503267	100	254890
581	3288520	24	112535	32097	13959	50073	1463	89	0
582	3290612	39	127678	30746	20910	902	3290	100	3726
621	7429161	0	228658	152841	9217	4288	3715	100	51473
661	26214621	10	1273238	572746	86672	36239	13107	100	364635
662	21395647	5	1074350	452006	84477	73425	23805	100	163107
663	13910562	2	683924	332260	42637	13750	30760	100	162855
664	26092230	4	1354876	618093	83210	31122	43807	100	288139
665	13139787	9	629197	345187	29979	22011	37188	74	1899707
741	61318601	2	2972622	1356521	193917	197362	30659	100	816733
742	65153750	3	2849001	1502740	234996	210683	32577	100	1027490
743	33911424	0	1506341	819236	89548	125697	74774	100	656077
744	26861781	10	1207726	564302	92744	206778	89797	100	415352
745	17321315	4	767284	431217	49319	30360	40433	100	487124
746	51317483	5	2788271	1074162	173397	118832	25659	100	434628
747	12228085	4	585032	295670	32587	1547	6114	100	152837

Aanhangsel 12 Afdeling midden, klimaat plus 1.5Q scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
541a	35799594	5	1556512	750129	135976	33420	17900	100	190850
541	0	0	0	0	0	69414	220591	100	392601
542	39576604	2	1679918	815038	121835	83644	19788	100	609479
543a	53470841	4	2520510	1184997	212131	358162	26735	100	349568
543	0	0	0	0	0	206393	258983	100	493598
544a	27683293	8	1369677	583779	119997	94345	13842	100	275147
544	0	0	0	0	0	33672	403063	100	1892092
545a	9931588	42	407659	82092	82193	44740	4966	100	83426
545	0	0	0	0	0	103155	406977	100	116853
546	58195197	4	2643391	1052348	203447	321321	57229	100	215769
547	54982876	9	2870543	1082357	197586	65120	14567353	100	495567
548a	50726509	11	2334063	1195736	219066	48870	25363	100	477635
548	0	0	0	0	0	96347	493364	100	1425864
549a	25601704	29	1226458	311086	175886	80290	12801	100	115946
549	0	0	0	0	0	219351	503267	100	211219
581	3288520	24	118258	32947	16568	47961	1348	82	0
582	3290612	39	134570	31004	21334	902	3290	100	455
621	7429161	0	237647	161342	12081	4288	3715	100	15840
661	26214621	10	1313734	596416	85491	36239	13107	100	249092
662	21395647	5	1134836	504992	82740	73425	23805	100	15671
663	13910562	2	721946	367947	45021	13750	30760	100	42262
664	26092230	4	1420606	674393	96359	31122	43807	100	112128
665	13139787	9	643320	350353	35270	22011	37188	74	1635797
741	61318601	2	3019902	1389893	217532	197362	30659	100	543050
742	65153750	3	2932908	1565754	254245	210683	32577	100	590202
743	33911424	0	1540657	853289	96246	125697	74774	100	468243
744	26861781	10	1264054	601385	107687	206778	89797	100	247320
745	17321315	4	809829	468142	54629	30360	40433	100	419105
746	51317483	5	2877819	1144040	176391	118832	25659	100	175257
747	12228085	4	608939	315842	40034	1547	6114	100	83880

Aanhangsel 13 Afdeling zuid, huidige situatie

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
11	561090	0	15585	8664	530	2760	306	82	0
12	450736	14	16354	6601	1303	1045	256	85	0
13	480721	0	9130	6146	362	2410	209	65	0
71	2316178	1	68967	40858	2575	30254	8482	37	0
72	342489	50	20070	4027	2728	4305	9486	41	0
81	2296874	2	78839	57422	4128	14377	10776	44	0
82	2332397	0	82584	66164	3967	20471	12467	48	0
83	1739773	20	57914	34535	8922	9416	14335	52	0
84	2989455	90	139986	2058	56345	14179	16624	57	0
85	13913038	3	1093323	74140	40364	24893	18434	48	0
100	6059194	3	192521	125511	37311	17805	2087	52	0
101	2638745	55	173347	27859	24597	10850	899	51	0
102	4658333	2	195466	128516	18692	29820	2042	66	0
103	7070693	21	264457	145012	37338	29820	6473	100	247
104	914324	3	32781	24621	1894	3788	610	100	10156
105	945506	0	2751	2128	94	12484	2145	32	0
106	991215	0	34356	26156	1356	6205	2923	40	0
107	1934596	1	85299	51705	8287	16575	852	66	0
108	1557293	0	60634	38153	2196	4000	1038	100	9441
109	2696353	0	109233	67401	10775	12782	1150	64	0
110	5892659	0	123588	96055	7301	151699	37508	62	0
121	21343840	33	1684162	4503	123541	14770	2404	17	0
122	3187584	94	110346	3397	62401	13967	4650	28	0
123	5843462	100	262218	402	115896	20391	11645	58	0
161	21005010	34	1792376	1238	144784	26572	6994	50	0
201	11287540	10	875875	4832	40200	2715	1067	14	0
241	27190120	10	2608271	4576	77314	10209	2444	13	0
242	1267491	100	91804	0	20749	5047	536	63	0
243	2037755	64	82070	8889	26237	5419	3877	19	0
244	949576	52	38115	12111	10669	6070	4227	20	0
321	9253941	10	811271	25500	31106	17984	1098	18	0
322	38315080	8	3114597	195846	104036	16285	9940	31	25406
401	8266803	18	342634	182796	39061	32585	5511	100	43044
402	4221132	11	154092	98424	16472	8610	8325	100	20487
403	9517283	67	392083	73879	133638	46725	6345	100	8293
404	7502663	0	243261	212150	15144	41415	19672	100	30919
405	9320474	55	337182	103444	112313	7609	6214	100	32008
406	12686072	45	412208	178543	137293	61028	14671	100	20312
407	2788232	0	92949	70366	6066	13266	16530	100	13247
408	5698120	7	178664	145399	24549	30786	3799	100	12652
409	6724169	11	253382	154655	26181	30712	44483	100	243830

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
441	11010144	2	752684	120287	37557	12935	4388	60	0
442	19329647	19	999331	254622	115545	31800	15034	74	0
443	18607219	10	832804	384728	79420	38640	10896	88	0
444	17417137	7	896899	264262	59860	23430	9464	82	0
445	7153427	8	235516	167195	26079	11990	16100	98	10
446	19851248	2	729264	499020	53853	153626	28631	97	0
447	9125861	0	328248	246544	16693	10750	6084	100	80444
448	10347831	13	416719	217476	41042	29502	42597	100	98095
481	447928	0	16921	9731	566	3185	299	100	189
482	25835574	0	1432918	349942	84460	43862	11530	67	0
483	2367643	45	135892	17214	19887	11207	12915	69	0
501	986531	84	78183	0	11903	4745	247	38	0

Aanhangsel 14 Afdeling zuid, klimaat scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
11	561090	0	16397	9476	553	2760	340	91	0
12	450736	14	16378	7173	866	1045	277	92	0
13	480721	0	9659	6675	361	2410	220	69	0
71	2316178	1	72540	44532	2480	30254	8634	38	0
72	342489	50	18966	4324	1516	4305	9551	41	0
81	2296874	2	82750	61698	4910	14377	10984	45	0
82	2332397	0	87655	71251	5606	20471	12880	49	0
83	1739773	20	58921	37078	6194	9416	15101	55	0
84	2989455	90	127302	3230	32735	14179	17412	59	0
85	13913038	3	1195969	100851	44748	24893	19898	52	0
100	6059194	3	212361	146974	37821	17805	2099	52	0
101	2638745	55	167520	34175	14422	10850	987	56	0
102	4658333	2	224726	158327	18977	29820	2046	66	0
103	7070693	21	265944	156572	25052	29820	6473	100	9783
104	914324	3	34478	26505	1795	3788	610	100	14183
105	945506	0	2907	2283	114	12498	2151	32	0
106	991215	0	36462	28275	1446	6205	3017	41	0
107	1934596	1	96296	62820	8256	16575	854	66	0
108	1557293	0	63816	41389	2117	4000	1038	100	16876
109	2696353	0	120706	78803	12135	12782	1150	64	0
110	5892659	0	131076	103658	8151	156493	39793	65	0
121	21343840	33	1743844	20846	77448	16086	2935	21	0
122	3187584	94	93355	3684	36741	14660	5208	32	0
123	5843462	100	229621	433	66513	20391	12854	63	0
161	21005010	34	1883033	20895	92173	26572	7646	55	0
201	11287540	10	956017	33154	30169	2889	1067	14	0
241	27190120	10	2841298	13610	67954	10209	2444	13	0
242	1267491	100	82355	0	11240	5048	606	72	0
243	2037755	64	76066	10458	15435	5762	3878	19	0
244	949576	52	36380	13167	6461	6485	4153	20	0
321	9253941	10	878898	41923	27578	19005	1242	20	0
322	38315080	8	3384594	232980	95368	16285	31713	100	65288
401	8266803	18	349134	198437	28120	32585	5511	100	71003
402	4221132	11	160890	107439	13124	8610	8325	100	32829
403	9517283	67	365041	79919	78376	46725	6345	100	28470
404	7502663	0	262834	232040	18633	41415	19672	100	59152
405	9320474	55	318804	112606	68583	7609	6214	100	59026
406	12686072	45	404023	198440	90307	61028	14671	100	42438
407	2788232	0	98023	75950	5533	13266	16530	100	23206
408	5698120	7	196671	165370	21736	30786	3799	100	22068
409	6724169	11	264645	170054	22421	30712	44483	100	342012

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwaterlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
441	11010144	2	815069	160548	44272	12935	4874	66	0
442	19329647	19	1041814	318490	96402	31800	16606	82	0
443	18607219	10	899743	463346	71137	38640	11596	93	0
444	17417137	7	962378	318614	57949	23430	10099	87	0
445	7153427	8	247754	182940	23999	11990	16380	100	526
446	19851248	2	805231	578769	61838	153626	29615	100	3947
447	9125861	0	349614	267892	18529	10750	6084	100	110273
448	10347831	13	432818	240840	33751	29502	42597	100	226795
481	447928	0	17932	10759	519	3185	299	100	780
482	25835574	0	1519379	402672	70404	43862	12290	71	0
483	2367643	45	131806	21861	12907	11207	13867	74	0
501	986531	84	71625	0	6155	4745	297	45	0

Aanhangsel 15 Afdeling zuid, klimaat plus 1.5Q in hoofdwat- lopen scenario

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
11	561090	0	16397	9476	553	2760	281	100	949
12	450736	14	16378	7173	866	1045	225	100	1106
13	480721	0	9659	6675	361	2410	218	91	0
71	2316178	1	72540	44532	2480	30254	8634	50	0
72	342489	50	18966	4324	1516	4305	9471	55	0
81	2296874	2	82750	61698	4910	14377	10916	59	0
82	2332397	0	87655	71251	5606	20471	12858	66	0
83	1739773	20	58921	37078	6194	9416	14942	73	0
84	2989455	90	127302	3230	32735	14179	17348	79	0
85	13913038	3	1195969	100851	44748	24893	19565	68	0
100	6059194	3	212361	146974	37821	17805	2099	69	0
101	2638745	55	167520	34175	14422	10850	985	75	0
102	4658333	2	224726	158327	18977	29820	2046	88	0
103	7070693	21	265944	156572	25052	29820	4855	100	94463
104	914324	3	34478	26505	1795	3788	457	100	27655
105	945506	0	2907	2283	114	12695	2151	43	0
106	991215	0	36462	28275	1446	6205	3011	55	0
107	1934596	1	96296	62820	8256	16575	853	88	0
108	1557293	0	63816	41389	2117	4000	779	100	31447
109	2696353	0	120706	78803	12135	12782	1150	85	0
110	5892659	0	131076	103658	8151	176662	37580	82	0
121	21343840	33	1743844	20846	77448	18191	2935	28	0
122	3187584	94	93355	3684	36741	14945	5207	42	0
123	5843462	100	229621	433	66513	20391	12852	85	0
161	21005010	34	1883033	20895	92173	26572	7644	73	0
201	11287540	10	956017	33154	30169	3267	1000	18	0
241	27190120	10	2841298	13610	67954	10885	1998	15	0
242	1267491	100	82355	0	11240	5048	606	96	0
243	2037755	64	76066	10458	15435	6297	3095	20	0
244	949576	52	36380	13167	6461	7080	3800	24	0
321	9253941	10	878898	41923	27578	21447	1235	27	0
322	38315080	8	3384594	232980	95368	16285	23785	100	67728
401	8266803	18	349134	198437	28120	32585	4133	100	167220
402	4221132	11	160890	107439	13124	8610	6244	100	82909
403	9517283	67	365041	79919	78376	46725	4759	100	132887
404	7502663	0	262834	232040	18633	41415	14754	100	165882
405	9320474	55	318804	112606	68583	7609	4660	100	167921
406	12686072	45	404023	198440	90307	61028	11003	100	194005
407	2788232	0	98023	75950	5533	13266	12397	100	59238
408	5698120	7	196671	165370	21736	30786	2849	100	104503

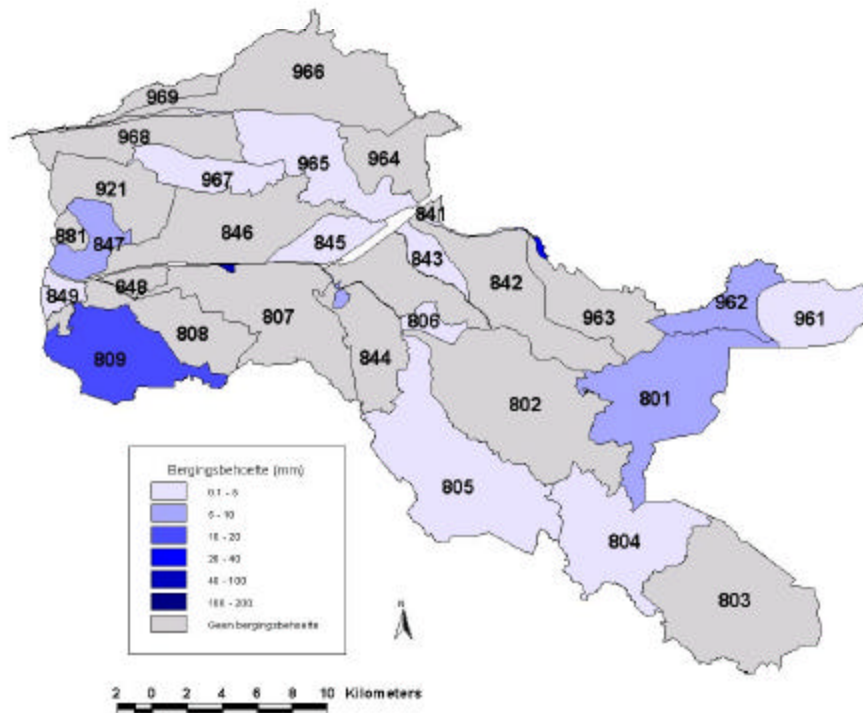
ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
409	6724169	11	264645	170054	22421	30712	33362	100	104382
441	11010144	2	815069	160548	44272	12935	4874	89	0
442	19329647	19	1041814	318490	96402	31800	15170	100	56426
443	18607219	10	899743	463346	71137	38640	9304	100	128682
444	17417137	7	962378	318614	57949	23430	8709	100	56416
445	7153427	8	247754	182940	23999	11990	12285	100	115552
446	19851248	2	805231	578769	61838	153626	22211	100	273382
447	9125861	0	349614	267892	18529	10750	4563	100	243508
448	10347831	13	432818	240840	33751	29502	31948	100	162287
481	447928	0	17932	10759	519	3185	224	100	4211
482	25835574	0	1519379	402672	70404	43862	12286	95	0
483	2367643	45	131806	21861	12907	11207	13621	97	0
501	986531	84	71625	0	6155	4745	296	60	0

Aanhangsel 16 Afdeling zuid, klimaat plus 1.5Q scenario

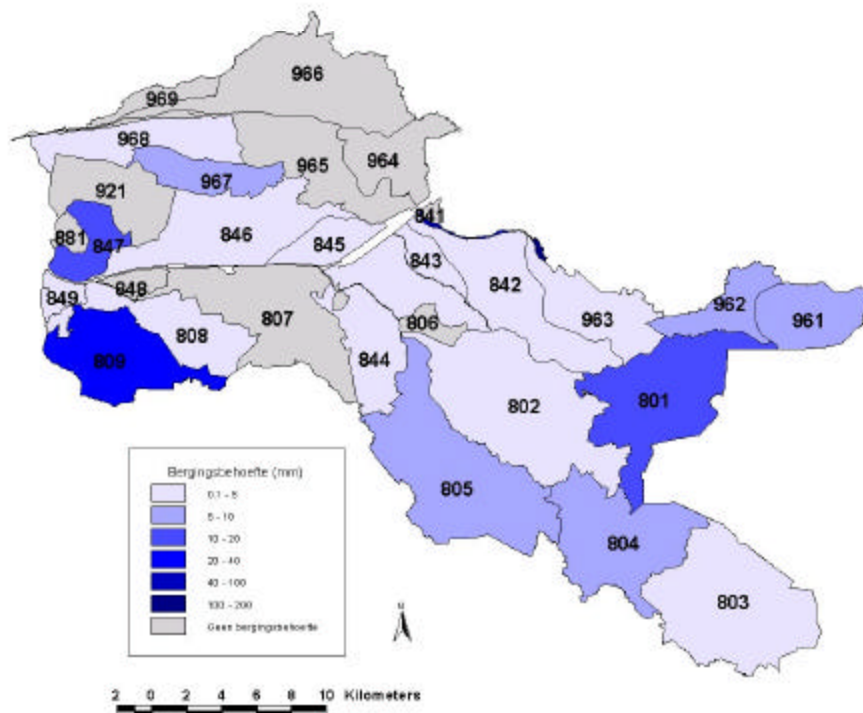
ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwat erlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
11	561090	0	16579	9670	499	2760	273	97	0
12	450736	14	16612	7407	841	1045	223	99	0
13	480721	0	10038	7054	508	2410	169	70	0
71	2316178	1	73515	45529	4368	30254	8492	50	0
72	342489	50	19105	4452	1922	4305	9297	54	0
81	2296874	2	83911	62889	10095	14377	10309	56	0
82	2332397	0	90847	74493	13313	20471	11858	60	0
83	1739773	20	60575	38803	9220	9416	13655	67	0
84	2989455	90	127346	3259	32760	14179	16038	73	0
85	13913038	3	1199185	104129	47351	24893	18178	63	0
100	6059194	3	212361	146974	37821	17805	2099	69	0
101	2638745	55	167520	34175	14422	10850	985	75	0
102	4658333	2	224726	158327	18977	29820	2046	88	0
103	7070693	21	268941	159458	31517	29820	4855	100	59557
104	914324	3	34700	26707	5478	3788	457	100	21253
105	945506	0	2988	2368	329	12695	2138	43	0
106	991215	0	37178	28965	3625	6205	2904	53	0
107	1934596	1	96296	62820	8256	16575	853	88	0
108	1557293	0	63950	41437	4228	4000	779	100	26721
109	2696353	0	120706	78803	12135	12782	1150	85	0
110	5892659	0	133964	106463	17092	172168	35783	78	0
121	21343840	33	1743844	20846	77448	18191	2935	28	0
122	3187584	94	93361	3694	36761	14945	5214	43	0
123	5843462	100	229622	434	66518	20391	11743	77	0
161	21005010	34	1883036	20895	92173	26572	6527	62	0
201	11287540	10	956020	33154	30169	3267	1000	18	0
241	27190120	10	2841298	13610	67954	10885	1998	15	0
242	1267491	100	82355	0	11240	5048	606	96	0
243	2037755	64	76095	10474	15456	6299	3095	20	0
244	949576	52	36381	13210	6462	7126	3832	24	0
321	9253941	10	879052	42089	27711	21515	1245	27	0
322	38315080	8	3384810	233129	95258	16285	23785	100	69300
401	8266803	18	358239	207695	36718	32585	4133	100	113970
402	4221132	11	168260	114845	20095	8610	6244	100	50972
403	9517283	67	368107	82997	82191	46725	4759	100	112995
404	7502663	0	290922	260141	45099	41415	14754	100	79979
405	9320474	55	321601	115447	73550	7609	4660	100	142710
406	12686072	45	428447	222869	108084	61028	11003	100	123059
407	2788232	0	100214	78181	15001	13266	12397	100	40692
408	5698120	7	223860	192567	34267	30786	2849	100	35613
409	6724169	11	283251	188601	35635	30712	33362	100	48128

ID	AREA (m2)	Percentage stedelijk gebied (%)	Maximale berging bodem (m3)	Maximale berging maaiveld (m3)	Maximale berging detail ontwatering systeem (m3)	Maximale berging hoofdwaterlopen (m3)	Maximale afvoer (m3/uur)	Maximale afvoer tov 2Q (%)	Additionele bergings behoefte (m3)
441	11010144	2	820186	165784	43663	12935	4424	80	0
442	19329647	19	1063323	339920	94322	31800	14893	98	0
443	18607219	10	964583	528391	87051	38640	9304	100	4575
444	17417137	7	985257	341623	58800	23430	8497	98	0
445	7153427	8	262049	197198	36776	11990	12285	100	26480
446	19851248	2	893590	666785	84900	153626	22211	100	66242
447	9125861	0	361045	279211	39411	10750	4563	100	162276
448	10347831	13	451052	259027	45842	29502	31948	100	99238
481	447928	0	18657	11459	557	3185	224	100	1285
482	25835574	0	1552742	435745	89199	43862	10000	77	0
483	2367643	45	134357	24393	13725	11207	11348	80	0
501	986531	84	71629	0	6151	4745	296	60	0

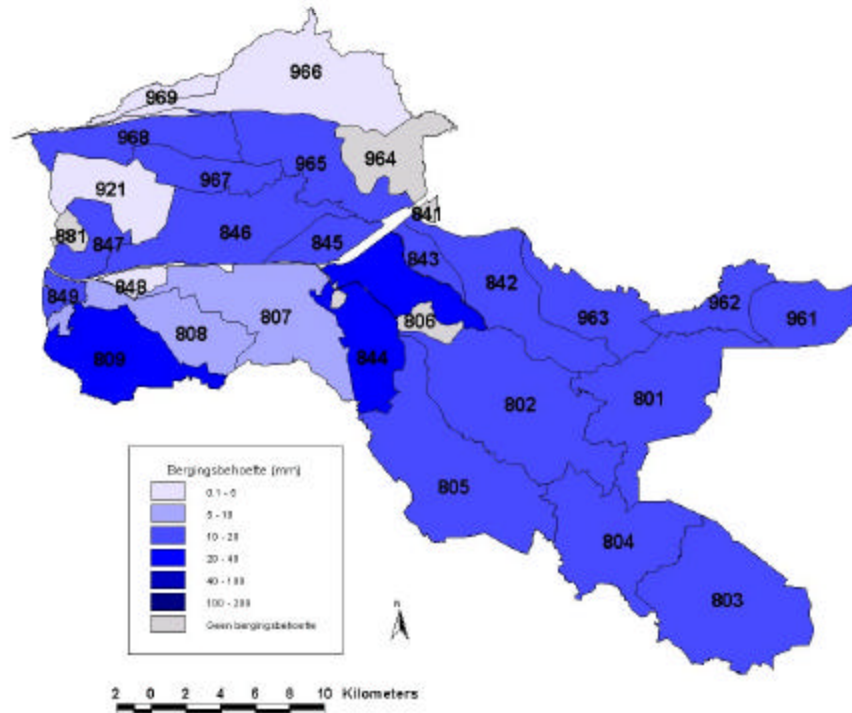
Aanhangsel 17 Afdeling Noord



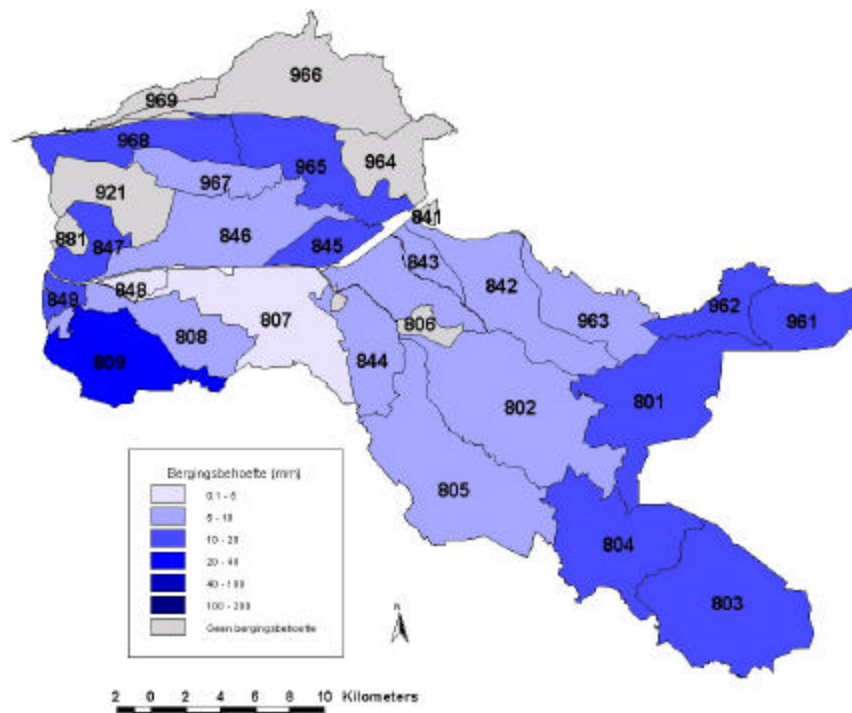
De maximale additionele bergingsbehoefte per deelstroomgebied in afdeling noord bij de huidige situatie



De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling noord bij het scenario klimaatverandering

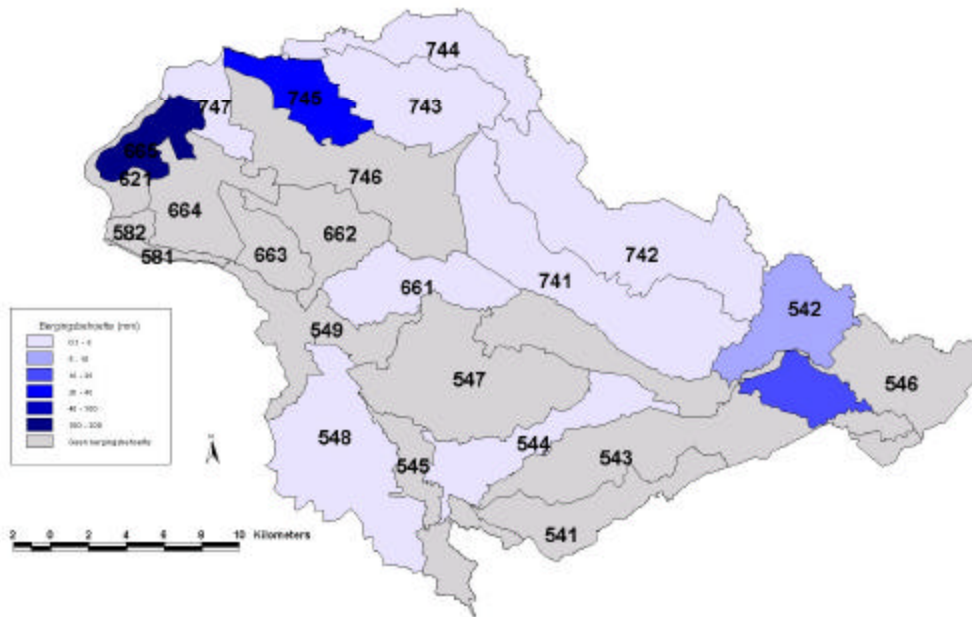


De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling noord bij het scenario klimaatverandering plus 1.5Q in de hoofdwaterlopen

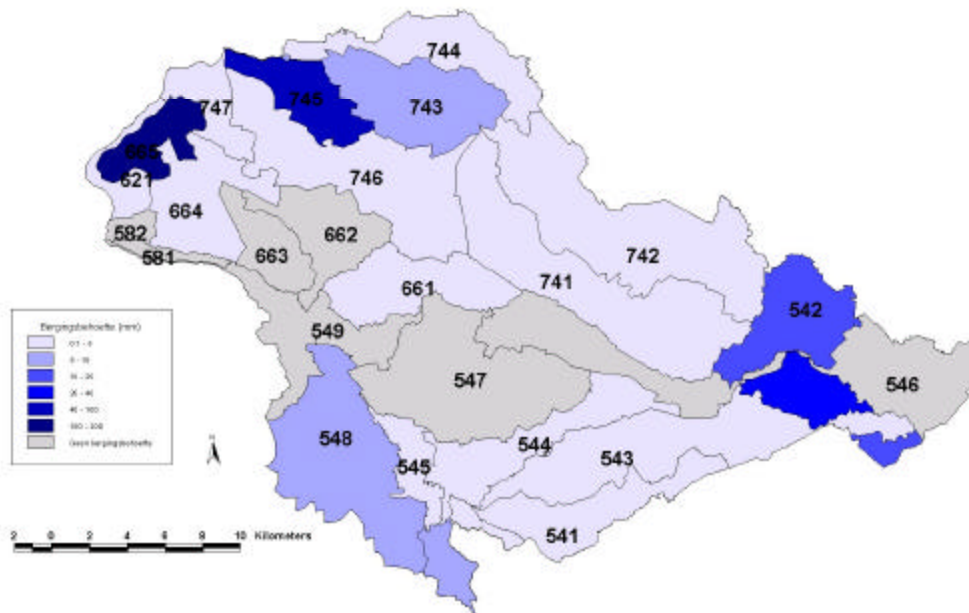


De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling noord bij het scenario klimaatverandering plus 1.5Q in alle waterlopen

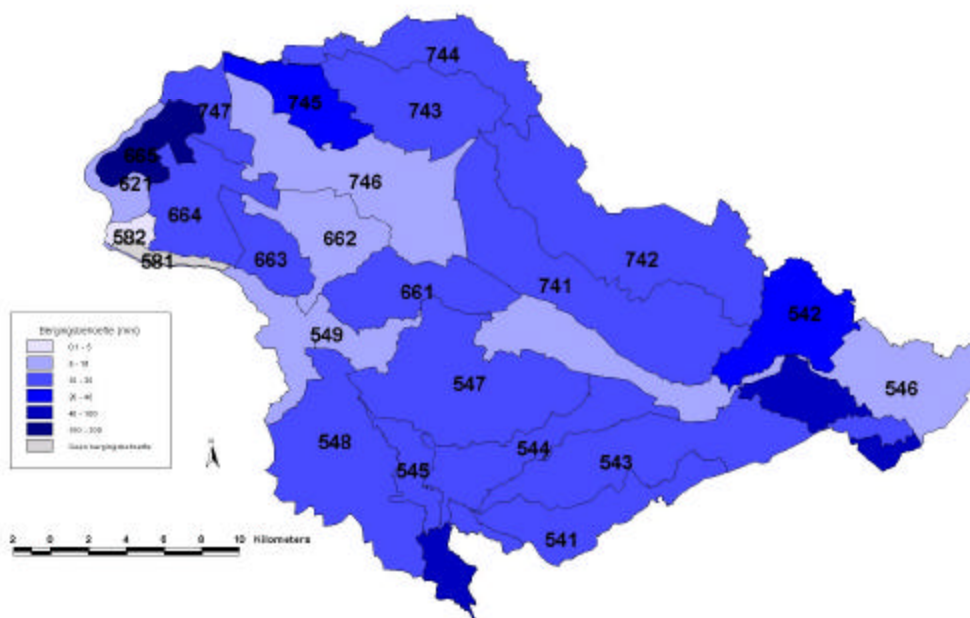
Aanhangsel 18 Afdeling Midden



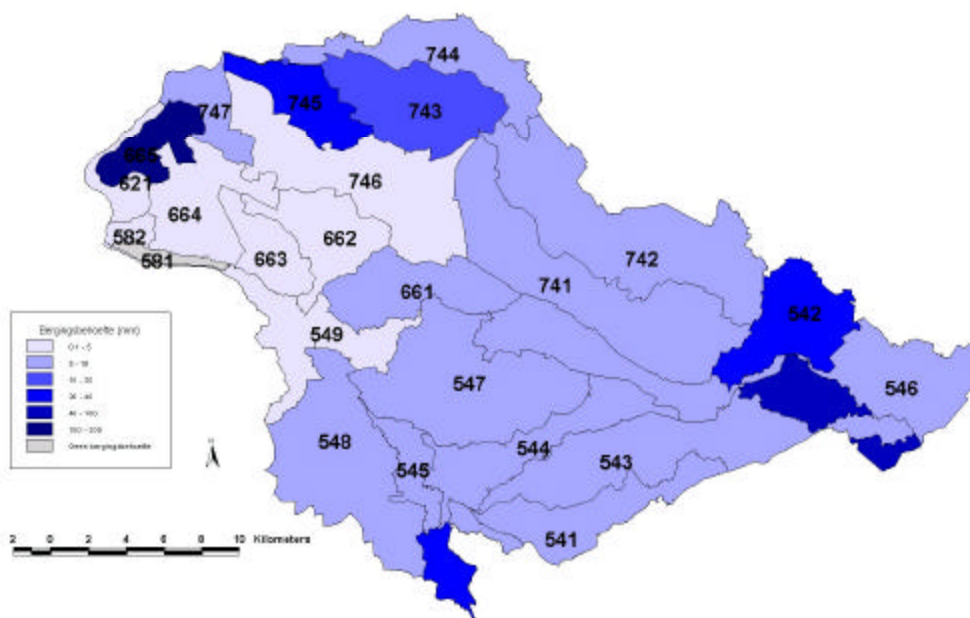
De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling midden bij het huidige klimaat



De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling midden noord bij het klimaat scenario

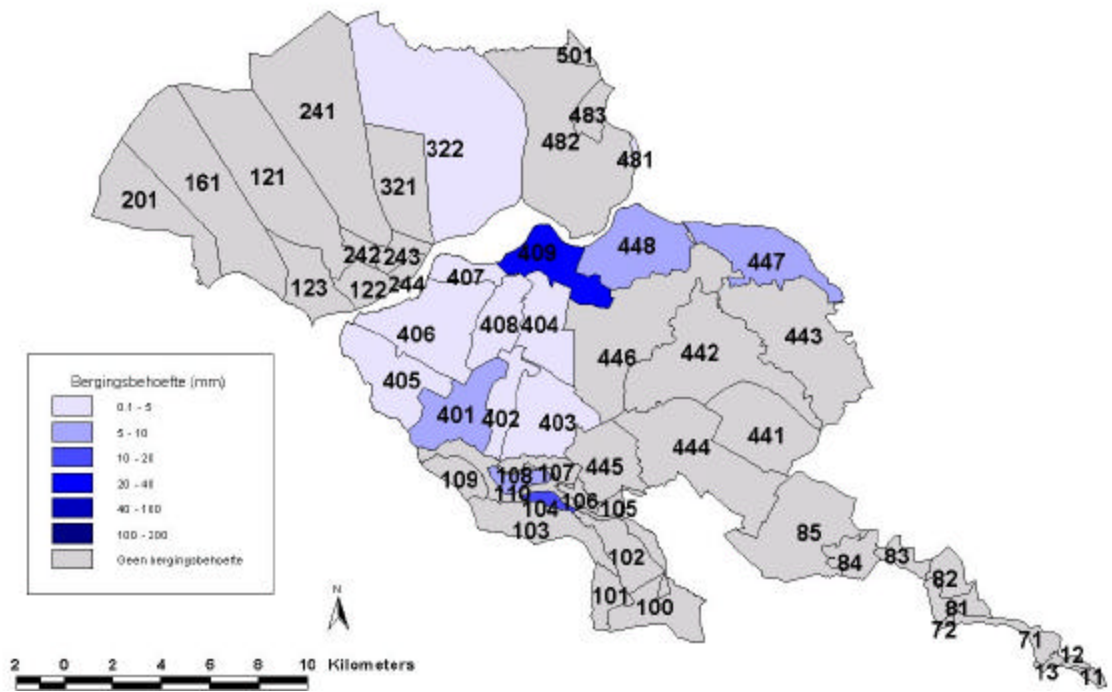


De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling midden bij het klimaat plus 1.5Q in de hoofdwaterlopen scenario

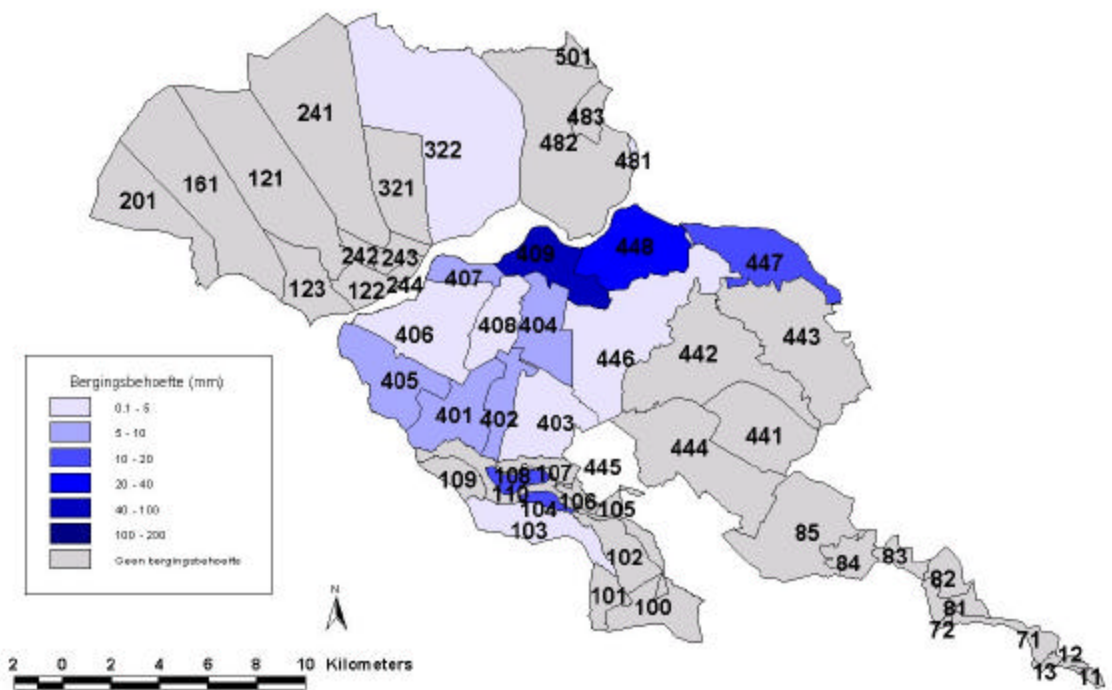


De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling midden bij het klimaat plus 1.5Q in alle waterlopen scenario

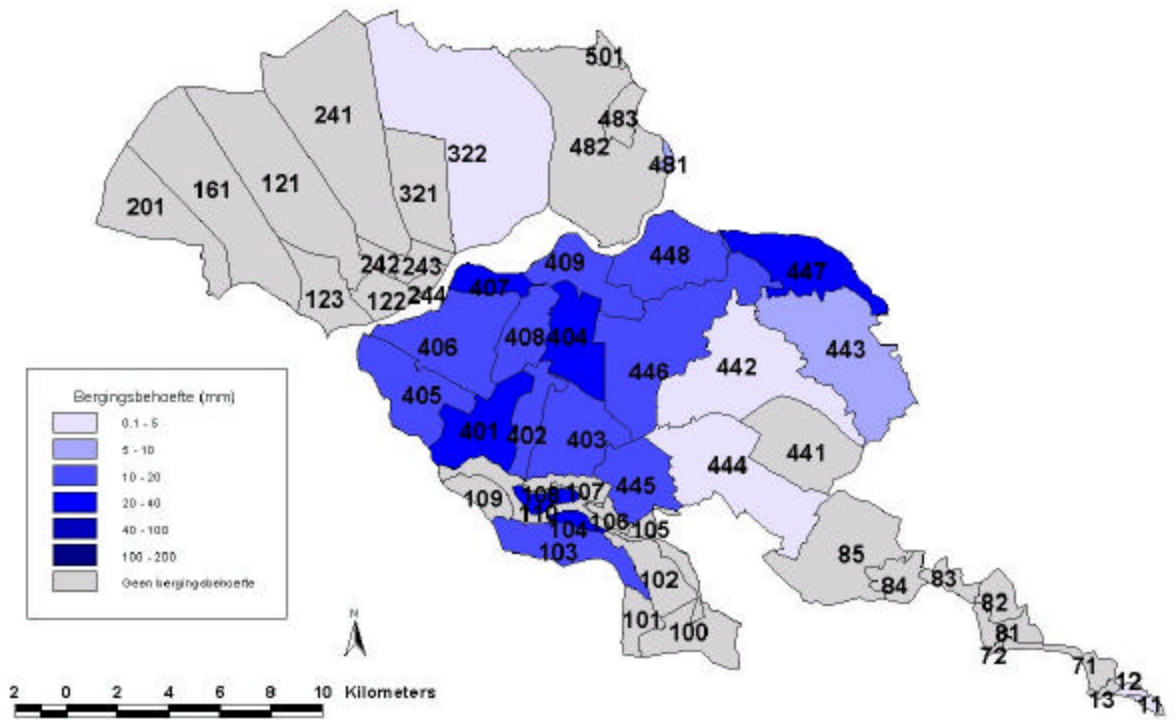
Aanhangsel 19 Afdeling Zuid



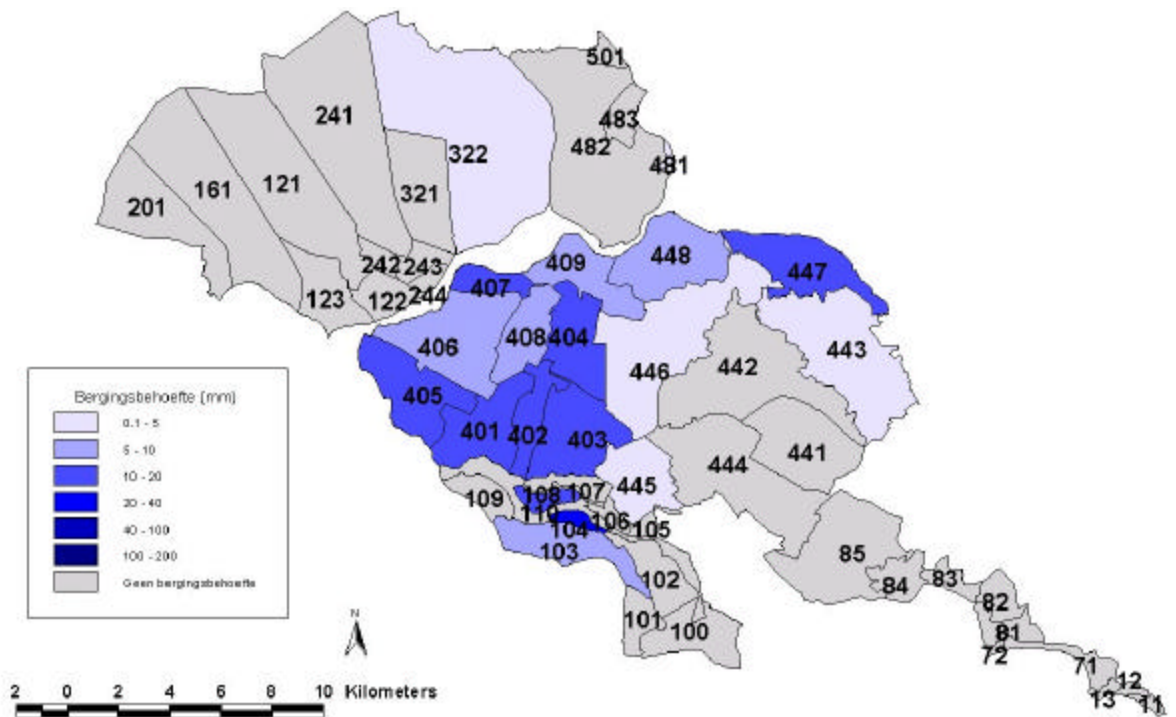
De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling zuid bij het huidig klimaat



De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling zuid bij het klimaat scenario

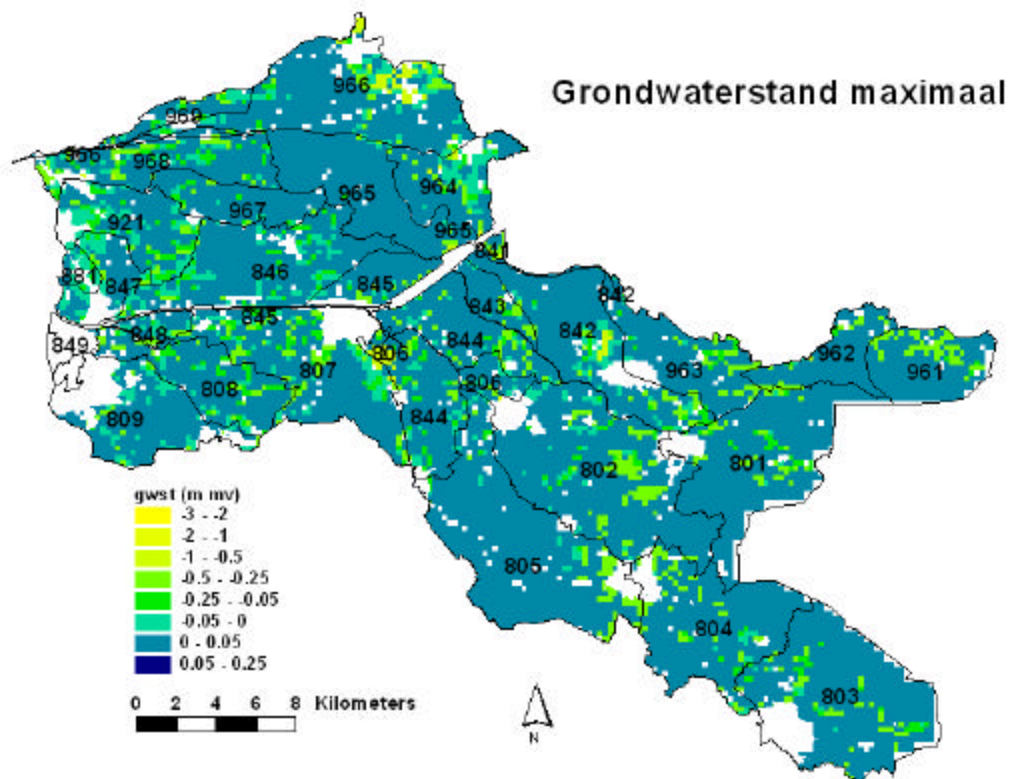
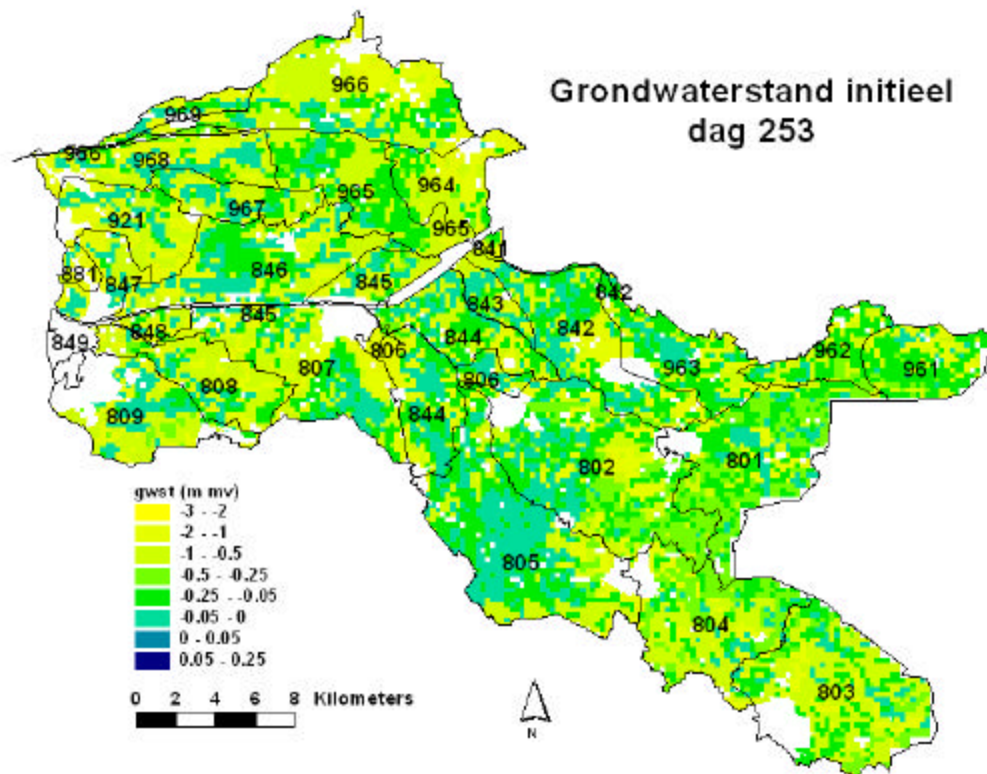


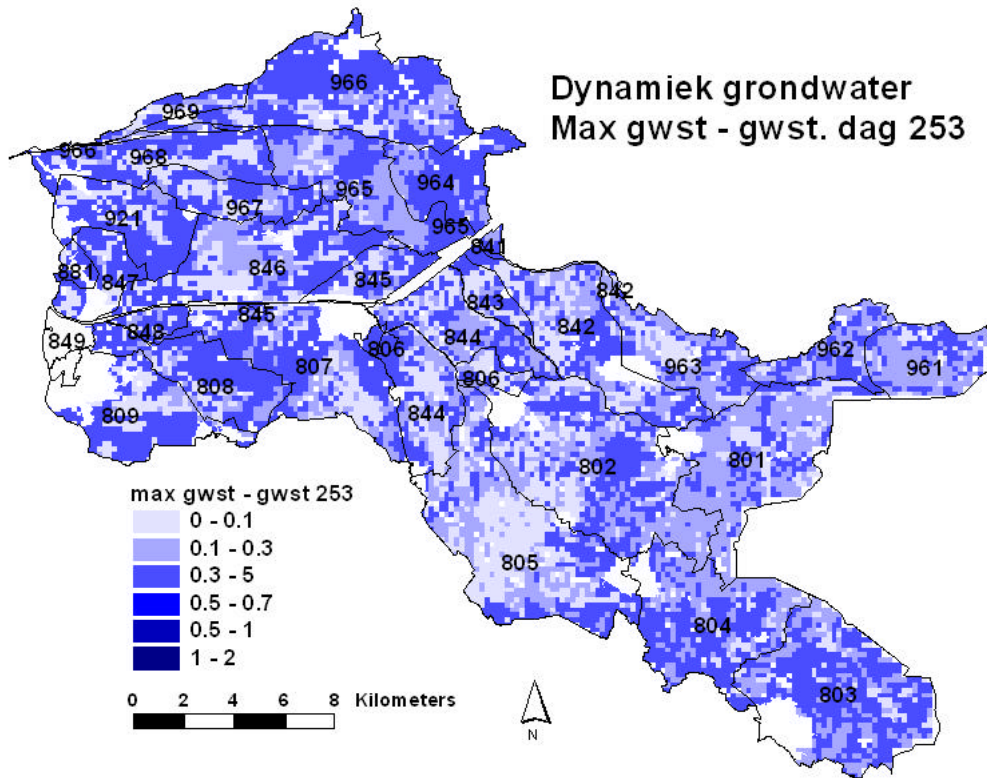
De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling zuid bij het scenario klimaatverandering klimaat plus 1.5Q in de hoofdwaterlopen



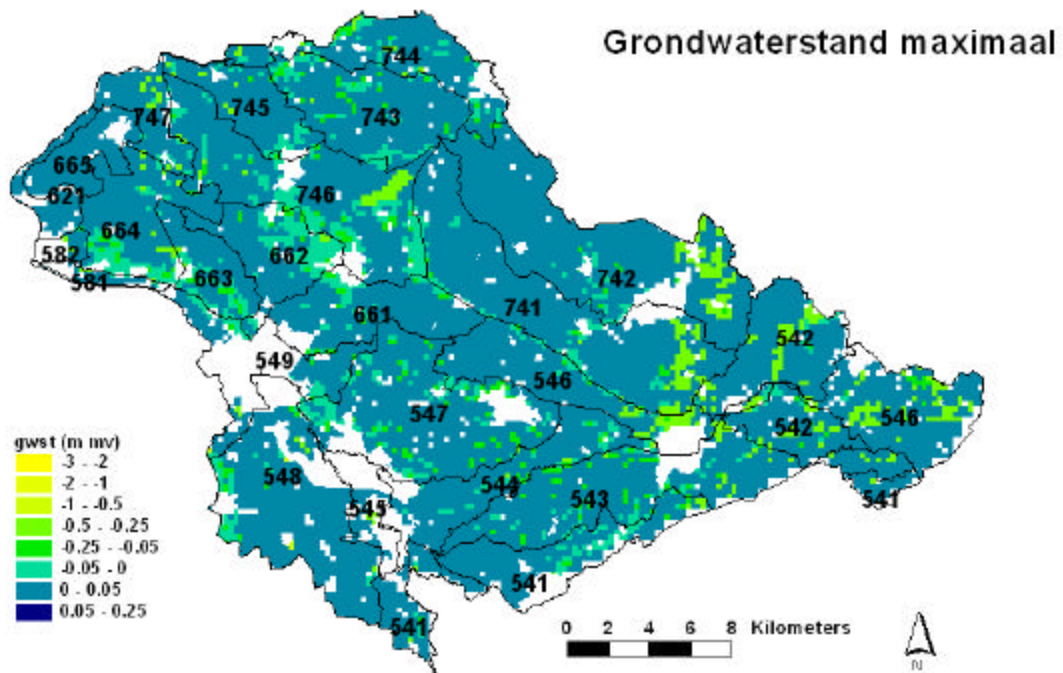
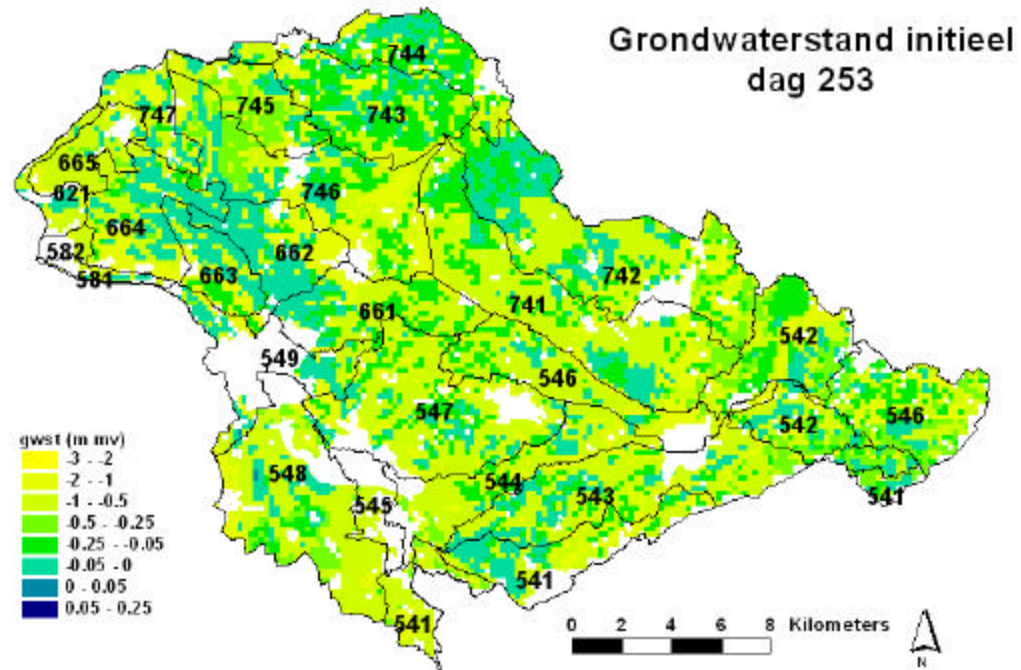
De maximale additionele bergingsbehoefte in afdeling zuid bij het scenario klimaatverandering klimaat plus 1.5Q in alle waterlopen

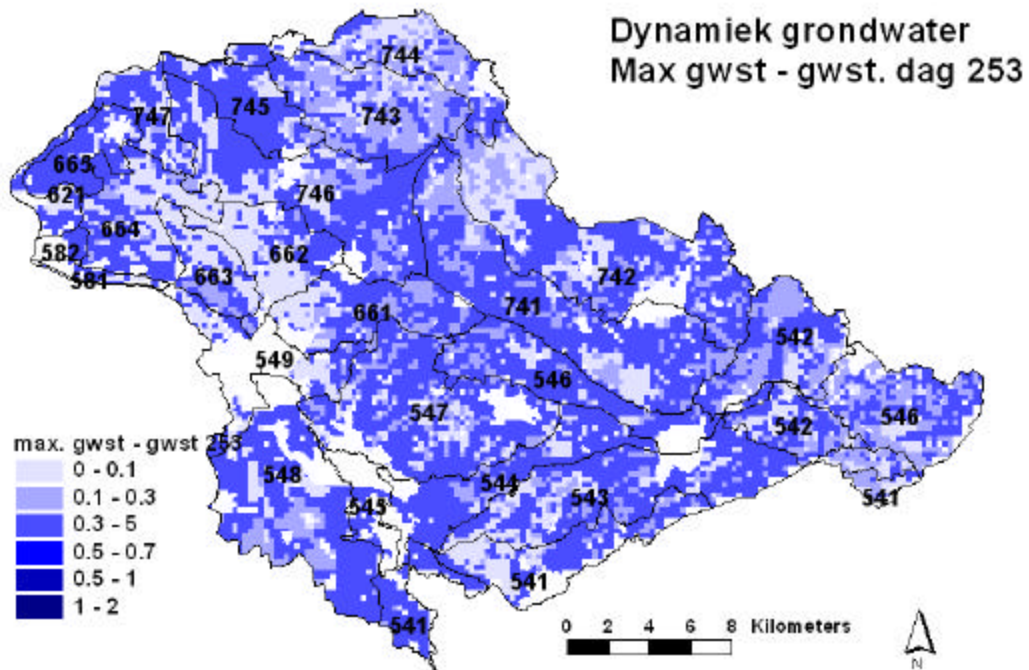
Aanhangsel 20 Grondwater Noord



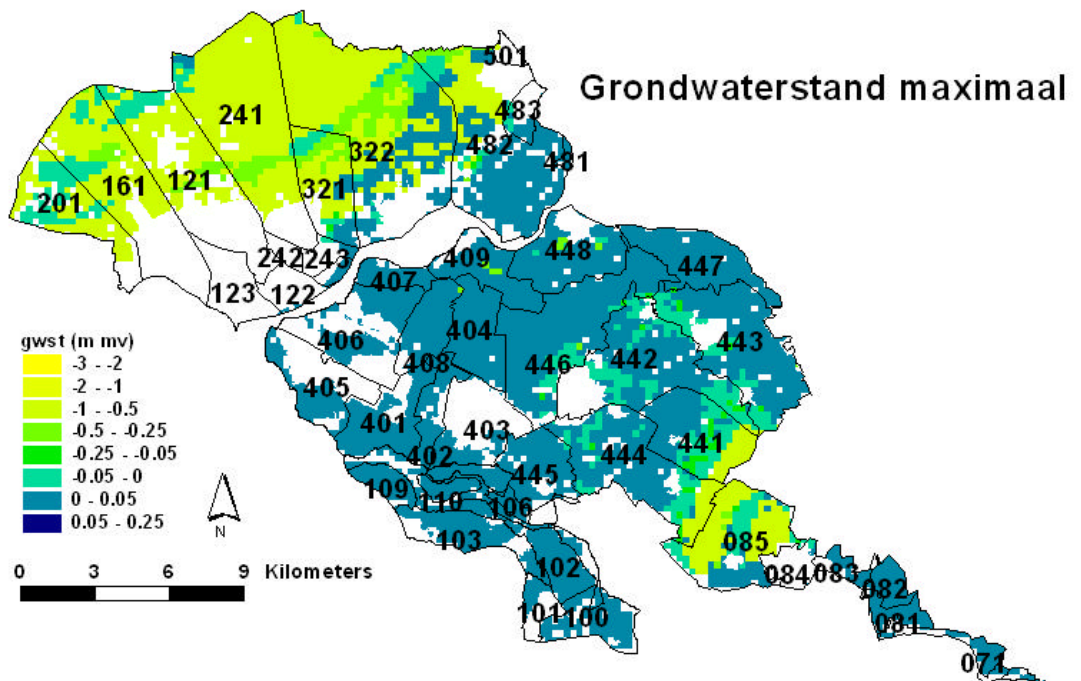
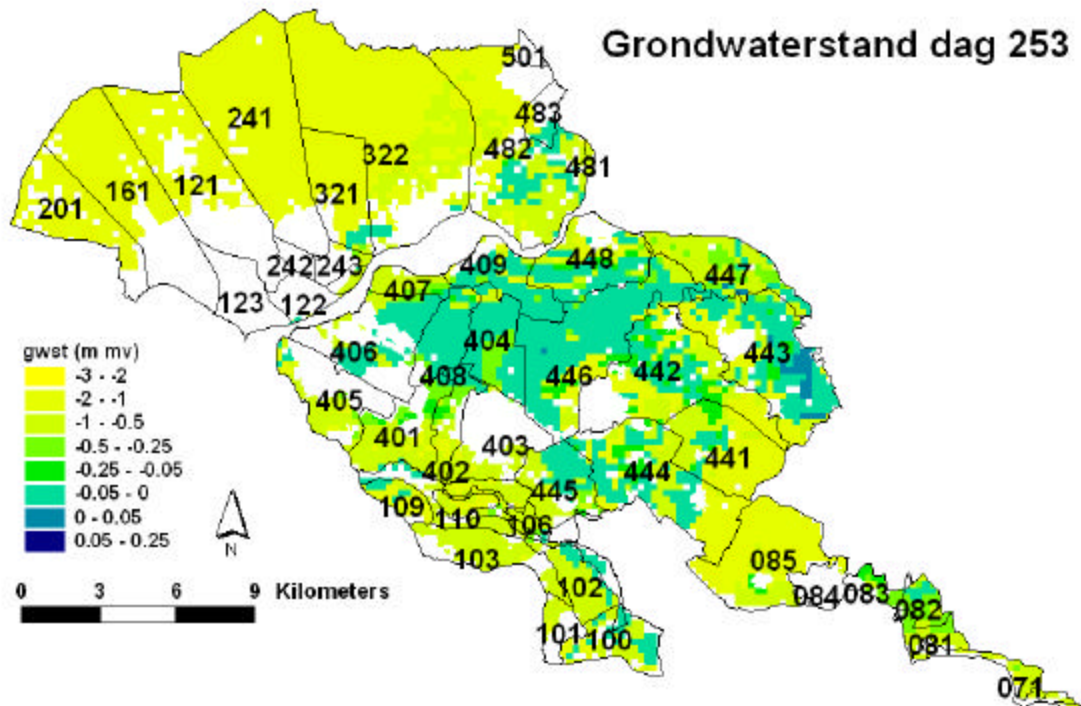


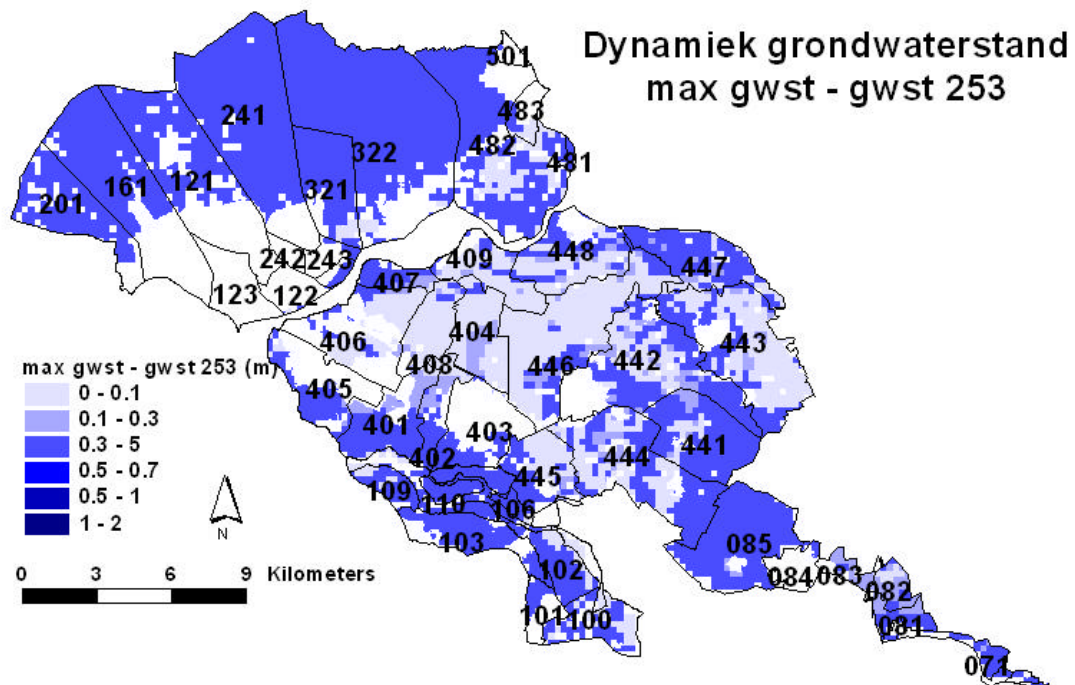
Aanhangsel 21 Grondwater Midden





Aanhangsel 22 Grondwater Zuid





Aanhangsel 23 Genodigden workshops

Centrale afdeling kaderstelling en beleid:

Alfred te Pas
Twan Rosmalen

Afdeling Noord:

Toin Lambrechts
Ellen Weide
Nicole Otten
Arie Koster
Hendri Witteveen
Erwin Kok

Afdeling Midden:

Roel van der Veen
Martijn Heuvelmans
Amadé Holkenborg
Gerben Houwers
Jan Knuvers

Afdeling Zuid:

Arjen van Zalinge
Bert Docter
Martin Laarakker
Benjan Weener
Jan Polman
Louis Zweers

