



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant

Inzicht door modelberekeningen

P.J.T. van Bakel
A. Poelman
L.C.P.M. Stuyt



Alterra-rapport 1488, ISSN 1566-7197



Adviesburo voor Waterbeheer BV



Water vasthouden in Noord-Brabant

In opdracht van Projectbureau Noord-Brabantse Waterschappen te Boxtel.

Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant

Inzicht door modelberekeningen

P.J.T. van Bakel, A. Poelman en L.C.P.M. Stuyt

Alterra-rapport 1488

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

P.J.T. van Bakel, A. Poelman en L.C.P.M. Stuyt, 2007. *Water vasthouden in de provincie Noord-Brabant; Inzicht door modelberekeningen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1488 98 blz.; 37 fig.; 19 tab.; 19 ref.

De meest effectieve strategie voor de reductie van piekafvoeren, 'water vasthouden', is bergen van water bij de bron, waarbij de afstroming van water op perceelsniveau wordt bemoeilijkt. Om een onderbouwd inzicht in effect en relevantie van 'water vasthouden' te krijgen zijn, in samenspraak met betrokken instanties, vijf maatregelen met behulp van de computercode SIMGRO geëvalueerd in de stroomgebieden 'Peelsche Loop', 'Groote Wetering' en 'Raamsloop'. Piekafvoeren kunnen met 3 tot 45% worden gereduceerd. De meest effectieve manier om water vast te houden is het voorkómen van maaiveldafvoer waarbij water tijdelijk op het maaiveld wordt geborgen, met als neveneffect structurele grondwaterstandverhogingen en effecten op de landbouw. Minder effectieve maatregelen hebben een marginaal effect op de regionale hydrologie. Inundaties verdwijnen sneller met goede drainage.

Trefwoorden: WB21, piekafvoer, piekreductie, inundatie, knijpduiker, drainage, water vasthouden, GLG, GHG, landbouwschade, SIMGRO.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2007 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.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.

[Alterra-rapport 1488/april/2007]

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting.....	9
1 Inleiding	11
2 Methode en gebruikt instrumentarium	13
2.1 Definities, uitgangspunten en te onderzoeken gebieden	13
2.2 Kenmerken van de gekozen onderzoeksmethode	14
3 Beschrijving en modellering van de drie modelgebieden	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Beschrijving modelgebieden	17
3.2.1 Ligging	17
3.2.2 Topografie	17
3.2.3 Bodemtypen	19
3.2.4 Landgebruik	20
3.2.5 Waterlopen en stuwen	22
3.2.6 Gedraineerde percelen	22
3.2.7 Beschrijving van de ondergrond	22
3.2.8 Beregeningsputten	22
3.3 Modellering	23
3.4 Plausibiliteit van modellen voor de uitgangssituatie	29
3.5 Overige rekenresultaten in de uitgangssituatie	32
3.5.1 Gemiddeld Laagste Grondwaterstanden (GLG)	32
3.5.2 Kwel en wegzijging	33
3.5.3 Berekende inundatiepatronen	33
4 Selectie van maatregelen	37
4.1 Mogelijke ingrepen en bijbehorende maatregelen	37
5 Rekenresultaten	45
5.1 Algemeen	45
5.2 Effecten per maatregel	49
5.2.1 Knijpduikers zonder dammetje	49
5.2.2 Knijpduiker met dammetje	49
5.2.3 Knijpduiker met dammetje en slootverbreding	55
5.2.4 Blokkeren van maaiveldafvoer	55
5.2.5 Herdrainage volgens 'Van Iersel'	60
6 Analyse	65
6.1 Inleiding	65
6.2 Piekafvoeren	65
6.3 Inundaties	73
6.4 Structurele verandering van grondwaterstanden	78

6.5	Opbrengstveranderingen	86
6.6	Incidentele natschade aan landbouwgewassen	86
6.7	Patronen van kwel en wegzijging	87
7	Conclusies en discussie	91
7.1	Conclusies	91
7.1.1	Conclusies met betrekking tot de methode	91
7.1.2	Conclusies met betrekking tot de resultaten	91
7.2	Discussie	93
7.2.1	Hardheid van de rekenresultaten	93
7.2.2	De methode 'Gumbel' versus de stochastenmethode	94
7.2.3	Ruimtelijk differentiëren van de maatregelen	94
7.2.4	Representativiteit van de bevindingen	95
7.2.5	Combineerbaarheid van maatregelen	95
7.2.6	Relatie met andere wateropgaven	96

Woord vooraf

In dit kortdurende project is hooggekwalificeerde expertise op het terrein van de regionale hydrologie, in nauwe samenspraak met de opdrachtgever en andere belanghebbenden, vertaald in nieuwe kennis en inzichten die waardevol zijn bij de beleidsontwikkeling rond het operationele waterbeheer. Zoals zo vaak bij vraagstukken rond het waterbeheer is het stellen van een (kennis)vraag gemakkelijker dan haar te beantwoorden. Dit geldt zeker voor vragen rond het vasthouden van water om piekafvoeren uit regionale stroomgebieden te reduceren, omdat deze alleen kunnen worden beantwoord door experts die in staat zijn om een modelinstrumentarium te ontwikkelen waarmee (effecten van) subtiele ingrepen in het oppervlaktewaterbeheer kunnen worden nagebootst. Het werd tijd dat er een einde kwam aan het speculatieve karakter van de discussies rond dit issue, en dat is, zo denken alle betrokkenen, in beginsel gelukt, mede dankzij het begrijpelijk verwoorden van concepten en analyses, zonder gebruik van te veel hydrologisch jargon.

Het project werd uitgevoerd in nauwe samenspraak met een begeleidingscommissie, bestaande uit: Johan Elshof (ZLTO), Frans van Erve (Brabants landschap), Jac Hendriks (Staatsbosbeheer), Kees van Laarhoven (Natuurmonumenten), Nicolle Lambrechts (Waterschap Aa en Maas), Jos Moorman (Waterschap Aa en Maas), Kees Peerdeman (Waterschap Brabantse Delta), Nicko Straathof (Natuurmonumenten), Jeroen Tempelaars (Waterschap de Dommel), en Mark van de Wouw (Waterschap de Dommel). Tijdens drie bijeenkomsten zijn door alle betrokkenen bijdragen geleverd aan het resultaat van deze verkenning, en de resultaten worden door hen gedragen. Ik wil hen, mede namens de onderzoekers, hartelijk danken voor hun constructieve inbreng.

De modellen werden ontwikkeld door Albert Poelman (Adviesburo voor Waterbeheer BV), die tevens de berekeningen uitvoerde.

Lodewijk Stuyt, Projectleider

Wageningen, april 2007

Samenvatting

Eén van de opgaven voor waterschappen is het ontwikkelen van maatregelen voor de reductie van piekafvoeren. De meest effectieve strategie om dit te bereiken is - in beginsel - 'water vasthouden', hetgeen kan worden vertaald als 'bergen bij de bron'. Voor het vrij afwaterende deel van Noord-Brabant is 'bron' vertaald in deelgebiedjes bovenstrooms van de uitstroming van het detailafwateringssysteem in het bij de waterschappen in beheer zijnde hoofdafwateringssysteem. In de praktijk betekent dit structureel bemoeilijken of verhinderen dat lokaal gevallen, intensieve neerslag snel tot afstroming komt. Vermoed werd dat afvoerpieken hierdoor aanzienlijk kunnen worden gereduceerd, maar een onderbouwd inzicht in effect en dus relevantie van zulke maatregelen ontbreekt grotendeels.

Over de effectiviteit van vasthoudmaatregelen voor reductie van piekafvoeren zijn de meningen verdeeld, mede omdat definities niet duidelijk zijn. Ook de technische implementatie van vasthoudmaatregelen is nog niet uitgekristalliseerd. De behoefte aan meer duidelijkheid heeft geleid tot het uitvoeren van een studie waarbij aan de hand van de modelberekeningen voor drie voorbeeldgebieden in het vrij afwaterend deel van Noord-Brabant inzicht wordt verkregen in de piekafvoer-reducerende werking van vijf vasthoudmaatregelen.

In de onderhavige modelstudie zijn vijf maatregelen om water bij de bron 'vast te houden' op hun effectiviteit getoetst: (i) 'knijpduikers' bij de uitstroming van het detailafwateringssysteem in het hoofdafwateringssysteem, (ii) knijpduikers, gecombineerd met 30 cm hoge dammetjes, (iii) verbreding van bestaande waterlopen van het detailafwateringssysteem, (iv) verwijderen van greppels en blokkeren van oppervlakteafvoer, en (v) vervangen van enkelvoudige-, door samengestelde drainage (configuratie 'Van Iersel'). Voor deze toetsing werden met het behulp van de computercode SIMGRO modellen ontwikkeld van de stroomgebieden 'Peelsche Loop', 'Grote Wetering' en 'Raamsloop' en is de periode 1991-2000 gesimuleerd. De berekende piekafvoeren zijn statistisch geanalyseerd ('Gumbel-analyse') en de veranderingen in kwel/wegzijing, grondwaterstanden en inundaties zijn in kaart gebracht.

Uit de analyse van de resultaten volgt dat reductie van piekafvoeren door vasthoudmaatregelen goed mogelijk is mits tijdelijk extra berging van water in de onverzadigde zone of op het maaiveld plaatsvindt. Dit is voor de meeste maatregelen van korte duur zodat dit geen noemenswaardige structurele verandering van de grondwaterstanden en grondwaterstroming tot gevolg heeft. Hierbij is echter wel het uitgangspunt dat de infiltratiecapaciteit niet beperkend is. De uitzondering hierop is het blokkeren van de maaiveldafvoer, maar door de wijze van modelleren van het proces van oppervlakteafvoer als gevolg van hoge neerslagintensiteiten hebben de rekenresultaten voor met name de zomerperiode een indicatief karakter.

De conclusies van het onderzoek zijn: (i) afhankelijk van maatregel en herhalingsstijf kunnen piekafvoeren met maximaal ruim de helft worden teruggebracht; (ii) vasthouden is vooral effectief als water tijdelijk op het maaiveld kan worden geborgen; (iii) in vlakke gebieden valt meer te bergen dan in hellende gebieden; (iv) knijpduikers

zijn effectief in het reduceren van de piekafvoeren, vooral in combinatie met dammetjes; (v) knippen, gecombineerd met dammetjes heeft geen structureel effect op de grondwaterstand (GHG en GLG); daarom is er geen sprake van structurele schade aan de landbouw en toename van kwel in beekdalen; (vi) voorkómen van maaiveldafvoer is de meest effectieve, zuivere en vergaande vorm van vasthouden maar leidt tot meer overstroming bovenstrooms, structurele grondwaterstandsverhogingen (GHG en GLG) en effecten op de landbouw. Bij bouwland is de toename van de natschade groter dan de afname van de droogteschade en ook de kans op incidentele natschade is hoger; (vii) inundaties verdwijnen sneller met drainage; (viii) herdrainage volgens 'Van Iersel' leidt tot structureel hogere grondwaterstanden en werkt licht piekafvoer verhogend. In het algemeen geldt dat vermindering van de berging in de bodem leidt tot hogere afvoerpieken; dit effect is daarom ook te verwachten bij conserverings- en vernattingsmaatregelen ten behoeve van verdrogingsbestrijding.

De hoofddoelstelling voor deze studie - inzicht verwerven door modelberekeningen - is bereikt. Aan de hand van de simulatieresultaten van de drie stroomgebieden kunnen speculatieve stellingen ten aanzien van het effect van vasthouden beter worden gefundeerd of worden genuanceerd. Voor de maatregel 'blokkeren van de maaiveldafvoer' zijn de effecten aanzienlijk sterker dan verwacht. De resultaten van deze studie zijn daarmee bruikbare bouwstenen voor de ontwikkeling van plannen voor 'water vasthouden'.

1 Inleiding

Waterschappen hebben conform de NBW-afspraken hun oppervlaktewatersysteem getoetst aan de werknormen. Daarbij is bepaald welke gebieden niet aan de norm voldoen, en hoe de waterschappen het systeem ‘op orde’ willen brengen. Een belangrijk aspect hierbij is de toetsing aan de door de Commissie WB21 aanbevolen trits ‘vasthouden-bergen-afvoeren’. Deze trits, in casu de voorkeursvolgorde bij het reduceren van piekafvoeren c.q. het opvangen van de gevolgen van klimaatverandering, blijkt in de praktijk moeilijk te operationaliseren, omdat:

- de definities van ‘vasthouden’ en ‘bergen’ niet eenduidig zijn. In hydrologische zin is ‘water vasthouden’: bergen (gebiedseigen water) bij de bron. Het is een kwestie van afspraak waar de bron ophoudt en water gebiedsvreemd wordt. Zo’n afspraak is echter nooit gemaakt;
- de trits vooral betrekking heeft op te treffen maatregelen, en minder op het operationeel waterbeheer. Immers, zolang je tijdens hoogwatersituaties nog kunt afvoeren moet je het als waterbeheerder niet laten want ‘weg is weg’. Deze nuanceering is echter niet bij iedereen bekend;
- ‘vasthouden’ synoniem is met ‘bergen bij de bron’ en dus vooral een zaak is van waterbeheer bij de bron. Dit type waterbeheer is veelal in handen van meerdere partijen, hetgeen de sturing compliceert.

De mate waarin vasthouden succesvol kan zijn, en specifiek voor welke situaties, is een punt van discussie gebleken. Waterschap De Dommel heeft in haar waterbergingsvisie berekend dat vasthouden op stroomgebiedniveau in extreme situaties weinig effect heeft op piekafvoeren; een afvoerreductie van ‘slechts’ ca. 5% werd haalbaar geacht. Ook de waterschappen Aa en Maas en de Brabantse Delta zetten daarom vooral in op bergen als strategie om te blijven voldoen aan de gestelde normen en ambities. De opvatting van met name natuurterreinbeherende instanties is echter dat het effect van vasthouden op stroomgebiedniveau een veelvoud kan zijn (tot 40 % afvoerreductie), onder verwijzing naar rekenresultaten van Alterra^{1,2}.

De beleving van de effectiviteit van ‘vasthouden’ wisselt dus sterk. Er is diverse malen gepoogd te komen tot consensus maar die waren niet erg succesvol. Daarom werd besloten een verkennende studie uit te laten voeren. Doel van deze verkenning was om door middel van modelberekeningen de verschillende opvattingen in concrete voorbeeldgebieden te toetsen, zodat echte of vermeende tegenstellingen in opvattingen explicieter gemaakt zouden kunnen worden. Op basis hiervan kan gemakkelijker consensus ontstaan over de door waterschappen, agrariërs en terreinbeherende instanties uit te voeren maatregelen.

Aan het begin van het project werden door de begeleidingcommissie onderstaande kennisvragen geformuleerd.

¹ Bakel, P.J.T. van, 2004. Werkt vasthouden? H₂O (2004)14/15: 19-21.

² Bakel, P.J.T. van, P.E.V. van Walsum, M. Groenendijk en E.P. Querner, 2003. Waterberging en verdrogingsbestrijding. Een nadere analyse van de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van modelberekeningen in 2 stroomgebieden. Alterra, Wageningen.

- ‘Werkt’ vasthouden voor piekafvoerreductie; heeft het perspectief?
 - Wat is het verschil tussen vasthouden en bergen?
 - Wat zijn goede mogelijkheden om water vast te houden?
 - Wat moet je doen om vasthouden effectief te doen zijn?
 - Welke schade levert het vasthouden van water op aan de landbouw?
 - Bij welke herhalingstijden van afvoerpieken is effectieve reductie te behalen: bij 1, 10 en/of bij 100 jaar?
 - Welk effect is te verwachten als het water alleen in de sloten / haarvaten wordt vastgehouden?
 - Welk effect mag verwacht worden als water op het land komt te staan, en wat als we meer water doelbewust op het land toelaten?
- Bovenstaande vragen worden in deze rapportage beantwoord.

2 Methode en gebruikt instrumentarium

Voor het verkrijgen van inzicht door middel van modelberekeningen zijn drie voorbeeldgebieden geselecteerd waarin hydrologisch kansrijke maatregelen zijn doorgerekend. De resultaten verschaffen inzicht in de mogelijkheden om water vast te houden. Het onderzoek, dat werd uitgevoerd door het Centrum voor Water en Klimaat (CWK) van Wageningen UR en het Adviesburo voor Waterbeheer BV, bestond uit een zevental stappen die hierna in meer detail worden besproken. Deze stappen werden doorlopen gedurende een intensief en kortdurend (november 2006 tot maart 2007) traject, in nauwe samenspraak met de projectgroep 'Water Vasthouden' waarin vertegenwoordigers van de waterschappen Aa en Maas, Brabantse Delta en De Dommel, ZLTO, het Brabants Landschap, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en de provincie Noord-Brabant.

2.1 Definities, uitgangspunten en te onderzoeken gebieden

Bij de start van het project is nadrukkelijk aandacht geschonken aan definities; met name aan de afbakening tussen 'vasthouden' en 'bergen'. Bij de keuze van de voorbeeldgebieden was het *leitmotiv* dat het niet ging om voor dat gebied specifiek toepasbare resultaten maar dat de gebieden geschikt moeten zijn om algemeen geldend inzicht te verwerven in de mogelijkheden om water tijdelijk vast te houden. Dit heeft geleid tot de volgende selectiecriteria:

1. De drie modelgebieden moeten een redelijke afspiegeling vormen van de geohydrologische situaties in het vrij afwaterend deel van Noord-Brabant waarbij water vasthouden aan de orde is.
2. Bij voorkeur wordt in elk waterschap één gebied geselecteerd. De gebiedskeuze wordt beïnvloed door kwaliteit en beschikbaarheid van gegevens en modellen.
3. De drie gebieden zijn stroomgebieden van maximaal 5000 ha en er is buiten het groeiseizoen nauwelijks of geen sprake van bovenstroomse aanvoer van oppervlaktewater.
4. Er wordt gebruik gemaakt van bestaande modellen waarin alleen de hoogst noodzakelijke aanpassingen worden aangebracht.
5. Van alle modelgebieden zijn gegevens m.b.t. de structuur en de afmetingen van de waterlopen in digitale vorm beschikbaar gesteld en op consistentie gecontroleerd.

Op basis van deze criteria zijn de volgende stroomgebieden geselecteerd:

- De Peelsche Loop: een enigszins hellend gebied van 7920 ha in het waterschap Aa en Maas, op de Peelhorst ten noorden van Gemert;
- De Groote Wetering: een 9511 ha groot gebied in het waterschap Aa en Maas. Het overgrote westelijke deel, gelegen in de Slenk, is redelijk vlak;
- De Raamsloop: hellend gebied van 6278 ha. De Rijenbreuk verdeelt het gebied in geohydrologische zin in twee gedeelten.

2.2 Kenmerken van de gekozen onderzoeksmethode

1. Er is gerekend met een versie van SIMGRO waarbij ‘knippen’ van afvoeren uit het detailafwateringsysteem adequaat kan worden gesimuleerd. De gehanteerde knooppuntafstand van het eindige elementenmodel is 75 m: ca. 2 knooppunten per hectare. Modelbouw, analyse en visualisatie van de modelresultaten zijn gerealiseerd met het gebruikersinterface/data managementsysteem AlterraAqua, op grond van basisbestanden conform AlterraAqua- en HIB-formaat.
2. De statistische kenmerken van extreme buien (‘gebeurtenissen met een lange herhalingstijd’) zijn berekend op grond van een langjarige neerslagreeks, mede gegeven de behoefte aan informatie over effecten op GHG, en GLG.
3. Er zijn geen calibraties uitgevoerd, maar in plaats daarvan een plausibiliteitstoets, waarin is door middel van *expert judgement* is vastgesteld in hoeverre het model in redelijke mate ‘doet’ wat het moet doen. De ervaring leert immers dat meestal (te) uitgebreid wordt stilgestaan bij de calibratie. In dit project was dat, gegeven de projectdoelstelling, niet gewenst. Het gaat er in dit project immers om, effecten van maatregelen in het oppervlaktewatersysteem te kunnen bestuderen en niet om de hydrologische werkelijkheid exact te simuleren. De resultaten moeten goed genoeg zijn voor de onderbouwing van beleidsbeslissingen. Het aldus vastgestelde model van de huidige situatie wordt aangeduid als de uitgangssituatie.
4. De effecten van maatregelen zijn gekwantificeerd door ze te vergelijken met de uitgangssituatie.
5. De berekende piekafvoeren zijn, voor het winter- en het zomerseizoen afzonderlijk, statistisch onderzocht met behulp van een Gumbelanalyse.
6. Aandachtspunten bij de modellering:
 - *De interactie tussen detailafwatering en hoofdafwatering.* De versie van SIMGRO die voor externe opdrachten beschikbaar is heeft (nog) geen optie om bij gebruik van knijpduikers volledig rekening te houden met de benedenstroomse waterstand. Alleen bij een benedenstroomse waterstand hoger dan de bovenstroomse waterstand kan water ‘terugstromen’. Er is daarom niet met deze standaardversie gerekend, maar met een bètaversie waarin deze optie wel beschikbaar is.
 - *De keuze van de randvoorwaarden.* De stroomgebieden zijn relatief klein, waardoor de randfluxen (=grondwaterstromingen door de modelgrenzen) via het verzadigd grondwatersysteem een relatief groot aandeel in de waterbalans kunnen vormen, en door vasthoudmaatregelen substantieel kunnen worden beïnvloed. Het is echter van belang dat geen ‘export’ van effecten buiten het stroomgebied plaatsvindt omdat verondersteld wordt dat water ‘Brabantbreed’ zal worden vastgehouden. Dit kan modelmatig worden gerealiseerd door een grondwater-randflux op te leggen of door een ruime bufferzone rond het interessegebied te leggen en de vasthoudmaatregelen ook in deze bufferzone door te voeren. Dit laatste betekent echter dat ook de gegevens van het oppervlaktewater in de bufferzone adequaat moeten zijn. De meest pragmatische oplossing was om uit te gaan van opgelegde randfluxen; deze zijn voor alle watervoerende lagen ontleend aan het ‘Waterdoelenmodel Brabant’, van TNO Bouw en Ondergrond, die de gegevens aan Alterra beschikbaar heeft gesteld. Ten behoeve van de invoer van deze fluxen is een conversiepro-

gramma gemaakt waarmee vectorgeoriënteerde stromingsfluxen van MODFLOW vertaald zijn in scalaire equivalenten ten behoeve van SIMGRO. Zouden de rand*potentials* (=de stijghoogten van het grondwater) constant worden gehouden dan zouden effecten van maatregelen te zeer door de vaste randvoorwaarden beïnvloed worden en wordt een situatie gesimuleerd alsof buiten het modelgebied geen maatregelen worden genomen om water vast te houden.

3 Beschrijving en modellering van de drie modelgebieden

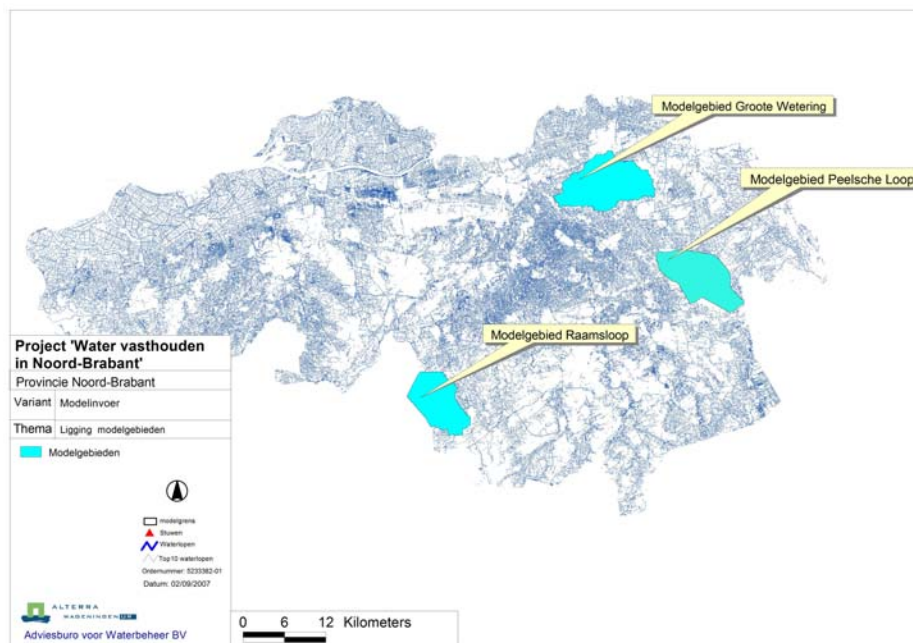
3.1 Inleiding

Het uitgangspunt van de studie: inzicht door modelberekeningen is geconcretiseerd door 3 modelgebieden te selecteren. In dit hoofdstuk worden de 3 modelgebieden beschreven en wordt het in model brengen ervan nader toegelicht

3.2 Beschrijving modelgebieden

3.2.1 Ligging

In Kaart 1 zijn de locaties van de drie modelgebieden gegeven in een overzichtskaart van Noord-Brabant.

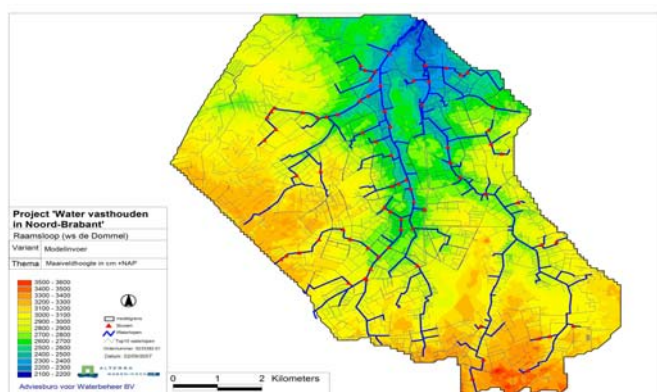
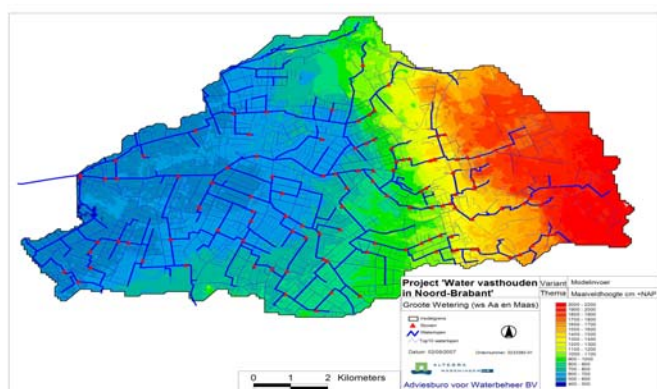
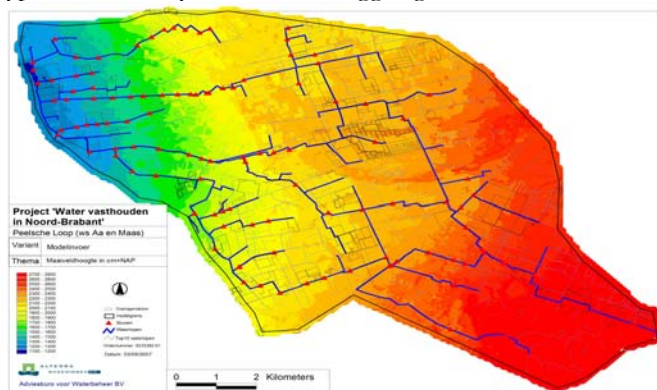


Kaart 1 Locaties van de drie onderzochte stroomgebieden in Noord-Brabant: de Grote Wetering (9511 ha), de Peelsche Loop (7920 ha) en de Raamsloop (6278 ha)

3.2.2 Topografie

De maaiveldhoogte van de drie stroomgebieden is grafisch weergegeven in Kaart 2. De hoogteligging van de Grote Wetering (9511 ha) varieert van 22 m +NAP tot 2

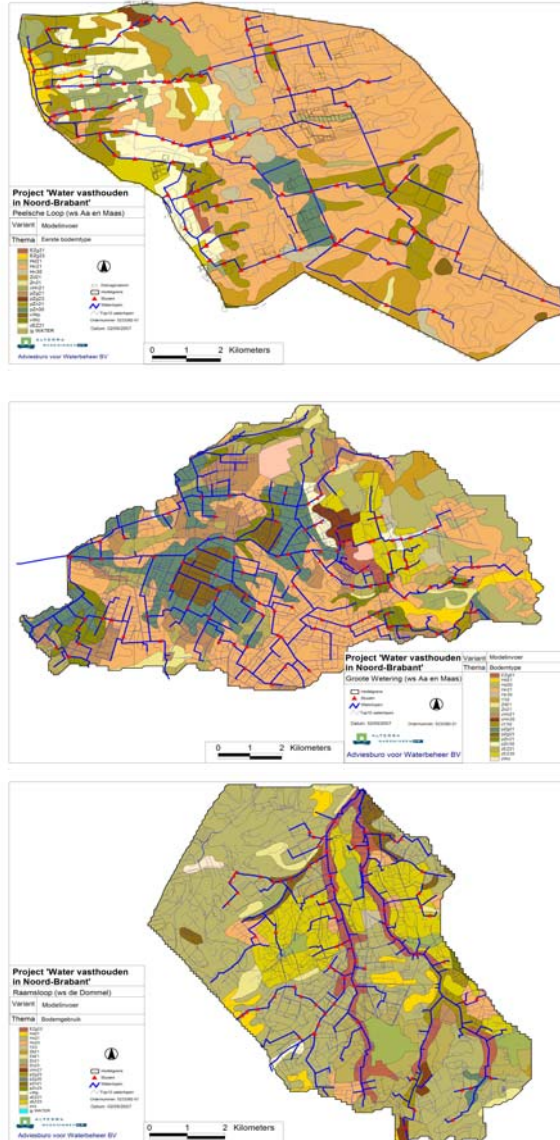
m +NAP. Een relatief groot deel van dit gebied heeft een vrij vlak maaiveldverloop, maar ten oosten van de lijn Nistelrode-Heesch loopt het maaiveld snel op; dit gebied ligt op de Peelhorst. De maaiveldhoogte van het modelgebied voor de Peelsche Loop (7920 ha) varieert van 29 m +NAP tot 11 m +NAP. De maaiveldhoogte van de Raamsloop (6278 ha) varieert van 36 m +NAP tot 21 m +NAP. Het is een typisch beekdalsysteem met hooggelegen flanken en een diep en breed beekdal.



Kaart 2 Verloop van de maaiveldhoogte in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)

3.2.3 Bodemtypen

De in de drie stroomgebieden voorkomende bodemeenheden zijn weergegeven in Kaart 3. In de modelgebieden zijn podzolgronden, gooreerdgronden en enkeerdgronden dominant; voor een nadere beschrijving van deze eenheden wordt verwezen naar de bodemkaart van Nederland (1:50 000)³.

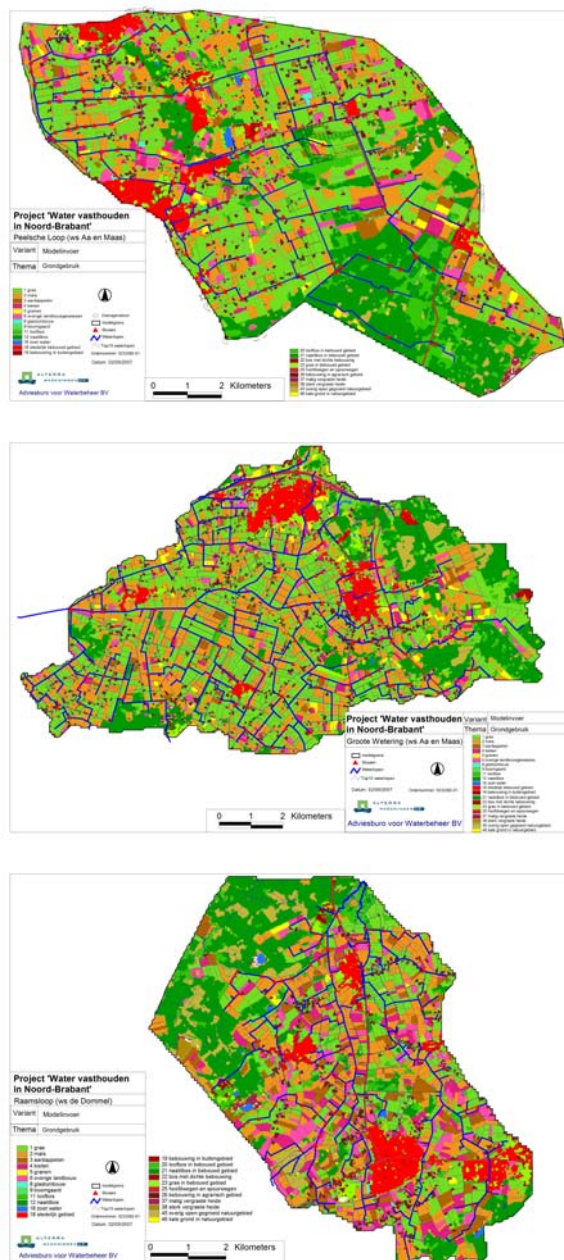


Kaart 3 Bodemtypen in de Peelsche Loop (boven), de Grote Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)

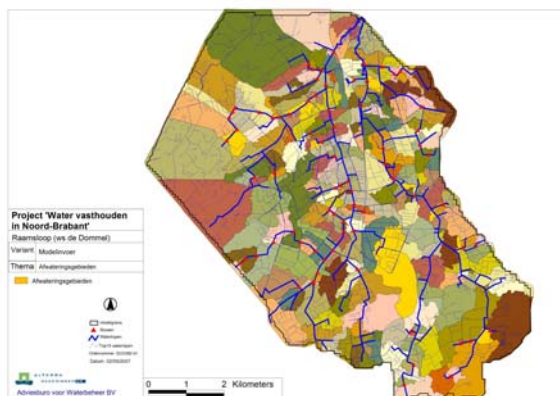
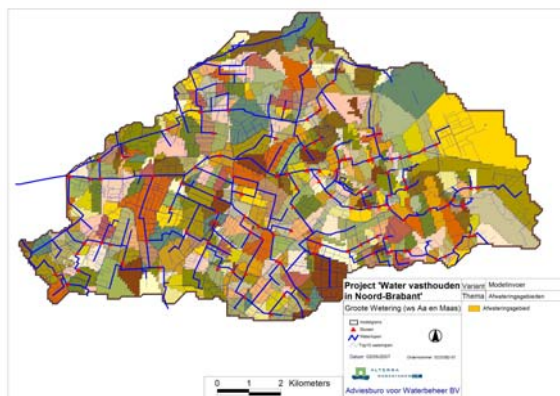
³ Zie <http://www.euronet.nl/users/backhuys/bodem.htm>

3.2.4 Landgebruik

Het landgebruik in de drie stroomgebieden is grafisch weergegeven in Kaart 4.



Kaart 4 Het landgebruik in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)



Kaart 5 Waterlopen, stuwen en afwateringseenheden in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)

Het modelgebied van de Grootte Wetering bestaat voor circa 3500 ha uit grasland, 2500 ha overige landbouw, ruim 1250 ha bosgebied, circa 500 ha stedelijk gebied en circa 200 ha natuurgebied. De Peelsche Loop bestaat voor ruim 2500 ha uit grasland, 2000 ha overige landbouw en circa 1200 ha bosgebied. Het stedelijk gebied beslaat 500 ha en er is circa 100 ha natuurgebied. De Raamsloop bestaat uit ruim

1100 ha grasland, 2100 ha overige landbouw, ruim 1200 ha bosgebied, circa 400 ha stedelijk gebied en circa 300 ha natuurgebied.

3.2.5 Waterlopen en stuwen

Op Kaart 5 (pagina 21) zijn waterlopen, stuwen en afwateringseenheden weergegeven in de Grootte Wetering, de Peelsche Loop en de Raamsloop. Het gebied van de Raamsloop heeft, vergeleken met andere twee stroomgebieden, weinig stuwen. De meeste stuwen in het gebied van de Raamsloop bevinden zich in het beekdal.

3.2.6 Gedraineerde percelen

Op Kaart 6 (pagina 23) zijn de gedraineerde percelen in de stroomgebieden als groene vlakken weergegeven. De gegevens zijn ontleend aan een bestaande ‘drainagevlakkenkaart’, die is ontwikkeld in het kader van het onderzoek ‘Regionale waterberging in Noord-Brabant’ (Bolt et al., 2002)⁴. Vooral in de Grootte Wetering is maar weinig buisdrainage aanwezig.

3.2.7 Beschrijving van de ondergrond

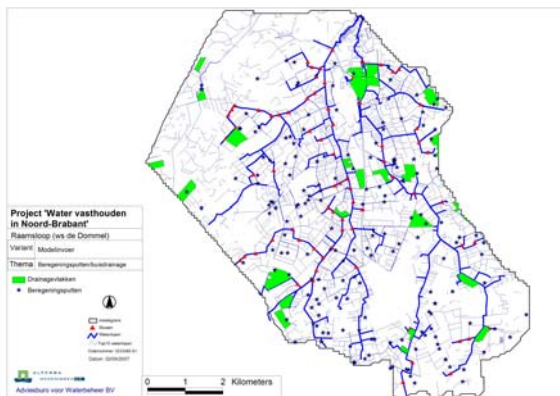
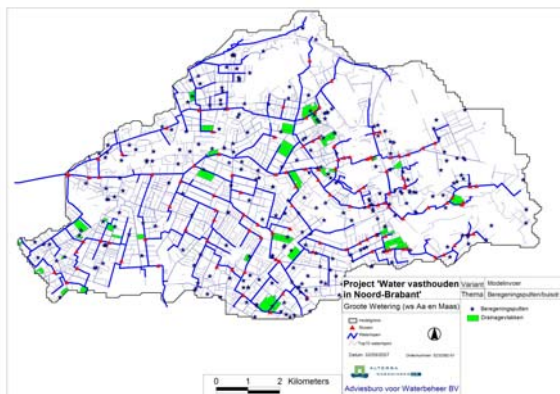
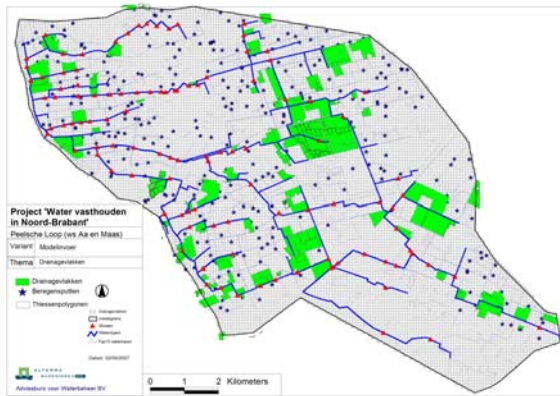
Het modelgebied van de Grootte Wetering heeft als meest voorkomende hydrotype (Massop et al, 2000)⁵ het ‘open profiel’ (kenmerken: betrekkelijk grofzandige afzettingen in het bovenste watervoerend pakket en afwezigheid van weerstandbiedende lagen) en het ‘dekzandprofiel’ (kenmerken: veelverwantschap met het open profiel, maar meer fijnzandige afzettingen in het toppakket) en het ‘Nuenengroep-profiel’ (kenmerk: weerstandbiedende lagen in het toppakket). De Raamsloop heeft als meest voorkomend hydrotype het ‘dekzandprofiel’ met in de beekdalen het ‘Singraven-beekdalprofiel’ (met weerstandbiedende afzettingen in de beekdalen). De Peelsche Loop heeft als meest voorkomende hydrotypen het ‘open profiel’, het ‘Nuenengroep-profiel’ en het ‘Dekzandprofiel’.

3.2.8 Beregeningsputten

In de Grootte Wetering, de Peelsche Loop en de Raamsloop zijn respectievelijk 270, 350 en 180 beregeningsputten bekend en in de modellen ingevoerd; zie Kaart 6 (pagina 23). De onttrekkingsfilters van deze putten bevinden zich op een diepte van 15 tot 20 m beneden het maaiveld.

⁴ Bolt, F.J.E. van der, W.W. Immerzeel & A.A. Veldhuizen, 2002. Regionale waterberging in Noord-Brabant. Rapport 637, Alterra, Wageningen.

⁵ 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 parametrisatie. Alterra, RIZA en RIVM. Rapport 38, Alterra, Wageningen.

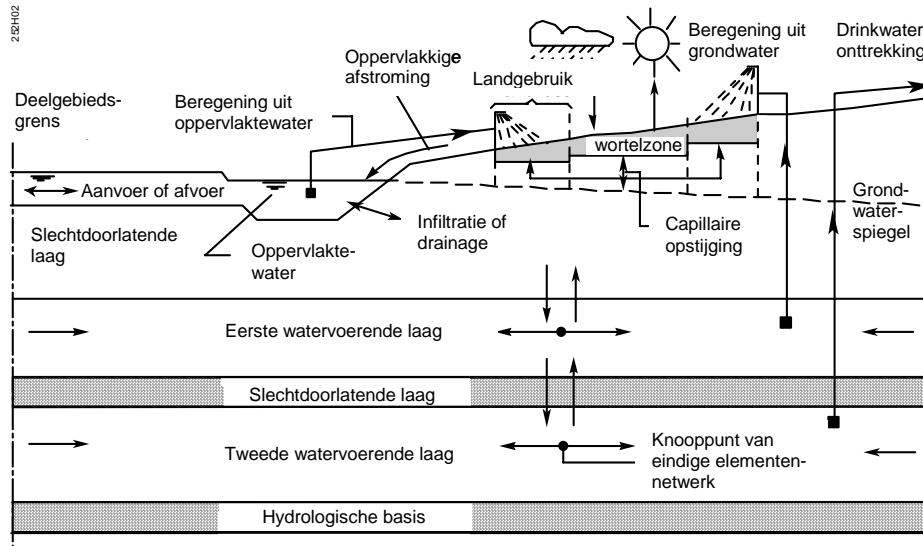


Kaart 6 Gedraineerde percelen (groen) en locaties van beregeningsputten in de Peelsche Loop (boven), de Grote Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)

3.3 Modelling

De drie stroomgebieden Peelsche Loop (Aa en Maas), Grote Wetering (Aa en Maas) en Raamsloop (De Dommel) zijn in model gebracht met de computercode SIMGRO

(Van Walsum et al., 2004)⁶, in een AlterraAqua⁷/GIS-omgeving. SIMGRO beschrijft de stroming in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater. In Figuur 1 is een schematisch beeld gegeven van SIMGRO. Het niet-stationaire karakter van dit model, waarin de interactie tussen de hydrologische processen in grond- en oppervlaktewater van belang zijn, maakt het mogelijk de variaties binnen het hydrologische systeem door veranderende randvoorwaarden, zoals de weersomstandigheden, te beschrijven.



Figuur 1 Schematische weergave van de hydrologische processen en systemen in SIMGRO

De modelinvoer heeft zoveel mogelijk plaatsgevonden aan de hand van AlterraAqua. Hierna worden alleen de meest belangrijkste uitgangspunten voor de uitgevoerde modelleringen aangegeven. Voor een uitgebreidere beschrijving van de modelinvoer ten behoeve van SIMGRO wordt verwezen naar de SIMGRO handleidingen (Van Walsum et al., 2004). De uitgangspunten en aannames bij de modellering zijn goed vastgelegd, en beschreven is wat hiervan de effecten kunnen zijn. Binnen de begeleidingscommissie was consensus over de gekozen uitgangspunten. Bij het modelleren zijn de volgende stappen gevolgd.

1. Genereren van eindige elementen netwerken

SIMGRO-modellen zijn opgebouwd uit knooppunten, verbonden door een netwerk, bestaande uit driehoekige 'eindige elementen'. Voor elk knooppunt in dit netwerk is een invloedsoppervlakte gedefinieerd. Deze invloedsoppervlaktes vormen samen een regelmatig netwerk van zogenaamde Thiessen-polygoon: cellen met een honingraatstructuur, met een gemiddelde oppervlakte van $75 \times 75 \text{ m} = 0,5625 \text{ ha}$. De invloedsoppervlaktes van de randknooppunten zijn gemiddeld half zo groot. Meerdere

⁶ Van Walsum, P.E.V., A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner, M.F.R. Smit, 2004. SIMGRO; theory and model implementation. Alterra-rapport 913, Wageningen.

⁷ AlterraAqua is het GIS-instrumentarium voor pre- en postprocessing van SIMGRO.

knooppunten vormen afwateringseenheden. Op grond van de ligging van het hoofd-afvoersysteem en het verloop van het maaiveld worden deze eenheden afgesplitst.

2. Controle van door waterschappen geleverde bestanden met *AlterraAqua*

Uitgangspunt bij de keuze van de drie modelgebieden is dat ze een goede afspiegeling vormen van de geohydrologie in het vrij afwaterende deel van Noord-Brabant. Tijdens het startoverleg van het project op 2 november 2006 werd gekozen voor de volgende drie stroomgebieden: de Peelloop/Stippelberg, de Grootte Waterloop en de Raamsloop. Door de begeleidingscommissie werd afgesproken dat de waterschappen verantwoordelijk waren voor de kwaliteit van de door hen te leveren gegevens en informatie. Afgesproken werd zoveel mogelijk gebruik te maken van bestaande modellen, tenzij nieuwe informatie voorhanden is. Om te voorkómen dat er problemen zouden ontstaan rond (de kwaliteit van) gegevens zijn tabellen gemaakt met overzichten van de benodigde gegevens: bron, format, etc.; zie Tabel 1.

Tabel 1 Benodigde gegevens voor de modellering, (*AlterraAqua*) format en bronnen

Invoerbestand	(Alterraqua) format	Bron
Waterlopen	HIB ⁸	Waterschappen
Stuwen/gemalen/sifons/duikers	HIB	Waterschappen
Afwateringsgebieden	HIB	Waterschappen
Locaties en debieten beregeningsputten provincie	Excel-bestand	Waterschappen
Top10-vector bestand	Shp	Waterschappen
Actueel maaiveldhoogtebestand	Grid 5×5 m	Waterschappen
Bodemkaarten	Shp	Alterra
Gd-kartering	Shp	Alterra
Landgebruik		Alterra
Meteo-reeks neerslag en verdamping over 30 jaar	Excel-bestand	Waterschappen
Gedraineerde percelen	Shp	Alterra
Geohydrologie (REGIS)	REGIS	TNO
Randfluxen	REGIS	TNO
Grondwaterstanden	OLGA	Waterschappen
Afvoeren	Dagbasis	Waterschappen

Rond de levering van gegevens traden diverse problemen aan het licht. De geleverde gegevens rond stuwen bleek qua kwaliteit en actualiteit wisselend en niet altijd volledig. Op grond van onzekerheden rond de betrouwbaarheid van stuwgegevens moest daarop worden besloten dat alleen de kunstwerken die in hoofdwatergangen liggen, en zowel in droge als natte situaties tot significante peilverschillen leiden, in de modellen zouden worden opgenomen. Er waren vier jaar oude gegevens beschikbaar van het Hoogwater Informatie model Brabant (HIB); deze zijn als streefpeilen ingevoerd, maar de kwaliteit bleek onzeker. De stuwlocaties in het HIB bleken vaak strijdig met stuwgegevens afkomstig uit andere bronnen. De gegevens van de Grootte Waterloop bleken onvoldoende betrouwbaar; besloten werd daarom om dit stroomgebied niet in model te brengen. Uiteindelijk werd gekozen voor de Raamsloop, de Peelsche Loop en de Grote Wetering.

3. Elementaire stappen in de modelbouw met *AlterraAqua*

⁸ Het 'Hoogwater Informatie Model Brabant' is beschreven in: Bolt, F.J.E. van der, W.W. Immerzeel & A.A. Veldhuizen, 2002. Regionale waterberging in Noord-Brabant. Rapport 637, Alterra, Wageningen.

De modellen van de drie stroomgebieden zijn geassembleerd in de volgende stappen:

- bepaling van afwateringseenheden⁹,
- invoer van hoofdwaterlopen en stuwen¹⁰,
- invoer van $Q(h)$ -relaties van kunstwerken,
- bepaling van drainageweerstand uit Top10-vectorbestanden van waterlopen,
- toekenning van beregeningsputten.
- afsplitsing van 'brongebieden' (zie hierna).

4. *Gebruik van een bètaversie van SIMGRO*

Ten behoeve van dit onderzoek naar piekafvoeren is gewerkt met een bètaversie van SIMGRO waarin de werking van de eerder genoemde knijpduikers adequaat wordt gemodelleerd. Naast de gebruikelijke $Q(h)$ -relaties wordt gebruik gemaakt van $Q(\Delta h)$ -relaties van knijpduikers, waarvan de debieten behalve van de bovenstroomse, ook van de benedenstroomse waterstand afhankelijk is. De bètaversie simuleert tevens 'maaiveldafvoer': oppervlakkige afvoer van tijdelijk oppervlaktewater via depressies in het maaiveld, onder meer greppels, naar perceel sloten. De knooppunten op de hoofdwaterlopen hebben geen drainage door enkelvoudige sloten, buisdrainage en greppels. In de hoofdwaterlopen bevinden zich geen knijpconstructies.

5. *Transformatie van gegevens van het REGIS-model (geen diktes; alleen c - en kD -waarden en randfluxen) naar de geohydrologie van SIMGRO*

Via een conversieprogramma zijn de gridwaarden van de geohydrologie (Waterdoelenmodel TNO) omgezet naar eindige elementen-invoer per modelknooppunt.

6. *Invoer van randfluxen uit het Waterdoelenmodel*

De fluxrandvoorwaarden van het Waterdoelenmodel op de randen van de modelgebieden zijn via een gebouwde applicatie omgezet in fluxrandvoorwaarden voor SIMGRO. Het stationaire Waterdoelenmodel beschikt over de resulterende stromingsfluxen per Modflow-cel in de x - en y -richting van de watervoerende modellen. Deze stromingsflux is vectorieel samengesteld tot één flux met resulterende richting en grootte. Door deze flux te ontbinden in een component loodrecht op de rand van de SIMGRO-modellen, is te berekenen of het een ingaande of een uitgaande stroming over de rand en hoe groot deze is. Deze berekende flux is voor alle watervoerende pakketten als vaste fluxrandvoorwaarde aan de SIMGRO-modellen opgegeven.

7. *Aanmaak van 'brongebieden' ten behoeve van de maatregel 'vasthouden water'*

Maatregelen om water vast te houden worden alleen uitgevoerd in brongebieden. De begrenzingen van deze brongebieden worden vastgelegd met behulp van de optie 'lokaal peilbeheer' in AlterraAqua; brongebieden zijn aangemaakt voor alle vormen van grondgebruik, met uitzondering van de stedelijke gebieden. De brongebieden worden uitsluitend ontwaterd door het detailont- en afwateringssysteem, i.c. de sloten en, voor zover aanwezig, door buis- en greppeldrainage. De $Q(h)$ -relatie van de brongebieden wordt ingevoerd conform de Manning-formule voor de referentiesitu-

⁹ In het model van de Raamsloop zijn de afwateringseenheden bepaald uit het AHN5.

¹⁰ In het model van de Raamsloop is het systeem van hoofdwaterlopen bepaald met behulp van het programma DTM2cat.Voetnoot 6) eruit, is al beschreven door voetnoot 5!

atie (zonder 'vasthoud'-maatregelen) en andere relaties waaronder de 'duikerformule' voor simulatie van de 'vasthoud'-maatregelen.

8. *De onverzadigde zone*

De onverzadigde zone wordt gesimuleerd als een reservoir met opwaartse stroming (capillaire opstijging) vanuit-, en neerwaartse stroming (percolatie) naar het verzadigde grondwater. Puntsgewijs wordt de onverzadigde zone als volgt gemodelleerd.

- a) De netto neerslag (plus eventuele beregeningsgift) komt terecht in de 'oppervlakteberging'.
- b) De oppervlakteberging verliest water door middel van infiltratie in de bodem. De infiltratiecapaciteit wordt bepaald als functie van de inhoud van de wortelzone, en wel als het verschil tussen de maximale inhoud van de wortelzone en de actuele inhoud, vermeerderd met de maximale percolatie naar het diepere ondergrond maal de rekentijdstep.
- c) Afhankelijk van de hoeveelheid netto neerslag per etmaal kunnen de volgende situaties ontstaan:
 - de netto neerslag overschrijdt de infiltratiecapaciteit, vermeerderd met de resterende berging in de oppervlakteberging; nadat deze is gevuld ontstaat oppervlakkige afstroming;
 - als het volume netto neerslag kleiner is dan de infiltratiecapaciteit, neemt de hoeveelheid water in de oppervlakteberging (en wellicht in de wortelzone) af.
- d) Behalve door infiltratie en capillaire opstijging, wordt ook water aan de onverzadigde zone onttrokken door evapotranspiratie en percolatie. De evapotranspiratie, capillaire opstijging en percolatie zijn afhankelijk van de vochtvoorraad in de wortelzone.

9. *De neerslagparameter 'FRPR'*

In SIMGRO wordt gewerkt met een neerslagparameter: FRPR. Deze parameter bepaalt de verdeling, in de tijd, van de neerslag tijdens de periode waarin deze neerslag gevallen is; doorgaans een etmaal. Bij de hier uitgevoerde berekeningen is de waarde $FRPR=0,1$ (i.c. 2 uur en 24 minuten) aangehouden. De neerslagintensiteit wordt berekend als de gespecificeerde neerslag per etmaal, gedeeld door FRPR.

10. *De interactie grondwater-oppervlaktewater en kaarten van gedraineerde percelen.*

In SIMGRO worden vijf categorieën van waterlopen onderscheiden:

- primaire waterlopen (kanalen, rivieren);
- secundaire waterlopen (beken, sloten in beheer bij het waterschap);
- tertiaire waterlopen (sloten en greppels);
- drains (buisdrainage);
- maaiveldgreppels.

De primaire en secundaire waterlopen bepalen de ligging en grootte van de afwateringseenheden, zie Kaart 5 op pagina 21. Alle waterlopen hebben in meer of mindere mate interactie met het grondwater. SIMGRO heeft de profielafmetingen en de drainage- en infiltratieweerstanden van deze waterlopen nodig. De drainageweerstand

wordt berekend volgens Ernst (1978)¹¹, en wordt aangepast ten behoeve van toepassing in een numeriek model.

De secundaire waterlopen zijn met behulp van GIS ingevoerd in het model; breedte, diepte en taludhelling van deze waterlopen zijn voor elk knooppunt bekend. De infiltratie- en drainageweerstanden worden per knooppunt berekend uit de lengte van de waterloop binnen het invloedsoppervlak van het knooppunt.

De drainage- en infiltratieweerstand van de tertiaire waterlopen wordt op identieke wijze bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het Top10-vectorbestand van de detailontwatering. De breedte, diepte en talud van tertiaire waterlopen zijn gespecificeerd op grond van kennistabellen.

Gegevens van drains worden aan het model opgegeven door middel van een kennistabel en een kaart met de locaties gedraineerde percelen; zie Kaart 6 op pagina 23. Greppels worden verondersteld overal aanwezig te zijn en hebben een diepte van 20 cm en een drainageweerstand van 20 dagen. Een ontwateringsmiddel is actief als de grondwaterstand en/of de oppervlaktewaterstand hoger is/zijn dan de bodem van het ontwateringsmiddel. Afhankelijk van de omstandigheden is er sprake van drainage of infiltratie.

11. De interactie tussen het detailafwaterings- en het hoofdafwateringssysteem

De oppervlaktewaterstand in het hoofdafwateringssysteem beïnvloedt de afstroming uit de brongebieden. Als de oppervlaktewaterstand van het hoofdafwateringssysteem hoger is dan de benedenstroomse bodem van de brongebieden, wordt de afvoer bepaald door peilverschil tussen beide. Hierdoor treedt extra reductie (knijpen) op van de afvoer uit de brongebieden. Door het vertragen van de afvoer door middel van knijpconstructies stijgt de oppervlaktewaterstand in de brongebieden sneller.

De hier gebruikte bètaversie van SIMGRO voorziet in maaiveldafvoer als de oppervlaktewaterstand in een brongebied hoger komt dan de maaiveldhoogte in de directe omgeving van 'knijpende' kunstwerken. Het model houdt rekening met afvoer via het maaiveld als kortsluitstroom. Via het opzetten van een dammetje rond de knijpconstructie wordt het overstortniveau verhoogd, waardoor tijdelijk weer meer afvoer geborgen kan worden.

12. De afwatering via het systeem van hoofdwaterlopen

De secundaire waterlopen worden voornamelijk gebruikt voor de afwatering. Deze waterlopen zijn in beheer bij het waterschap. Met behulp van stuwen worden de peilen en afvoeren geregeld. In de secundaire waterlopen zijn geen specifieke afvoer beperkende maatregelen doorgevoerd; het stuwbeheer in deze waterlopen is dan ook niet aangepast.

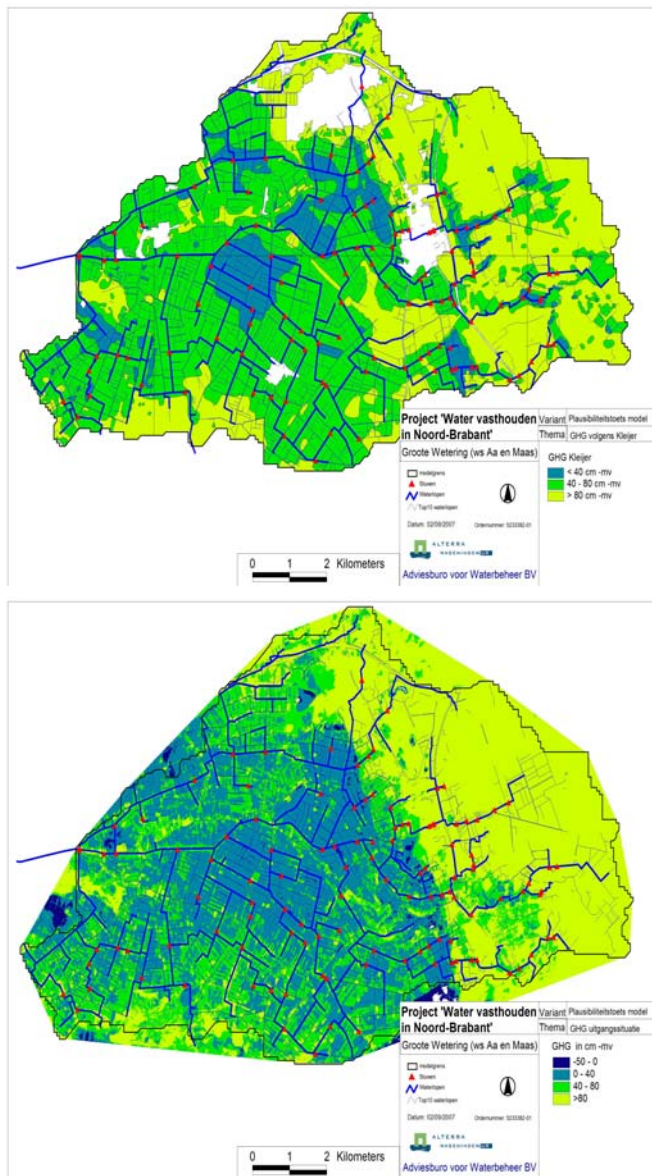
13. Onderzoek naar de effecten van vijf maatregelen om water vast te houden

De knijpscenario's worden gemodelleerd door het vervangen van de $Q(h)$ -relaties conform Manning door $Q(\Delta h)$ -relaties volgens de duikerformule. Daarnaast is de hoogte van de dammetjes bij knijpduikers gevarieerd om de periode van vasthouden van het water te kunnen verlengen.

¹¹ Ernst, L.F., 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. J.Hydrol. 39:1-50.

De simulaties en analyses ‘stoppen’ aan het benedenstroomse eind van de modelgebieden: cumulatieve effecten van vergelijkbare ingrepen in andere deelgebieden op regionaal niveau worden niet meegenomen.

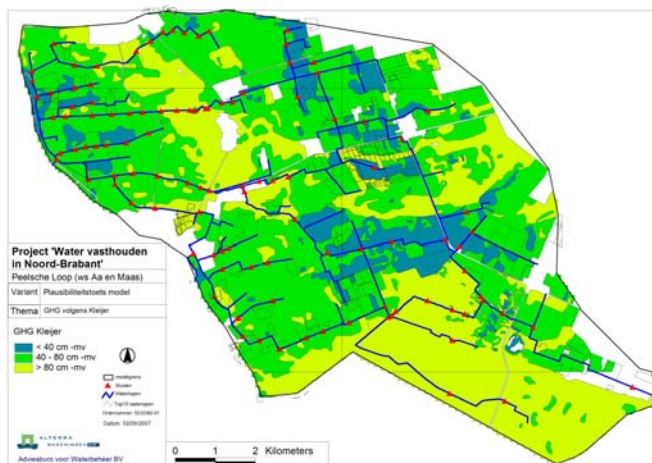
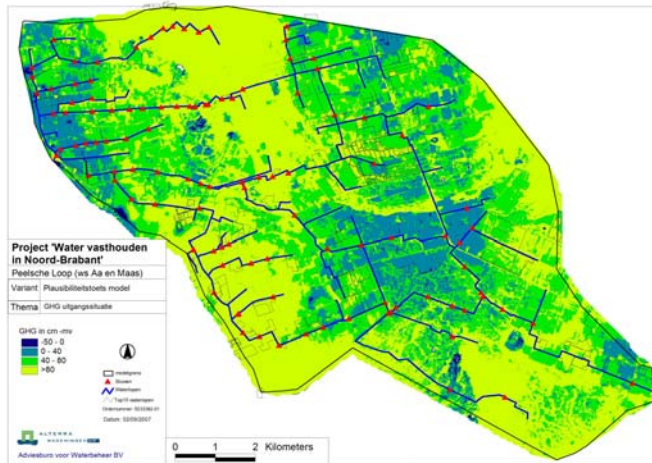
3.4 Plausibiliteit van modellen voor de uitgangssituatie



Kaart 7 Berekende GHG (boven) en de GHG-Kleijerkarting (onder) van de Grootewetering

Een gebruikelijke stap in het modelleringsproces is het calibreren van parameters aan de hand van een vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde variabelen zoals

grondwaterstanden en afvoeren. In dit project is deze stap niet uitgevoerd a) omdat het doel (inzicht door modelberekeningen) ‘slechts’ een model vereist dat een redelijke afspiegeling is van de hydrologische mechanismen die van belang zijn om water-vasthoudmaatregelen in vrij afwaterende gebieden te evalueren en b) om tijd te winnen. De modeluitkomsten zijn daarom globaal getoetst aan grondwaterstanden en afvoeren



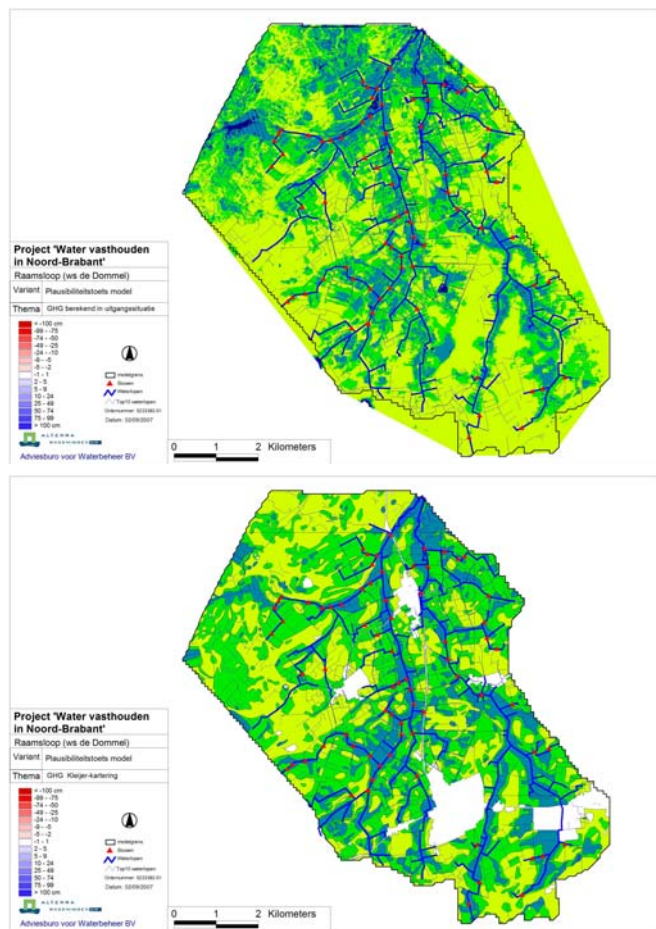
Kaart 8 Berekende GHG (boven) en de GHG-Kleijerkartering (onder) van de Peelsche Loop

Grondwaterstanden

De door de modellen gesimuleerde GHG is vergeleken met de zogenoemde Kleijerkartering (kartering van de GHG ten behoeve van onderbouwing waterschapslasten).

In de Groote Wetering is de berekende GHG in het deel gelegen in de Slenk duidelijk aan de natte kant (Kaart 7 op pagina 29). Hierbij speelt overigens wel een schaalverschil: de GHG's zijn berekend op pixelniveau, terwijl de GHG-vlakken op de Kleijerkaart aanzienlijk groter zijn.

In de Peelsche Loop is de berekende GHG goed in overeenstemming met de Kleijer-GHG (Kaart 8 op pagina 30). Ook voor de Raamsloop is de overeenkomst als goed te kwalificeren (Kaart 9).



Kaart 9 Berekende GHG (boven) en de GHG-Kleijerkarting (onder) van de Raamsloop

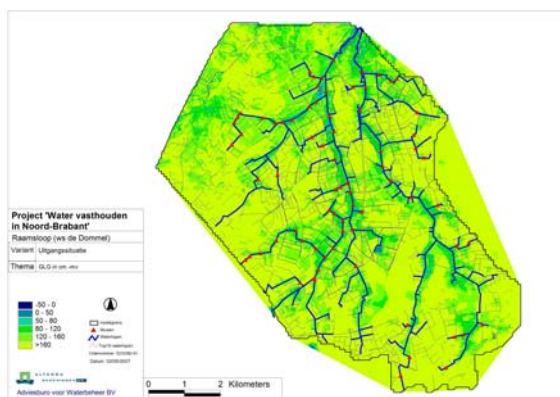
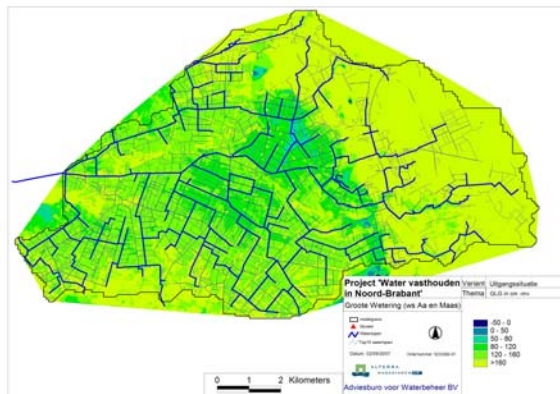
Afvoeren

Vergelijking van de gesimuleerde dagafvoeren met gemeten afvoeren leverde weinig bruikbare uitkomsten op omdat tijdens de cruciale perioden met extreem hoge afvoeren in 1998 geen waarnemingen beschikbaar waren. Ook zijn de piekafvoeren in november 1998 te vergelijken met de afvoernormen uit het Cultuurtechnisch Vademecum (CV). De inschatting vooraf was dat de herhalingstijd van de hoogste dagafvoeren in november 1998 in de buurt van de 60 jaar lag. Dat betekent een afvoer van ca. 1,8 maal de maatgevende afvoer (MA). Deze MA is gesteld op 8 mm/d, zodat de afvoer per eenheid van oppervlakte in november 1998 in de buurt van de 14 mm/d moet zijn. Voor de 3 modelgebieden bedroeg de berekende hoogste dagafvoer voor de Raamsloop 15 mm/d, voor de Grootte Wetering 11 mm/d en voor de Peelsche Loop 9 mm/d. Voor de Peelsche Loop geldt, dat bij extreme afvoeren, niet alle af-

voer via de benedenstroomse stuw het stroomgebied verlaat. Deze waarden komen daarmee goed overeen met de inschatting op basis van de CV-methode.

3.5 Overige rekenresultaten in de uitgangssituatie

3.5.1 Gemiddeld Laagste Grondwaterstanden (GLG)



Kaart 10 Gemiddeld Laagste grondwaterstanden (GLG) in de uitgangssituatie in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)

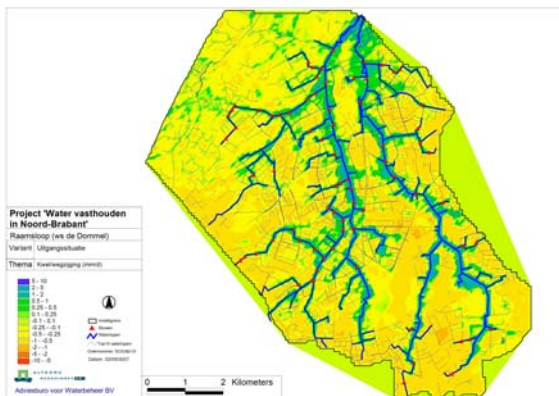
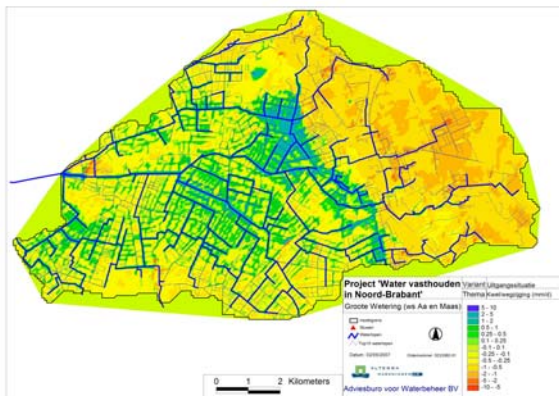
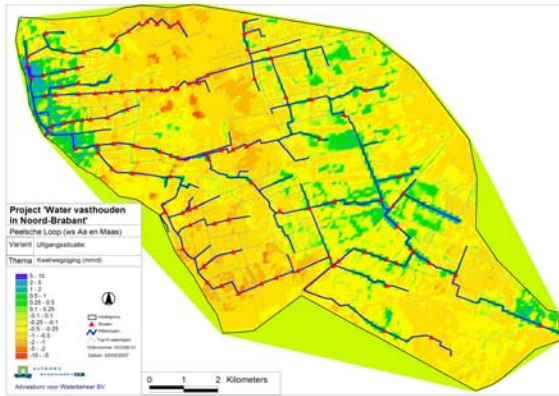
Op Kaart 10 (pagina 32) wordt de GLG voor de uitgangssituatie gepresenteerd. Voor het gebied van de Grootte Wetering geldt dat er een duidelijk nat (westelijk) en een droog (oostelijk) gebied valt te onderscheiden. Het natte gebied ligt in de Slenk en het droge gebied ligt op de Horst. Voor het gebied van de Peelsche Loop, liggende op de Horst geldt van oost naar west dat er respectievelijk een droge GLG aanwezig is, daarna een natte, vervolgens een droge en in de benedenloop van de Peelsche Loop weer een relatief natte GLG. De waterlopen in het gebied van de Peelsche Loop zijn voornamelijk gegraven waterlopen. De berekende GLG voor de Raamsloop is in de beekdalen nat en wordt naar de flanken toe snel droger. Vergelijking met de bij Alterra aanwezig kartering van de GLG volgens van der Gaast (hier niet gepresenteerd) laat voor alle drie de gebieden goede overeenkomsten zien met de berekende GLG.

3.5.2 Kwel en wegzijging

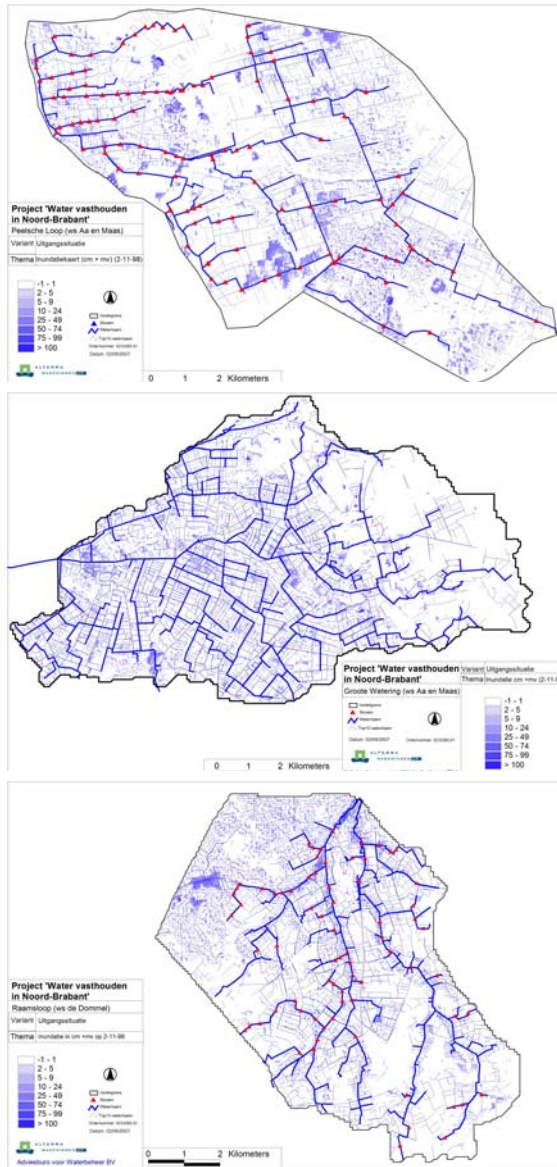
In de Grootte Wetering zijn het inzijgingsgebied op de Horst en het sterke kwelgebied op de overgang van de Horst naar de Slenk opvallende karakteristieken (Kaart 11 op pagina 34). Naar het westen toe is overwegend kwel aanwezig, wat correleert met het aanwezige intensieve slootpatroon. Het gebied van de Peelsche Loop heeft weer afwisselend locaties met wegzijging en kwel. In de benedenloop van Peelsche Loop is de kwel het grootst. Het gebied van de Raamsloop laat een bij een beekdalstelsel behorend kwel- en wegzijgingspatroon zien. Op de flanken is sprake van wegzijging, in het beekdal van aanzienlijke kwel; daartussen bevindt zich in de nabijheid van het beekdal een overgangszone.

3.5.3 Berekende inundatiepatronen

Rond de hoogste piekafvoeren die tijdens de analyseperiode werden geregistreerd, namelijk op 2 november 1998, staan de volgende percentages van de totale stroomgebieden korte tijd onder water: de Grootte Wetering: 11%, de Peelsche Loop: 9% en de Raamsloop: 4%; zie Kaart 12 op pagina 35). Op pagina 29 van dit rapport is beschreven dat het modelgebied van de Grootte Wetering aan de natte kant is gemodelleerd. Dit verklaart mede het hoge percentage in de Grootte Wetering. De inundaties zijn geconcentreerd nabij hoofdwaterlopen en in benedenstroomse regio's. De mate van inundatie is ook gekoppeld met de gebiedshelling: meer inundatie in vlakke gebieden en minder inundatie in hellend gebieden. Ook de mate van 'gestuwd zijn' van een gebied heeft invloed op de mate van inundatie. De Raamsloop heeft een relatief laag percentage stuwen en een navenant laag percentage inundatie.



Kaart 11 Patronen van kwel en wegzijging in de uitgangssituatie in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden), de en de Raamsloop (onder)



Kaart 12 Inundatiepatronen op 2 november 1998 in de Peelsche Loop (boven), de Groote Wetering (mid-den), de en de Raamsloop (onder)

4 Selectie van maatregelen

4.1 Mogelijke ingrepen en bijbehorende maatregelen

Voor het vasthouden van water komen maatregelen in aanmerking die de hydrologische eigenschappen van één of meer van de deelsystemen: maaiveld, onverzadigde zone, verzadigd grondwatersysteem en het detailont- en detailafwateringssysteem zodanig veranderen (aangeduid als een hydrologische ingreep) dat daardoor de respons van de afvoer van een brongebiedje op neerslag zodanig verandert dat de hogere afvoeren lager worden. Een niet-uitputtende lijst van mogelijke hydrologische ingrepen en bijbehorende maatregelen is de volgende.

1. *Vergroting bergingsmogelijkheden óp de bodem.* Door de afvoer over het maaiveld naar de waterlopen te blokkeren of te bemoeilijken. Te realiseren door dammetjes aan te leggen of de percelen minder bol of meer hol te leggen;
2. *Vergroting bergingsmogelijkheden ín de bodem.* Voor piekafvoeren is het gunstig om zo diep mogelijke grondwaterstanden te hebben; het verlagen van de drainagebasis is daarom een relevante optie, want daarmee wordt meer berging in de bodem gecreëerd bij aanvang van een neerslagrijke periode. Dit is te realiseren door het structureel verlagen van het slootpeil of verdieping van de sloten. Benadrukt moet worden dat dit strijdig kan zijn met verdrogingsbestrijding.
3. *Extensivering van de ontwateringssysteem.* Door extensivering van het reguliere ontwateringssysteem (sloten, drains) neemt de ‘doordegrondse’ afvoercapaciteit af. Bij uitgangssituaties met intensieve ontwatering kan extensivering leiden tot lagere afvoeren mits het maaiveld als drainagemiddel daardoor niet actiever wordt. Te realiseren door sloten dicht te gooien of buisdrainage te verwijderen.
4. *Tijdelijk reduceren van de ontwatering via drains.* Door de drainagebasis slim te variëren (door manipulatie van de peilen van sloten waarin de drainbuizen (onder water) uitmonden, of door manipulatie van de hoogte van de uitstroomopening bij samengestelde drainage) kan de drainage en daarmee de afvoer vanuit een perceel worden gestuurd.
5. *Tijdelijk reduceren van de ontwatering via sloten.* Door het slootpeil slim te variëren (bijv. met behulp van in hoogte verstelbare stuwten, zoals de zogenoemde LOP-stuwten die worden gebruikt voor waterconservering) kan de ontwateringsbasis tijdens hoge afvoeren tijdelijk extra worden verhoogd waardoor de ontwatering extra wordt gestremd.
6. *Afkoppelen.* Verharde oppervlakken die zijn aangesloten op de riolering kunnen door in werking treden van overstorten hoge afvoeren produceren. Door deze oppervlakken af te koppelen en het water in de grond te laten infiltreren kan een afvoerreductie worden gerealiseerd.
7. *Verhogen van de infiltratiecapaciteit van de bodem.* Er zijn diverse manieren om dat te realiseren: met de hoogtelijnen meeploegen, andere gewassen telen, dichtgereden grond open trekken, etc.). Dit kan worden ondergebracht bij een goede landbouwkundige praktijk, maar deze maatregelen liggen buiten de scope van de waterbeheerder.

8. *Vergroting van de bergingsmogelijkheden van de haarvaten.* In het detailont-, en detailafwateringssysteem (ook wel aangeduid als haarvaten) kan berging plaats vinden doordat de openwaterstand tijdens hoge afvoeren kan oplopen. Meer berging kan worden gerealiseerd door de haarvaten breder te maken of meer haarvaten aan te leggen
9. *Vergroting van de waterstandsdynamiek in de haarvaten.* De openwaterstand in de haarvaten hangt af van de afvoer. Door vergroting van de dynamiek zijn de waterstanden tijdens hoge afvoeren hoger waardoor de ontwatering tijdelijk extra wordt geremd. De vergroting van de dynamiek is te realiseren door vergroting van de stromingsweerstand, te realiseren (door bijv. minder slootonderhoud) of door krappere afmetingen van de haarvaten. Een andere mogelijkheid is het aanleggen van stuwende kunstwerken zoals knijpduikers waardoor bij hoge afvoeren er een extra waterstandsverhoging in de haarvaten bovenstrooms van de knijpduiker optreedt.
10. *Begrenzing van de afvoercapaciteit.* Door aanleg van kunstwerken zoals een onderbemalingspomp wordt de afvoercapaciteit fysiek begrensd door de pompcapaciteit maar kan ook lager worden ingesteld door het aantal draaiuren te reduceren.

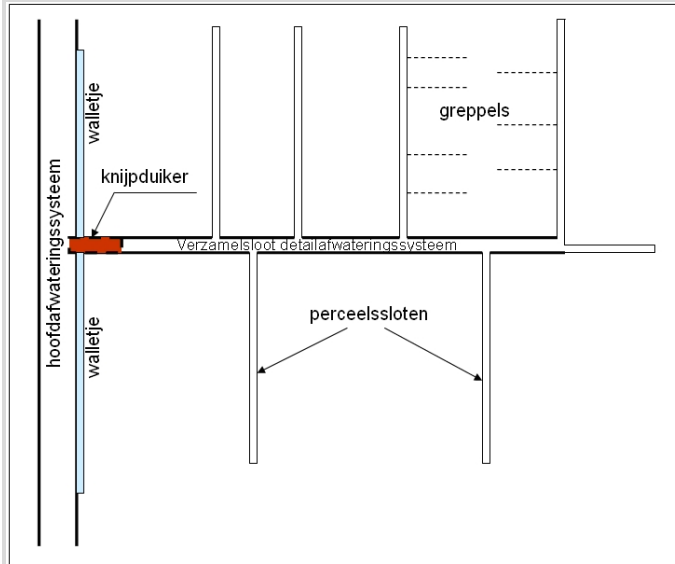
In overleg met de projectgroep zijn uiteindelijk vijf kansrijke maatregelen voor ‘water vasthouden’ gedefinieerd. De keuze is werkende weg tot stand gekomen, tijdens drie bijeenkomsten, gehouden op 2 november en 6 december 2006 en 9 januari 2007. De leidraad daarbij was steeds: ‘inzicht door modelberekeningen’. Om dit inzicht op te bouwen is gekozen voor *enkelvoudige* maatregelen (d.w.z. steeds één verandering modelleren en analyseren ten opzichte van de Ausgangssituatie) en geen maatregelpakketten te analyseren. De enige uitzondering is slootverbreding: deze maatregel is gecombineerd met de maatregel ‘knijpduiker met dammetje’, omdat verondersteld werd dat slootverbreding door tevens te ‘knijpen’ meer effect sorteert wegens de grotere dynamiek van de slootwaterstand.

De uiteindelijk gesimuleerde maatregelen zijn:

1. *‘Knijpduikers’*: installatie van duikers in perceelsslotten bij de uitmondingen van het detailafwateringssysteem in het hoofdafwateringssysteem, in casu alle waterlopen die niet expliciet zijn gemodelleerd (zie §3.3). Deze duikers hebben een beperkte afvoercapaciteit (Kader 1). Met deze maatregel wordt dus bergen bij de bron verstaald in bergen in bovenstroomse stroomgebiedjes (brongebiedjes) Binnen zo’n stroomgebied kan water van hogere delen via het detailafwateringssysteem naar lagere delen stromen en vervolgens het aanliggend maaiveld inunderen. Volgens de definitie is dat echter vasthouden.

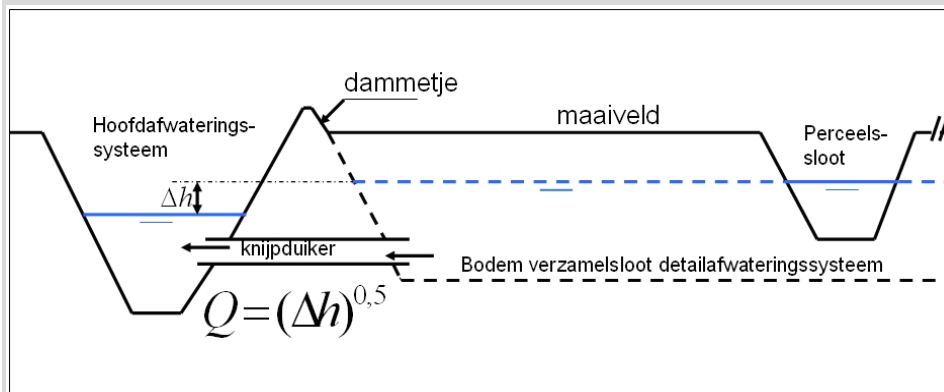
Kader 1: De werking van een knijpduiker ('stuwende duiker')

Een knijpduiker is een kunstwerk in een waterloop waarmee het water van een subgebiedje wordt afgevoerd op het hoofdafwateringssysteem. In Figuur 2 is een situatieschets gegeven; Figuur 3 geeft de principetekening.



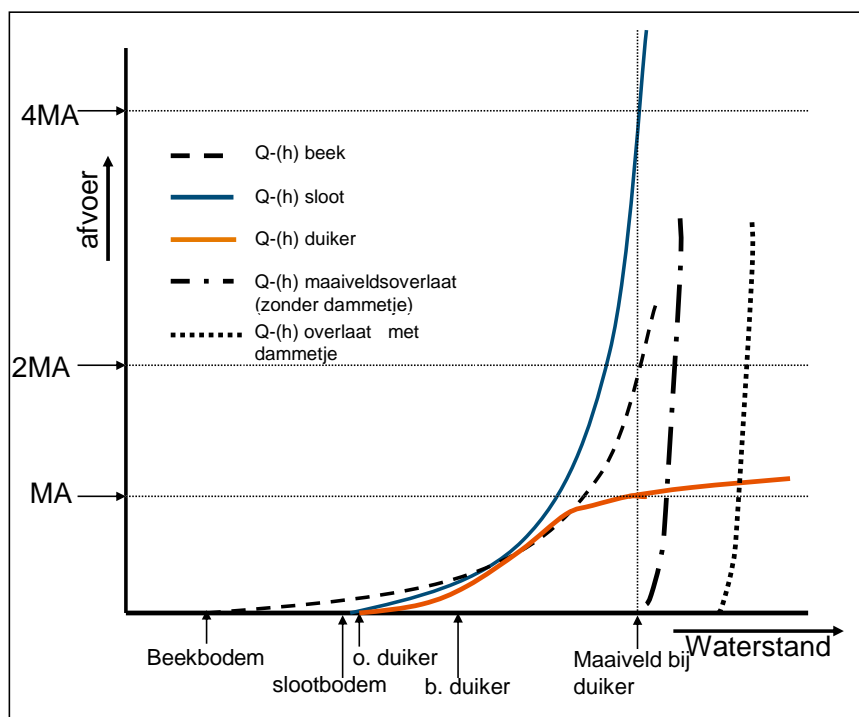
Figuur 2 Situatieschets van een knijpduiker

De werking berust op het feit dat de duiker zorgt voor een waterstandsverschil boven- en benedenstrooms van de duiker en dat dit verschil snel groter wordt bij groter wordende afvoeren. Dit in tegenstelling tot een open waterloop waarbij dit verschil veel minder snel groter wordt. Daardoor wordt bij hoge afvoeren de waterstand in het detailafwateringssysteem bovenstrooms van de duiker hoger vergeleken met de uitgangssituatie en wordt de stroming van grondwater naar de ontwateringsmiddelen minder en worden de grondwaterstanden tijdelijk hoger. Deze tijdelijke extra berging zorgt voor vermindering van de piekafvoeren.



Figuur 3 Schematische voorstelling van knijpduiker met dammetje

De 'knijpduiker', een 'stuwende duiker', is in deze studie een belangrijk modelconcept: bij hogere benedenstroomse waterstanden is in toenemende mate sprake van afvoerstremming ('knijpen'). De wijze van knijpen is modelmatig als volgt gedefinieerd. In de uitgangssituatie wordt verondersteld dat het detailafwateringssysteem gedimensioneerd is op de ontwateringsfunctie, en hydraulisch is overgedimensioneerd. Er zijn geen duikers of andere obstructies in het systeem aanwezig. De relatie tussen de slootwaterstand h en de afvoer Q (de zgn. $Q(h)$ -relatie) bij vrije uitstroming in het hoofdafwateringssysteem wordt bepaald met behulp van de formule van Manning waarbij de dimensies zodanig zijn gekozen dat bij de situatie 'kantje boord' (=de slootwaterstand reikt tot aan het maaiveld) de afvoer $4\times$ de maatgevende afvoer (MA ; hier 8 mm/d) bedraagt. De dimensies van de knijpduiker worden zó gekozen dat de afvoer bij 'kantje boord' gelijk is aan MA . Bij hogere afvoeren zal het water via het maaiveld naar het hoofdafwateringssysteem stromen, tenzij deze stroming door een dammetje wordt belemmerd. Als een dammetje wordt aangelegd kan de waterstand bij het uitstroompunt stijgen tot boven het maaiveld, waardoor (veel) extra water kan worden geborgen.



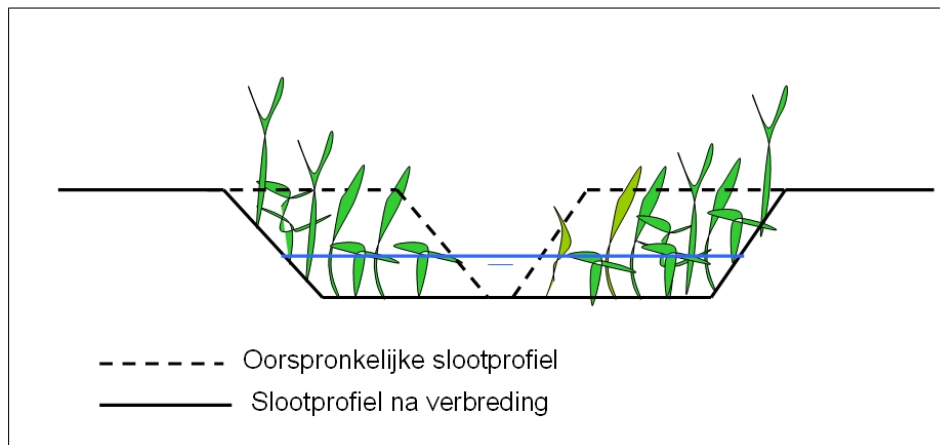
Figuur 4 Relaties tussen waterstanden en afvoeren in de uitgangssituatie, met knijpduiker en bij stroming over het maaiveld, met en zonder aangelegd dammetje ('o, b duiker' = onderkant, bovenkant duiker)

In Figuur 4 zijn de $Q(h)$ -relaties van het detailafwateringssysteem (sloot) in de uitgangssituatie en na aanleg van een knijpduiker weergegeven. Ter vergelijking is ook de $Q(h)$ -relatie van de het hoofdafwateringssysteem (beek) volgens het Cultuurtechnisch Vademecum getekend. Zodra de waterstand in de sloot hoger is dan de bovenkant van de duiker neemt de afvoer minder dan evenredig toe met de waterstand. Hierop berust de stremmende werking van een duiker. Zodra de waterstand hoger

komt dan het maaiveld bij de duiker gaat het maaiveld als brede overlaat fungeren waarbij de afvoer bij stijgende waterstand snel oploopt. Door de aanleg van een dammetje wordt maaiveldafvoer 'uitgesteld' en komt de overlaat pas in werking bij hogere waterstanden. Opgemerkt moet worden dat de geschetste $Q(h)$ -relaties voor de duiker gelden bij vrije uitstroming. Bij een waterstand in de beek hoger dan de onderkant van de duiker wordt het debiet bepaald door het *verschil* in waterstand tussen de beek en de sloot. Het gebruikte model simuleert dit proces.

2. 'Knijpduikers met dammetje': als 1), maar gecombineerd met 30 cm hoge dammetjes om stroming van water over het maaiveld vanuit het detailafwateringssysteem naar het hoofdafwateringssysteem pas te laten plaats vinden als het water bij de knijpduiker 30 cm boven maaiveld staat (zie Kader 1; Figuur 3).
3. 'Knijpduikers met dammetje en slootverbreding': als 2), maar gecombineerd met verbreding van alle waterlopen van het detailafwateringssysteem met 10 m. In Figuur 5 is een situatieschets gegeven.

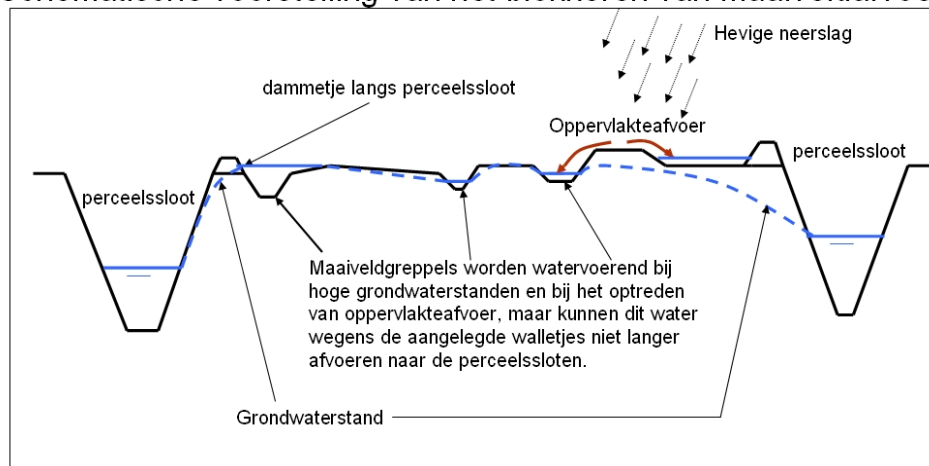
Slootverbreding (niet-meestromende berging)



Figuur 5 Principe van slootverbreding met niet-meestromende berging

4. 'Blokken van maaiveldafvoer': verwijderen van greppels bij alle vormen van landgebruik, met uitzondering van stedelijk gebied, waardoor het maaiveld als ontwateringsmiddel bij grondwaterstanden tot vlak onder of in het maaiveld wordt uitgeschakeld, in combinatie met het *de facto* opheffen van maaiveldafvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit tijdens kortdurende perioden met hoge neerslagintensiteiten. In Figuur 6 is een schets gegeven van beide vormen van maaiveldafvoer. Deze maatregel is bij uitstek bergend bij de bron omdat op perceelsniveau het water wordt vastgehouden.

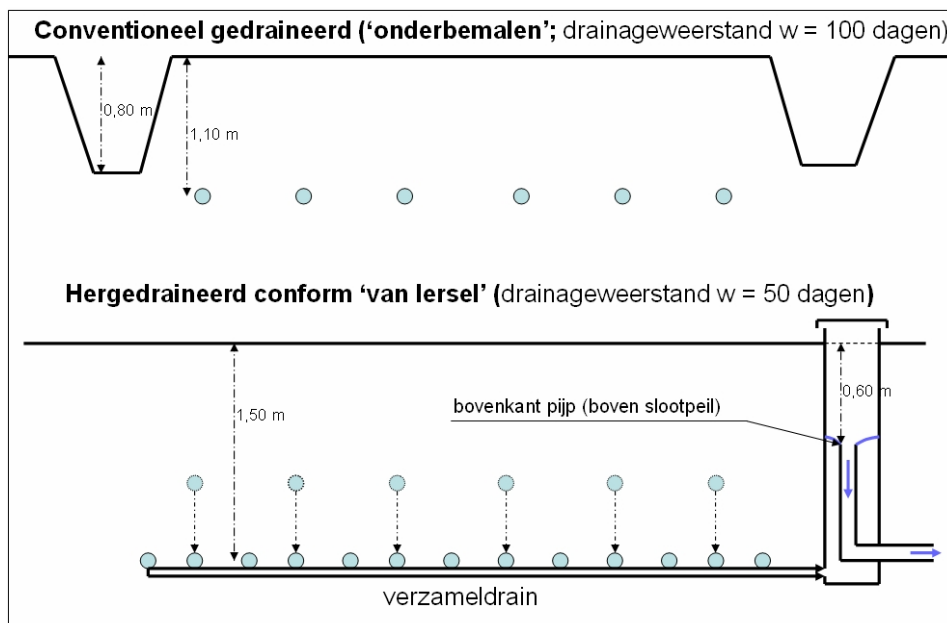
Schematische voorstelling van het blokkeren van maaiveldafvoer



Figuur 6 Schematische voorstelling van het blokkeren van maaiveldafvoer

5. *Introductie van drainage met de 'configuratie van Iersel'*: het vervangen van drainage met conventioneel ontwerp door samengestelde drainage met een halvering van de drainafstand, in combinatie met een verhoging van de ontwateringsbasis met 50 cm. Deze configuratie is een bijzondere vorm van 'Drainage nieuwe stijl' (ondieper en intensiever draineren, met het oog op Verdrogingsbestrijding). Het systeem is onlangs door Alterra in opdracht van waterschap Peel en Maasvallei geëvalueerd. Belangrijke kenmerken zijn de mogelijkheden van peilsturing, het diep kunnen aanleggen van de drainbuizen waardoor de kans op nutriëntenuitspoeling minder wordt, en het kunnen dempen van sloten waardoor de kans op maaiveldafvoer kan worden gereduceerd. Zie ook Van Bakel e.a. (2007)¹². In deze studie is alleen gekeken naar de effecten op piekafvoeren en grondwaterstandstanden. In Figuur 7 is een prinsescheets gegeven van deze maatregel.

¹² Van Bakel, P.J.T., J.M.P.M Peerboom en L.C.P.M Stuyt, 2007. Drainage tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid. H₂O (1); 25-28.



Figuur 7 Samengestelde drainage met configuratie 'van Iersel'

De bovenbeschreven maatregelen zijn met behulp van AlterraAqua vertaald in veranderingen in modelparameters, waarna gerekend is met dagwaarden van neerslag en referentie-gewasverdamping van de periode 1990 t/m 1999 en voor enkele varianten met de gegevens van de periode 1971 t/m 2000. Daarbij moet worden benadrukt dat de voorgestelde maatregelen 'gebiedsbreed' zijn doorgevoerd behalve in bebouwde gebieden. In de discussie zal hierop worden teruggekomen.

5 Rekenresultaten

5.1 Algemeen

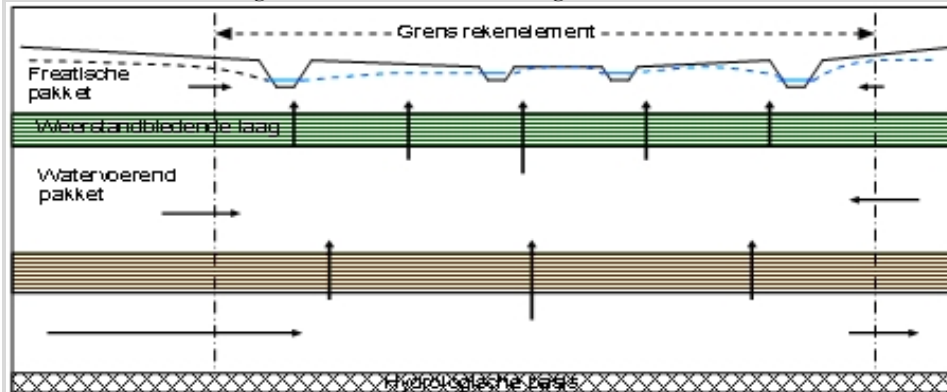
Door middel van (statistische) nabewerking en/of visualisatie zijn de gesimuleerde effecten van de maatregelen om water ‘vast te houden’ geanalyseerd. Leidraad hierbij was het verschaffen van inzicht in de hydrologische werking van de maatregelen, door interpretatie van:

1. *piekafvoeren*: verloop en statistische analyse volgens ‘Gumbel’;
2. *inundaties* op 2 november 1998: de dag met de hoogste afvoeren uit de gesimuleerde periode. Inundaties zijn gedefinieerd als water op het maaiveld ongeacht of dat het gevolg is van overstroming vanuit waterlopen of als gevolg grondwaterstanden boven maaiveld of plasvorming bij hoge neerslagintensiteiten waardoor oppervlakteafvoer optreedt;
3. structurele veranderingen van *grondwaterstanden* (GHG en GLG);
4. *opbrengstveranderingen* (in procenten van de fysieke opbrengst) volgens de HELP-methodiek, opgesplitst naar gras- en overige landbouw;
5. *incidentele natschade aan landbouwgewassen*, hier berekend als de som van het aantal dagen dat de (freatische) grondwaterstanden hoger komen dan 30 cm –mv, en hoger dan het maaiveld (i.c. inundatie), opgesplitst naar zomer- en winterperiode en naar grasland en overige landbouw;
6. *patronen van kwel en wegzijging*, als karakteristiek voor effecten op de *regionale grondwaterstroming*. Kwel is gedefinieerd als het saldo van de verzadigde grondwaterstroming van het freatische pakket (zie Kader 2).

De effecten (=veranderingen ten opzichte van de uitgangssituatie) worden *per maatregel* geanalyseerd en gepresenteerd, voor de drie stroomgebieden gezamenlijk. In de analyse speelt de statistische analyse van piekafvoeren volgens de methode ‘Gumbel’ een belangrijke rol. Deze methode voor de analyse van ‘extremen’ wordt in Kader 3 nader toegelicht.

Kader 2: Definitie van kwel

Volgens de Hydrologische woordenlijst van de NHV (2002)¹³ is de bijzondere definitie van kwel: *het uit treden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten elders in het hydrologisch systeem*. Deze definitie is voor regionale studies niet erg relevant (want in elke sloot treedt water uit) en daarom wordt teruggegrepen op een definitie uit de hydrologische woordenlijst van CHO-TNO (1986)¹⁴: *de netto grondwaterstroming over de grenzen van een stuk grond van een zekere horizontale afmetingen en reikend tot aan de hydrologische basis*. Voor stuk grond kan worden gelezen een element of een grid van een eindige elementenmodel als SIMGRO of een eindig differentieelmodel als MODFLOW. De definitie wordt toegelicht aan de hand van Figuur 8.



Figuur 8 Grondwaterstromingen, geschematiseerd getekend in een verticale doorsnede door een modelgebied, van maaienveld tot de hydrologische basis

Het saldo van alle grondwaterstromingen over de linker- en rechterrand is in een stationaire situatie gelijk aan de afvoer via de ontwateringsmiddelen (onder de aanname dat de grondwateraanvulling is gelijk aan nul). Deze definitie is toegepast bij de berekening van de kwelkaarten. Merk op dat de kwel volgens deze definitie niet gelijk is aan de stroming die de eerste weerstandbiedende laag passeert (die veelal als definitie wordt gehanteerd), omdat water ook via het freatisch pakket netto kan toe- of wegstromen. Door het overwegend geringe doorlaatvermogen van het freatisch pakket (c.q. eerste modellaag van het verzadigd grondwatersysteem) is het verschil in kwel volgens beide definities meestal echter gering.

¹³ NHV. 2002. Hydrologische woordenlijst. NHV-special 5, NHV, Utrecht. ISBN 90 8035 654 9.

¹⁴ CHO-TNO. 1986. Verklarende hydrologische woordenlijst. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Rapporten en Nota's No. 16. ISBN 90 6743 087 0.

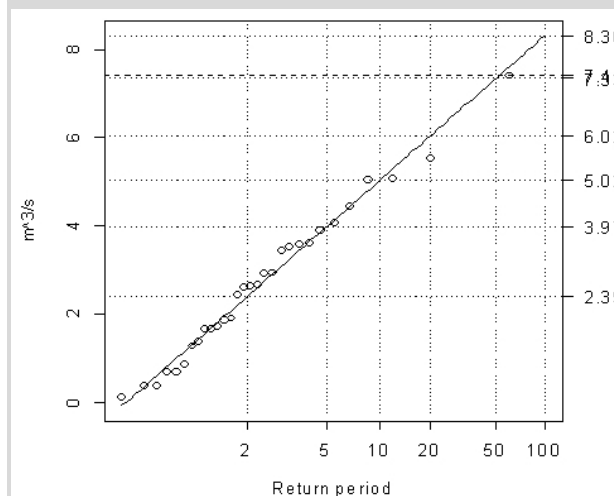
Kader 3: Analyse van piekafvoeren volgens Gumbel

De analyse van piekafvoeren volgens Gumbel is voor hydrologische verschijnselen geschikte statistische analyse ('regressie/frequentie-analyse') van extreme waarden. Deze worden voor een gekozen periode - bijvoorbeeld 10 jaar - en een gekozen seizoen -bijvoorbeeld het winterhalfjaar - naar grootte gerangschikt en dan volgens een eenduidig voorgeschreven protocol grafisch weergegeven als 'Gumbel verdelingsfunctie'. Op de x-as kunnen dan herhalingstijden worden afgelezen, en op de y-as de bijbehorende waarden van de geanalyseerde grootte; hier de piekafvoer. De Gumbelanalyse is hier toegepast om

- goed onderbouwde uitspraken te kunnen doen over effecten van maatregelen in stroomgebieden op piekafvoeren, omdat conclusies over effecten van maatregelen niet mogen worden gebaseerd op vergelijking van slechts een handjevol opvallende afvoerpieken;
- te kunnen extrapoleren naar herhalingstijden die langer zijn dan de reeks die is gemeten of gesimuleerd.

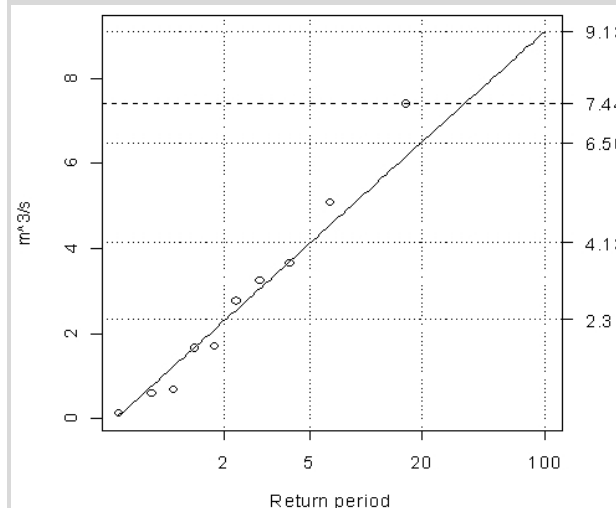
In dit project zijn we geïnteresseerd in effecten op afvoeren van een stroomgebied met herhalingstijden van 2, 5, 10, 20, 50 en 100 jaar. Ook is onderscheid gemaakt in zomer- en winterhalfjaar (april-september resp. oktober-maart). Het ligt immers voor de hand dat het winterhalfjaar aanleiding geeft tot gemiddeld hogere piekafvoeren dan het zomerhalfjaar omdat de berging in de onverzadigde zone 's winters kleiner is dan 's zomers. Hierbij moet worden opgemerkt dat hoge afvoeren als gevolg van sneeuwsmelt op een bevroren ondergrond niet door SIMGRO worden gesimuleerd.

Als voorbeeld worden in onderstaande figuur de hoogste gesimuleerde dagafvoeren per winterhalfjaar in de periode 1971-2000 voor de uitgangssituatie van de Peelsche Loop in een Gumbelplot weergegeven.



Via de rechte lijn in de figuur zijn voor verschillende herhalingstijden ('Return period' in jaren) piekafvoeren (m^3/s) af te lezen. De hoogste afvoer van 2 november 1998 ligt vlakbij de lijn en heeft een herhalingstijd van ca. 60 jaar.

De meeste maatregelen zijn geanalyseerd op grond van een reeks van 10 jaar (1990-1999). Voor een goede analyse is dit aan de korte kant. Daarom is nagegaan in hoeverre het gebruik van een tienjarige reeks invloed heeft op de resultaten. De Gumbelanalyse is herhaald op de hoogste winterafvoeren tijdens de periode 1990-1999; het resultaat is weergegeven in onderstaande figuur. Vergelijking met de tienjarige analyse laat zien dat, voor alle herhalings tijden, de piekafvoeren bij de tienjarige reeks structureel iets hoger zijn dan bij die van de 30-jarige reeks.



Belangrijker is echter de vraag of het verantwoord is om effecten van maatregelen om water vast te houden te analyseren op grond van tienjarige reeksen, in plaats van op reeksen van 30 jaar. Daarom zijn de effecten op de piekafvoeren in de Peelsche Loop van twee maatregelen, i.c. het effect van een knijpduiker met dammetje en het stremmen van de maaiveldafvoer, voor beide perioden volgens Gumbel geanalyseerd. De resultaten zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Procentuele reducties van gesimuleerde piekafvoeren in het winterhalfjaar, op grond van verschillende lengtes van de simulatieperiode voor de Peelsche Loop, bij verschillende herhalings tijden (T), voor twee maatregelen

T (jaar)	Knijpduiker met dammetje		Stremming maaiveldafvoer	
	10-jarige reeks	30-jarige reeks	10-jarige reeks	30-jarige reeks
2	6,5	7,5	52,4	56,9
5	8,9	9,5	54,6	58,3
20	9,8	10,4	55,5	59,0
100	10,3	11,0	56,1	59,4

Geconcludeerd kan worden dat analyses op grond van een tienjarige en een dertigjarige reeks ongeveer dezelfde effecten laten zien. Daarom is het verantwoord om de analyse van reducties van extreme afvoeren te baseren op de tienjarige periode 1990-1999.

5.2 Effecten per maatregel

5.2.1 Knijpduikers zonder dammetje

Piekafvoeren

Voor de drie stroomgebieden is het afvoerloop vergeleken met de uitgangssituatie; in Tabel 3 zijn voor diverse herhalings tijden de procentuele effecten weergegeven in stroomgebied 'de Peelsche Loop'. Het effect van deze maatregel op piekafvoeren zijn min of meer onafhankelijk van gekozen herhalings tijd en stroomgebied en bedraagt in het winterhalfjaar ca. 2%. In het zomerhalfjaar zijn de effecten iets groter. De effecten op de overige aspecten zijn zo beperkt dat ze niet worden besproken.

Tabel 3 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij vier herhalings tijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

stroomgebied	Peelsche Loop							
	zomerhalfjaar				winterhalfjaar			
seizoen	2	5	20	100	2	5	20	100
Herhalings tijd T van de piekafvoer (jaar)								
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	4,10	5,69	2,32	4,13	6,50	9,13
Knijpen zonder dammetje	1,48	2,51	3,83	5,31	2,27	4,03	6,32	8,86
	95%	94%	94%	93%	98%	98%	97%	97%

5.2.2 Knijpduiker met dammetje

Piekafvoeren

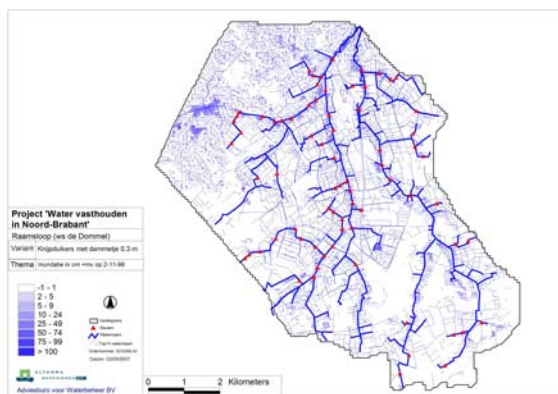
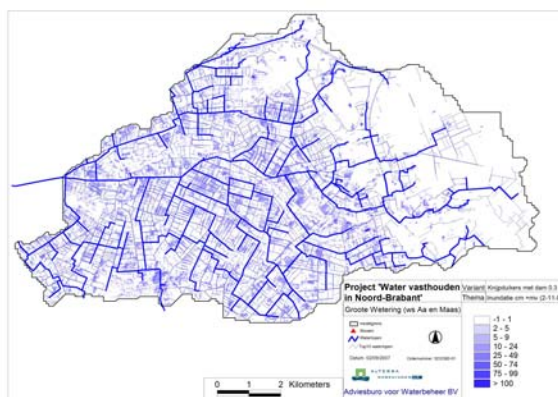
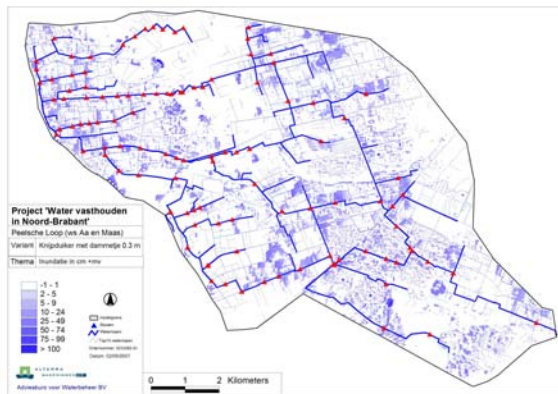
Door het aanbrengen van een 30 cm hoog dammetje bij het uitstroompunt in het hoofdafwateringssysteem worden de piekafvoeren aanzienlijk gereduceerd ten opzichte van de uitgangssituatie, maar ook ten opzichte van de situatie zonder dammetje. De reductie van afvoerpieken in de Peelsche Loop, in winter- respectievelijk zomerhalfjaar, bedraagt ten opzichte van de uitgangssituatie bij de gekozen herhalings tijden 10% en 15% (Tabel 4). Wegens de vlakke ligging van de Groote Wetering komt deze maatregel daar beter tot zijn recht; de reductie bedraagt hier in het zomerhalfjaar ca. 18%.

Tabel 4 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij vier herhalings tijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

stroomgebied	Peelsche Loop							
	zomerhalfjaar				winterhalfjaar			
seizoen	2	5	20	100	2	5	20	100
Herhalings tijd T van de piekafvoer (jaar)								
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	4,10	5,69	2,32	4,13	6,50	9,13
Knijpen met dammetje	1,38	2,28	3,45	4,75	2,16	3,77	5,87	8,19
	89%	86%	84%	84%	93%	91%	90%	90%

Inundaties

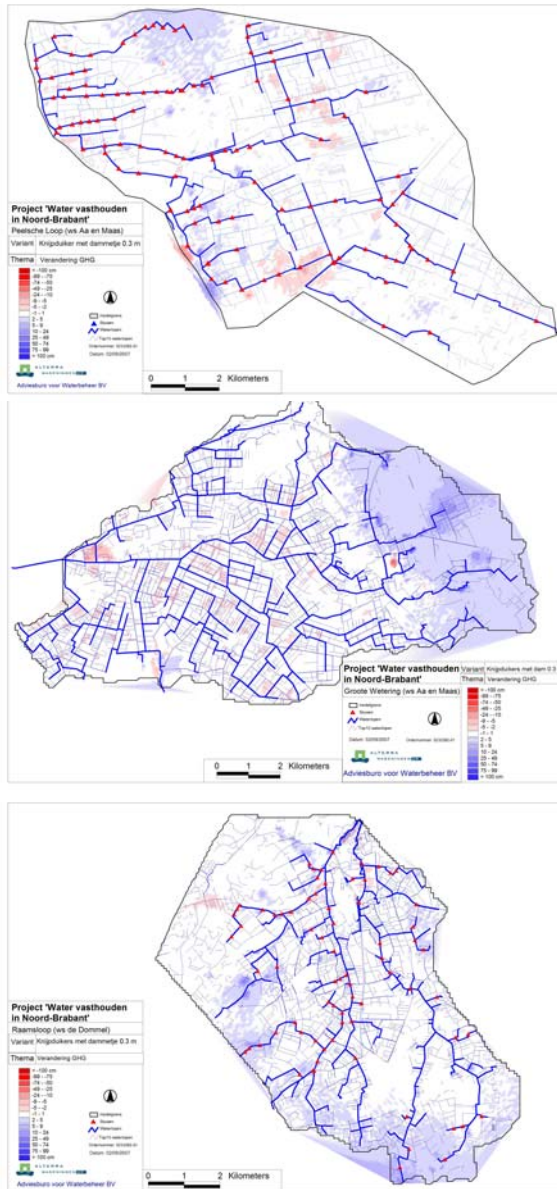
Op Kaart 13 (pagina 50) zijn de inundaties op 2 november 2002 weergegeven. Ten opzichte van de uitgangssituatie neemt de omvang van de inundatie in alle drie de stroomgebieden nauwelijks toe. De verandering is het duidelijkst in de Peelsche Loop.



Kaart 13 Inundatie op 2 november 1998 ten gevolge van de maatregel 'Knijpduiker met 30 cm dammetje', in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

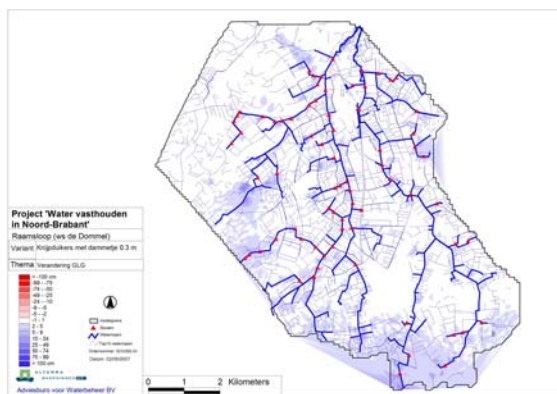
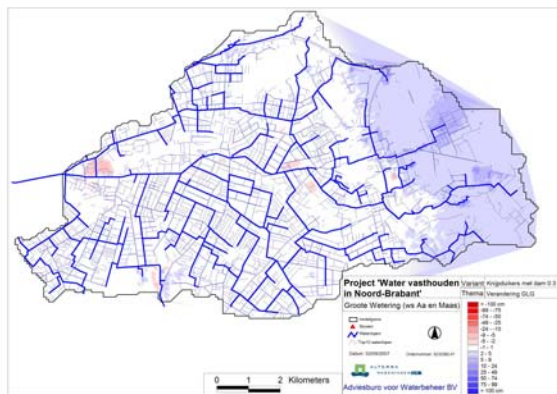
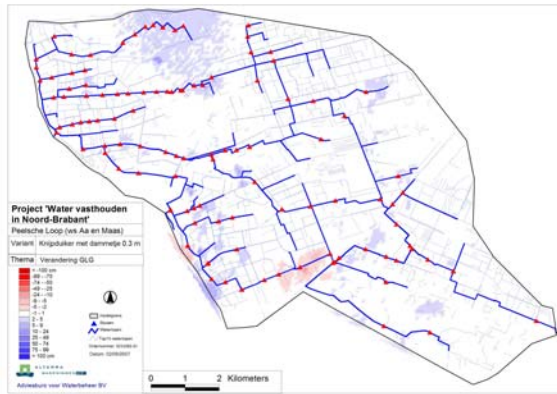
Veranderingen GHG en GLG

Op Kaart 14 (pagina 51) zijn de veranderingen van de GHG weergegeven. Deze zijn marginaal, met uitzondering van het Peelhorstdeel van de Grootte Wetering en de bovenstroomse delen van de Raamsloop. Er is sprake van zowel verhogingen als verlagingen.



Kaart 14 Verandering in de GHG ten gevolge van de maatregel 'Knijpduiker met 30 cm dammetje', in de Peelse Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

Een mogelijke verklaring voor een verlaging is dat door het bovenstrooms vasthouden van water de oppervlaktewaterstanden benedenstrooms structureel worden verlaagd, met een licht verlagend effect op de grondwaterstanden.



Kaart 15 Verandering in de GLG ten gevolge van de maatregel 'Knijpduiker met 30 cm dammetje', in de Peelse Loop (boven), de Groote Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

Op Kaart 15 zijn de veranderingen in GLG weergegeven. De patronen van verandering zijn ongeveer gelijk met die van de GHG en qua grootte marginaal.

Opbrengstverandering landbouw

In Tabel 5 (pagina 53) zijn de opbrengstveranderingen in de landbouw samengevat. Voor de variant 'knijpen met dammetje' zijn deze veranderingen marginaal.

Tabel 5 Gemiddelde procentuele nat- en droogteschade en totale schade in de drie modelgebieden, voor grasland en overige landbouw, in de uitgangssituatie en na realisatie van maatregel 'Knippen met dammetje'

	Peelsche Loop	Peelsche Loop			Groote Wetering			Raamsloop		
		(%)	nat	droog	totaal	nat	droog	totaal	nat	droog
Uitgangssituatie	gras	0,6	15,7	16,4	1,5	11,9	13,4	1,1	10,5	11,6
	overig	2,7	16,1	18,7	6,0	13,0	19,0	3,1	12,4	15,5
Knippen met dammetje	gras	0,6	15,7	16,4	1,4	11,9	13,4	1,1	10,4	11,5
	overig	2,7	16,0	18,7	5,8	13,0	18,9	3,2	12,3	15,5

Incidentele natschade

Het gemiddeld aantal dagen dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm –mv is weergegeven in Tabel 6 respectievelijk Tabel 7. De veranderingen zijn marginaal.

Tabel 6 Gemiddeld aantal dagen per halfjaar (zomer- en winterperiode) dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm –mv, voor de uitgangssituatie en de vijf vasthoudmaatregelen, gemiddeld voor grasland en overige landbouw, voor de drie stroomgebieden

	dagen	Peelsche Loop		Groote Wetering		Raamsloop	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie	gras	12,5	2,2	15,5	3,8	12,9	2,2
	overig	13,4	2,7	16,6	3,9	10,0	2,1
Knippen zonder dammetje	gras	12,2	2,1	14,9	3,6	12,8	2,1
	overig	13,2	2,6	15,9	4,6	10,0	2,1
Knippen met dammetje	gras	12,4	2,1	15,1	3,6	13,0	2,3
	overig	13,4	2,6	16,1	4,4	10,2	2,2
Knippen met dammetje, met slootverbreding	gras	10,9	1,8	12,3	2,8	11,1	1,8
	overig	11,9	2,2	13,2	3,4	8,6	1,8
Blokken van maaiveldafvoer	gras	18,1	5,0	22,3	6,1	18,9	5,2
	overig	19,7	6,3	23,6	7,1	15,4	4,8
Drainage 'Van Iersel'	gras	13,2	2,4	15,6	3,9	13,2	2,2
	overig	14,2	2,9	15,7	4,9	10,3	2,1

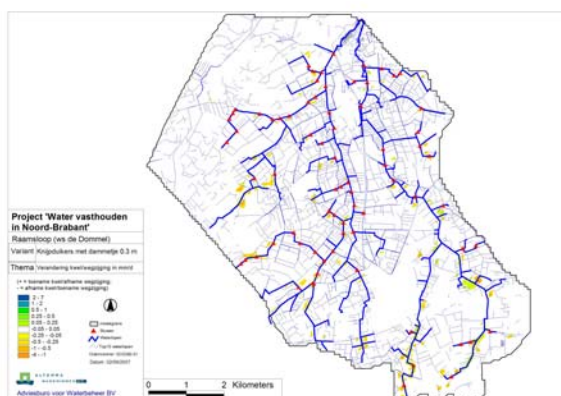
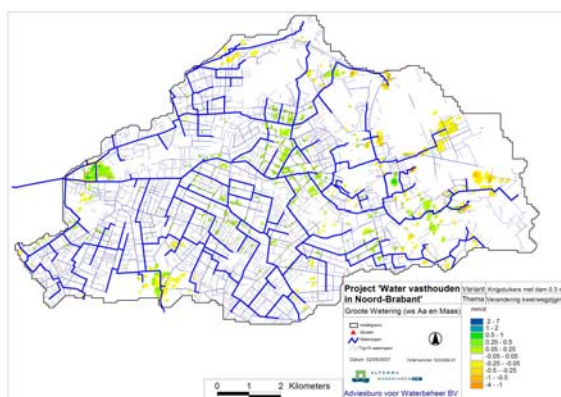
Tabel 7 Aantal dagen per halfjaar waarop in de uitgangssituatie (=zonder maatregel) sprake is van inundatie, en de toe- of afname van dit aantal dagen, voor vijf maatregelen, voor grasland en overige landbouw

Inundatie	dagen	Peelsche Loop (7920 ha)		Groote Wetering (9511 ha)		Raamsloop (6278 ha)	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie (absolute cijfers)	gras	0,4	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2
	overig	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
Knippen zonder dammetje	gras	0	0	0	0	0	0
	overig	0	0	0	0	0	0
Knippen met dammetje	gras	0	0	0,1	0	0	0
	overig	0,1	0	0,1	-0,1	0	0
Knippen met dammetje, met slootverbreding	gras	-0,1	0	0	0	-0,1	0
	overig	0	0	-0,1	-0,2	0	0
Blokken van maaiveldafvoer	gras	6,1	1,7	5,1	1,0	5,7	1,7
	overig	7,3	2,3	5,8	0,9	4,6	1,7
Drainage 'Van Iersel'	gras	0	0	0	0	0	0
	overig	0	0	0	0	0	0

Verandering kwel/wegzijing

De veranderingen in de kwel/wegzijing, zoals weergegeven op Kaart 16 (pagina 54) zijn zeer beperkt omdat ook de structurele veranderingen in de grondwaterstanden (GHG en GLG) beperkt zijn. In het overgrote deel van de drie stroomgebieden is de verandering beperkt tot minder dan 0,05 mm/d. Plekken met positieve (toename

kwel of afname wegzijging) of negatieve veranderingen groter dan 0,05 mm/d wisselen elkaar af. Opgemerkt moet worden dat door de keuze van de door de maatregelen veranderende flux over de rand van het gebied, de som van kwel en wegzijging bij alle maatregelen ongeveer nul blijft.



Kaart 16 Verandering in kwel en wegzijging ten gevolge van de maatregel 'Knijpduiker met 30 cm dammetje', in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

5.2.3 Knijpduiker met dammetje en slootverbreding

Piekafvoeren

Slootverbreding, als toegevoegde maatregel aan de maatregel 'knijpduiker met dammetje' heeft in het winterhalfjaar een beperkt effect op de reductie van de piekafvoeren (Tabel 8). De overige veranderingen zijn, vergeleken met 'knijpen met dammetje', gering.

Tabel 8 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij vier berhalingsstijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

stroomgebied	Peelsche Loop							
	zomerhalfjaar				winterhalfjaar			
seizoen	2	5	20	100	2	5	20	100
Herhalingstijd T van de piekafvoer (jaar)								
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	4,10	5,69	2,32	4,13	6,50	9,13
Knijpen met dammetje	1,38	2,28	3,45	4,75	2,16	3,77	5,87	8,19
	89%	86%	84%	84%	93%	91%	90%	90%
Knijpen met dammetje, met slootverbreding	1,37	2,30	3,50	4,83	2,09	3,62	5,60	7,79
	88%	86%	85%	85%	90%	88%	86%	85%

5.2.4 Blokkeren van maaiveldafvoer

Piekafvoeren

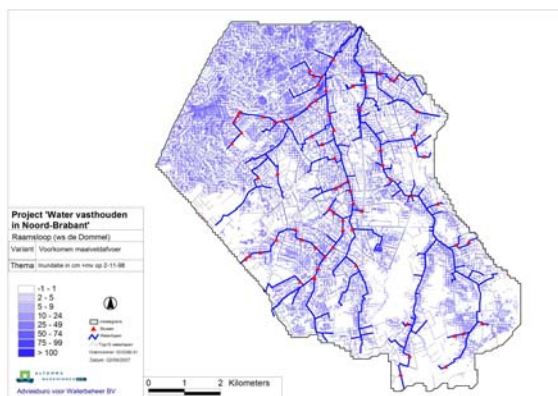
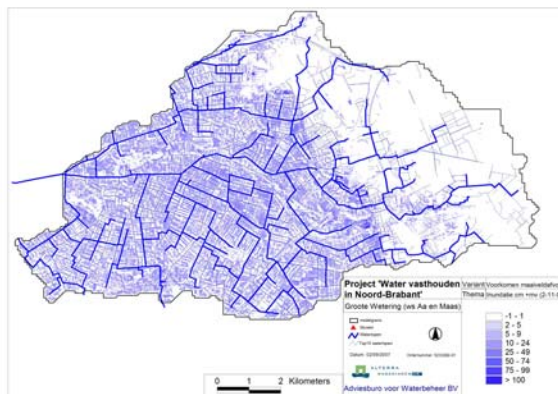
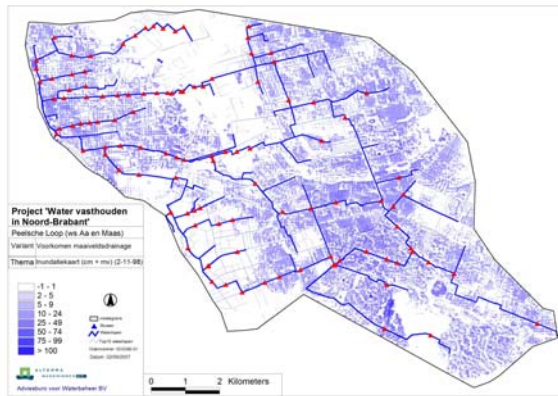
Door het blokkeren van de maaiveldafvoer worden de piekafvoeren in de Peelsche Loop gereduceerd met 42% (Tabel 9) tot zelfs 82%. In hoofdstuk 5 zal nader worden ingegaan op de waarde van deze verrassende uitkomsten.

Tabel 9 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij vier berhalingsstijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

stroomgebied	Peelsche Loop							
	zomerhalfjaar				winterhalfjaar			
seizoen	2	5	20	100	2	5	20	100
Herhalingstijd T van de piekafvoer (jaar)								
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	4,10	5,69	2,32	4,13	6,50	9,13
Blokkeren van maaiveldafvoer	0,70	1,19	1,83	2,54	1,10	1,88	2,89	4,01
	45%	45%	45%	45%	47%	45%	44%	44%

Inundaties

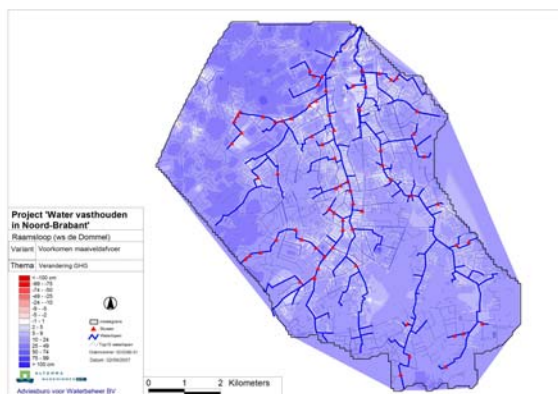
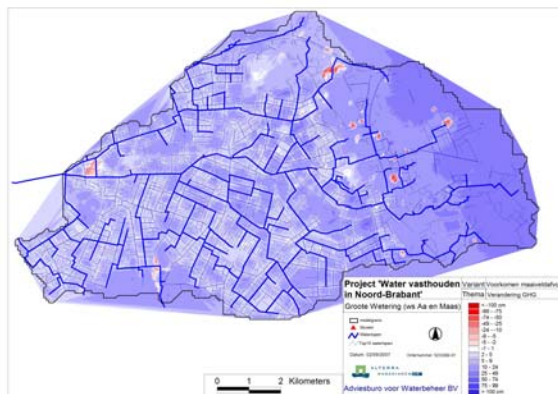
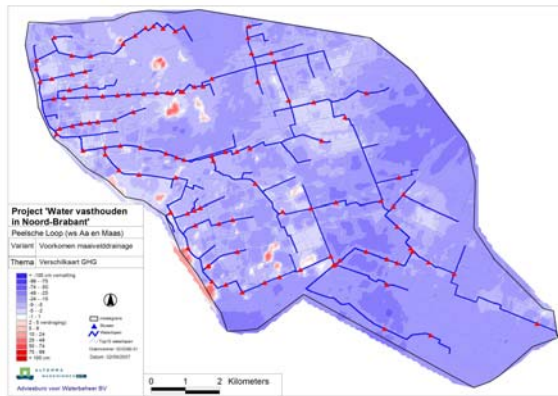
De sterke reductie van de afvoeren wordt bereikt doordat in perioden met hoge neerslagen en/of hoge grondwaterstanden veel percelen inunderen; zie Kaart 17 op pagina 56.



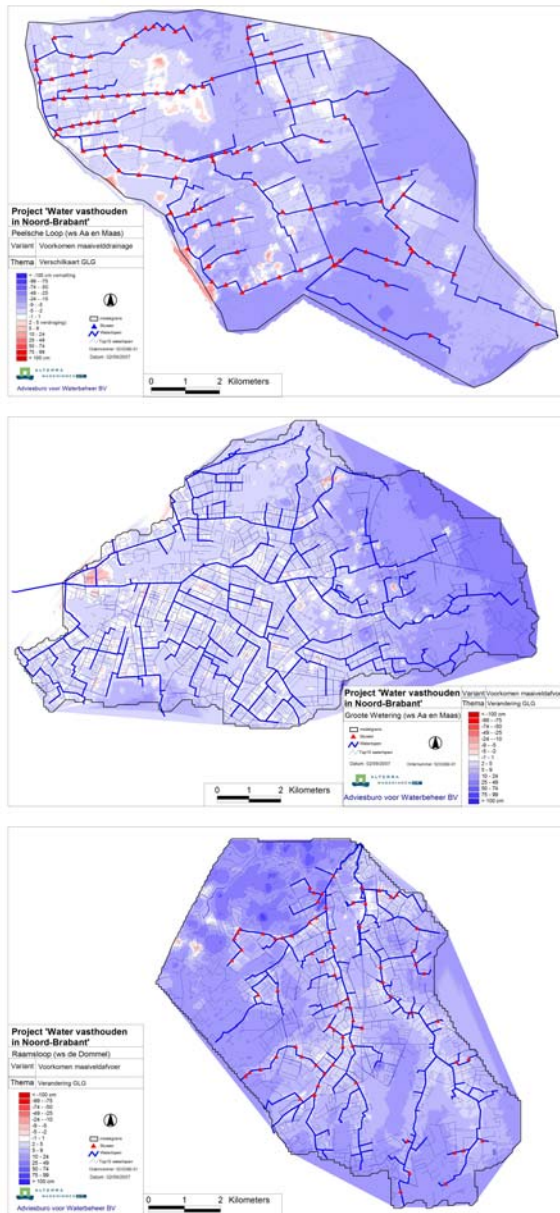
Kaart 17 Inundatie op 2 november 1998 ten gevolge van de maatregel 'Blokken van maaierveldafvoer', in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

Veranderingen van GHG en GLG

Op Kaart 18 (pagina 57) en Kaart 19 (pagina 58) zijn de veranderingen in GHG en GLG weergegeven. Zowel de GHG als de GLG nemen aanzienlijk toe.



Kaart 18 Verandering van de GHG ten gevolge van de maatregel 'Blokken van maaierveldafvoer', in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)



Kaart 19 Verandering van de GLG ten gevolge van de maatregel 'Blokken van maaiveldafvoer' in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

Opbrengstveranderingen landbouw

Door de aanzienlijke verhoging van GHG en GLG neemt zowel de natschade als de droogteschade toe (Tabel 10). De totale schade verandert weinig: op grasland is nau-

welijks sprake van verandering; voor overige landbouw wordt slechts een lichte toename berekend.

Tabel 10 Gemiddelde procentuele nat- en droogteschade en totale schade in de drie modelgebieden, voor grasland en overige bouwland, in de uitgangssituatie en na realisatie van maatregel 'Blokken van maaiveldafvoer'

	nat	Peelsche Loop			Groote Wetering			Raamsloop		
		(%)	nat	droog	totaal	nat	droog	totaal	nat	droog
Uitgangssituatie	gras	0,6	15,7	16,4	1,5	11,9	13,4	1,1	10,5	11,6
	overig	2,7	16,1	18,7	6,0	13,0	19,0	3,1	12,4	15,5
Blokken van maaiveldafvoer	gras	1,2	14,8	16,0	2,4	11,4	13,8	2,0	9,5	11,5
	overig	4,1	15,1	19,2	7,6	12,4	20,1	4,4	11,3	15,7

Incidentele natschade

De veranderingen in het aantal dagen dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm –mv zijn bij deze maatregel aanzienlijk; zie Tabel 11.

Tabel 11 Gemiddeld aantal dagen per halfjaar (zomer- en winterperiode) dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm –mv, voor de uitgangssituatie en de maatregel 'blokken maaiveldafvoer', gemiddeld voor grasland en overige landbouw, voor de drie stroomgebieden

	dagen	Peelsche Loop		Groote Wetering		Raamsloop	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie	gras	12,5	2,2	15,5	3,8	12,9	2,2
	overig	13,4	2,7	16,6	3,9	10,0	2,1
Blokken van maaiveldafvoer	gras	18,1	5,0	22,3	6,1	18,9	5,2
	overig	19,7	6,3	23,6	7,1	15,4	4,8

De voor de landbouw belangrijke waarden tijdens de zomer nemen toe met zo'n drie dagen; dat is ongeveer een verdubbeling. Het aantal dagen dat de grondwaterstand hoger komt dan het maaiveld is gegeven in Tabel 12.

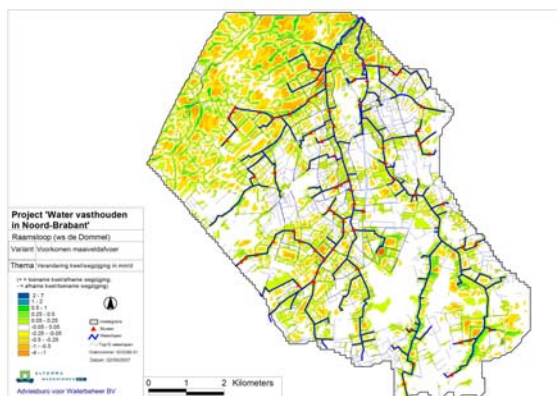
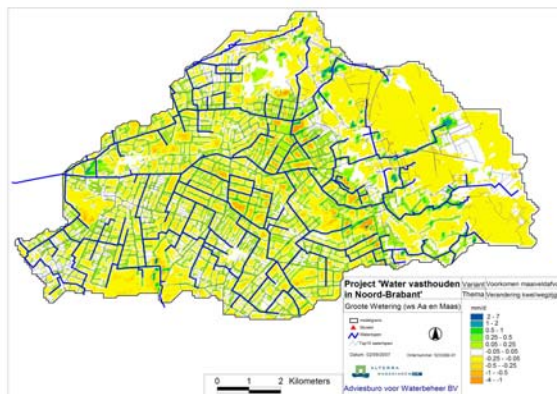
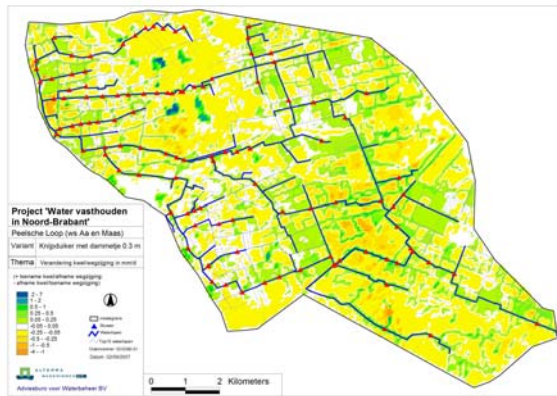
Tabel 12 Aantal dagen per halfjaar waarop in de uitgangssituatie (=zonder maatregel) sprake is van inundatie, en de toe- of afname van dit aantal dagen, voor de maatregel 'blokken maaiveldafvoer', voor grasland en overige landbouw, voor de drie stroomgebieden

Inundatie	dagen	Peelsche Loop (7920 ha)		Groote Wetering (9511 ha)		Raamsloop (6278 ha)	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie (absolute cijfers)	gras	0,4	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2
	overig	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
Blokken van maaiveldafvoer	gras	6,1	1,7	5,1	1,0	5,7	1,7
	overig	7,3	2,3	5,8	0,9	4,6	1,7

In de uitgangssituatie is er van inundatie nauwelijks sprake, maar bij het blokken van de maaiveldafvoer is er, gemiddeld per jaar, 1 à 2 dagen gemiddeld over de area- len grasland en overige landbouw sprake van inundatie in het zomerhalfjaar.

Verandering in kwel/wegzijging

Door de aanzienlijke veranderingen in de GHG en GLG is er tevens sprake van een substantiële verandering in het patroon van kwel/wegzijging; zie Kaart 20 (pagina 60). Bij de Peelsche Loop neemt de kwel naar gedraineerde percelen toe; bij de Groote Wetering zijn het vooral de elementen waar waterlopen voorkomen de kwel toe en in de Raamsloop neemt de wel in de beekdalen toe.



Kaart 20 Verandering van het patroon van kwel en wegzijging ten gevolge van de maatregel 'Blokken van maai-veldafvoer', in de Peelsche Loop (boven), de Groote Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

5.2.5 Herdrainage volgens 'Van Iersel'

Piekafvoeren

Door herdrainage conform 'van Iersel' nemen de piekafvoeren niet of heel licht toe of af (enkele procenten; zie Tabel 13), mede omdat deze ingreep op slechts een klein

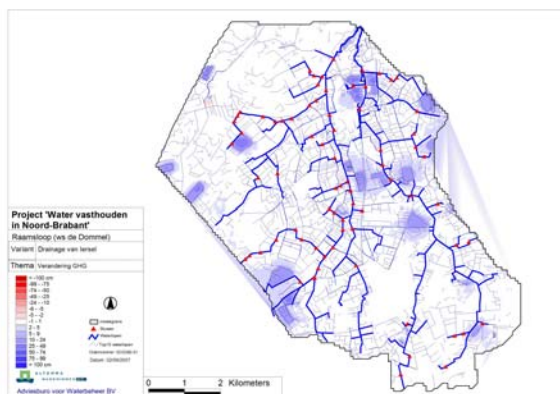
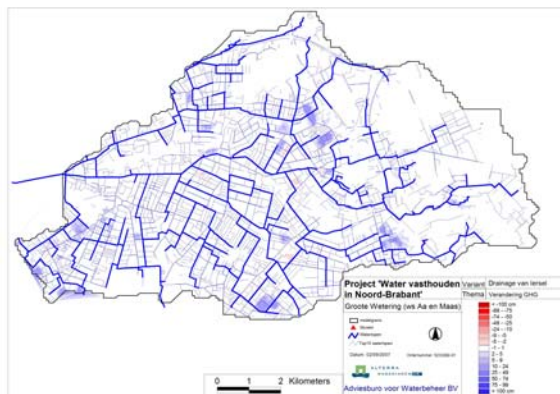
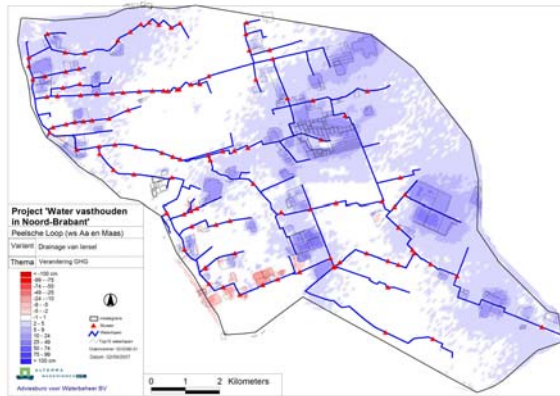
deel van het areaal plaatsvindt (alleen herdrainage van reeds conventioneel gedraineerde percelen).

Tabel 13 Piekafoeren en piekafoerreducties bij vier herhalings tijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

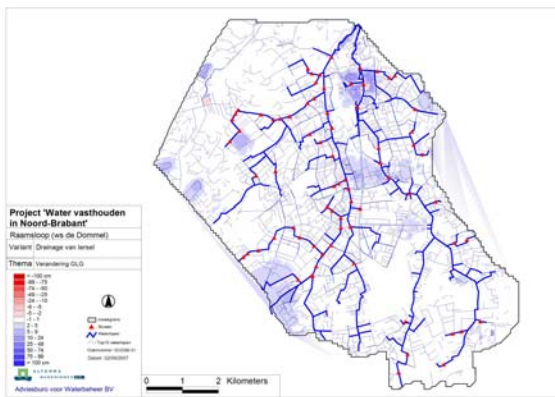
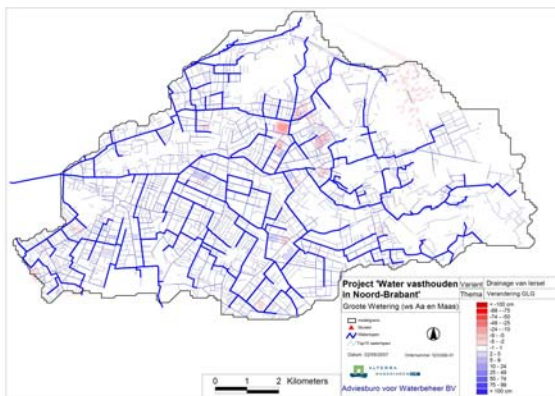
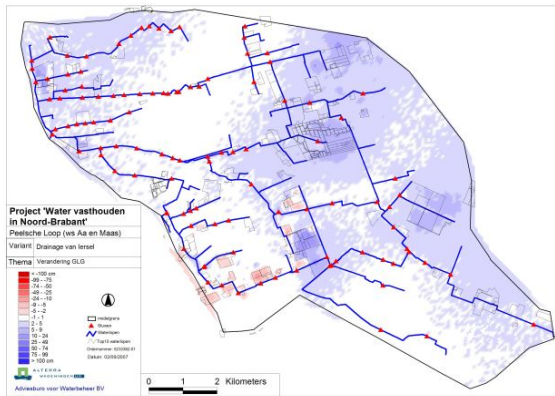
stroomgebied	Peelsche Loop							
	zomerhalfjaar				winterhalfjaar			
seizoen	2	5	20	100	2	5	20	100
Herhalings tijd T van de piekafoer (jaar)								
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	4,10	5,69	2,32	4,13	6,50	9,13
Drainage 'Van Iersel'	1,58	2,72	4,20	5,83	2,37	4,26	6,70	9,41
	102%	102%	102%	102%	102%	103%	103%	103%

Verandering van GHG en GLG

Op Kaart 21 (pagina 62) is duidelijk te zien dat door herdrainage volgens 'Van Iersel' de GHG van de gedraineerde percelen met zo'n 10 à 30 cm wordt verhoogd. De verandering in GLG is veel geringer; zie Kaart 22 (pagina 63).



Kaart 21 Verandering van de GHG ten gevolge van de maatregel 'Herdrainage van Iersel', in de Peelsche Loop (boven), de Groote Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

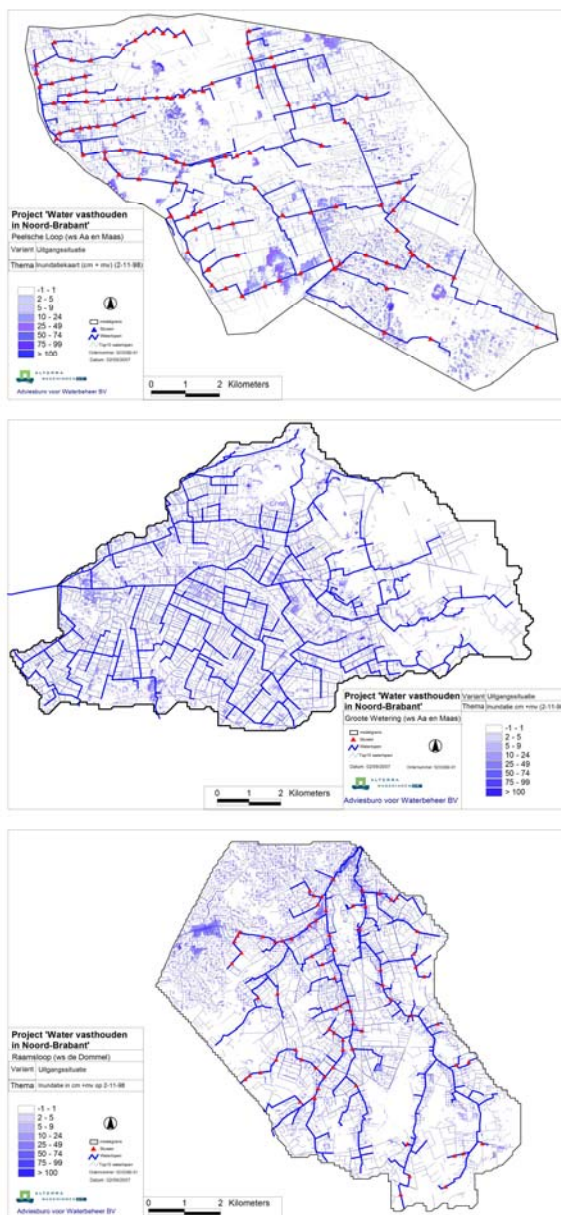


Kaart 22 Verandering van de GLG ten gevolge van de maatregel 'Herdrainage van Iersel', in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

Inundaties

De veranderingen in inundaties zijn gering. De conventioneel gedraineerde percelen inunderen ook in de uitgangssituatie op 2 november 1998 nauwelijks; zie Kaart 23 (pagina 64). Ook de opbrengstveranderingen en de veranderingen het aantal dagen dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm -mv (Tabel 6 op pagina 53), respec-

tievelijk aan het maaiveld (inundatie; Tabel 7 op pagina 53), zijn op stroomgebiedniveau beperkt vanwege het beperkte areaal waarop de maatregel wordt uitgevoerd.



Kaart 23 Inundatiepatronen in de uitgangssituatie in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

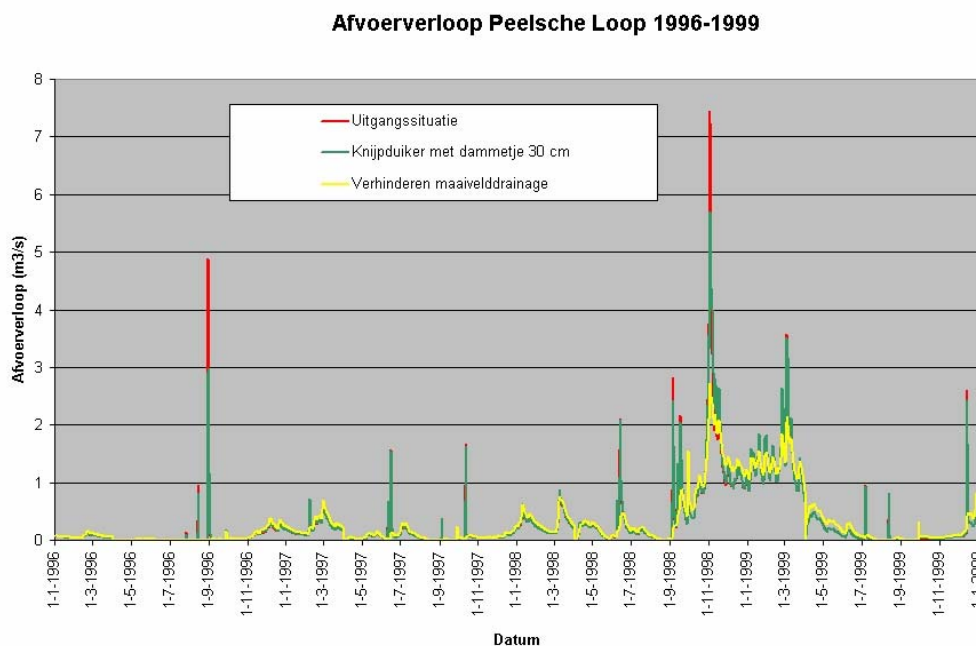
6 Analyse

6.1 Inleiding

De resultaten, beschreven in hoofdstuk 5 worden in dit hoofdstuk nader geanalyseerd. Voor elk aspect worden de gesimuleerde effecten verklaard, waarna conclusies worden getrokken over de hydrologische effecten van de maatregelen.

6.2 Piekafvoeren

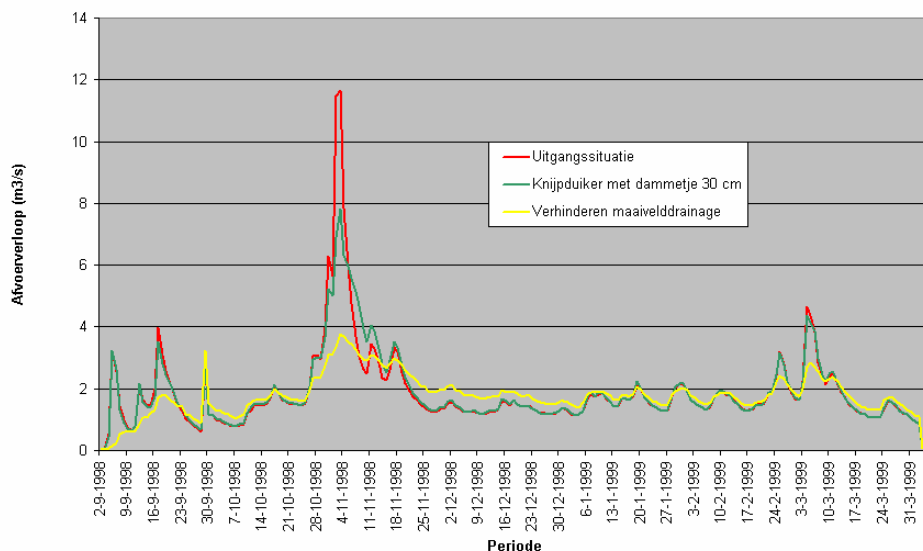
Piekafvoeren kunnen vooral door de vasthoudmaatregelen ‘knijpen met dammetje en ‘blokkeren van maaiveldafvoer’ aanzienlijk worden gereduceerd; de afvoer wordt hierbij vertraagd en over een langere periode uitgesmeerd (‘redistributie’). Voor een beter inzicht in de hydrologische mechanismen achter deze reducties zal het afvoerverloop in meer detail worden bekeken. In Figuur 9 is, voor stroomgebied ‘de Peelsche Loop’ het afvoerverloop gedurende de periode 1996 t/m 1999 in de uitgangssituatie vergeleken met het verloop na het treffen van genoemde twee vasthoudmaatregelen.



Figuur 9 Verloop van de afvoer van het gebied Peelsche Loop gedurende de periode 1996-1999, in de uitgangssituatie en bij de maatregelen 'Knijpen met dammetje' en 'Blokken van maaiveldafvoer'¹⁵

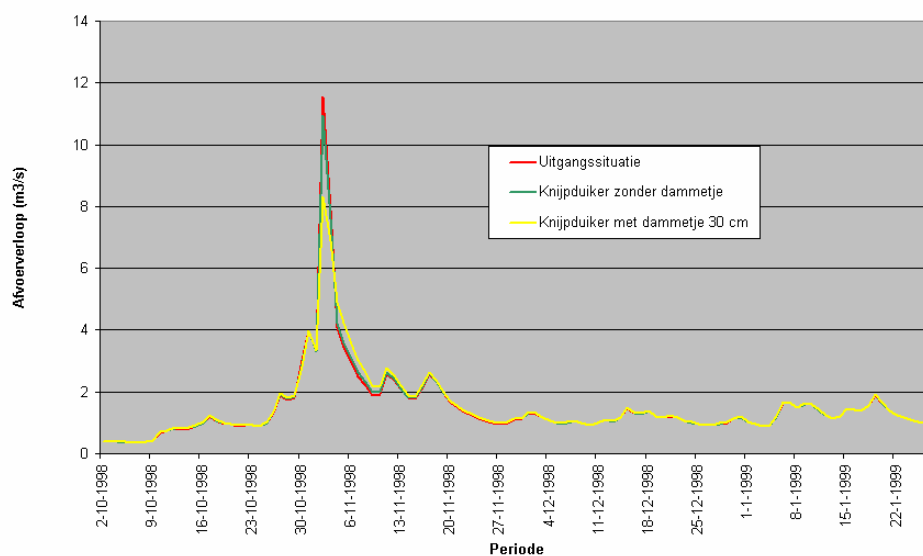
¹⁵ 'Verhinderen maaiveld drainage' in de legenda van deze figuur is synoniem voor 'blokkeren van maaiveldafvoer'.

Afvoerverloop Grote Wetering september 1998-maart 1999



Figuur 10 Verloop van de afvoer van het gebied Grote Wetering gedurende de periode september 1998 – april 1999, in de uitgangssituatie en bij de maatregelen 'Knijpen met dammetje' en 'Blokken van maaiveldafvoer'

Afvoerverloop Raamsloop oktober 1998 - januari 1999



Figuur 11 Verloop van de afvoer van het gebied Raamsloop gedurende de periode oktober 1998 – januari 1999, in de uitgangssituatie en bij de maatregelen 'Knijpen zonder dammetje' en 'Knijpen met dammetje'

De effecten van knijpen, gecombineerd met 30 cm hoge dammetjes zijn alleen zichtbaar bij hoge afvoeren (rond 1 september 1996 en 2 november 1998); de effecten van het blokkeren van de maaiveldafvoer zijn niet alleen groter maar zijn ook vaker zicht-

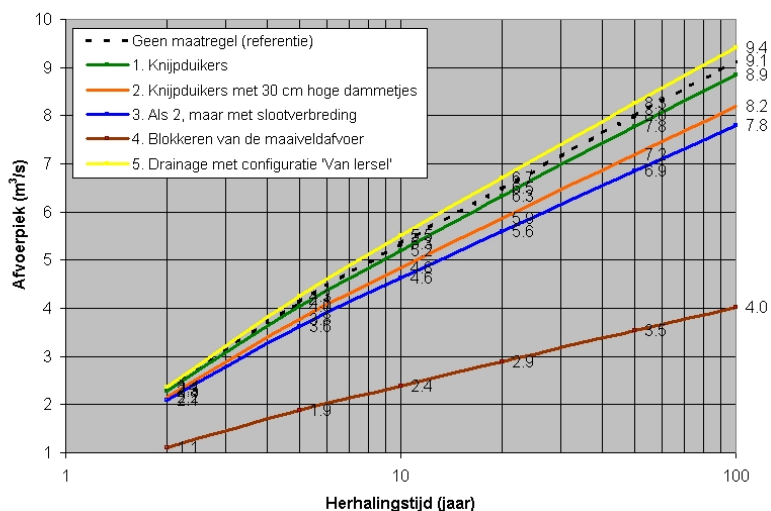
baar. Ook piekafvoeren in de zomer worden door deze maatregel aanzienlijk gereduceerd. Ter illustratie worden in Figuur 10 en Figuur 11 vergelijkbare effecten op afvoerlopen getoond voor respectievelijk de 'Groote Wetering' en 'de Raamsloop'.

De gesimuleerde afvoerpieken in de zomer in de uitgangssituatie en bij knijpen met dammetje zijn het gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit van het maaiveld, waardoor overal in onbebouwd gebied oppervlakteafvoer optreedt. In werkelijkheid is de variabiliteit van de neerslagintensiteit in plaats en in tijd aanzienlijk groter dan de uniforme invoer die bij de modelsimulaties wordt gebruikt. Ook de infiltratiecapaciteit en de bergingsmogelijkheden op het maaiveld zijn niet overal gelijk. De betrouwbaarheid van de gesimuleerde piekafvoeren is daarom, zeker in de zomer, betrekkelijk; de pieken zijn waarschijnlijk structureel overschat. De effecten van het blokkeren van de maaiveldafvoer zijn daarmee waarschijnlijk ook overschat. In een experiment met verkennende, aanvullende berekeningen voor de Peelsche Loop, waarbij de oppervlakteafvoer als gevolg van het overschrijden van de infiltratiecapaciteit werd 'uitgeschakeld', werden zomerse piekafvoeren aanmerkelijk gereduceerd, maar nam de hoogste afvoer op 2 november 1998 slechts af van 7,44 naar 6,23 m³/s. Dit betekent dat de gepresenteerde reducties van de piekafvoeren voor deze maatregel voor de zomerperiode nogal onzeker zijn, maar voor de winterperiode een goede indicatie vormen van de mogelijkheden. De analyse van de effecten op de piekafvoeren per modelgebied is als volgt.

Peelsche Loop

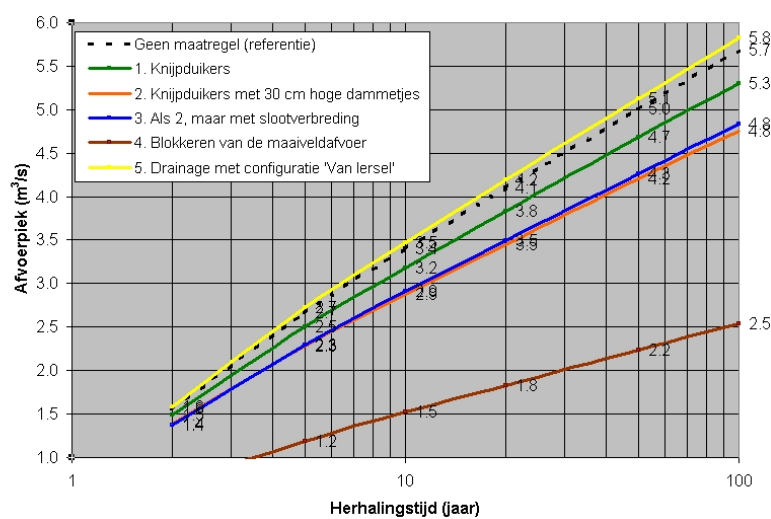
De afvoeren zijn statistisch geanalyseerd met behulp van de zogenaamde Gumbel-methode. Gesimuleerde dagafvoeren worden opgesplitst naar zomer- en winterperiode, waarna in elk halfjaar de hoogste afvoer werd geselecteerd. In hoofdstuk 5 (Kader 3) wordt deze methode toegelicht. De Gumbelanalyse levert relaties tussen afvoerpieken en de hierbij behorende herhalingstijden. Grafisch uitzetten van dit soort relaties voor de vijf gesimuleerde maatregelen in één figuur geeft een goed overzicht van de effecten van deze maatregelen op de piekafvoeren; zie bijvoorbeeld Figuur 12 (pagina 68), voor de afvoerpieken van de winterhalfjaren gedurende het tijdvak 1990-1999. Uit deze grafische voorstelling, waarin tevens piekafvoeren bij zes herhalingstijden, namelijk 2, 5, 10, 20, 50 en 100 jaar, zijn weergegeven, kan worden afgelezen dat bij alle herhalingstijden sprake is van een reductie van de piekafvoeren, met uitzondering van herdrainage volgens 'van Iersel'. In absolute termen zijn deze reducties het grootst bij de langste herhalingstijden; de procentuele veranderingen zijn echter vrij constant. Dit is een belangrijke conclusie omdat de veelgehoorde hypothese dat vasthoudmaatregelen alleen goed werken bij korte herhalingstijden, te weten minder dan 10 jaar, erdoor wordt weerlegd. Een vergelijkbare grafiek voor de zomerperiode is gegeven in Figuur 13.

Herhalingstijden van afvoerpieken Peelsche Loop; winter



Figuur 12 Relaties tussen piekafvoeren (m^3/s) in de winterperiode van de Peelsche Loop en de hierbij behorende herhalingstijden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999; deze relaties zijn bepaald door middel van een statistische analyse van extremen volgens de methode 'Gumbel'

Herhalingstijden van afvoerpieken Peelsche Loop; zomer



Figuur 13 Relaties tussen piekafvoeren (m^3/s) in de zomerperiode van de Peelsche Loop en de hierbij behorende herhalingstijden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999

De effecten van zomer- en winterperiode voor de Peelsche Loop zijn samengevat in Tabel 14. Allereerst zullen de afvoeren van het winterhalfjaar worden besproken.

De maatregel 'Knippen zonder dammetje' (maatregel 1; zie Figuur 12) heeft in de winter een beperkt effect op piekafvoeren (2% tot 3%) en is vergelijkbaar met eerdere berekeningen van de waterschappen de Dommel en Aa en Maas. Pas als de potentiële kortsluitstroming van water over het maaiveld bij de knijpduiker door een dammetje van 30 cm hoog voor een deel wordt geblokkeerd heeft deze maatregel een substantiëler effect; bijvoorbeeld een reductie van 10% van de T=20-piekafvoer. . Sloopverbreding resulteert in een extra reductie van ca. 5% ten opzichte van knippen met dammetje. Blokkeren van maaiveldafvoer geeft voor alle herhalingsstijden ongeveer een halvering van de piekafvoeren en is daarmee de meest effectieve maatregel om piekafvoeren te reduceren. Herdrainage van reeds gedraineerde percelen volgens de configuratie van Iersel geeft op stroomgebiedsniveau een lichte verhoging (ca. 3%) van de piekafvoeren. Op perceelsniveau zijn de toenames echter wel aanzienlijk..

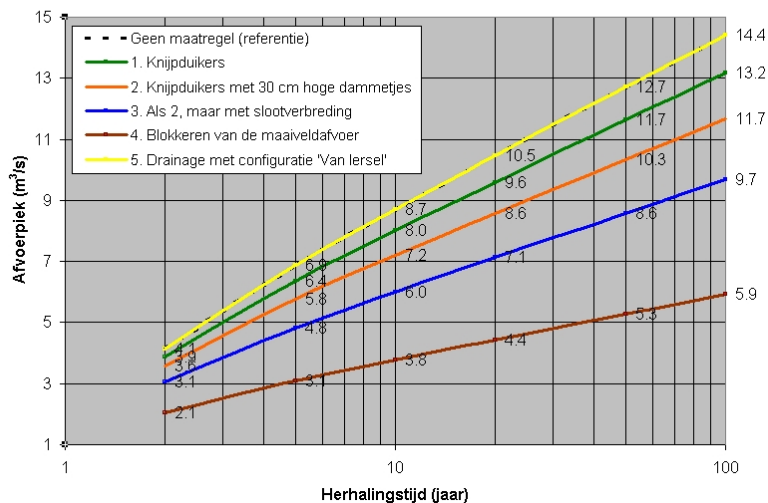
De afvoeren in het zomerhalfjaar zijn in de uitgangssituatie lager dan in de winterperiode en de effecten van maatregelen op de piekafvoeren zijn daarom van minder belang. Over het algemeen zijn de procentuele effecten van knippen groter. Opvallend is dat sloopverbreding in de zomer nauwelijks effect heeft.

Tabel 14 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij zes herhalingsstijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Peelsche Loop'

stroomgebied seizoen	Peelsche Loop											
	zomerhalfjaar						winterhalfjaar					
Herhalingsstijd T van de piekafvoer (jaar)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Referentie (m ³ /sec)	1,56	2,66	3,40	4,10	5,01	5,69	2,32	4,13	5,34	6,50	8,01	9,13
Knippen zonder dammetje	1,48	2,51	3,18	3,83	4,68	5,31	2,27	4,03	5,20	6,32	7,77	8,86
	95%	94%	94%	94%	93%	93%	98%	98%	97%	97%	97%	97%
Knippen met dammetje	1,38	2,28	2,88	3,45	4,20	4,75	2,16	3,77	4,84	5,87	7,19	8,19
	89%	86%	85%	84%	84%	84%	93%	91%	91%	90%	90%	90%
Knippen met dammetje, met sloopverbreding	1,37	2,30	2,91	3,50	4,26	4,83	2,09	3,62	4,63	5,60	6,85	7,79
	88%	86%	86%	85%	85%	85%	90%	88%	87%	86%	86%	85%
Blokkeren van maaiveldafvoer	0,70	1,19	1,52	1,83	2,23	2,54	1,10	1,88	2,39	2,89	3,53	4,01
	45%	45%	45%	45%	45%	45%	47%	45%	45%	44%	44%	44%
Drainage 'Van Iersel'	1,58	2,72	3,47	4,20	5,13	5,83	2,37	4,26	5,51	6,70	8,25	9,41
	102%	102%	102%	102%	102%	102%	102%	103%	103%	103%	103%	103%

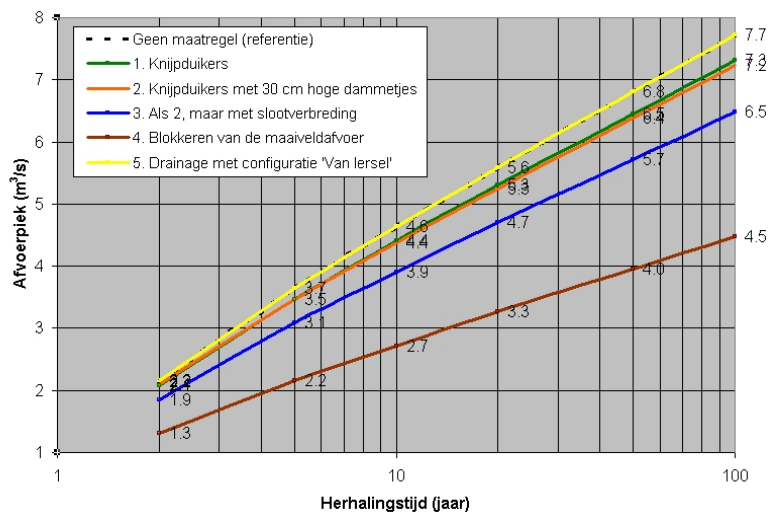
De herhalingsjiden van de afvoerpieken in de Groote Wetering zijn grafisch weergegeven in Figuur 14 en Figuur 15.

Herhalingsjiden van afvoerpieken Groote Wetering; winter



Figuur 14 Relaties tussen piekafvoeren (m³/s) in de winterperiode van de Groote Wetering en de hierbij behorende herhalingsjiden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999

Herhalingsjiden van afvoerpieken Groote Wetering; zomer



Figuur 15 Relaties tussen piekafvoeren (m³/s) in de zomerperiode van de Groote Wetering en de hierbij behorende herhalingsjiden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999

In Tabel 15 zijn de piekafvoeren en piekafvoerreducties samengevat.

Tabel 15 *Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij zes herhalingsstijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Grote Wetering'*

stroomgebied seizoen	Grote Wetering											
	zomerhalfjaar						winterhalfjaar					
Herhalingsstijd T van de piekafvoer (jaar)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Referentie (m ³ /sec)	2,15	3,65	4,64	5,59	6,81	7,73	4,12	6,88	8,70	10,46	12,72	14,42
Knijpen zonder dammetje	2,07	3,47	4,41	5,30	6,45	7,32	3,86	6,35	8,01	9,59	11,65	13,18
	96%	95%	95%	95%	95%	95%	94%	92%	92%	92%	92%	91%
Knijpen met dammetje	2,09	3,47	4,38	5,25	6,38	7,23	3,59	5,76	7,19	8,56	10,34	11,67
	97%	95%	94%	94%	94%	94%	87%	84%	83%	82%	81%	81%
Knijpen met dammetje, met slootverbreding	1,85	3,09	3,91	4,70	5,72	6,48	3,05	4,83	6,00	7,13	8,58	9,68
	86%	85%	84%	84%	84%	84%	74%	70%	69%	68%	67%	67%
Blokken van maaiveldafvoer	1,31	2,16	2,72	3,26	3,96	4,48	2,05	3,09	3,77	4,43	5,29	5,92
	61%	59%	59%	58%	58%	58%	50%	45%	43%	42%	42%	41%
Drainage 'Van Iersel'	2,16	3,65	4,64	5,59	6,81	7,73	4,13	6,88	8,71	10,45	12,72	14,41
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

De piekafvoeren in het winterhalfjaar worden in dit stroomgebied door knijpen sterker gereduceerd vergeleken met de Peelsche Loop; ongeveer tweemaal zo veel. Ook slootverbreding levert een reductie op van zo'n 14% ten opzichte van knijpen met dammetje. Een verklaring hiervoor is dat door de vlakke ligging en de aanwezigheid van veel sloten knijpen en slootverbreding effectiever zijn. De effecten van blokkeren maaiveldafvoer resulteren in dit gebied eveneens in ongeveer een halvering van de piekafvoeren. De effecten van herdrainage zijn marginaal omdat er nauwelijks gedraineerde percelen voorkomen; zie Kaart 6 op pagina 17.

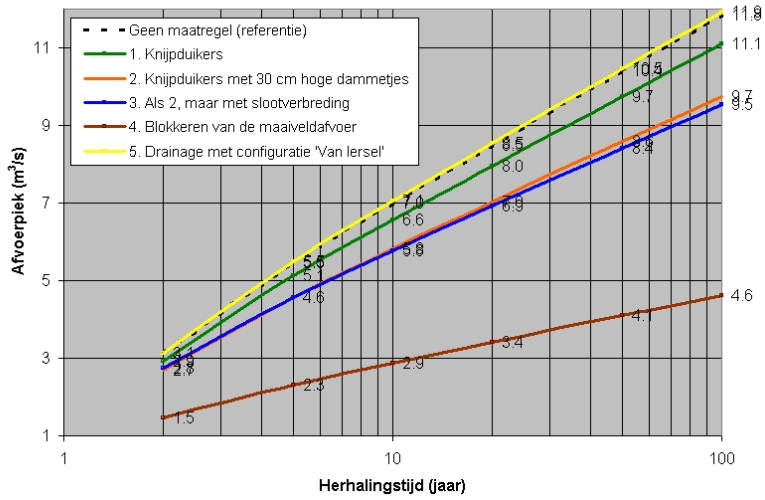
In het zomerhalfjaar zijn de piekafvoeren in de uitgangssituatie ongeveer de helft van de afvoeren in de winter. De effecten van knijpen zonder en met dammetje zijn duidelijk geringer vergeleken met de Peelsche Loop. Opvallend is dat de effecten van blokkeren van maaiveldafvoer geringer zijn dan in de winter. Een mogelijke verklaring is dat door de aanwezigheid van meer oppervlaktewater de pieken als gevolg van overschrijden van de infiltratiecapaciteit (vooral optredend in de zomer) meer worden afgevlakt.

Raamsloop

De herhalingsstijden van de afvoerpieken in de Raamsloop zijn grafisch weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17 (pagina 72). Vergelijking met de Peelsche Loop laat zien dat de afvoeren hoger zijn terwijl het areaal minder groot is (7920 ha resp. 6278 ha). In afvoerhydrologisch opzicht is het een snel reagerend gebied.

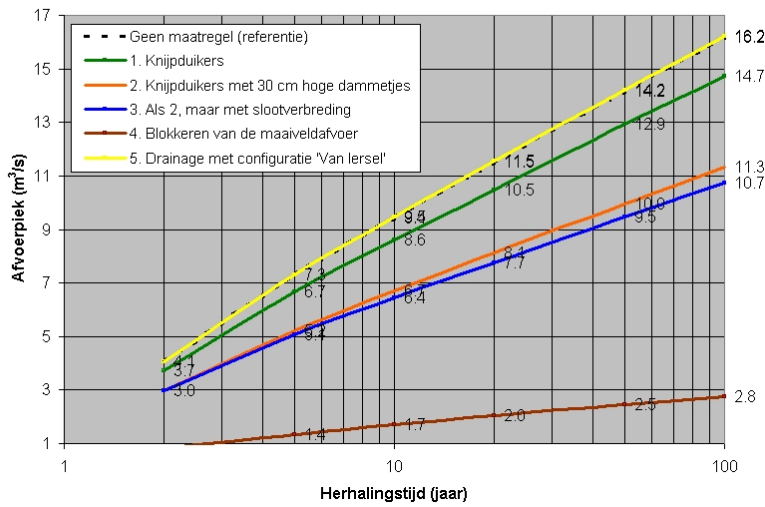
Formatted: Font: Italic

Herhalingstijden van afvoerpieken Raamsloop; winter



Figuur 16 Relaties tussen piekafvoeren (m^3/s) in de winterperiode van de Raamsloop en de hierbij behorende herhalingstijden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999

Herhalingstijden van afvoerpieken Raamsloop; zomer



Figuur 17 Relaties tussen piekafvoeren (m^3/s) in de zomerperiode van de Raamsloop en de hierbij behorende herhalingstijden, voor de uitgangssituatie en vijf vasthoudmaatregelen, voor de simulatieperiode 1990-1999

In Tabel 16 zijn de piekafvoeren en piekafvoerreducties samengevat.

Tabel 16 Piekafvoeren en piekafvoerreducties bij zes herhalings tijden (in absolute cijfers en %) voor zomer- en winterhalfjaar, berekend voor stroomgebied 'Raamsloop'

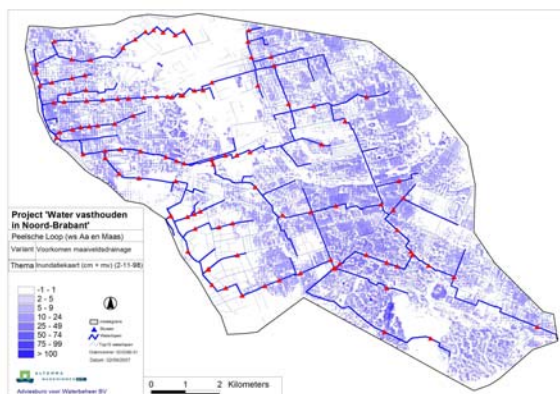
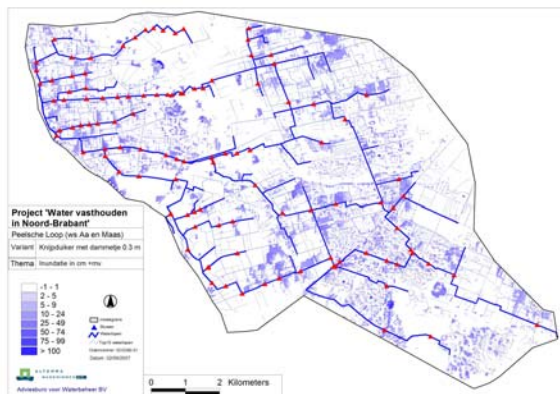
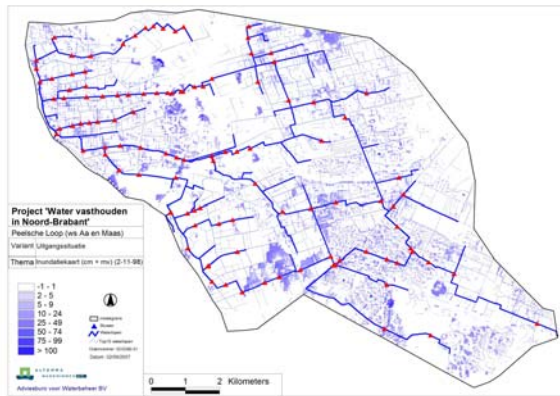
stroomgebied seizoen	Raamsloop											
	zomerhalfjaar						winterhalfjaar					
Herhalings tijd T van de piekafvoer (jaar)	2	5	10	20	50	100	2	5	10	20	50	100
Referentie (m ³ /sec)	4,05	7,30	9,44	11,51	14,17	16,17	3,12	5,46	7,00	8,48	10,40	11,84
Knijpen zonder dammetje	3,71	6,66	8,62	10,49	12,92	14,74	2,93	5,12	6,56	7,95	9,74	11,09
	92%	91%	91%	91%	91%	91%	94%	94%	94%	94%	94%	94%
Knijpen met dammetje	2,96	5,20	6,69	8,11	9,95	11,33	2,68	4,57	5,82	7,02	8,58	9,74
	73%	71%	71%	70%	70%	70%	86%	84%	83%	83%	83%	82%
Knijpen met dammetje, met slootverbreding	2,98	5,05	6,43	7,74	9,45	10,73	2,75	4,56	5,77	6,92	8,41	9,53
	74%	69%	68%	67%	67%	66%	88%	84%	82%	82%	81%	80%
Blokkeren van maaiveldafvoer	0,83	1,35	1,69	2,03	2,45	2,77	1,47	2,31	2,87	3,41	4,10	4,62
	20%	18%	18%	18%	17%	17%	47%	42%	41%	40%	39%	39%
Drainage 'Van Iersel'	4,06	7,32	9,48	11,54	14,22	16,23	3,14	5,49	7,05	8,54	10,47	11,92
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	101%	101%	101%	101%	101%	101%

Analyse van de afvoeren in het winterhalfjaar leert dat knijpen zonder dammetje al redelijk effectief is (zo'n 6% reductie), en met dammetje komt er nog een extra reductie van zo'n 10% bij. Slootverbreding heeft relatief weinig effect (ca. 2%). Een mogelijke verklaring is de aanwezigheid van relatief weinig sloten. Blokkeren van maaiveldafvoer is ook in dit stroomgebied bijzonder effectief om piekafvoeren te reduceren terwijl herdrainage nauwelijks effect heeft.

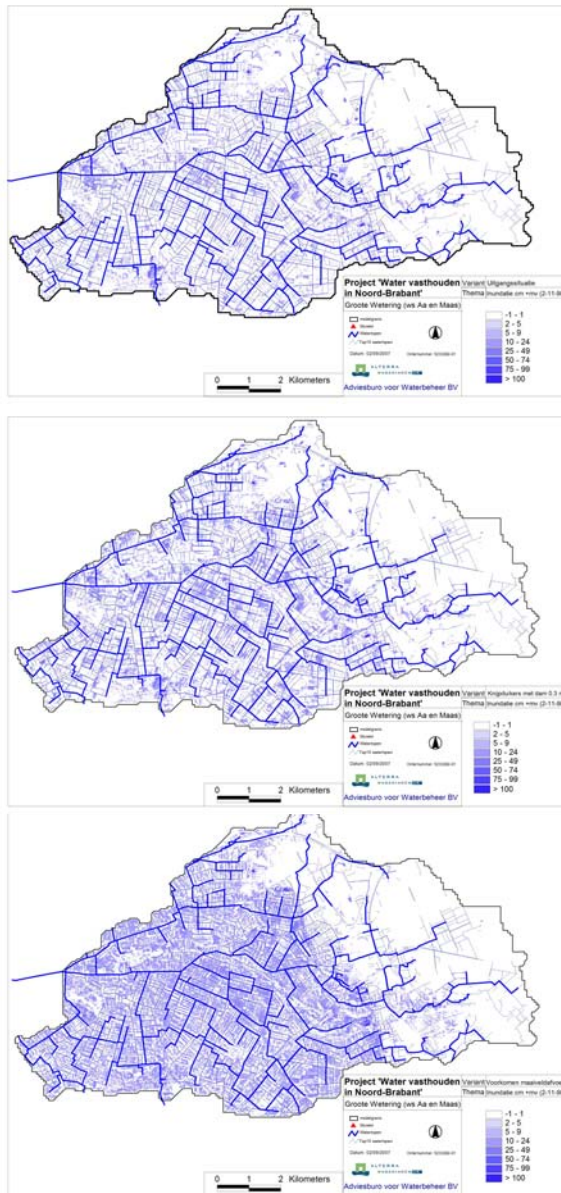
In het zomerhalfjaar treden hogere piekafvoeren op dan in de winter als gevolg van het optreden van oppervlakteafoer. Een verklaring is dat door de geringere bergingsmogelijkheden in de sloten en weinig stuwen in het hoofdafwateringssysteem er weinig afvlakking plaats vindt. De mogelijkheden van reductie zijn dan ook groter vergeleken met de andere twee gebieden. Vooral het blokkeren van maaiveldafvoer resulteert in reducties van 80% of meer. In de discussie (hoofdstuk 7) zal nader worden ingegaan op de hardheid van deze bevinding.

6.3 Inundaties

Reductie van piekafvoeren is een gevolg van tijdelijk meer berging van water in en op de grond. Het beeld van de inundaties op 2 november 1998 voor de uitgangssituatie en de twee meest effectieve maatregelen ('knijpen met dammetje' en 'blokkeren maaiveldafvoer') laten dit ook duidelijk zien; zie Kaart 24 (pagina 74), Kaart 25 (pagina 75) en Kaart 26 (pagina 76).

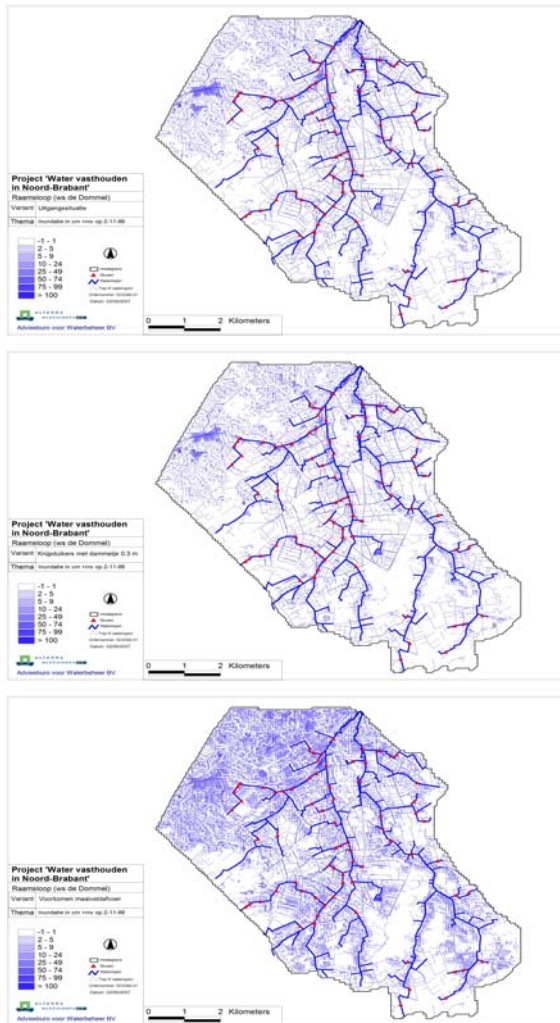


Kaart 24 Inundatie (cm water op het maaiveld) in de Peelsche Loop op 2 november 1998 voor de uitgangssituatie (boven), voor de maatregel 'knippen met dammetje 30 cm (midden) en voor de maatregel 'Blokken van maaiveld-afvoer' (onder)



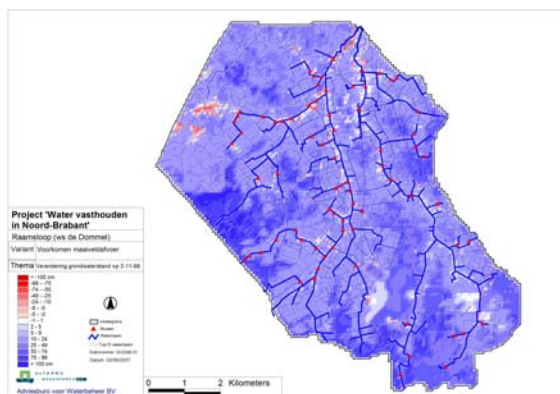
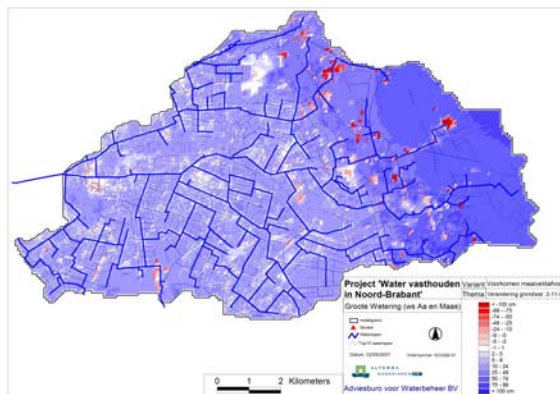
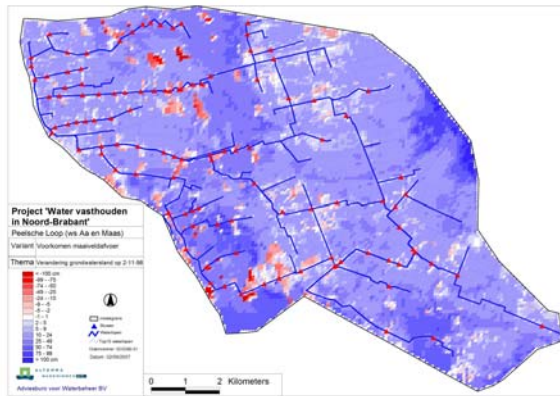
Kaart 25 Inundatie (cm water op het maaiveld) in de Groote Wetering op 2 november 1998 voor de uitgangssituatie (boven), voor de maatregel 'knippen met dammetje 30 cm' (midden) en voor de maatregel 'Blokken van maaiveldafvoer' (onder)

Inundatie in de uitgangssituatie treedt vooral op in de lage delen en is dus vooral een gevolg van grondwaterstanden tot in het maaiveld. De verandering van de maatregel 'knippen met dammetje' zijn beperkt. Blokkeren van maaiveldafvoer leidt tot een aanzienlijke uitbreiding van het inundatieareaal in alle drie de voorbeeldgebieden.

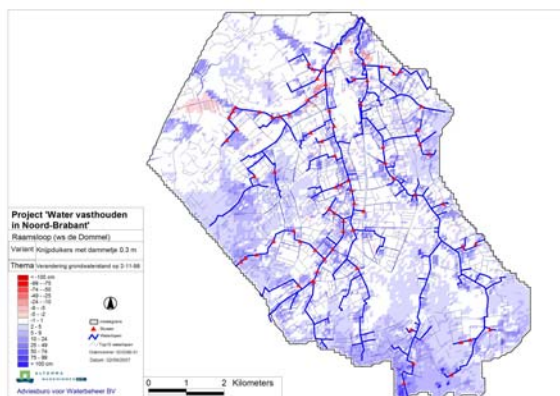
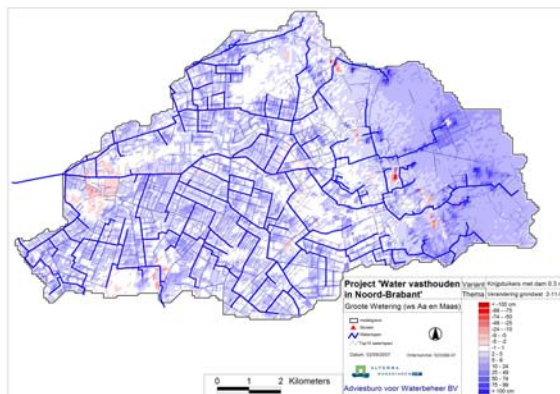
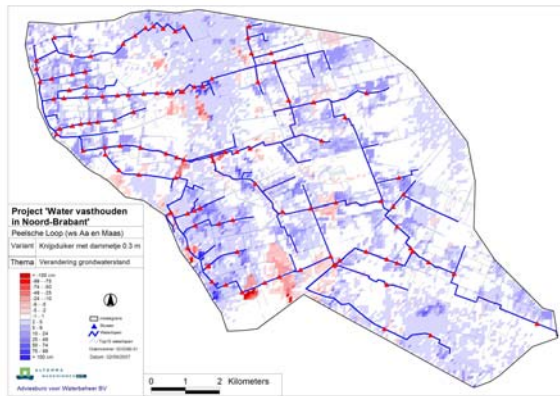


Kaart 26 Inundatie (cm water op het maaiveld) in de Raamsloop op 2 november 1998 voor de uitgangssituatie (boven), voor de maatregel 'knippen met dammetje 30 cm (midden) en voor de maatregel 'Blokkeren van maaiveldafvoer' (onder)

In zekere zin lijkt inundatie het topje van de ijsberg, omdat het overgrote deel van de tijdelijke extra berging wordt gerealiseerd door een kortstondige verhoging van de grondwaterstand. Dit wordt voor twee maatregelen gevisualiseerd in Kaart 27 (pagina 77) en Kaart 28 (pagina 78). Vooral in gebieden die geen of weinig inundatie laten zien is de grondwaterstandsverhoging bij de maatregel 'Blokkeren van maaiveldafvoer' aanzienlijk. Juist de hogere delen met de minste inundatie laten de grootste grondwaterstandsverhoging zien. De vergelijking met een ijsberg is dan ook onjuist.



Kaart 27 Verandering van de grondwaterstand op 2 november 1998 (cm) door de maatregel 'Blokken van maaineldafvoer' in de Peelsche Loop (boven), de Groote Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)



Kaart 28 Verandering van de grondwaterstand op 2 november 1998 (cm) door de maatregel 'knijpdijkers met 30 cm dammetje' (onder) in de Peelsche Loop (boven), de Grootte Wetering (midden) en de Raamsloop (onder)

6.4 Structurele verandering van grondwaterstanden

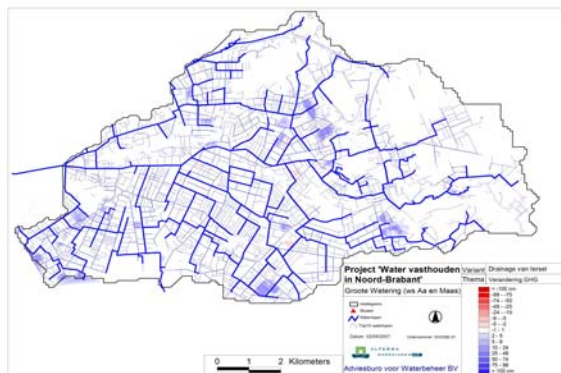
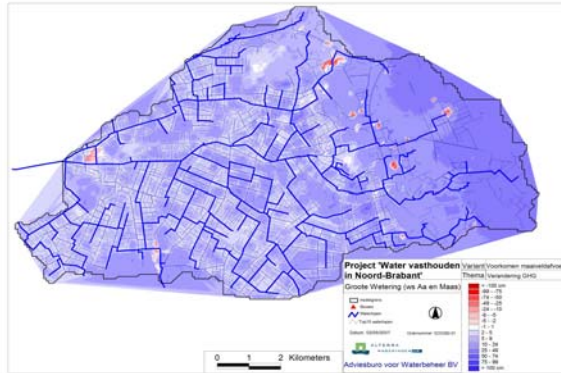
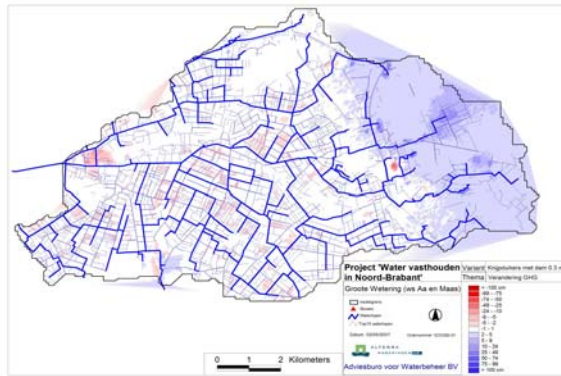
De structurele veranderingen in grondwaterstanden zullen worden geanalyseerd voor 3 maatregelen: 'knijpen met dammetje', 'blokkeren maaiveldafvoer' en 'drainage van Iersel'. De effecten op de GHG zijn weergegeven op Kaart 29 (pagina 80), Kaart 30

(pagina 81) en Kaart 31 (pagina 82); die op de GLG op Kaart 32 (pagina 83), Kaart 33 (pagina 84) en Kaart 34 (pagina 85).

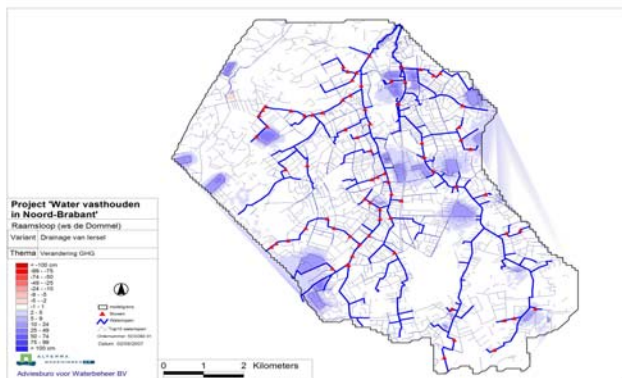
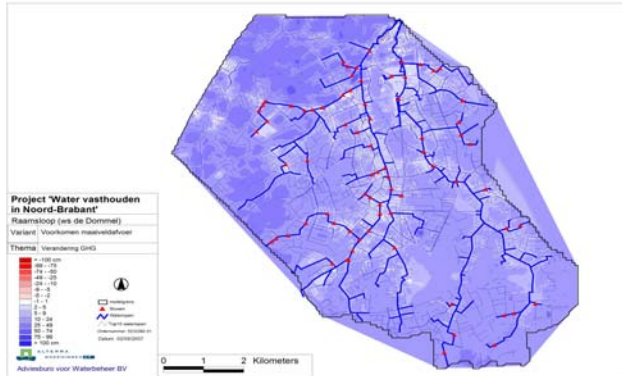
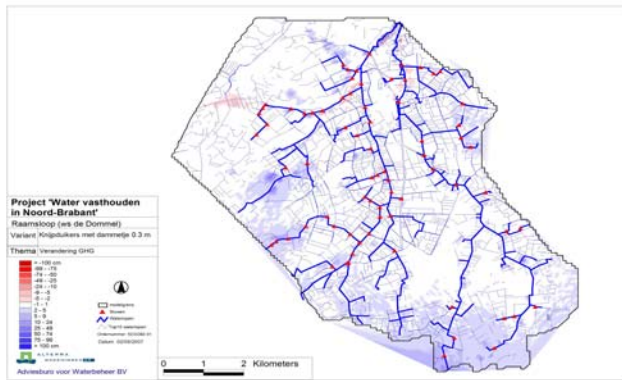
De effecten op zowel GHG en GLG zijn beperkt, waarmee het kortstondige karakter van de berging van het neerslagoverschot wordt onderstreept. De enige uitzondering is maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer'; bij deze maatregel wordt het maaiveld als ontwaterings- en afvoermiddel uitgeschakeld, waardoor het gehele neerslagoverschot de 'doordegrondse' route moet afleggen, met hogere grondwaterstanden tot gevolg.

Opvallend is, dat herdrainage volgens 'van Iersel' (intensiever draineren met hogere ontwateringsbasis) een verhoging van de GHG tot gevolg heeft op de percelen die gedraineerd zijn. Dit is in overeenstemming met een eerdere analyse (Van Bakel e.a., 2007)¹⁶. Daarmee wordt de GHG-verlagende werking van conventioneel gedraineerde percelen voor een deel teniet gedaan. Deze vorm van drainage kan daarom worden ingezet als compenserende maatregel bij ingrepen die een structurele vernatting tot gevolg hebben (zoals blokkeren van maaiveldafvoer).

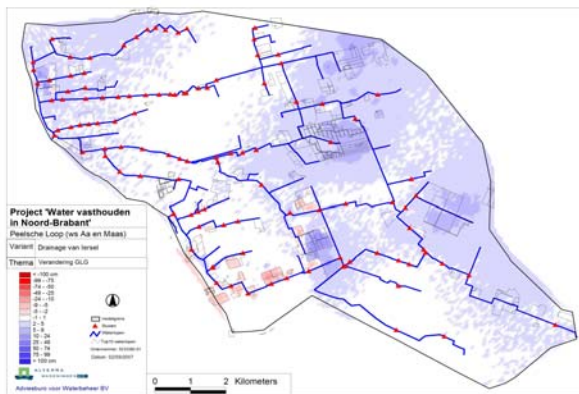
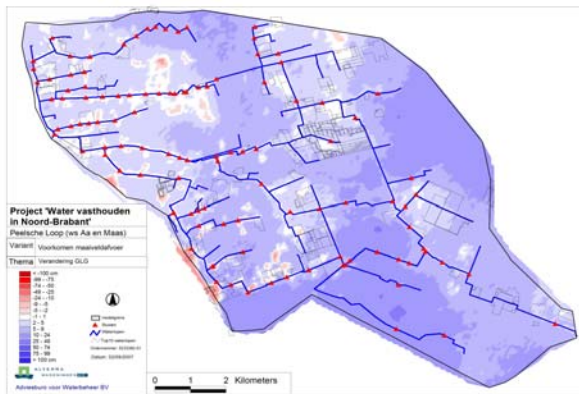
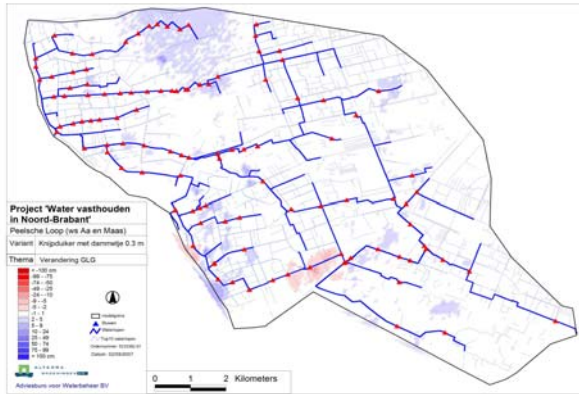
¹⁶ Van Bakel, P.J.T., J.M.P.M Peerboom en L.C.P.M Stuyt, 2007. Drainage tegen verdroging en voor een beter milieu: paradox of werkelijkheid. H₂O (1); 25-28.



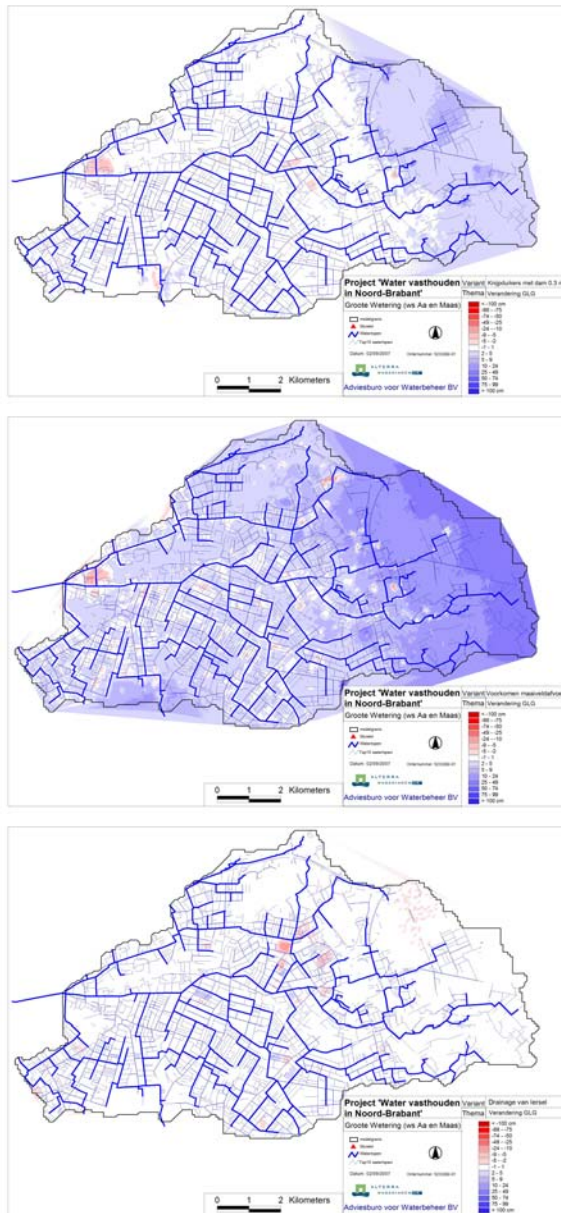
Kaart 30 Verandering van de GHG (+(blauwe tinten) is verhoging; - (rode tinten) is verlaging) in de Grootte Wetering op 2 november 1998 voor de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (boven), 'Blokken van maaierveldafvoer' (midden) en 'Drainage van Iersel' (onder)



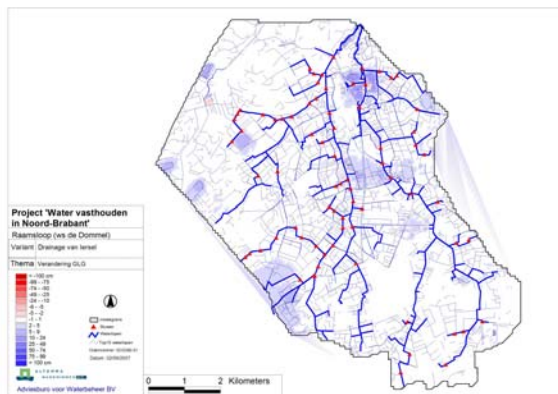
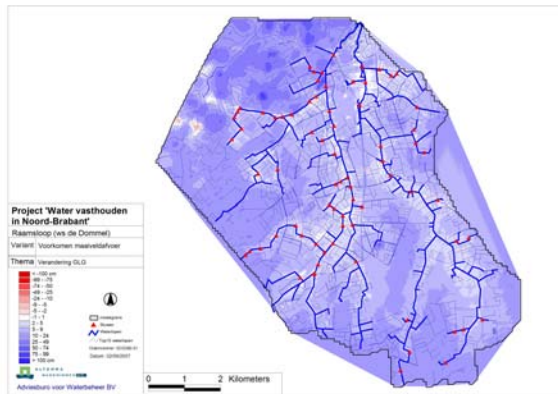
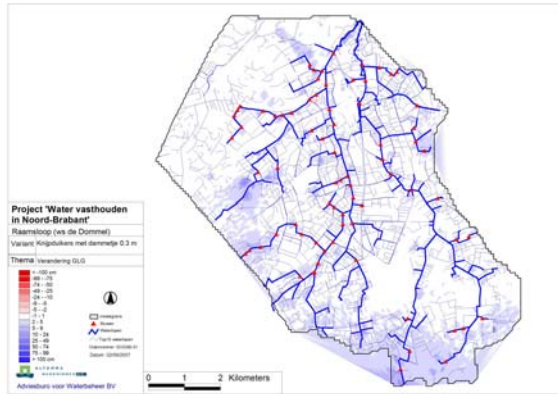
Kaart 31 Verandering van de GHG (+(blauwe tinten) is verhoging; -(rode tinten) is verlaging) in de Raamsloop op 2 november 1998 voor de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (boven), 'Blokieren van maaienveldafvoer' (midden) en 'Drainage van Iersel' (onder)



Kaart 32 Verandering van de GLG (+(blauwe tinten) is verhoging; - (rode tinten) is verlaging) in de Peelsche Loop op 2 november 1998 voor de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (boven), 'Blokieren van maai-veldafvoer' (midden) en 'Drainage van Iersel' (onder)



Kaart 33 Verandering van de GLG (+(blauwe tinten) is verhoging; - (rode tinten) is verlaging) in de Grote Wetering op 2 november 1998 voor de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (boven), 'Blokkeren van maaienveldafvoer' (midden) en 'Drainage van Iersel' (onder)



Kaart 34 Verandering van de GLG (+(blauwe tinten) is verhoging; -(rode tinten) is verlaging) in de Raamsloop op 2 november 1998 voor de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (boven), 'Blokkeeren van maaiaveldafvoer' (midden) en 'Drainage van Iersel' (onder)

6.5 Opbrengstveranderingen

Een verandering van GHG en GLG kan worden vertaald in een verandering in nat- en droogteschade volgens de HELP-tabel. In het vorige hoofdstuk zijn deze veranderingen per maatregel besproken. De procentuele opbrengstveranderingen kunnen worden omgezet in geldelijke veranderingen door een bedrag per ha aan te nemen per procent opbrengstverandering. Het resultaat bij €10 en €30 per ha per procent opbrengstverandering voor grasland resp. overige landbouw is gegeven in Tabel 17. De veranderingen zijn marginaal, met uitzondering van die ten gevolge van de maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer'. Daarbij neemt de natschade meer toe dan de droogteschade afneemt. Vooral voor het relatief natte gebied Grote Wetering is dit effect het duidelijkst, meer specifiek bij overige landbouw.

Tabel 17 Gemiddelde geldelijke nat- en droogteschade en totale schade in Euro's, voor grasland en overig bouwland, in de uitgangssituatie en na realisatie van vijf maatregelen om water vast te houden, gespecificeerd als verandering ten opzichte van de uitgangssituatie

	(€)	Peelsche Loop (7920 ha)			Grote Wetering (9511 ha)			Raamsloop (6278 ha)		
		nat	droog	totaal	nat	droog	totaal	nat	droog	totaal
Uitgangssituatie (absolute cijfers)	gras	18 020	445 160	463 180	55 560	446 780	502 340	13 660	128 390	142 050
	overig	178 680	1 076 160	1 254 840	550 410	1 201 980	1 752 390	229 470	910 590	1 140 060
Knippen zonder dammetje	gras	-280	210	-70	-2 580	2 040	-540	-120	-460	-580
	overig	-1 770	-480	-2 250	-16 740	4 950	-11 790	390	-3 120	-2 730
Knippen met dammetje	gras	290	-480	-190	-2 050	-80	-2 130	310	-1 520	-1 210
	overig	990	-3 150	-2 160	-13 590	990	-12 600	6 780	-9 180	-2 400
Knippen met dammetje, met slootverbreding	gras	-2 570	2 430	-140	-12 630	4 420	-8 210	-2 180	1 100	-1 080
	overig	-17 130	4 950	-12 180	-91 410	10 590	-80 820	-29 640	5 010	-24 630
Blokkeren van maaiveldaf- voer	gras	15 420	-25 650	-10 230	34 160	-21 420	12 740	10 210	-12 150	-1 940
	overig	93 750	-64 080	29 670	153 210	-55 230	97 980	89 880	-79 590	10 290
Drainage 'van Iersel'	gras	3 100	-11 290	-8 190	620	-1 890	-1 270	580	-1 510	-930
	overig	23 610	-26 490	-2 880	2 160	-4 380	-2 220	10 560	-11 490	-930

6.6 Incidentele natschade aan landbouwgewassen

De HELP-tabel houdt onvoldoende rekening met incidentele schades als gevolg van kortdurende hoge grondwaterstanden. Als maat voor incidentele natschade is gekozen voor de som van het aantal dagen dat (freatische) grondwaterstanden hoger komen dan 30 cm -mv, respectievelijk hoger dan het maaiveld (i.c. inundatie), opgesplitst naar zomer- en winterperiode en naar grasland en overige landbouw. Uit de cijfers in Tabel 18 en Tabel 19 (pagina 87) blijkt dat alleen de maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer' een aanzienlijke toename laat zien van het aantal dagen dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm -mv: in de winter ca. 7 dagen en in de zomer ca. 3 dagen meer vergeleken met de uitgangssituatie). De verschillen tussen de gebieden zijn gering. Het aantal dagen dat er inundatie optreedt in de uitgangssituatie is voor alle 3 gebieden gering. Door de maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer' neemt het aantal dagen in de winter ongeveer toe met 5 en in de zomer met 1 à 2.

Tabel 18 Aantal dagen per halfjaar (zomer- en winterperiode) dat de grondwaterstand hoger komt dan 30 cm - mv, voor de uitgangssituatie en de vijf vasthoudmaatregelen, gemiddeld voor grasland en overige landbouw, voor de drie stroomgebieden

	dagen	Peelsche Loop		Groote Wetering		Raamsloop	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie	gras	12,5	2,2	15,5	3,8	12,9	2,2
	overig	13,4	2,7	16,6	3,9	10,0	2,1
Knijpen zonder dammetje	gras	12,2	2,1	14,9	3,6	12,8	2,1
	overig	13,2	2,6	15,9	4,6	10,0	2,1
Knijpen met dammetje	gras	12,4	2,1	15,1	3,6	13,0	2,3
	overig	13,4	2,6	16,1	4,4	10,2	2,2
Knijpen met dammetje, met slootverbreding	gras	10,9	1,8	12,3	2,8	11,1	1,8
	overig	11,9	2,2	13,2	3,4	8,6	1,8
Blokken van maaiveldafvoer	gras	18,1	5,0	22,3	6,1	18,9	5,2
	overig	19,7	6,3	23,6	7,1	15,4	4,8
Drainage 'Van Iersel'	gras	13,2	2,4	15,6	3,9	13,2	2,2
	overig	14,2	2,9	15,7	4,9	10,3	2,1

Tabel 19 Aantal dagen per halfjaar waarop in de uitgangssituatie (=zonder maatregel) sprake is van inundatie, en de toe- of afname van dit aantal dagen, voor vijf maatregelen, voor grasland en overige landbouw

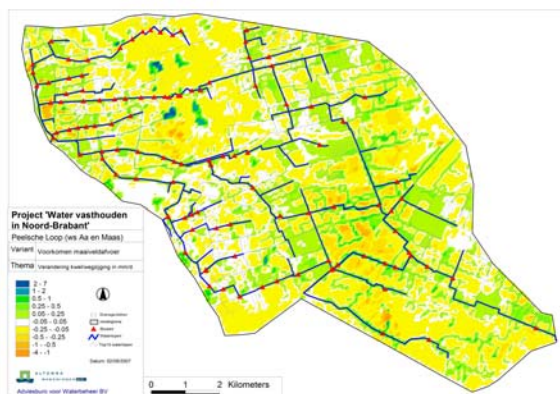
Inundatie	dagen	Peelsche Loop		Groote Wetering		Raamsloop	
		winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer
Uitgangssituatie (absolute cijfers)	gras	0,4	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2
	overig	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
Knijpen zonder dammetje	gras	0	0	0	0	0	0
	overig	0	0	0	0	0	0
Knijpen met dammetje	gras	0	0	0,1	0	0	0
	overig	0,1	0	0,1	-0,1	0	0
Knijpen met dammetje, met slootverbreding	gras	-0,1	0	0	0	-0,1	0
	overig	0	0	-0,1	-0,2	0	0
Blokken van maaiveldafvoer	gras	6,1	1,7	5,1	1,0	5,7	1,7
	overig	7,3	2,3	5,8	0,9	4,6	1,7
Drainage 'Van Iersel'	gras	0	0	0	0	0	0
	overig	0	0	0	0	0	0

Het is overigens niet gemakkelijk om de gevonden verschillen in financiële termen uit te drukken. Doorgaans is water op grasland als gevolg van niet-afstromende neerslag niet erg schadelijk is omdat dit niet snel leidt tot het verloren gaan van snedes. Snedes gaan overigens wel verloren als water vanuit sloten en beken het land overstroomt. Voor andere vormen van landbouw ('overig' in de tabellen) is de kans op forse opbrengstdervingen bij kortstondig water op het land aanzienlijk groter.

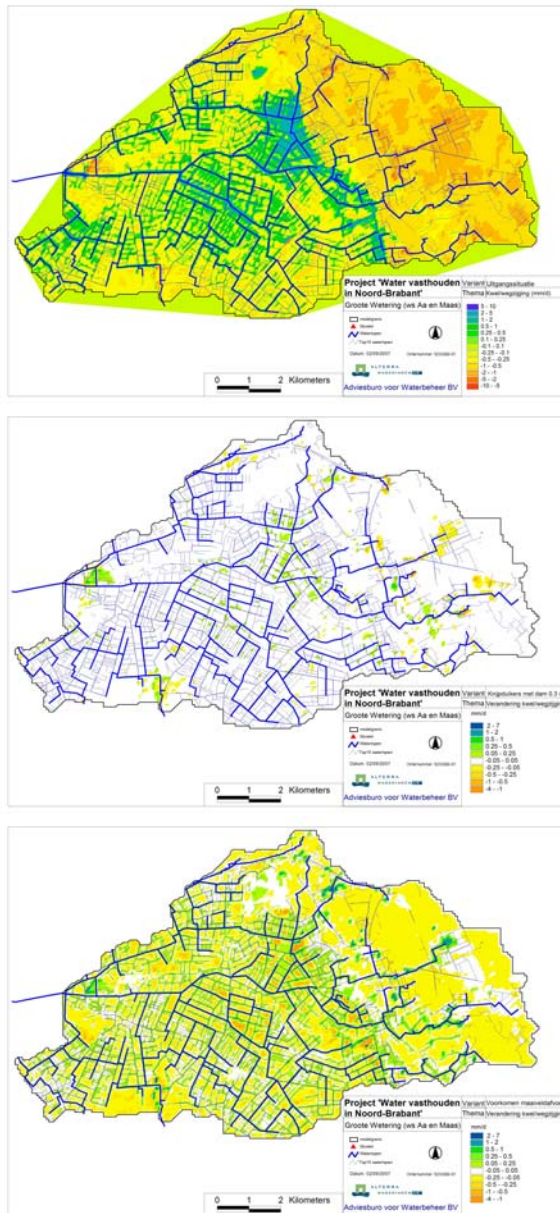
6.7 Patronen van kwel en wegzijging

Van substantiële veranderingen in het ruimtelijk patroon van kwel en wegzijging kan alleen sprake zijn als een maatregel een structureel effect heeft op grondwaterstanden; zie Kaart 35 (pagina 88), Kaart 36 (pagina 89) en Kaart 37 (pagina 90). In het gebied 'Raamsloop' (Kaart 37) blijken de grootste veranderingen in kwel/wegzijging op te treden (overigens nog vrij beperkt), en vooral bij de maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer'. In wordt dit geïllustreerd door de verandering in kwel/wegzijging bij de maatregelen 'knijpduiker met dammetje' en 'blokkeren van maaiveldafvoer' te vergelijken met de mate van kwel/wegzijging in de uitgangssituatie. De verklaring hiervoor is dat het gebied 'Raamsloop' het meest typische beekdalgebied is met relatief diepe (natte) beekdalen, waar natuur voorkomt of de fysieke mogelijkheden van grondwaterstandsverhoging beperkt zijn. Voor terrestrische natuur is de toename van

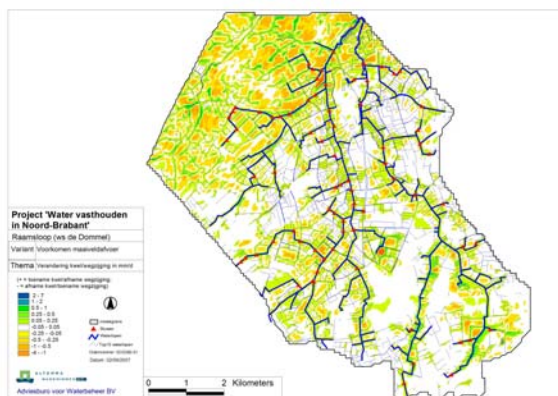
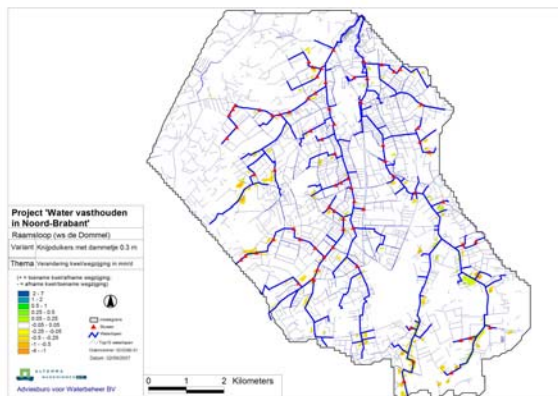
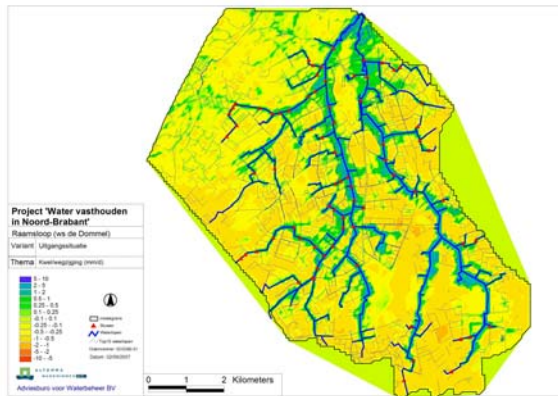
de kwel in de beekdalen - in beginsel - een positief effect. De toename van de kwel kan groter zijn als de maatregel 'blokkeren van maaiveldafvoer' alleen in de hoger gelegen delen stroomgebieden wordt doorgevoerd, maar deze optie is in het kader van deze verkenning niet onderzocht.



Kaart 35 Kwel/wegzijing in de uitgangssituatie in de Peelsche Loop (boven) en verandering van kwel/wegzijing door de maatregel 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (midden) en 'blokkeren van maaiveldafvoer' (onder) ('+' in de legenda betekent 'toename kwel of afname wegzijing'; '-' betekent 'afname kwel of toename wegzijing')



Kaart 36 Kwel/wegzijing in de uitgangssituatie in de Groote Wetering (boven) en verandering van kwel/wegzijing door de maatregel en 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (midden) en 'blokkeren van maaiveldafvoer' (onder) ('+' in de legenda betekent 'toename kwel of afname wegzijing'; '-' betekent 'afname kwel of toename wegzijing')



Kaart 37 Kwel/wegzijing in de uitgangssituatie in de Raamsloop (boven) en verandering van kwel/wegzijing door de maatregel en 'knijpduikers met 30 cm dammetje' (midden) en 'blokkeren van maaiwedaalvoer' (onder) ('+' in de legenda betekent 'toename kwel of afname wegzijing'; '-' betekent 'afname kwel of toename wegzijing')

7 Conclusies en discussie

7.1 Conclusies

7.1.1 Conclusies met betrekking tot de methode

De studie geeft een goed inzicht in de hydrologische mechanismen die, op regionale schaal, een rol spelen bij de transformatie van neerslag in afvoer, en hoe dit proces door vasthoudmaatregelen kan worden beïnvloed. De gekozen methode, modelberekeningen met een regionaal model voor drie voorbeeldgebieden, heeft binnen relatief korte tijd veel bruikbare resultaten opgeleverd. Daarmee is de projectdoelstelling, het verwerven van inzicht door modelberekeningen, gehaald. De studie heeft de hydrologische effectiviteit van de onderzochte vasthoudmaatregelen in beeld gebracht. Analyse van de kosteneffectiviteit en de technische of maatschappelijke uitvoerbaarheid lagen niet in de opdracht besloten.

7.1.2 Conclusies met betrekking tot de resultaten

De neerslag-afvoerrelaties die zijn ontwikkeld in de versies van SIMGRO die in deze studie zijn gebruikt, zijn subtiel. De effecten van de maatregelen die met dit model zijn gesimuleerd zijn mede hierom in sterke mate ruimtelijk gedifferentieerd, want gekoppeld aan lokale gebiedskenmerken, zelfs binnen hetzelfde modelgebied. Dankzij de gebruikte analysemethoden kunnen desondanks eenduidige conclusies worden getrokken. In overleg met de Begeleidingsgroep en de ambtelijke werkgroep 'Waterging en Natuur' zijn de volgende conclusies getrokken.

1. door maatregelen om water vast te houden kunnen piekafvoeren aanmerkelijk worden gereduceerd;
2. vasthouden is vooral effectief als water tijdelijk op het maaiveld kan worden geborgen;
3. knijpduikers zijn effectief in het reduceren van de piekafvoeren, vooral in combinatie met dammetjes;
4. in vlakke gebieden is 'bergen' gemakkelijker te realiseren dan in hellende gebieden;
5. knijpduikers, gecombineerd met dammetjes hebben geen structureel effect op de grondwaterstand; daarom is er geen sprake van structurele schade aan de landbouw en toename van kwel in beekdalen;
6. voorkómen van maaiveldafvoer is de meest effectieve, zuivere en vergaande vorm van vasthouden maar leidt tot meer inundatie, structurele grondwaterstandsverhogingen en effecten op de landbouw;
7. plassen op het land verdwijnen sneller met goede drainage;
8. herdrainage volgens 'Van Iersel' leidt tot structureel hogere grondwaterstanden en het werkt piekafvoer verhogend.

Impliciet zijn dat antwoorden op de door de Begeleidingscommissie aan het begin van de studie geformuleerde kennisvragen (Hoofdstuk 1). Hierna zullen de gestelde vragen expliciet worden beantwoord.

a) *‘Werkt’ vasthouden; heeft het perspectief?*

De hydrologische effectiviteit van vasthoudmaatregelen is in de onderzochte gebieden aanzienlijk; daarom bieden ze perspectief voor goed ontwaterde, vrij afwaterende gebieden in Noord-Brabant.

b) *Wat is het verschil tussen vasthouden en bergen?*

In de Begeleidingcommissie is uitvoerig over deze vraag gediscussieerd; er is consensus over onderstaande definities:

Vasthouden heeft betrekking op maatregelen die worden uitgevoerd in gebieden bovenstrooms van de afvoerpunten op het hoofdafwateringssysteem (brongebieden), met als doel: reductie van piekafvoeren uit deze brongebieden.

Bergen heeft betrekking op maatregelen die worden uitgevoerd in het hoofdafwateringssysteem, of in via het hoofdafwateringssysteem te inunderen piekbergingsgebieden, met als doel: reductie van piekafvoeren uit een stroomgebied.

c) *Wat zijn goede mogelijkheden om water vast te houden?*

Goede mogelijkheden zijn knippen (zonder-, maar zeker met dammetjes), eventueel gecombineerd met slootverbreding in vlakke gebieden met veel sloten, en blokkeren van de maaiveldafvoer.

d) *Wat moet je doen om vasthouden effectief te doen zijn?*

In de studie is de hydrologische effectiviteit van diverse maatregelen onderzocht door deze maatregelen te vertalen in modelveranderingen. De daadwerkelijke (technische) realisatie van die veranderingen was geen onderwerp van studie maar is relatief gemakkelijk ‘uit te tekenen’. Dat zegt echter niets over de maatschappelijke haalbaarheid.

e) *Welke schade levert het vasthouden van water op aan de landbouw?*

Vaststelling van schade aan de landbouw is opgesplitst in structurele schade en incidentele schade. De structurele schade is via de HELP-tabel goed in beeld te brengen. De incidentele natschade is gekoppeld aan kortdurend hoge grondwaterstanden en aan inundaties. Voor een vertaling naar financiële schades bestaan geen goede methoden; deze is daarom achterwege gebleven.

f) *Bij welke herhalingsstijden van afvoerpieken is effectieve reductie te behalen: bij 1, 10 en/of bij 100 jaar?*

Bij alle herhalingsstijden zijn de onderzochte maatregelen in vrijwel gelijke mate effectief.

g) *Welk effect is te verwachten als het water alleen in de sloten / haarvaten wordt vastgehouden?*

Alleen water in sloten vasthouden is synoniem met de maatregel ‘knippen zonder dammetje’. De effecten op de piekafvoeren in het winterhalfjaar liggen tussen 3% en 8%; op de piekafvoeren in het zomerhalfjaar tussen 5% en 9%.

b) *Welke effect mag verwacht worden als water op het land komt te staan, en wat als we meer water doelbewust op het land toelaten?*

De effecten van water op het land zijn niet expliciet onderzocht. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat water op het land gedurende het teeltseizoen voor akkerbouw ernstige gevolgen kan hebben. Voor grasland zijn de effecten beperkter, vooral als het gebiedseigen water betreft. Daarnaast kan water op het land verslapping van de bovengrond veroorzaken waardoor de infiltratiemogelijkheden aanzienlijk worden verkleind. Meer water doelbewust op het land toelaten betekent daarom een toegenomen risico op extra schade voor de landbouw.

Voor natuur geldt dat inundatie van gebiedseigen water minder ongewenst is (tot zelfs zeer gewenst) dan inundatie van gebiedsvreemd water. De effecten van meer water op het land doelbewust toelaten is derhalve vooral een kwestie van de herkomst van het inundatiewater.

7.2 Discussie

Voor een goede interpretatie van de rekenresultaten en daaraan verbonden conclusies is het van belang in te gaan op de volgende vragen:

- hoe 'hard' zijn de rekenresultaten?
- waarom de Gumbelanalyse toepassen, en niet de stochastenmethode?
- zijn de maatregelen ruimtelijk te differentiëren?
- hoe representatief zijn de bevindingen?
- zijn de maatregelen combineerbaar en mogen effecten worden opgeteld?
- wat is de relatie met de andere wateropgaven (verdrogingsbestrijding en realisatie KRW-doelen)?

7.2.1 Hardheid van de rekenresultaten

Het doel van deze studie, 'inzicht door modelberekeningen', was van verkennende aard. Zo'n verkenning stelt minder zware eisen aan de betrouwbaarheid van de resultaten dan bij modelberekeningen ten behoeve van (bijvoorbeeld) schaderegelingen. Het gaat er vooral om dat de dynamiek van afvoeren, en de verschillende hydrologische terugkoppelingsmechanismen die daarbij een rol spelen goed in model zijn gebracht. Door de modelkeuze is dit met de best denkbare techniek gerealiseerd en zijn de berekende effecten van maatregelen een goede schatting van de werkelijkheid.

Een uitzondering hierop is het gemodelleerde mechanisme van maaiveldafvoer bij oppervlakteafoer die door hevige neerslag wordt veroorzaakt. Dit proces is zowel qua concept als qua parameters primitief gemodelleerd. De dagneerslag wordt verondersteld qua tijdsduur geconcentreerd te zijn in 10% van een etmaal, en de infiltratiecapaciteit van, en de berging op het maaiveld worden verondersteld overal gelijk te zijn. Invoeren van (neergeschaalde) uurwaarden van de neerslag lost het probleem van gebrekkige modellering van het oppervlakte-afvoerproces maar beperkt op omdat de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de infiltratiecapaciteit zeer groot is en slechts beperkt te koppelen aan karteerbare kenmerken. Gegeven deze aannames en kanttekeningen zijn de berekende effecten van het blokkeren van maaiveldafvoer slechts indicatief, zeker in de zomerperiode. Aangetoond lijkt echter wel dat een rela-

tief simpel uit te voeren maatregel effectief kan zijn om te verhinderen dat grote hoeveelheden water op het maaiveld ‘en masse’ tot afvoer komen.

7.2.2 De methode ‘Gumbel’ versus de stochastenmethode

De beslissing om (effecten van maatregelen op) de GHG en de GLG te berekenen (zie §5.1 op pagina 45) betekent dat lange, aaneengesloten meteoreeksen moeten worden doorgerekend. Deze aanpak levert echter tevens, ‘automatisch’, de bouwstenen voor ‘statistiek achteraf’. Daarom is als analysemethode gekozen voor ‘statistiek *achteraf*’ volgens Gumbel (1958)¹⁷, en niet voor de methode ‘statistiek *vooraf*’ volgens de stochastenmethode (Kok, 2000)¹⁸. Een tweede argument om te kiezen voor ‘statistiek achteraf’ is, dat door een maatregel de stochast ‘berging in de onverzadigde zone’ verandert, en het gecompliceerd is om deze stochast bij elke maatregel opnieuw te bepalen.

De stochastenmethode is onder meer toegepast bij de hoogwaterstudies ten behoeve van de onderbouwing van de WB21-watertopgaven. De vraag is of door deze keuze een discrepantie ontstaat tussen de in dit project berekende effecten van maatregelen, en de eerder in het kader van WB21 berekende effecten is moeilijk te beantwoorden. De reden is dat, bij toepassing van stochastenmethode, de begingrondwaterstand een cruciale rol speelt en het noodzakelijk is aan te geven hoe deze onder invloed van vasthoudmaatregelen verandert. Hiertoe moet met een niet-stationair regionaal model een lange periode worden doorgerekend, terwijl dit aspect bij doorrekenen van een aaneengesloten langjarige reeks en statistiek achteraf (Gumbel) ‘van nature’ wordt meegenomen.

7.2.3 Ruimtelijk differentiëren van de maatregelen

De meeste maatregelen zijn omwille van het verkrijgen van inzicht *overall* in de drie stroomgebieden doorgevoerd, met uitzondering van bebouwd gebied. In werkelijkheid zal van integrale invoering van maatregelen, uit oogpunt van effectiviteit, echter geen sprake zijn. De hydrologische effectiviteit van een maatregel hangt immers samen met hydrologische kenmerken. Deze zijn per definitie ruimtelijke variabelen; de kosten van maatregelen niet. Bovendien moet rekening worden gehouden met verschillen in looptijden van afvoergolven binnen hetzelfde stroomgebied. Voorkomen moet worden dat effecten op afvoerpieken leiden tot het benedenstrooms samenvallen van tijdelijk ‘uitgestelde’ hoge afvoeren. Er is daarom winst te behalen met ruimtelijk maatwerk, zowel met betrekking tot het benodigd areaal (en de locatie hiervan) als met de kosten van maatregelen.

¹⁷ Gumbel, E.J., 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Press.

¹⁸ Kok, M., I.B.M. Lammers, A.H. Lobbrecht, R.P. Versteeg, P.J.T. van Bakel en F.J.E. van der Bolt, 2000. Hoogwaternormering regionale watersystemen. Rapport HKV / Alterra

7.2.4 Representativiteit van de bevindingen

Een belangrijke vraag is: hoe representatief zijn de resultaten en conclusies voor het waterbeheer in Noord-Brabant? De drie voorbeeldgebieden vormen een redelijke afspiegeling van het vrij-afwaterende deel van de provincie omdat de belangrijkste hydrotypen (Open profiel, Nuenen-groep en Dekzandprofiel) zijn vertegenwoordigd, en de topografie varieert tussen tamelijk vlak en tamelijk hellend. Daarmee is ook impliciet de variatie in de dichtheid van waterlopen meegenomen. De verschillen in effecten tussen de drie stroomgebieden indiceren dat hydrologisch effectieve maatregelen overall effectief zijn, met uitzondering de maatregel 'vergroting van berging in de haarvaten' die effectief is in vlakke gebieden met relatief veel sloten. Het oordeel dat de resultaten en conclusies van deze verkenning representatief zijn is kwalitatief maar plausibel, want gebaseerd op expert judgement. Het lijkt daarom weinig zinvol om veel tijd en geld te steken in een nadere, cijfermatige onderbouwing.

Een belangrijke vraag is of de resultaten nader mogen worden opgeschaald naar grotere gebieden. Een veelgehoord argument om voorzichtig te zijn met opschaling is, dat piekafvoeren ten gevolge van vasthoudmaatregelen kunnen gaan samenvallen, waardoor deze maatregelen op uitstroompunten in de grote rivieren juist contraproductief kunnen zijn. In specifieke situaties kan dit weliswaar het geval zijn, maar het omgekeerde kan ook optreden. Zonder nader onderzoek is dit argument daarom weinig steekhoudend.

Een ander gehoord argument is dat er van de piekreductie benedenstrooms weinig overblijft. Dat geldt inderdaad als de vasthoudmaatregelen zich tot enkele gebieden zouden beperken. Maar als de vasthoudmaatregelen 'Brabantbreed' worden toegepast is ook dit argument niet steekhoudend.

Voor het *bemalen* deel van Noord-Brabant kunnen geen uitspraken worden gedaan. Wel kan worden opgemerkt dat vasthouden door middel van knijpduikers in gebieden met vlakkere ligging relatief gemakkelijker kan worden gerealiseerd. Doordat de meeste landbouwpercelen in kleigebieden zijn gedraineerd treedt als gevolg van hoge grondwaterstanden waarschijnlijk minder vaak maaiveldafvoer op en is het blokkeren van maaiveldafvoer in zulke gebieden daarom minder zinvol dan op het zand. Hier staat tegenover dat, door de lagere infiltratiecapaciteit van kleigronden, oppervlakteafvoer vaker zal voorkomen.

7.2.5 Combineerbaarheid van maatregelen

Uit onderzoekstechnisch oogpunt is expliciet gekozen voor het doorrekenen van enkelvoudige maatregelen. In technische zin zijn de maatregelen goed combineerbaar: knijpduikers zijn heel goed combineerbaar met slootverbreding en blokkeren van maaiveldafvoer. En het aanleggen van drainage (eventueel volgens het systeem Van Iersel om verdroging te voorkomen) is een mogelijke maatregel om negatieve gevolgen van blokkeren van maaiveldafvoer op te heffen.

De vraag wat de hydrologische effecten zijn als de doorgerekende maatregelen worden gecombineerd kan alleen goed worden onderzocht door maatregelpakketten samen te stellen en deze met de modellen door te rekenen. De reden is dat optreden van piekafvoeren in hoge mate een niet-lineair proces is.

7.2.6 Relatie met andere wateropgaven

Naast het reduceren c.q. niet laten toenemen van piekafvoeren staan de waterschappen voor twee andere wateropgaven, namelijk verdrogingsbestrijding en voldoen aan de doelstellingen van de Kaderrichtlijn (KRW).

Verdrogingsbestrijding - Bestrijding van verdroging houdt in: het structureel verhogen van grondwaterstanden, het verhogen van de kwel naar natuurgebieden en/of het verminderen van de aanvoer van gebiedsvreemd water. Zulke effecten kunnen worden gerealiseerd door *vernattings*maatregelen als het verhogen van de slootbodems, het dempen van sloten, het verwijderen van drains of het verminderen van de drooglegging. Ook *waterconservering*maatregelen als het aanleggen van grondwatergestuurde stuwen en drainage kunnen effectief zijn. Structurele verhoging van de grondwaterstand leidt echter vrijwel altijd tot hogere piekafvoeren omdat de berging in de onverzadigde zone vermindert, en vaker sprake zal zijn van maaiveldafvoer. De enige manier om dit ongewenste effect op te vangen is stremming van de maaiveldafvoer en/of de detailafwatering.

Een uitzondering op genoemde maatregelen is het draineren van tot dan toe ongedraineerde grond, onder gelijktijdige verhoging van de ontwateringsbasis. Hierdoor wordt immers bereikt dat, in de aanloop naar hoge afvoeren, maximaal wordt afgevoerd (invulling van verbeterde ‘trits’: afvoeren-vasthouden-bergen-afvoeren) en de frequentie van optreden van grondwaterstanden in het maaiveld (inundatie) met de hiermee gepaard gaande hoge afvoeren wordt verlaagd. Deze conclusie is overigens niet op basis van deze studie te trekken omdat hier is onderzocht wat het effect is van *berdrainage*. Deze leidt juist tot hogere piekafvoeren omdat de kans op het optreden van grondwaterstanden tot in het maaiveld (inundatie) in de uitgangssituatie, wegens de al aanwezige drainage gering is.

Doelstellingen van de Kaderrichtlijn (KRW)

Het realiseren van de KRW-doelen voor het oppervlaktewater in de zuidelijke zandgebieden is vrijwel onmogelijk omdat de aanwezige fosfaatvoorraad in landbouwgronden nog decennia lang zorgt voor te veel uit- en afspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater. Een belangrijke route van deze belastende stoffen loopt via maaiveldafvoer, omdat zulk water in contact staat met water in de fosfaatrijke wortelzone en ook omdat slibdeeltjes worden meegevoerd (Noij e.a., 2006)¹⁹. Blokkeren van maaiveldafvoer is daarom, in beginsel, een zeer effectieve maatregel om de fosfaatbelasting naar het oppervlaktewater terug te dringen. Ook het creëren van niet-meestromende berging in de haarvaten is een bij uitstek een maatregel die combineerbaar is met KRW-doelen omdat daarin denitrificatie plaatsvindt, en via het afvoeren van de begroeiing nutriënten kunnen worden onderschept. Ook het slib met geadsorbeerd fosfaat kan er bezinken.

Het installeren van knijpduikers in het detailafwateringssysteem bij de uitstroming in het hoofdafwateringssysteem leidt tot frequenter inunderen van laaggelegen delen van brongebieden. Het inrichten van deze delen voor maximale onderschepping van nutriënten ligt voor de hand.

¹⁹ Noij, I.G.A.M., P.J.T. van Bakel, R.A. Smidt, H.Th.L. Massop en W.J. Chardon, 2006. Fosfaatpilot Noord- en Midden-Limburg. Plan van aanpak en monitoring. Rapport 1255, Alterra, Wageningen