

Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau

Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau

Pilot Noord West Drentse Beken

E.P. Querner

M. Rakhorst

A.G.M. Hermans

S. Hoegen

Alterra-rapport 1240

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

E.P. Querner, M. Rakhorst, A.G.M. Hermans en S. Hoegen, 2005. *Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau; Pilot Noord West Drentse Beken*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1240. 80 blz.; 15 fig.; 13 tab.; 22 ref.

In dit onderzoek is ingegaan op de mogelijke aanpassing van het watersysteem van de Noordwest Drentse beken en dan vooral wat betreft het vertragen van de afvoer. Voor het onderzoeksgebied is een SIMGRO model opgezet, omvattende de Drentsche Aa, Peizerdiep en Eelderdiep. In de bovenlopen van de Drentsche Aa en het Peizerdiep, zijn de effecten van twee maatregelen onderzocht, te weten: de afvoer te begrenzen door middel van een kunstwerk en het verondiepen van waterlopen. Begrenzen van de afvoer geeft als resultaat dat piekafvoeren met ca. 25-50% afnemen. Bij verondiepen is de afname in piekafvoeren in de orde van 5-20%. Het vasthouden van water in de bovenlopen van de noordwest Drentse beken is heel goed mogelijk. De vertraging van de afvoer is beduidend.

Trefwoorden: hydrologie, wateroverlast, verdrogingsbestrijding, piekreductie, waternood, landbouw, natuur.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 35,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1240. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 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 veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Doelstelling onderzoek	14
1.3 Opzet onderzoek en opbouw verslag	14
2 Gebiedsbeschrijving en Modeltoepassing	15
2.1 Ligging van het onderzoeksgebied	15
2.2 Reliëf en invloed op de waterhuishouding	15
2.2.1 Geologie en geohydrologie	17
2.2.2 Hydrologie in relatie tot bodem, landgebruik en ecologie	18
2.2.3 Waterlopenstelsel en de relatie tot het grondwater	19
2.2.4 Waterhuishoudkundige veranderingen door de eeuwen heen	20
2.3 Het grond- en oppervlaktewatermodel SIMGRO	21
2.4 Beschrijving evaluatiesysteem: Waternood	22
2.4.1 Theorie Waternood	22
2.4.2 Implementatie Waternood	23
2.5 Modelschematisatie	23
2.5.1 Ruimtelijke en temporele discretisatie	23
2.5.2 Schematisatie van de ondergrond	24
2.5.3 Randvoorwaarden modelrand	25
2.5.4 De onverzadigde zone	25
2.5.5 Schematisatie van het oppervlaktewatersysteem	26
2.5.6 Grondwateronttrekkingen	28
2.5.7 Neerslag en verdamping	28
3 Het referentiemodel	29
3.1 Vergelijking berekende en gemeten afvoeren	29
3.2 Vergelijking gemeten en berekende grondwaterstanden en kwel	31
3.2.1 Peilbuizen	31
3.2.2 Vergelijking hoogste grondwaterstand (GHG)	32
3.2.3 Vergelijking voorjaarsgrondwaterstand (GVG) voor beekdalen Drentsche Aa	33
3.2.4 Vergelijking kwel voor beekdalen Drentsche Aa	34
3.3 Berekening	36
3.4 Conclusie	36
4 Effecten van ingrepen op afvoeren, grondwaterstanden en doelrealisatie landbouw	39
4.1 De geselecteerde gebieden	39
4.2 Water vasthouden en bergen	40

4.2.1	Ingrepen in het stroomgebied van het Amer- en Anreepdiep	41
4.2.2	Ingrepen in het stroomgebied van de Slokkert, het Groote- en het Oostervoortsche Diep	41
4.3	Effecten op afvoer, grondwaterstand en landgebruik	42
4.3.1	Afvoer	43
4.3.2	Inundatie	44
4.3.3	Grondwaterstanden	45
4.3.4	Doelrealisatie landbouw	45
4.3.5	Doelrealisatie natuur	46
4.4	Water vasthouden in natuurlijke depressies	46
4.5	Conclusies	48
5	Conclusies en aanbevelingen	49
	Literatuur	51

Bijlagen

1	Kaartbeelden kD en c-waarden per laag (laag 2 kaart nieuw)	53
2	Meetlocaties afvoeren en waterstanden	61
3	Gemeten en berekende afvoeren	63
4	Vershil tussen gemeten en berekende grondwaterstanden	67
5	Inundatie in studiegebied op 29 oktober 1998	71
6	Verhoging GVG als gevolg van verondiepen	75
7	Effect van verondiepen op landbouw en natuur in stroomgebied van Amer- en Anreepdiep	77
8	Effect van verondiepen waterlopen op landbouw en natuur in gebied Slokkert, Groote Diep en Oostervoortsche Diep	79

Woord vooraf

Het voorliggende rapport is het verslag van het onderzoek dat is uitgevoerd binnen het DLO onderzoekprogramma Vitaal Landelijk Gebied, thema water. Dit project is in overleg met medewerkers van LNV Noord opgezet en uitgevoerd.

Het project is inhoudelijk begeleid door een werkgroep, met de volgende samenstelling:

L. Klamer <i>(tot 1 januari 2005)</i>	LNV Noord
Kees v.d. Brand <i>(vanaf 1 januari 2005)</i>	LNV Noord
Rinke Veen	Provincie Drenthe
Nico Straathof	Natuurmonumenten
Jan Streefkerk	Staatsbosbeheer
Jan den Besten	Waterschap Hunze en Aa's
Uko Vegter	Waterschap Hunze en Aa's
Gert Leene <i>(tot 1 juli 2005)</i>	Waterschap Noorderzijlvest
Rudolf Versteeg <i>(vanaf 1 juli 2005)</i>	Waterschap Noorderzijlvest

Samenvatting

Inleiding

Uitgangspunt in dit onderzoek is het “Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw”, waarin duidelijk wordt gemaakt dat er anders moet worden omgegaan met water. Water moet meer ruimte krijgen, langer bovenstrooms worden vastgehouden, tijdelijk worden geborgen in of langs waterlopen en dan pas worden afgevoerd. In voorliggend onderzoek is ingegaan op de mogelijke aanpassing van het watersysteem van de Noordwest Drentsche beken en dan vooral wat betreft het vertragen van de afvoer. Door bovenstrooms het water meer vast te houden en te bergen, kan overstroming en wateroverlast in de benedenstrooms gelegen gebieden mogelijk voorkomen worden. In dit onderzoek zijn indicatief een aantal maatregelen door-gerekend. Hierbij is tegelijk gekeken naar wat eventuele te nemen maatregelen voor effect hebben op landbouw en natuur. Met het hydrologische model SIMGRO zijn de effecten van maatregelen door-gerekend en ze zijn geëvalueerd met het Waternood instrumentarium.

Het studiegebied omvat het bekenlandschap van Noordwest Drenthe met als belangrijkste beken de Drentsche Aa, Peizerdiep en Eelderdiep. Dit landschap is met name ontstaan door geologische veranderingen in de Saale-IJstijd. Het landijs dat in die periode Noord-Nederland bedekte, heeft een dikke laag keileem achtergelaten. Vervolgens hebben de beken zich diep in het Drents Plateau ingesneden en zijn brede erosiedalen ontstaan waarin nu de Drentsche beken liggen. Gebiedskenmerken die een grote invloed hebben op de afvoer zijn: de hoogteverschillen van het maaiveld, de intensieve ontwatering en de bodemopbouw met de aanwezigheid van keileem en potklei.

Opbouw SIMGRO model

Het modelgebied is ca. 120.000 ha groot, met daarbinnen een interessegebied van ca. 75.000 ha. Met behulp van digitaal beschikbare bestanden van landgebruik, de bodemkaart, en de aangeleverde gegevens van het oppervlaktewater door de waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa, is het SIMGRO model opgezet. De uitkomsten van het model zijn vergeleken met gemeten afvoeren en grondwaterstanden. De verschillen in afvoeren zijn over het algemeen klein. Voor de beken wordt de basisafvoer goed berekend, maar zijn de afvoerpieken soms iets lager. De berekende afvoeren voor het Rolderdiep zijn iets te hoog en voor het Peizer- en Eelderdiep zijn bij 3 meetpunten de berekende afvoeren lager dan gemeten. Dit laatste verschil zou kunnen worden veroorzaakt door een onderschatting van de waterinlaat uit de Drentse kanalen. Ook de onnauwkeurigheid van de afvoermetingen zou een rol kunnen spelen bij dit verschil.

De verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden zijn over het algemeen klein. Dichtbij de waterlopen komen veel buizen voor waar de berekende grondwaterstand minder dan 30 cm afwijkt. Verder van de beken af zijn er punten waar de berekende grondwaterstand meer afwijkt. Daarnaast zijn voor de beekdalen

van de Drentsche Aa de voorjaarsgrondwaterstanden en kwel vergeleken met waarden die zijn afgeleid uit de aanwezigheid van plantensoorten. Ook deze verschillen zijn gering.

Uit de vergelijking met meetgegevens blijkt dat het SIMGRO model een goede weergave is van de werkelijkheid. Met het model is het mogelijk om eventuele maatregelen door te rekenen om water bovenstrooms vast te houden.

Genomen maatregelen en de effecten

In de stroomgebieden van het Amer- en Anreepdiep, twee bovenlopen van de Drentsche Aa, en van het bovenstrooms deel van het Peizerdiep, zijn de effecten van maatregelen onderzocht. Er zijn twee maatregelen met het model Simgro doorgerekend. Bij de eerste maatregel wordt de afvoer beperkt/begrensd door middel van een kunstwerk, bijvoorbeeld door een duiker. Water stroomt er vrij door tot een zeker maximum en daarboven wordt het tegen gehouden. Bij de berekeningen wordt een afvoer die groter is dan de maatgevende afvoer (afvoer die eens per jaar optreedt) tegen gehouden. De tweede maatregel houdt in het verondiepen van waterlopen. Door deze maatregel zullen de aanliggende oevers onderlopen en die berging van het water zal piekafvoeren verminderen (mee-stromende berging). Begrenzen van de afvoer geeft als resultaat dat piekafvoeren met ca. 25-50% afnemen. Bij verondiepen is de afname in piekafvoeren in de orde van 5-20%. Het effect van verondiepen op de piekafvoer is dus minder groot dan het toepassen van afvoerbegrenzing. Bij het begrenzen van de afvoer zal direct stroomopwaarts van het kunstwerk de oevers kortstondig onderlopen. Hierdoor heeft deze maatregel nagenoeg geen effect op de grondwaterstand, dus ook geen invloed op landbouw en natuur. Bij het verondiepen treedt de beek sneller buiten zijn oevers. Door het verondiepen zullen grondwaterstanden hoger worden, met name merkbaar in de nabijheid van de verondiepte beken. Dit heeft op de natuur voornamelijk een positief effect. Mogelijke effecten vanuit waterkwaliteitsoogpunt zijn niet in beschouwing genomen.

Bij het toepassen van de maatregel om de afvoer te begrenzen, is er in dit onderzoek voor gekozen om de afvoer die gemiddeld 1 maal per jaar optreedt, nog ongestoord af te voeren. Het begrenzen van de afvoer uit het bovenstrooms gelegen gebied kan ook alleen voor extreme situaties worden uitgevoerd, bijvoorbeeld het beperken van de afvoer die groter zijn dan eens per 10 of 50 jaar. Op die manier wordt er gericht gekozen om wateroverlast in benedenstrooms gelegen gebied te voorkomen, door bovenstrooms overlast toe te staan. Op die manier kan bij een heel extreme situatie, zoals die in oktober 1998 heeft plaatsgevonden, het gevaar van onderlopen polders of stedelijk gebied worden voorkomen. Een nadere uitwerking en economische afweging hiervan is noodzakelijk.

Bij het onderzoeken van mogelijke maatregelen is ook gekeken naar de rol die natuurlijke laagtes in het studiegebied kunnen spelen bij het vertragen van de afvoer. Uit eerste berekeningen blijkt het dat er een kleine bijdrage te verwachten is door het vasthouden van water in deze laagten.

Conclusie

Het vasthouden van water in de bovenlopen van de noordwest Drentse beken is heel goed mogelijk. De vertraging van de afvoer is beduidend. Een nadere analyse van de waterhoeveelheden die de boezem inkomen is nodig. Dit om vast te stellen in hoeverre de vertraging van de afvoer uit de Drentse Beken de mogelijke wateroverlast rond Groningen voorkomen kan worden. Het begrenzen van de afvoer in de detailontwatering (haarvaten) is in dit onderzoek niet meegenomen, maar dit zou in één van de bovenlopen van de beken kunnen worden onderzocht.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 1999 is door Alterra de studie Watersysteemverkenning Noord-Nederland uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van LNV, Directie Noord (Bijvank et al., 1998). Het doel van deze studie was om te onderzoeken in hoeverre er knelpunten en aandachtspunten kunnen ontstaan bij een verdere uitwerking van de scenario's van de Horizonverkenning Noord-Nederland. De schaal van het landsdeel Noord Nederland bleek echter te grof om exacte knelpunten en aandachtspunten te bepalen, omdat de analyse is uitgewerkt op basis van een grid van een vierkante kilometer. In 2002 is als vervolg een Toekomstverkenning voor het stroomgebied van de Drentsche Aa uitgewerkt. Er zijn toen op basis van de Horizon- en Watersysteemverkenning twee grondgebruikscenario's nader uitgewerkt. Allereerst een scenario gebaseerd op de autonome ontwikkeling en ten tweede een scenario dat nadrukkelijk gebaseerd is op het scenario Weefwerk uit de Horizonverkenning. De resultaten van dit onderzoek zijn met de begeleidingsgroep besproken.

In 2002 is een eerste versie van de stroomgebiedvisie Groningen-Noord Drenthe opgesteld. Het is daarbij lastig gebleken om tot een bestuurlijk breed gedragen integrale visie voor een duurzame inrichting van de watersystemen te komen. Het accent van de visie ligt met name bij de korte termijnuitwerking en maatregelen voor de kwantitatieve taakstellingen. Er is daarbij ook geconstateerd dat een verdere integratieslag dient te worden gemaakt in de komende jaren voordat spraken kan zijn van een definitieve stroomgebiedvisie. Het is van groot belang dat voor een aantal problemen, die om een nadere besluitvorming vragen, een aantal vragen nader worden uitgezocht. Een aantal van de vragen betreffen het huidige functioneren van het watersysteem waarbij het zo efficiënt en effectief mogelijke oplossing van de wateropgaven van belang is.

In overleg met LNV Noord is besloten om het onderzoek Toekomstverkenning Watersysteem Drentsche Aa zodanig aan te passen dat het accent komt te liggen bij het onderzoeken van de vragen op het gebied van waterbeheer die bij het opstellen van de stroomgebiedvisie zijn aangegeven. Van belang is vooral inzicht te krijgen in de mogelijke vertraging die valt te bereiken in de afvoer, om daarmee de bijdrage die deze maatregel kan hebben, inzichtelijk te maken. Daarnaast is van belang inzicht te krijgen in de meest effectieve bijdrage aan de verdrogingsbestrijding.

Overstroming is in Europa de meest voorkomende natuurramp en economisch één van de meest kostbare (European Environment Agency: EEA, 2001). In Noord- en Centraal-Europa gaat het vooral om overstroming ten gevolge van langdurige en wijdverbreide neerslag die in grote stroomgebieden valt. Factoren die de overlast van overstromingen vergroten zijn: verstedelijking, verandering in landgebruik, bevolkingsgroei, toename van verhard oppervlak, kanalisering van beken en klimaatverandering. Deze laatste factor wordt in toenemende mate genoemd als

mogelijke oorzaak van overstroming. Door klimaatverandering is er meer kans op het voorkomen van intensieve neerslag en zullen zachtere winters meer neerslag brengen. Nederland is in de jaren negentig met de gevolgen van deze ontwikkelingen geconfronteerd. Nederland heeft in 1993 en 1995 te maken gehad met dreigende dijkdoorbraken als gevolg van extreme afvoeren van Rijn en Maas. In 1998 moesten, door hevige regenval, in Zuidwest- en Noordoost-Nederland polders onder water worden gezet om elders bij steden en dorpen dijkdoorbraken te voorkomen (WB21, 2000). Als reactie hierop is door de Commissie Waterbeheer 21e eeuw een advies uitgebracht met aanbevelingen voor een andere aanpak van het waterbeleid (WB21, 2000). Eén van de stappen is het opstellen van deelstroomgebiedsvisies.

1.2 Doelstelling onderzoek

In voorliggend onderzoek wordt ingegaan op de mogelijke aanpassingen van het watersysteem wat betreft de reductie in piekafvoeren. Door bovenstrooms het water meer vast te houden en te bergen, kan overstroming en wateroverlast in de benedenstrooms gelegen gebieden worden voorkomen. Hierbij wordt tegelijk gekeken naar wat eventuele te nemen maatregelen voor effect hebben op natuur en landbouw.

1.3 Opzet onderzoek en opbouw verslag

In hoofdstuk 2 wordt een verkenning van het studiegebied gegeven. Landschap, landgebruik, geologie, hydrogeologie, bodem, grondwater, oppervlaktewater en de interactie tussen grond- en oppervlaktewater van het gebied worden beschreven.

Het model dat de huidige situatie weergeeft, wordt in hoofdstuk 3 beschreven. Ook worden de gesimuleerde afvoeren en grondwaterstanden van het model vergeleken met meetgegevens. Tevens worden voor de beekdalen van de Drentsche Aa, de kwel en de voorjaarsgrondwaterstand vergeleken met waarden die zijn afgeleid uit de aanwezigheid van plantensoorten.

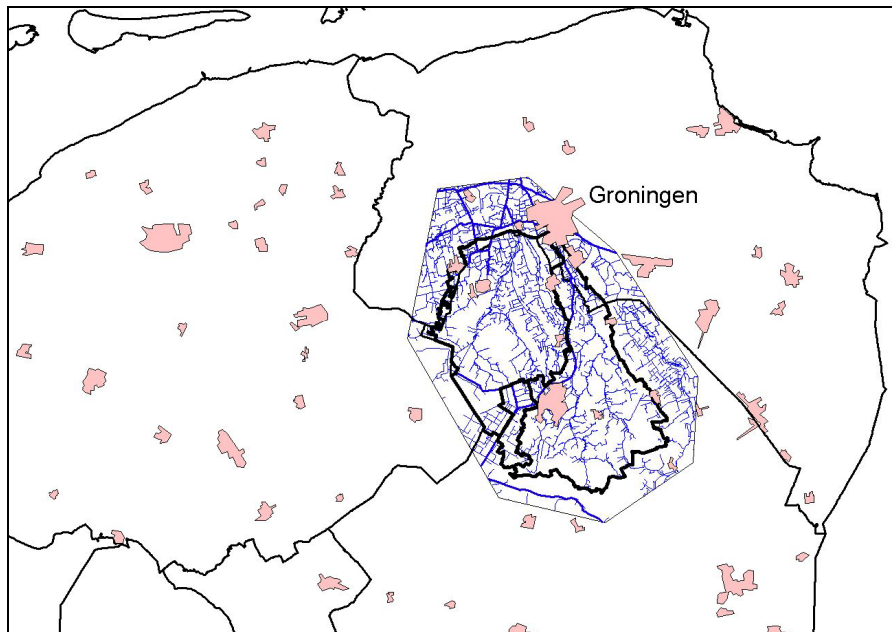
In hoofdstuk 4 worden de maatregelen en de effecten beschreven. Hoe de veranderingen in afvoeren en grondwaterstanden van invloed zijn op landbouw en natuur wordt met het Waternood instrumentarium beoordeeld.

Tot slot zijn in hoofdstuk 5 conclusies getrokken over de effectiviteit van de genomen maatregelen en de betekenis van de effecten van de ingrepen voor landbouw en natuur. Ook worden er aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

2 Gebiedsbeschrijving en Modeltoepassing

2.1 Ligging van het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is gelegen in het noordwesten van Drenthe, op de grens van de provincie Groningen, zie figuur 2.1. Het modelgebied heeft een omvang van 119.200 ha, met daarbinnen een interessegebied van ca. 75.000 ha. In het interessegebied liggen de stroomgebieden van de Drentsche Aa, Eelderdiep en Peizerdiep.

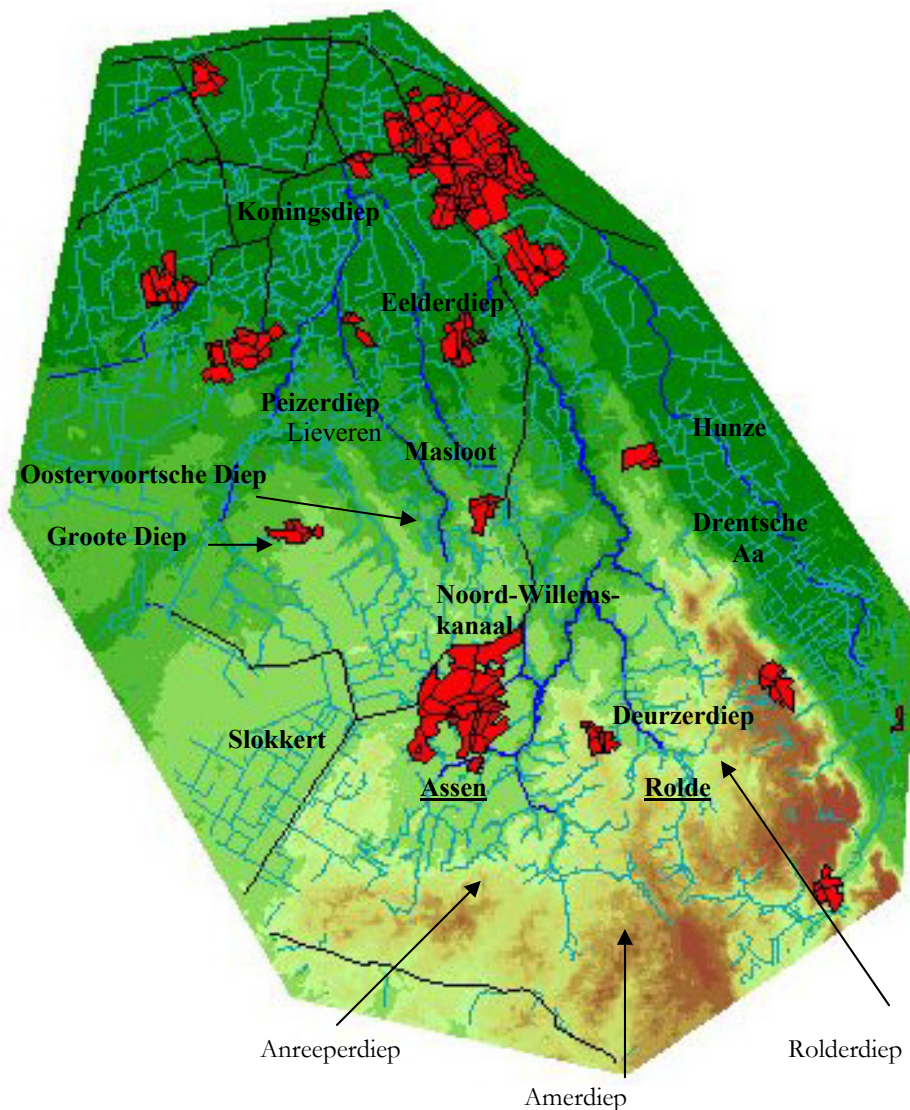


Figuur 2.1 Ligging van het onderzoeksgebied.

2.2 Reliëf en invloed op de waterhuishouding

Op basis van het landschap kan het studiegebied worden ingedeeld in twee gebiedstypen. Het noordelijk deel wordt gekenmerkt door een laaggelegen vlak landschap waarin de benedenlopen van de Drentsche beken liggen. Het laagste punt ligt op ongeveer 1 m-NAP. Het zuidelijk deel bestaat uit langgerekte zandruggen en beekdalen op het Drents Plateau. Hier ontspringen de bovenlopen van de Drentsche beken. Het hoogste punt ligt op iets meer dan 24 m+NAP (figuur 2.2).

De landschappelijke opbouw is hoofdzakelijk bepaald door geologische veranderingen in de Saale-IJstijd (Spek, 2004). Het landijs dat in die periode Noord-Nederland bedekte, heeft een dikke laag keileem achtergelaten. Vervolgens hebben de waterlopen zich diep in het Drents Plateau ingesneden en zijn brede erosiedalen



Figuur 2.2 Het studiegebied met de belangrijkste waterlopen en steden (Rakhorst, 2005).

ontstaan, waarin nu de Drentsche beken liggen (Schipper en Streefkerk, 1993). In het Laat-Pleistoceen en Holocene zijn deze dalen voor het overgrote deel opgevuld met zandige, lemige en organische afzettingen. Het patroon van zandruggen, keileem-plateau's en beekdalen bepaalt waar kwel en infiltratie kunnen optreden. De grootste zandrug, de oostelijk gelegen Hondsrug, heeft een vrij kleine invloed op het studiegebied, omdat de hoofdrichting van de stroming van het diepe grondwater naar de Hunze loopt. Ook zijn de zandruggen op enkele plaatsen doorbroken door de beken van de Drentsche Aa. Halverwege het Weichselien zorgde massale inwaaiing van zand voor afsnoering van oude stroomdalen en werd het water gedwongen zich een nieuwe weg te zoeken. Vooral in de nauwe doorbraken zijn de dalen diep ingesneden.

2.2.1 Geologie en geohydrologie

De geologie van het gebied is door Schipper en Streefkerk (1993) en Kortleve (1989) beschreven. Hier volgt een samenvatting (formatienamen zijn uit de Mulder et. al., 2003). De geologie is zeer complex als gevolg van invloeden van ijstijden, permafrost, tectonische bewegingen, en de werking van wind en water (zie tabel 2.1). Van grote invloed op de waterhuishouding zijn de slechtdoorlatende lagen. De relevante perioden zijn het Tertiair en het Kwartair.

De ondergrens, de hydrologische basis, wordt gevormd door zeeklei van de Formatie van Breda (tabel 2.1). Deze formatie stamt uit het Tertiair en is slechtdoorlatend. De overige pakketten stammen uit het Kwartair. Het tweede watervoerende pakket bestaat voornamelijk uit fluviatiele grove zanden van de Formatie van Peize en omvat de afzettingen van voormalige Formaties van Harderwijk, Scheemda en Enschede (Doppert, 1975) en Urk. De formatie is van mariene en fluviatiele oorsprong en plaatselijk kalkrijk.

Het eerste en tweede watervoerende pakket worden plaatselijk gescheiden door een tweede, slechtdoorlatende laag van potklei en slibhoudende zanden. Samen met de grove en fijne zanden van het eerste watervoerende pakket worden deze afzettingen gerekend tot de Formatie van Peelo. Deze formatie bestaat uit smeltwater- en eolische afzettingen. Potklei is afgezet in smeltwaterdalen met een lengte van ongeveer 1 - 8 km. De potklei komt ter hoogte van Assen voor onder de westelijke beekdalflank van de Drentsche Aa en onder het Deurzerdiep. Ook op de westflank van de Hondsrug komt potklei verspreid voor. De slibhoudende, fijne zanden van de Formatie van Peelo komen voor onder het Balloërveld, ten noorden van Rolde. Dikke afzettingen van de grove en fijne zanden komen voor onder de Hondsrug en in het dalingsgebied van Assen.

De eerste slechtdoorlatende laag bestaat in de beekdalen uit veen, zand en beekleem van de Formatie van Boxtel en daarbuiten uit keileem (Formatie van Drenthe). Behalve in de beekdalen waar de keileem is geërodeerd, komt de bovenkant van de keileem tot enkele meters onder en soms tot aan het maaiveld. Ook de potklei uit de Formatie van Peelo wordt tot de eerste slechtdoorlatende laag gerekend als het ondiep voorkomt. De keileemlaag is zeer grillig wat betreft verbreiding, samenstelling en dikte. Dit komt door de invloeden van verwerking, (postglaciale) erosie en cryoturbatie.

Het freatisch pakket bestaat uit dekzand van de Formatie van Boxtel (voormalige Formaties van Twente, Kootwijk en Eindhoven (Doppert, 1975). In grote delen van het gebied heeft dit pakket een dikte van minder dan 2 m.

Tabel 2.1 Opbouw van de ondergrond (namen van formaties uit de Mulder et al, 2003).

Lithologie (formatie)	Diepte bovenkant(m)	Dikte (m)
Dekzand/beekleem (Boxtel, laagpakket van Wierden)	maaiveld	< 6
Veen/leem in beekdalen (Boxtel, laagpakket van Singraven)	maaiveld	< 15
Keileem (Drenthe)	soms tot enkele decimeters beneden maaiveld	< 10
Potklei, slibhoudende, fijne, en grove zanden (Peelo)	soms tot aan maaiveld	< 60
Fijn/grof zand (Peize, Urk)	20 tot 50 m-mv	< 100
Zandige klei (Breda)	50 m-mv in ZO tot 150 m-mv in NW	50

2.2.2 Hydrologie in relatie tot bodem, landgebruik en ecologie

Onderstaande beschrijving van de hydrologie in relatie tot bodem, landgebruik en ecologie is ontleend aan Spek (2004). Het afwateringspatroon van het Drents Plateau heeft grote invloed gehad op de ontwikkeling van het Drentse landschap. In een duizenden jaren voortdurend proces zijn grote hoeveelheden voedingsstoffen van de meer centrale delen naar de randen van het Drents Plateau getransporteerd. Vooral waar de beken diep ingesneden zijn, is er voeding met kwelwater dat rijk is aan kalk, magnesium en ijzer. Als gevolg hiervan is er verarming opgetreden van de bodems in het middengebied en zijn de bodems rijker naarmate ze verder benedenstrooms liggen. In de benedenlopen was er bovendien nog de verrijkende invloed van overstromingswater in de vorm van voedselrijk slib. Benedenstrooms heeft dit geleid tot hoogproductieve graslanden. Omdat deze graslanden veel betere mogelijkheden boden voor beweiding en winning van wintervoer voor het vee, was ook de mestvoorziening voor de akkers beter. Dit heeft geleid tot een veel hogere bevolkingsdichtheid in de benedenstroomse gebieden.

Landschapsecologisch dient langs de middenlopen van de Drentse beekdalen een belangrijk onderscheid te worden aangebracht tussen de gebieden ten weerszijden van de beek die herhaaldelijk door beekwater werden overstroomd en de wat hoger gelegen beekdalflanken die nooit door overstromingswater werden bereikt. De gebieden direct langs de beken hadden door vrijwel permanent natte omstandigheden zeer gunstige omstandigheden voor veengroei. Vanaf het Atlanticum (8000-5000 jaar BP) zijn dikke pakketten veen gevormd. Omdat in de middenloopgebieden relatief zuur en voedselarm ondiep kwelwater op veel plaatsen domineerde over het veel kalkrijker regionale kwelwater, zijn de meest voorkomende veentypen het voedselarme zeggeveen en broekveen (de Bakker et al., 1991). Op de madeveen- gronden en vlierveengronden hebben waarschijnlijk open zeggemoerassen gelegen, die slechts plaatselijk werden vergezeld door een broekbosvegetatie of een wilgenstruweel. De aanvoer van ijzer- en kalkrijke kwel heeft grote invloed gehad op de natuurlijke en halfnatuurlijke vegetaties in de beekdalen. Zo is er in de hooilanden langs de Drentsche Aa een relatie vastgesteld tussen de aanwezigheid van hydro-

morfe kenmerken (roest) en de verbreiding van plantensoorten kenmerkend voor Dotterbloemhooilanden.

De gedeelten van het beekdal die niet of slechts zelden door overstromingswater werden bereikt, hadden veel minder gunstige omstandigheden voor veengroei. Hier zijn de veenlagen veel dunner dan het veen in de lager gelegen beekdalgronden of ontbreekt het veen. In het veen bestaan de bodems uit made- en vlierveengronden (de Bakker et al., 1991). Waar het veen ontbreekt komen beek- en gooreerdgronden voor. Omdat deze hogere gronden vergeleken met de lagere beekdalgronden een veel steviger bodem bezitten, waren deze gebieden vanouds zeer geschikt voor beweiding. Natuurlijke bossen hebben in de loop der eeuwen plaatsgemaakt voor halfopen tot open begroeiing waarin grote arealen half-natuurlijk grasland werden afgewisseld door kleine wilgenstruwelen en boomgroepen met els, eik en berk.

Op de hogere delen van het Drents Plateau kwamen in het verleden vele honderden brongebiedjes voor waar zich water verzamelde. Regenwater stroomde, of over de oppervlakte af, of stroomde door de ondergrond over keileem- of potkleilagen naar lager gelegen plekken en trad uiteindelijk bij de brongebieden en de bovenlopen van de beken uit. Omdat de afvoer in de bovenlopen vaak zeer langzaam verliep, vond vaak stagnatie van water plaats, hetgeen tot veengroei leidde. In veel bovenloopgebieden zijn dan ook moerige bovengronden ontstaan. Het gaat vooral om voedselarm veenmosveen of matig voedselarm broekveen. Het Groote Diep, een bovenloop van het Peizerdiep, is een voorbeeld van een beek die begon als veenstroom. Na ontginning tot hooiland waren deze gebieden in agrarisch opzicht weinig productief. In vegetatiekundig opzicht waren deze hooilanden echter zeer waardevol. Ze behoorden tot de blauwgraslanden en de heischrale graslanden. Slechts enkele hectare blauwgraslanden zijn bewaard gebleven (Spek, 2004).

2.2.3 Waterlopenstelsel en de relatie tot het grondwater

Van de bovenlopen van de Drentse beken (figuur 2.2) dragen vooral het Peizerdiep en het Amer- en Anreepdiep bij aan de afvoer, die benedenstrooms bij Groningen uitkomt (tabel 2.2). In de wintermaanden is dit aandeel nog groter door de beperkte bergingscapaciteit van deze stroomgebieden.

Tabel 2.2 Verdeling van de afvoer in bovenlopen van de Drentse beken. De afvoerdeling is een gemiddelde waarde berekend over de meetperiode 1992-1994 voor de Drentsche Aa en 1991-1995 voor het Koningsdiep.

Stroomgebied	Deelstroomgebied	Bijdrage afvoer (%)
Drentsche Aa bij Schipborg	Rolderdiep	9
	Amerdiep	33
	Anreepdiep	21
	Overige	37
Koningsdiep	Peizerdiep	70
	Maslout	12
	Eelderdiep	18

Het bovenstroomse deel van het stroomgebied van het Peizerdiep (Slokkert, Groote Diep en Oostervoortsche Diep) ligt geheel op de keileem. Alleen in de beekdalen is de keileem geërodeerd. Ook de stroomgebieden van het Anreeper- en Amerdiep liggen, met uitzondering van de beekdalen, geheel op de keileem. In de overige bovenlopen ontbreekt de keileem grotendeels. De ondiepe ligging van de keileem zorgt samen met een intensieve ontwatering voor een snelle afvoer van het neerslagoverschot en een geringe voeding van het diepe grondwater. Hierdoor is de kwelintensiteit in de middenlopen van het Amer- en Anreeperdiep gering, 1 à 2,5 mm/d (Schipper en Streefkerk, 1993). Het stroomgebied van het Rolderdiep is een belangrijk infiltratiegebied. Keileem ontbreekt hier grotendeels en het gehele neerslagoverschot wordt naar de ondergrond afgevoerd. Een groot deel van het geïnfilterde water komt daar in het 2^e watervoerende pakket terecht en wordt afgevoerd naar het Hunzedal. Het belangrijkste voedingsgebied voor de middenlopen van het Drentsche Aa systeem is de rug bij Rolde en het Ballooërveld, ten noorden van Rolde.

2.2.4 Waterhuishoudkundige veranderingen door de eeuwen heen

Het noordelijke deel van het modelgebied is in 10^e en 11^e eeuw ingepolderd. Voor de inpoldering stond het noordelijke deel onder invloed van eb en vloed. De grondwaterstanden waren relatief hoog door wateraanvoer van het Drentsch plateau. De afwatering van het zandgebied geschiedde oorspronkelijk via de stroompjes in de beekdalen, zoals die van het Peizerdiep, Eelderdiep en de Drentsche Aa. Het bochtige verloop van de stroompjes en het ontbreken van een directe afvoer naar zee, hebben eeuwenlang de afwatering beïnvloed. De beekdalen stonden 's winters kortere of langere tijd over grote oppervlakte onder water.

In de jaren zestig volgde een grootschalige normalisatie. De hooi- en madelanden werden geschikt gemaakt voor intensief agrarisch gebruik. De normalisatie leidde tot brede, rechte waterlopen om zo te voldoen aan de toen geldende landbouwkundige afvoernormen. Met name in het noorden zijn forse maatregelen getroffen. Zo is de Omgelegde Eelderdiep gegraven om het overtollig water uit bovenstrooms gelegen hogere gronden af te voeren naar de Elektraboezem. Door aanleg van een afleidingskanaal bij Loon is het mogelijk om het verhoogde wateraanbod van het Deurzerdiep (Amer- en Anreeperdiep) via het Noord-Willemskanaal af te voeren. Ruim een derde gedeelte van het 65 km lange beekstelsel heeft zo verbeteringen ondergaan. Op een aantal locaties is de oude loop gespaard en zijn nieuwe waterlopen naast de oude waterlopen gegraven. Ondanks grootschalige normalisering is het oppervlaktewatersysteem van de Drentsche Aa voor Nederlandse begrippen één van de meest natuurlijke watersystemen.

De Drentse beken lozen hun water op de boezem. Het Peizerdiep en Eelderdiep watereren af op de Elektraboezem met een streefpeil van NAP-0,93 m. Via het Reitdiep stroomt het water naar het Lauwersmeer en Waddenzee. De afwatering via vrije afstroming en bij gestremde lozing via bemaling door het gemaal Waterwolf. Tijdens gestremde lozing en bij hoge afvoeren uit het achterland wordt het streefpeil

bij de bemaling hoger dan gewenst. In extreme situaties worden er op de Elektraboezem nabij het uitstroompunt waterstanden tot 0,20 m+NAP gemeten. De Drentsche Aa watert via de stad Groningen op het Eemskanaal.

Vanuit het Noord-Willemskanaal kan op meerdere locaties langs het kanaal water worden ingelaten om het Peizerdiep en Eelderdiep, in droge perioden van water te voorzien om hiermee een zeker waterpeil of een minimale waterkwaliteit na te streven.

2.3 Het grond- en oppervlaktewatermodel SIMGRO

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van het programma SIMGRO (SIMulatie van GROndwaterstroming en oppervlaktewaterstanden). Het programma is ontwikkeld om regionale grondwaterstroming in relatie tot drainage, beregening, irrigatie en peilbeheer te simuleren (Querner en van Bakel, 1989; Van Walsum et al. 2004)). Het programma SIMGRO wordt sinds 2001 aangestuurd met behulp van een ArcView-applicatie genaamd AlterraAqua.

Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging in de verzadigde zone is een schematisatie toegepast in watervoerende en weerstandbiedende lagen. Een driehoeksnetwerk vormt de meetkundige basis van de numerieke berekening van grondwaterstroming met de methode van eindige elementen. In een watervoerende laag treedt horizontale stroming op en in een weerstandbiedende laag alleen verticale stroming. Op deze wijze wordt de verzadigde grondwaterstroming quasi-driedimensionaal beschreven.

Voor de berekening van het vochttransport in de onverzadigde zone worden twee reservoirs beschouwd, één voor de wortelzone en één voor de ondergrond. Toevoeging aan of onttrekking uit het systeem van de wortelzone zijn neerslag, beregening, evapotranspiratie, capillaire flux en percolatie. Als de vochtvoorraad in de wortelzone behorende bij het evenwichtsprofiel wordt overschreden, zal het overtollige vocht als percolatie naar de ondergrond gaan. Dit is de grondwateraanvulling voor de verzadigde zone. Als er minder vocht dan behorende bij het evenwichtsprofiel in de wortelzone aanwezig is, kan er een capillaire flux optreden. Met de percolatie of capillaire flux uit de onverzadigde zone rekent het model in de bovenste laag van het verzadigde deel een verandering van de grondwaterstand uit. Het vochttransport in de onverzadigde zone wordt op een pseudo-stationaire wijze benaderd, dat wil zeggen volgens een opeenvolging van stationaire situaties.

Een ontwateringmiddel is actief als de grondwaterstand en/of de oppervlaktewaterstand hoger is dan de bodem van het ontwateringmiddel. Afhankelijk van de omstandigheden is er sprake van drainage of infiltratie. De drainage wordt berekend met de formules van Ernst (Ernst, 1978).

De waterbalans van een afwateringseenheid wordt gesimuleerd met één reservoir voor het geheel van grotere en kleinere waterlopen. Voor ieder reservoir wordt een

relatie afgeleid tussen berging en peil, de zogenaamde bergingsrelatie, en tussen afvoer en peil, de afvoerrelatie. De afwatering van een gebied wordt gesimuleerd met een netwerk van reservoirs. De netwerkstructuur definieert de wijze waarop de reservoirs een cascade vormen.

Voor de onverzadigde zone en de verzadigde zone rekent SIMGRO in het algemeen met tijdstappen van 0,5 -1 dag. Het oppervlaktewatersysteem in het model wordt daarentegen met veel kleinere tijdstappen (0,25-1 uur) doorgerekend. De interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater wordt voor deze kleinere tijdstap berekend. De grondwaterstand blijft in die periode constant, maar het waterpeil varieert en de berekende drainage of infiltratie wordt gesommeerd. Bij de volgende tijdstap voor het grondwater wordt deze gesommeerde drainageflux gebruikt om een nieuwe grondwaterstand te berekenen.

Met het SIMGRO model konden geen schijngrondwaterstanden worden gesimuleerd, zodat op veel plaatsen met keileem veel te lage grondwaterstanden werden berekend. Om dit te verbeteren is het proces van schijngrondwaterstanden toegevoegd aan het model. Op basis van de stijghoogte boven en onder de keileem, wordt de verticale weerstand van de keileemlaag aangepast. Ook de bergingscoëfficiënt van deze lagen verandert hierdoor, om zo schijngrondwaterstanden te kunnen weergegeven.

2.4 Beschrijving evaluatiesysteem: Waternood

Om te bepalen wat de invloed is van ingrepen in de waterhuishouding op de geschiktheid van een gebied voor landbouw of natuur, wordt het instrument Waternood (STOWA, 2003) gebruikt. Dit instrument is een implementatie van de Waternood-methode (STOWA, 2002). Hieronder wordt een samenvatting van deze methode gegeven, waarna een beschrijving van de implementatie volgt.

2.4.1 Theorie Waternood

Watersysteemgericht Normeren, Ontwerpen en Dimensioneren, Waternood, is een leidraad voor het ontwerp en beheer van oppervlaktewatersystemen in het landelijk gebied (Projectgroep Waternood, 1998). Deze werkwijze, opgesteld door Dienst Landelijk Gebied en Unie van Waterschappen, is gericht op het realiseren van de vereiste waterhuishoudkundige omstandigheden van de aan het gebied toegekende functies, middels aanpassingen van het oppervlaktewatersysteem. De sturende werking van het oppervlaktewater op het grondwater, maakt het mogelijk om het grondwater te laten voldoen aan specifieke eisen voor natuur en landbouw.

Het project Waternood is opgezet als alternatief voor de verouderde normering en ontwerpcriteria uit het Cultuurtechnisch Vademecum (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Waar de verouderde normering vooral gericht was op landbouwkundige belangen, is de doelstelling van het project Waternood om juist geen gestandaardiseerde normering te gebruiken en duurzame ontwikkelings-

mogelijkheden voor alle functies te waarborgen. Om aan te geven in welke mate deze functies worden gerealiseerd, wordt gerekend met doelrealisaties. Voor landbouw gaat het om de productie van een gewas, bij natuur gaat het om de mate waarin een natuurdoeltype gerealiseerd wordt. De hydrologisch ideale omstandigheden worden aangeduid als het Optimaal Grond- en Oppervlaktewater Regime (OGOR). De werkelijke, huidige hydrologische situatie wordt aangeduid als het Actueel Grond- en Oppervlaktewater Regime (AGOR).

2.4.2 Implementatie Waternood

Om de methode Waternood in de praktijk te kunnen brengen, is een instrument ontwikkeld, waar in dit onderzoek gebruik van wordt gemaakt. Dit instrument is een GIS-applicatie, ontwikkeld door Alterra en ARCADIS (STOWA, 2003). Op basis van landgebruik, bodem, grondwatertrappen, kwel en natuurdoeltypen, wordt eerst voor de huidige situatie voor natuur en landbouw de doelrealisatie bepaald. Dit is de mate waarin de AGOR de OGOR benadert, uitgedrukt in procenten. Vervolgens kan de doelrealisatie worden bepaald na het doen van ingrepen en vergeleken worden met de doelrealisatie van de huidige situatie.

Voor natuur wordt o.a. gebruik gemaakt van een natuurdoeltypenkaart. Het studiegebied is opgedeeld in vlakken waar soms één, maar vaak ook meerdere natuurdoeltypen aan zijn toegekend. Omdat de bepaling van de doelrealisatie per natuurdoeltype gaat, wordt bij vlakken met meerdere natuurdoeltypen een tweedeling gemaakt. Eerst wordt alleen gekeken naar de natuurdoeltypen die de beste doelrealisatie hebben bij relatief ondiepe grondwaterstanden. Vervolgens wordt gekeken naar natuurdoeltypen die de beste doelrealisatie hebben bij relatief diepe grondwaterstanden. Voor landbouw wordt o.a. een landgebruikskaart gebruikt.

2.5 Modelschematisatie

2.5.1 Ruimtelijke en temporele discretisatie

Het modelgebied is zo gekozen dat effecten van foutieve randvoorwaarden op het interessegebied te verwaarlozen zijn. In het noorden ligt de modelgrens op het Van Starckenborghkanaal. In het noordoosten op het Winterschoterdiep. In het oosten ligt de modelgrens aan de oost kant van de Hunze. In het zuiden en in het westen is voldoende afstand tot het interessegebied in acht genomen.

De eindige elementen methode wordt gebruikt voor de numerieke berekeningen van de grondwaterstroming. Hiervoor is een driehoeksnetwerk gemaakt, met voor ieder knooppunt een invloedsgebied. Het aantal knooppunten bedraagt 49.048 met een onderlinge afstand binnen het interessegebied van 200 m tot 75 m in de beekdalen. Buiten het interessegebied is een afstand van 400 m aangehouden.

2.5.2 Schematisatie van de ondergrond

In deze studie is de schematisatie van de modellagen overgenomen uit het Regionaal Geohydrologische Informatie Systeem (REGIS). Er zijn vier watervoerende pakketten onderscheiden en drie scheidende lagen, zoals weergegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3 Geohydrologische schematisatie van het oorspronkelijke 9 lagen model.

Aanduiding	Laag nr.	REGIS-Code	Formaties
Freatisch pakket (met name Hunzedal)	1	FRP	Fijn zand (Boxtel)
Deklaag	2	DKL	Klein/veen; leem/veen (Laagpakket van Singraven, Boxtel)
Eerste watervoerend pakket 1a	3	WVP1a	Fijn zand (Boxtel)
Eerste slecht doorl. laag 1a	4	SDL1a	Keileem (Drenthe)/dalopvulling/ Eemklei
Eerste watervoerend pakket 1b	5	WVP1b	Grof zand (Peelo)
Eerste slecht doorl. laag	6	SDL1	Potklei (Peelo); Holstein/Cromerklei (Urk)
Tweede watervoerend pakket	7	WVP2	Fijn tot grof zand (Peize)
Tweede slecht doorl. laag	8	SDL2	Klei (Peize)
Derde watervoerend pakket	9	WVP3	Fijn tot grof zand (Peize)
Hydrologische basis	-	BAS	Zandige klei (Breda)

Simgro is allereerst opgebouwd uit de 9 lagen zoals in tabel 2.3 zijn aangegeven. In die schematisatie was de keileem opgenomen als laag nr. 4. In verband met de aanpassing van de modelcode, om ook schijngrondwaterstanden te berekenen, zijn de eerste 4 lagen samengevoegd tot 2 lagen. De keileem is nu onderdeel van laag nr. 2. Zo is van een 9 lagen model overgegaan naar een 7 lagen model (zie tabel 2.4).

Tabel 2.4 Geohydrologische schematisatie van het definitieve 7 lagen model.

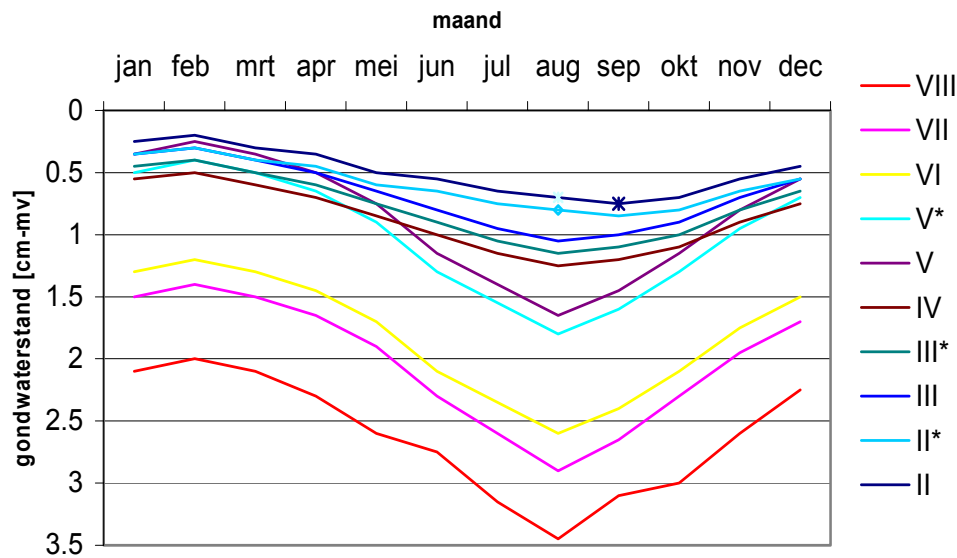
Aanduiding	Laag nr.	REGIS-Code
Freatisch pakket + wvp 1a	1	FRP + WVP1a
Deklaag + sl. Doorl laag 1a	2	DKL + SDL1a
Eerste watervoerend pakket 1b	3	WVP1b
Eerste slecht doorl. laag	4	SDL1
Tweede watervoerend pakket	5	WVP2
Tweede slecht doorl. laag	6	SDL2
Derde watervoerend pakket	7	WVP3

Van de provincie Drenthe is een verspreiding- en diktekaart van de keileem overgenomen. Voor de keileem is in eerste instantie een verticale weerstand aangehouden van: $125 \cdot D \cdot D$ (D is laagdikte keileem), waarbij de minimale weerstand is gesteld op 250 dagen (Kortleven, 1989). Omdat bleek dat de berekende freatische grondwaterstanden toch nog te laag waren, is de verticale weerstand van de keileem met drie vermenigvuldigd. Hierna werden freatische grondwaterstanden veel beter met het model beschreven. Deze hogere weerstand van de keileem wordt als realistisch gezien en werd door de Provincie Drenthe bevestigd (Veen, Pers. Med.).

In Bijlage 1 is per laag de horizontale doorlatendheid (kD) of de verticale weerstand (c-waarde) weergegeven.

2.5.3 Randvoorwaarden modelrand

Voor het simuleren van de regionale grondwaterstroming is het nodig om op de rand van een watervoerend pakket een randvoorwaarde toe te kennen. Dit kan door het opleggen van een flux of door het opleggen van een stijghoogte. Aangezien de deklaag niet het gehele modelgebied beslaat is een randflux van $0 \text{ m}^3/\text{dag}$ opgelegd. Op de randen van onderliggende watervoerend pakket verloopt de stijghoogte over het jaar op basis van de daar aanwezige grondwatertrap. De variatie van de grondwaterstanden op de randen over het jaar is in figuur 2.3 weergegeven.



Figuur 2.3 Variatie van de stijghoogte (in m-mv) over het jaar toegekend aan de knooppunten op de modelrand voor de lagen 3, 5 en 7.

2.5.4 De onverzadigde zone

De eenheden op de bodemkaart zijn vertaald naar bodemfysische profielen op het niveau van de invloedsgebieden, waarbij gebruik is gemaakt van bouwstenen uit de Staringreeks (Wösten et al., 1994). De bodemfysische profielen worden in SIMGRO gebruikt voor het berekenen van de dynamiek van het vochtgehalte in de onverzadigde zone. In het model wordt gerekend met een variërende waarde van de freatische bergingscoëfficiënt. De waarden van de freatische bergingscoëfficiënt variëren globaal tussen 0,1 en 0,3.

Gegevens over het bodemgebruik in het proefgebied zijn ontleend aan het LGN4¹-bestand (De Wit et al, 1999). Het bodemgebruik in het onderzoeksgebied is voor 46% grasland, 24% akkerbouw (voornamelijk aardappelen), 6% loofhout, 6% naaldhout, 2% hoogveen, 1% heide en 8 % bebouwing en wegen. Per bodemgebruik zijn

¹ LGN = Landgebruikkartering Nederland

bewortelingsdiepten en gewasfactoren voor het berekenen van de gewasverdamping vastgesteld.

2.5.5 Schematisatie van het oppervlaktewatersysteem

2.5.5.1 Ontwatering

In het onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen vier klassen ontwatering-middelen:

- Hoofdwaterlopen (systeem 2)
- Kleinere sloten (systeem 3)
- Buisdrainage (systeem 4)
- Maaiveld drainage (systeem 5)

Hoofdwaterlopen en kleinere sloten

De hoofdwaterlopen (A-watgangen) zijn door de waterschappen Noorderzijlvest en Hunze en Aa aangeleverd. De dimensie zijn overgenomen uit de legger, ontbrekende gegevens zijn ingeschat. De kanalen en de hoofdwaterlopen buiten de genoemde beheergebieden zijn afkomstig uit het WIS (Waterstaatkundig Informatie Systeem).

De kleinere sloten en greppels zijn ontleend aan de topografische kaart 1:10.000. Op basis van informatie uit de bodemkaart zijn gebieden onderscheiden waarvoor de dimensies zijn ingeschat. Voor de beekdalen van de Drentsche Aa heeft Staatbos-beheer hierover gegevens aangeleverd (Holtland pers. med.). Van de kleinere sloten en greppels zijn de dimensies in tabel 2.5 weergegeven.

Tabel 2.5 Bodemdiepte en breedte van de kleinere waterlopen en greppels (cm).

Bodemformaties	Bodemdiepte (cm)		
	Enkele sloot	Gerenforceerde sloot	Greppel
Keileemprofiel	100	115	85
Peeloo profiel	105	105	105
Singraven (beekdalen)	85	85	45
Westland-profiel	110	110	100
Bodembreedte (cm)	75	75	50

Buisdrainage

De situering van de buisdrainage is ontleend aan een drainagekaart geleverd door Waterschap Hunze en Aa. De bron van de drainagekaart zijn de gegevens van de Dienst Landelijk Gebied ('kaart Naarding' gedateerd van voor 1985). In 1998 is de drainagekaart geactualiseerd. Zo zijn voor het gebied van de Drentsche Aa meer gedraineerde gebieden aangegeven dan volgens de kaart van Naarding. Wel is de legenda wat grover en is ook de manier van digitaliseren wat grof waardoor soms de randen van natuurgebieden als gedraineerd worden weergegeven. Met behulp van het

bodemgebruik (LGN4) zijn de niet-landbouwgebieden eruit gefilterd. Op de ontvangen drainagekaart zijn de gedraineerde gebieden met een percentage van 10-75% niet meegenomen. De drainagediepten en afstanden met een percentage van >75% zijn geschat: drainage diepte op 1,10 m-mv en een drainafstand van 10 m.

2.5.5.2 Afwatering

De begrenzing van afwateringsgebieden is aangeleverd door beide waterschappen. Op basis van het waterlopenpatroon en de afwateringsgebieden, worden er voor Simgro afwateringseenheden onderscheiden. Voor het onderzoeksgebied zijn dit er 5625. Voorts zijn er 669 kunstwerken in het model in beschouwing genomen (570 stuwen; 41 sifons en 58 gemalen).

Op basis van de dimensies van de waterlopen en de aanwezigheid van stuwen, gemalen en sifons, zijn twee relaties afgeleid: waterpeil versus waterberging en waterpeil versus waterafvoer.

Ter plaatse van het verdeelwerk Loon wordt het water van het Deurzerdiep over de Drentsche Aa en het Noord-Willemskanaal verdeeld. In tabel 2.6 is aangegeven op welke wijze de verdeling plaatsvindt. Tot een afvoer in het Deurzerdiep van 3 m³/s stroomt al het water naar de Drentsche Aa.

Tabel 2.6 Waterverdeling bij Loon.

Afvoer Deurzerdiep (m ³ /s)	Waterverdeling Drentsche Aa (m ³ /s)	Noord-Willemskanaal (m ³ /s)
0 - 3	3	0
3 - 15	3	0 - 12
> 15	$3 + (Q_{\text{deurzerdiep}} - 15) / 2$	$12 + (Q_{\text{deurzerdiep}} - 15) / 2$

Het Koningsdiep onderdeel van de Electraboezem, heeft een streefpeil van 0,93 m-NAP. Het Eemskanaal heeft een streefpeil van 0.62 m+NAP.

De sluizen bij Vries en De Punt in het Noord-Willemskanaal zijn doormiddel van een zeer brede stuw in het model opgenomen. Deze streefpeilen zijn respectievelijk 6,62 m en 3,62 m+NAP. Het Noord-Willemskanaal rond Assen heeft een streefpeil van 9,12 m+NAP en de Drentsche Hoofdvaart en Norgervaart hebben een peil van 11,60 m+NAP. De Kolonievvaart heeft vanaf de Norgervaart eerst een peil van 10, 11 m en na de sluis bij Veenhuizen een peil van 8,83 m+NAP.

2.5.6 Grondwateronttrekkingen

In het onderzoeksgebied wordt op meerdere locaties grondwater onttrokken voor zowel de bereiding van drinkwater als voor industriële doeleinden. Het grootste deel wordt onttrokken uit het tweede watervoerende pakket: modellaag nr. 5 (zie tabel 2.7).

Tabel 2.7 Grondwateronttrekkingen met het gemiddelde onttrekkingsdebiet, filterdiepte en modellaag onttrekking.

Lokatie	Gem. debiet [m ³ /dag]	filterdiepte [m-mv]	modellaag [nr.]
Haren	3.140	75	5
De Punt	20.700	90	5
Onnen	30.650	85	5
Annen	3.340	80	5
Assen	10.400	126	7
Gasselte	5.410	73	7
De Groeve	25.900	99	7
Zuidlaren	3.630	xx	5
Nietap	32.800	xx	5

De onttrekkingen op een waterwinplaats waren in het uitgangsmodel als één enkele put gemodelleerd. Dit is voor de drie winningen van het Waterbedrijf Groningen verandert in de puttenvelden. Dit heeft vooral voor de winning Onnen veel invloed gehad op de simulatie van de lokale grondwaterstanden. Omdat er in werkelijkheid een groot deel wordt gewonnen in de zuidelijke putten van het puttenveld, veroorzaakte de winning in de meer noordelijk gelegen enkele put een duidelijke afwijking in de grondwaterstand.

Berekening

Van de Provincies zijn gegevens ontvangen over de locaties van beregeningsputten en de maximale capaciteit. In het beheersgebied van Noorderzijlvest gaat het om 27 putten, in het beheersgebied van Hunze en Aa's om 60 putten en in het beheersgebied van Reest en Wieden om putten. De berekening van de gewassen is toegekend aan een areaal landbouwgrond (individuele knooppunten elementen netwerk) rond elke beregeningsput. De grootte van het areaal hangt af van de maximale winning-capaciteit.

2.5.7 Neerslag en verdamping

Voor de neerslag is gebruik gemaakt van 5 stations: Eelde, Assen, Eext, Veenhuizen en Roden. Voor het station Eelde waren de gegevens beschikbaar (temperatuur, straling en relatieve vochtigheid) om de referentieverdamping te berekenen. Deze verdamping is ook gebruikt voor de overige 4 stations.

3 Het referentiemodel

Het Noordwest Drentsebekken model heeft als gecombineerd oppervlakte- en grondwaterstromingsmodel een groot aantal invoerparameters. Ook is de opbouw van het gemodelleerde gebied erg complex. De uitkomsten van het model zullen dus te maken hebben met een bepaalde mate van onzekerheid als gevolg van vereenvoudigingen in de schematisatie en de (on)nauwkeurigheid van de invoerdata. Om te beoordelen of de berekende afvoer en grondwaterstand de meetgegevens goed benaderen, is het model voor de periode 1990-1999 doorgerekend.

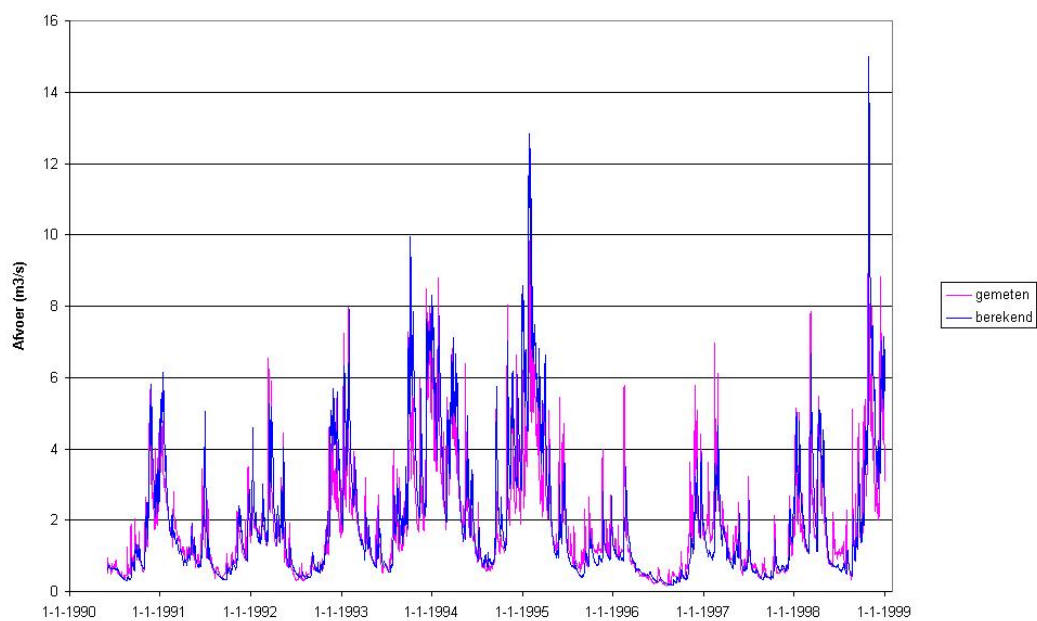
In de volgende paragrafen worden de berekende afvoeren en grondwaterstanden vergeleken met meetgegevens. Ook wordt beschreven in hoeverre de berekende kwel en GVG overeenkomt met de waarden die op basis van de aanwezigheid van plantensoorten is bepaald.

3.1 Vergelijking berekende en gemeten afvoeren

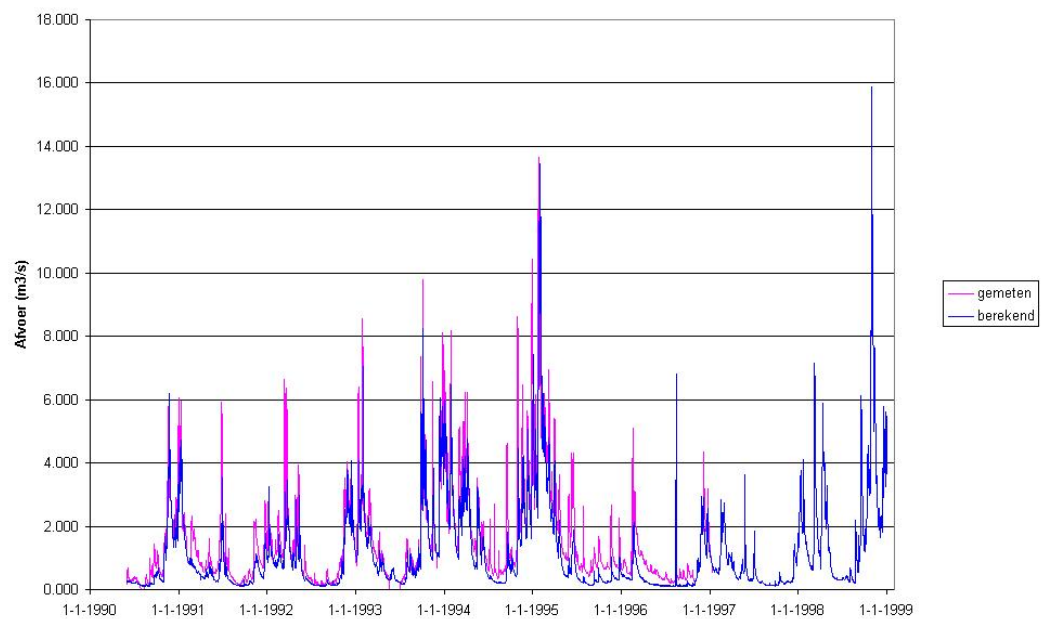
De meetgegevens worden vergeleken met de modeluitkomsten bij het rekenen met schijngrondwaterspiegels en met een tijdstapgrootte van 1 dag. Bijlage 2 geeft de meetlocaties met de beschikbare afvoeren of grondwaterstanden. Voor Drentsche Aa en Peizerdiep zijn de gemeten en berekende afvoeren weergegeven in Figuur 3.1 en 3.2. In bijlage 3 zijn de grafieken te zien van de overige meetpunten. In tabel 3.1 zijn de gemiddelde afvoeren per meetlocatie aangegeven. In het algemeen wordt de gemiddelde afvoer redelijk berekend. Voor het stroomgebied van de Drentsche Aa is het verschil klein, behalve voor het Rolderdiep. Hier is de berekende afvoer aan de hoge kant. Een mogelijke verklaring is dat een deel van het neerslagoverschot dat op de Hondsrug valt, in het model naar het dal van de Drentsche Aa wordt afgevoerd, in plaats van naar het Hunzedal. Voor het Peizer en Eelderdiep zijn de verschillen groter, voor 3 locaties is de berekende afvoer lager dan de gemeten. Dit verschil zou kunnen worden veroorzaakt door een onderschatting van de waterinlaat uit de Drentse kanalen. Ook de onnauwkeurigheid van de afvoermetingen zou een rol kunnen spelen bij dit verschil. Voor deze beken wordt de basisafvoer goed berekend, maar zijn de afvoerpieken vaak te laag (zie Bijlage 3).

Tabel 3.1 *Vergelijking gemeten en berekende afvoeren voor verschillende meetlocaties (m³/s).*

Meetlocatie	Gemiddelde afvoer		
	Gemeten	Berekend	Afwijking (%)
Drentsche Aa (Schipborg)	1,87	2,00	7
Deurzerdiep (Loon)	1,11	1,16	4
Rolderdiep	0,23	0,31	35
Amerdiep	0,82	0,87	6
Anreepdiep	0,81	0,65	-19
Peizerdiep (Lieveren)	1,52	1,41	-7
Maslout (Boerelaan)	0,41	0,31	-24
Eelderdiep (Bunne)	0,43	0,20	-53
Oosterloop (Elde)	0,06	0,07	16



Figuur 3.1 Afvoer (m^3/s) Drentsche Aa (Schipborg), gemeten en berekend.



Figuur 3.2 Afvoer (m^3/s) Peizerdiep (Lieveren), gemeten en berekend.

In Tabel 3.2 is weergegeven de afvoer voor herhalingstijden tot 5 jaar. Voor de Drentsche Aa zijn de berekende afvoeren hoger dan de gemeten. De oorzaak hiervan is de hogere berekende afvoer voor het Rolderdiep (zie ook tabel 3.1). Voor het Deurzerdiep en het Peizerdiep komen gemeten en berekende afvoeren voor alle herhalingstijden goed overeen (zie Tabel 3.2).

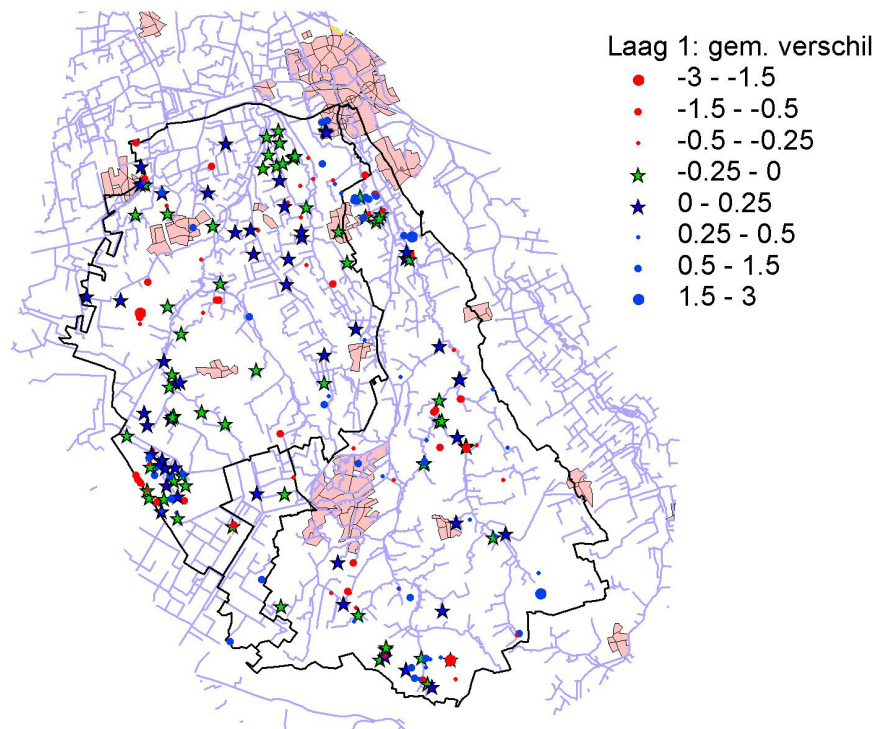
Tabel 3.2 Gemeten en berekende afvoeren (m^3/s) per herhalingsstijd. Q_{95} staat voor de waarde waar de afvoer 5% van de tijd onder blijft.

Locatie		Afvoer bij een herhalingsstijd				
		5 jaar	1 jaar	5x/ jaar	15x/ jaar	Q_{95}
Drentsche Aa (Schipb.)	Gemeten	11,02	8,91	6,97	5,48	0,57
	Berekend	13,63	11,57	7,58	6,24	0,36
Deurzerdiep (Loon)	Gemeten	14,45	11,52	6,34	4,00	0,27
	Berekend	14,05	11,59	6,24	4,31	0,14
Peizerdiep (Lieveren)	Gemeten	13,64	10,45	6,57	5,01	0,08
	Berekend	13,44	10,47	5,97	4,37	0,12

3.2 Vergelijking gemeten en berekende grondwaterstanden en kwel

3.2.1 Peilbuizen

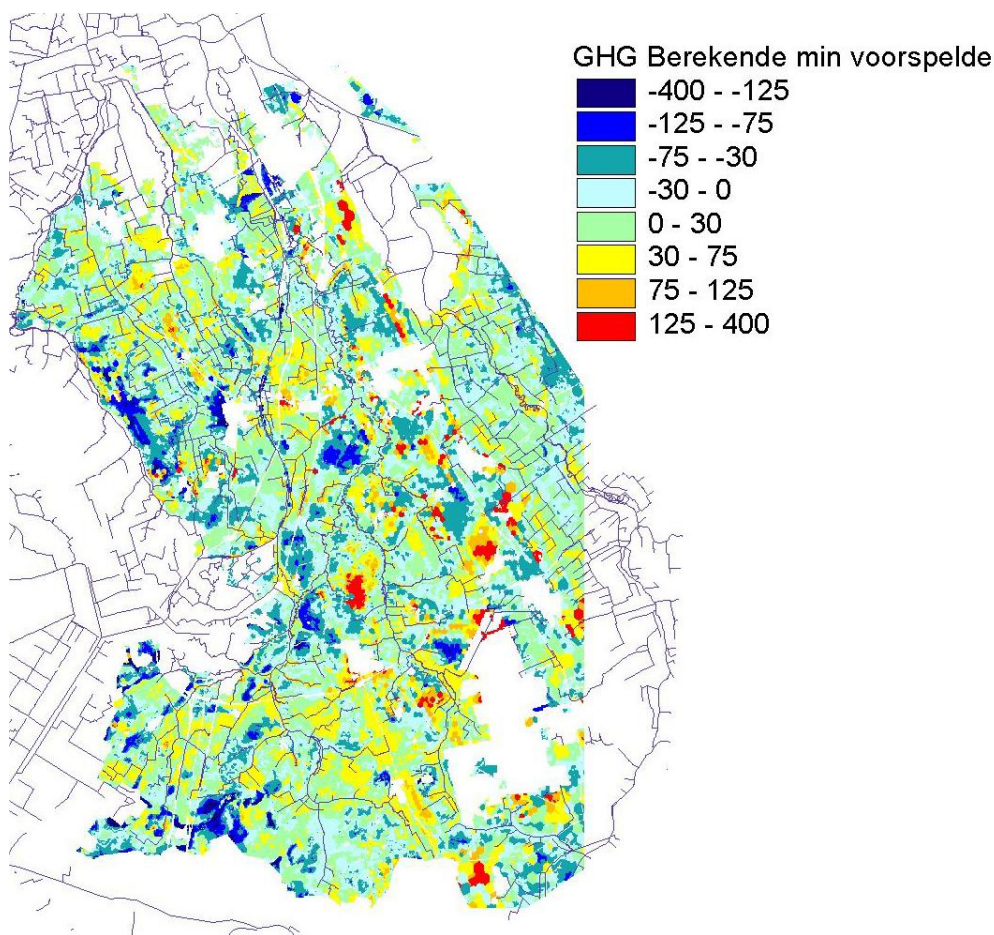
Om de berekende grondwaterstand te beoordelen, wordt deze vergeleken met peilbuismetingen. Figuur 3.3 geeft de verschillen weer voor het freatisch grondwater (laag 1). In bijlage 4 zijn voor alle watervoerende lagen de verschillen tussen gemeten en berekende waarden weergegeven. In Bijlage 4 is ook aangegeven het aantal buizen waarbij het verschil kleiner is dan 0,5 m en daarnaast 0,25 m. Van de 332 freatische peilbuizen zijn er 239 met een verschil kleiner dan 0,5 m en 145 met een verschil kleiner dan 0,25 m (zie Bijlage 4). In het algemeen is het verschil tussen de gemeten en berekende gemiddelde grondwaterstanden gering, maar op enkele plaatsen is het verschil groter.



Figuur 3.3 Het verschil tussen de gemeten en berekende gemiddelde grondwaterstand (blauw geeft aan dat de berekende grondwaterstand te hoog is en rood te laag).

3.2.2 Vergelijking hoogste grondwaterstand (GHG)

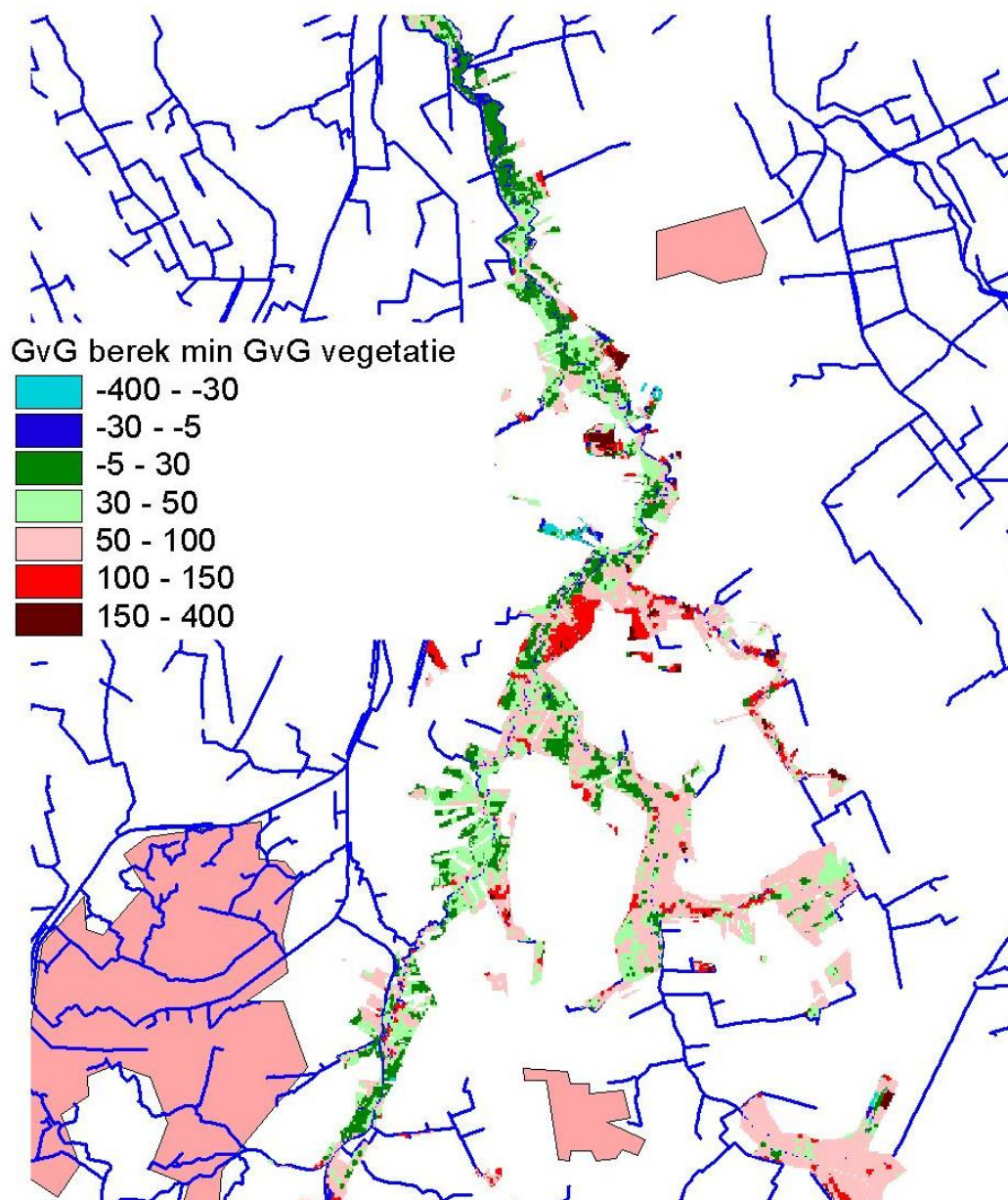
De grondwatertrappen kaart (GxG) afgeleid uit de berekeningen met het model SIMGRO zijn vergeleken met grondwater dynamiek kaarten (Gd) die ten behoeve van de ondersteuning mestbeleid zijn opgesteld (Van Kekem e.a., 2005). In figuur 3.4 is weergegeven het verschil in de GHG. Uit deze figuur blijkt dat voor het overgrote deel de berekende GHG (uit SIMGRO) iets lager ligt dan de voorspelde: tussen de 0 en 30 cm. Met name in de gebieden met keileem zijn er plekken waar de berekende GHG een stuk lager ligt (in Figuur 3.4 de rood gekleurde gebieden). De onderschatting van de dikte en/of de weerstand van de keileem kan hier de oorzaak van zijn. Het verschil kan ook te wijten zijn aan de voorspellingsfout van de grondwaterdynamiek kaarten die voor de Hondsrug geschat wordt op meer dan 50 cm (Van Kekem e.a., 2005).



Figuur 3.4 Het verschil tussen de GHG berekend (SIMGRO) en afgeleid uit meetgegevens.

3.2.3 Vergelijking voorjaarsgrondwaterstand (GVG) voor beekdalen Drentsche Aa

Om te beoordelen hoe goed het model de grondwaterstanden in de beekdalen simuleert, wordt gekeken in hoeverre de berekende GVG overeenkomt met de GVG die op basis van de vegetatie is bepaald. Aan de hand van de vegetatie in het beekdal van de Drentsche Aa is een GVG-kaart afgeleid door Staatsbosbeheer (Holtland, Pers. Med.). Deze vergelijking is in figuur 3.5 weergegeven voor een deel van de Drentsche Aa. Gemiddeld wordt de GVG iets lager berekend dan de op vegetatie gebaseerde GVG. Dicht bij de beken zijn de verschillen meestal kleiner dan 30 cm. Plaatselijk zijn de verschillen groter. Samen met de resultaten van de vergelijking van de GHG in paragraaf 3.2.2, wijzen de uitkomsten bij vergelijking met vegetatiegegevens op een redelijke simulatie van de grondwaterstanden.



Figuur 3.5 Het verschil in GvG tussen model en die afgeleid uit de vegetatie voor de Drentsche Aa (positieve waarden: model berekent een diepere GvG).

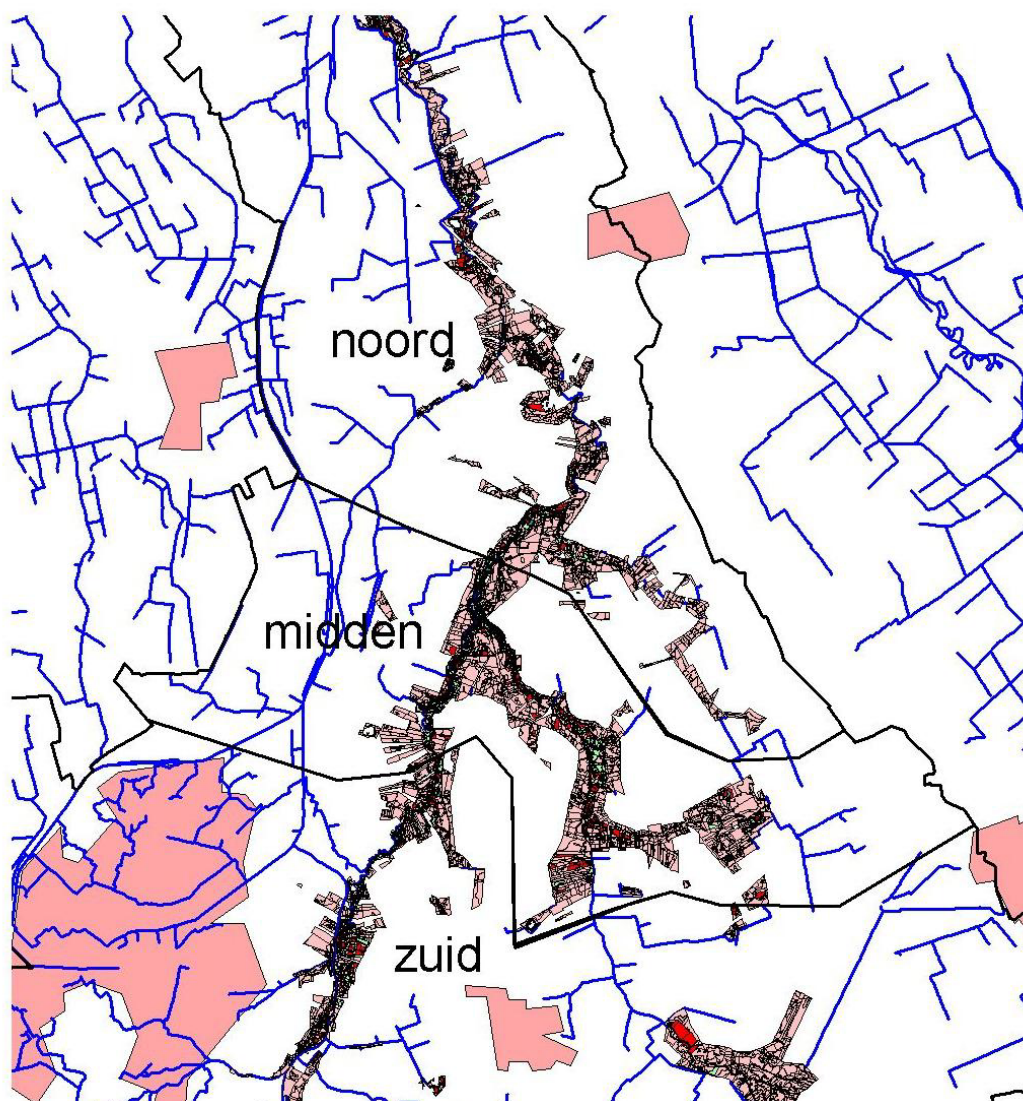
3.2.4 Vergelijking kwel voor beekdalen Drentsche Aa

Door Staatsbosbeheer is uit de aanwezigheid van vegetatie ook een kwel indicatie afgeleid (figuur 3.6). De legenda gebruikt in figuur 3.6 is vertaald naar kwelwaarden en weergegeven in Tabel 3.3. Voor de drie regio's weergegeven in figuur 3.6 is vervolgens het verschil in berekende en afgeleide kwel in figuur 3.7 weergegeven. De kolommen in figuur 3.7 geven aan het areaal met een zeker verschil in kwel (aantal cellen van 25 x 25 m). Negatieve waarden geven aan dat de berekende kwel lager is

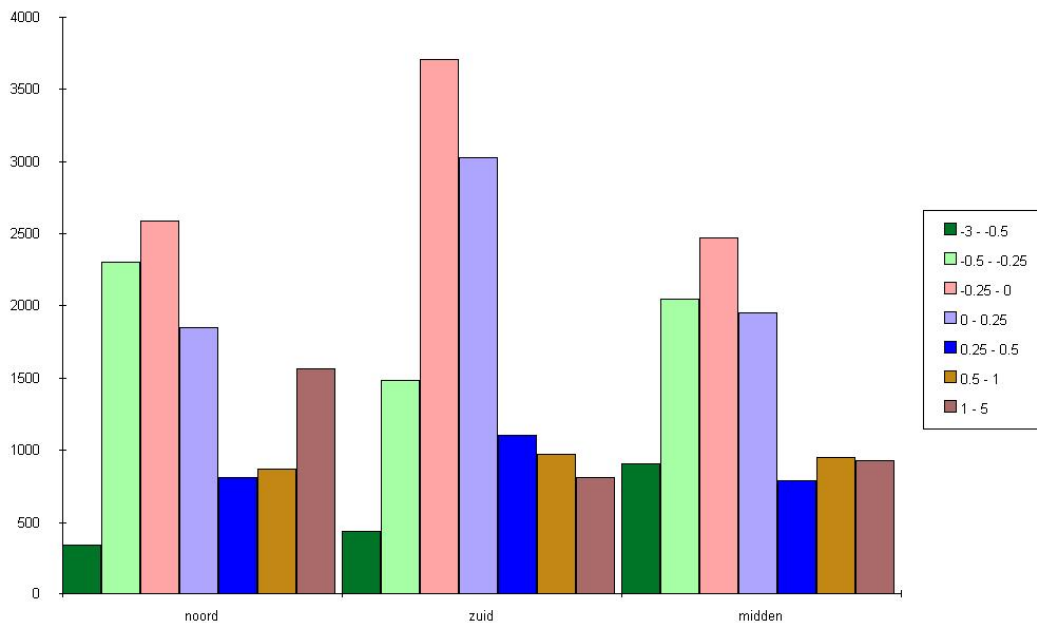
dan de kwel afgeleid uit vegetatie. Het verschil ligt grotendeels tussen de waarde -0,25 en 0,25 mm/d. Met name geldt dit voor de regio zuid. Voor de regio's noord en midden is er ook een groot aandeel in de klasse -0,5 tot -0,25 mm/d.

Tabel 3.3 Vertaling van voorkomst vegetatie naar kwel (min/max).

Omschrijving	Vegetatie-index	Kwel waarde (mm/d)
Geen of zeer geringe kwel	0 – 3,9	0 – 0,5
Zeer zwakke of onduidelijke kwel	3,9 – 4,3	0,5 – 1,0
Zwakke kwel	4,3-5	1,0 – 1,5
Matig zwakke kwel	5 – 6	1,5 – 2,0
Matig sterke kwel	6 – 7	2,0 – 3,0
Sterke kwel	7 – 8	> 3 mm



Figuur 3.6 De kwel afgeleid uit de aanwezigheid van plantensoorten (Holtland, pers med).



Figuur 3.7 Berekende kwel naar wortelzone min de kwel afgeleid uit aanwezigheid plantensoorten (op de Y-as staat het aantal cellen van 25x25 m; het verschil in kwel is weergegeven in mm/d).

3.3 Berekening

De berekening die in het model wordt gesimuleerd hangt af van de weersomstandigheden. Als het bodemvocht in de wortelzone te laag is, zal het model het gewas beregenen (indien er ook beregening is toegekend – zie par. 2.5.6). Zodoende is de hoeveelheid onttrokken grondwater ieder jaar verschillend. Binnen het interessegebied is de gemiddelde onttrokken hoeveelheid voor de berekeningsperiode 1990-1999 per beheersgebied:

- Noorderzijlvest: 0,34 mln m³/j
- Hunze en Aas: 0,84 mln m³/j

In een drogere zomer uit de simulatieperiode, 1996, is er onttrokken:

- Noorderzijlvest: 0,62 mln m³/j
- Hunze en Aas: 1,79 mln m³/j

In 1996 is de winning van grondwater voor beregening ca. twee keer zo hoog geweest als het gemiddelde van de jaren negentig.

3.4 Conclusie

Van de beken van het Drentsche Aa systeem wordt voor het Rolderdiep een te hoge afvoer berekend. Het Deurzerdiep en de beken die hierin uitkomen (Amer- en Anreepdiep) geven betere resultaten voor de afvoer te zien (bijlage 3). Voor het Peizer en Eelderdiep zijn de verschillen iets groter, voor 3 locaties is de berekende afvoer lager dan de gemeten. Dit verschil zou kunnen worden veroorzaakt door een

onderschatting van de waterinlaat uit de Drentse kanalen. Ook de onnauwkeurigheid van de afvoermetingen zou een rol kunnen spelen bij dit verschil. Voor deze beken wordt de basisafvoer goed berekend, maar zijn de afvoerpieken vaak te laag.

Uit de vergelijkingen van berekende en gemeten grondwaterstanden, blijken die goed overeen te komen. Dit geeft aan dat de berekende waterstanden in de beken redelijk nauwkeurig zijn en als randvoorwaarde een sturende werking hebben op het nabij gelegen grondwater. Verder van de beken af, op hoger gelegen gronden, zijn de verschillen soms een stuk groter. De complexiteit van de ondergrond is hier vermoedelijk de oorzaak van. Met name de Hondsrug kent lokaal grotere afwijkingen in grondwaterstanden.

De vergelijking van de berekende GVG met de GVG afgeleid uit de aanwezigheid van plantensoorten geeft aan dat in de beekdalen de berekende GVG tussen de 0 tot 30 cm lager ligt. Ook de verschillen bij de vergelijking van de kwel zijn gering.

Op basis van de vergelijking tussen de gesimuleerde gegevens en meetgegevens kan geconcludeerd worden dat voor het studiegebied de verschillen klein zijn. Het model SIMGRO kan goed gebruikt worden om hiermee maatregelen te evalueren.

4 Effecten van ingrepen op afvoeren, grondwaterstanden en doelrealisatie landbouw

In het advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (WB21, 2000) worden ingrepen genoemd om in hellende gebieden water effectief vast te houden en infiltratie te bevorderen. Om de afvoer te vertragen, worden de volgende maatregelen genoemd: kleinere duikers, aangepast slootonderhoud, hermeandering van beken en verondieping/dempen van sloten. Naast een gunstig effect op de wateroverlast-problematiek benedenstrooms, zijn deze maatregelen tevens gunstig in het kader van bestrijding van verdroging. De maatregelen leiden echter wel tot vernatting en lokale wateroverlast en kunnen zodoende meer natschade veroorzaken in de landbouw.

Het onderzoek naar de ingrepen beperkt zich tot de bovenstroomse gebieden van het Peizerdiep en het Deurzerdiep, zoals die in het afstudeeronderzoek van Menno Rakhorst zijn gepresenteerd (Rakhorst, 2005). Het gaat om de stroomgebieden van het Groote Diep, Slokkert en Oostervoortsche Diep, die uitkomen in het Peizerdiep. Daarnaast het Amer- en Anreepdiep, die uitkomen in het Deurzerdiep. Het Amer- en Anreepdiep dragen samen voor de helft bij aan de totale afvoer van de Drentsche Aa (zie Tabel 2.2). Het Peizerdiep voert 70% van het water af dat in het Koningsdiep uitkomt.

Paragraaf 4.1 beschrijft het gebied waar de ingrepen worden genomen. Hoe tot de ingrepen is gekomen en wat ze inhouden, wordt beschreven in paragraaf 4.2. Vervolgens komt in paragraaf 4.3 aan de orde de effecten van de genomen maatregelen. In paragraaf 4.4 worden de mogelijkheden besproken om water vast te houden in natuurlijke laagten op de hogere gronden in het stroomgebied van de Drentsche Aa.

4.1 De geselecteerde gebieden

Volgens Schipper en Streefkerk (1993) kent het stroomgebied van het Amer- en Anreepdiep een grote afwisseling aan kwel- en inzijgingsgebieden. Die afwisseling kan verklaard worden uit het voorkomen van keileem en de lage ligging van het Bekken van Assen, waardoor de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket net even boven of onder de stijghoogte van het freatisch grondwater reikt.

Het Amer- en Anreepdiep draineren door de lage ligging van het Bekken van Assen grondwater uit het tweede watervoerende pakket. In de middenlopen is de kwelintensiteit ca. 1 à 2,5 mm/d door de grote verbreiding en ondiepe ligging van keileem en potklei (zie kaarten in bijlage 1).

Het Anreepdiep is in 1964 landbouwkundig verbeterd, het Amerdiep volgde in 1966 (Schipper en Streefkerk, 1993). Beide waterlopen hebben vanaf die tijd een lager oppervlaktewaterpeil, dat is afgestemd op de landbouwbelangen. In 1972 is de ruilverkaveling Rolde gestart. Rondom de reservaatgebieden zijn toen veel ont-

waterings- en afwateringswerken uitgevoerd. De afvoer van het Amer- en Anreepdiep heeft relatief hoge pieken in de wintermaanden (bijlage 3). Door de beperkte bergingscapaciteit in een groot deel van het gebied wordt dan 70 à 80% van het neerslagwater, direct via de beken afgevoerd (Streefkerk, 1985).

De boswachterijen van Hooghalen en Grollo en de bovenloop van het Anreepdiep vertonen een hoge infiltratie naar de diepliggende lagen. Er wordt weinig water oppervlakkig afgevoerd.

Over de stroomgebieden van de Slokkert, het Groote Diep en het Oostervoortsche Diep (bovenlopen Peizerdiep) is minder bekend dan over die van het Amer- en Anreepdiep. Bovenstrooms hebben deze beken zich vertakt tot een complex oppervlaktewatersysteem van kleine beekjes en waterlopen. Op de bodemkaart komt dit tot uiting in het voorkomen van veen- en moerige gronden. Oorspronkelijk stonden de beekdalen 's winters kortere of langere tijd over grote oppervlakten onder water.

4.2 Water vasthouden en bergen

In deze studie wordt gekeken naar mogelijkheden voor reductie van afvoerpieken, zodat het gebied benedenstrooms, de stad Groningen bijvoorbeeld, beter beschermd wordt tegen wateroverlast. Maatregelen om deze reductie te realiseren moeten worden genomen in het gebied bovenstrooms.

Van der Gaast et al (2002) verdeelt de maatregelen voor piekreductie onder in maatregelen voor vasthouden en maatregelen voor bergen van water. Voor *water vasthouden* wordt gekeken naar het bovenstrooms gebied, op en rond de natuur- en landbouwpercelen, waar het waterschap geen beheerder is. Daar zal vooral gezocht moeten worden naar vergroting van de drainageweerstand, vertragen van de afvoer in het ontwateringsstelsel en vergroting van het bergend vermogen. Voor de *berging van water* wordt ruimte gezocht in de primaire waterlopen, in beheer bij het waterschap, en op de aangrenzende oevers en inundeerbare gebieden. Hier wordt geprobeerd de afvoer te vertragen en een snellere overstrooming van oevers en inundeerbare gebieden te bevorderen.

De dichtheid van het waterloppennetwerk is een belangrijke factor voor het afvoerregiem. Bij een grotere dichtheid is het eenvoudig om de drainage te verkleinen door het dempen of het afdammen van een deel van de waterlopen. De geschiktheid van het maaiveld om water te bergen wordt voor een deel bepaald door de maaiveldhelling. In hellende gebieden zijn de mogelijkheden doorgaans gering.

In eerder modelonderzoek in het Drentsche Aa gebied (van Bakel et. al., 2002) is gebleken dat het langer vasthouden van water en de stremming van de afvoer in de hoofdwaterlopen het meeste effect heeft. Vertragen van de afvoer in de detail-afwatering heeft een minder groot effect. In dit onderzoek wordt de afvoer op twee manieren vertraagd:

1. Afvoerbegrenzen
Plaatsen van een kunstwerk (bijv. een duiker) in een waterloop met een afvoercapaciteit gelijk aan de maatgevende afvoer die 1-2 x per jaar optreedt;
2. Verondiepen waterlopen
Halvering van de bodemdiepte van de hoofdwaterlopen en de detailontwatering om hierdoor meestromende berging te creëren.

Als resultaat van ingreep 1 (debietbegrenzing) wordt verwacht dat door de kleinere afvoercapaciteit er bij piekafvoer meer water op de oevers wordt geborgen. Hierbij zal de afvoerreductie alleen voorkomen bij afvoerpieken die gemiddeld 1 maal per jaar voorkomen of bij hogere afvoerpieken.

Ook bij ingreep 2 (verondiepen) wordt verwacht dat bij piekafvoer de capaciteit van de waterlopen te klein wordt en een deel van de afvoer tijdelijk op de aangrenzende oevers geborgen wordt (meestromende berging). Dit heeft een reductie van de piekafvoer tot gevolg. Tegelijk zal deze ingreep een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg hebben. Dit zorgt mogelijk voor meer oppervlakteafvoer, omdat de bodem eerder verzadigd zal zijn. De hogere grondwaterstand zal ook bijdragen aan verdrogingsbestrijding, maar kan wel een negatief effect hebben op de landbouw.

4.2.1 Ingrenen in het stroomgebied van het Amer- en Anreepdiep

In van der Gaast et. al. (2002) is aangegeven waar maatregelen voor water bergen en vasthouden het meest kansrijk zijn. In het stroomgebied van het Amer- en Anreepdiep zijn dit de intensief ontwaterde natuur- en landbouwgebieden Geelbroek, het Hooghaler Veldkamp, De Holten, Smalbroeken, Hemmen, de Lange Maden en het Halkenbroek (figuur 4.1). Het Geelbroek ligt langs de Ruimsloot, het Hooghaler Veldkamp langs het Anreepdiep en de laatste vijf gebieden liggen langs het Amerdiep. Ook in het rapport van Schipper en Streefkerk (1993) worden de gebieden De Holten, Smalbroeken en Hemmen genoemd als gebieden waar intensief ont- en afwatering plaatsvindt en waar mogelijkheden liggen om de afvoer te vertragen. De boswachterijen in het zuiden hebben een gering aantal sloten en een relatief diep liggende laag keileem. Hier zijn weinig mogelijkheden om water te vertragen.

Het stremmen van de piekafvoer door middel van knijpduikers is aangegeven in figuur 4.1. In die figuur staan ook de waterlopen die verondiept zijn om meestromende berging te creëren.

4.2.2 Ingrenen in het stroomgebied van de Slokkert, het Groote- en het Oostervoortsche Diep

De delen van het stroomgebied van de Slokkert, het Groote Diep en het Oostervoortsche Diep, die volgens van der Gaast et. al. (2002) het meest kansrijk zijn

voor water vasthouden of bergen, zijn de Langelosche- en Eenerstukken langs het Groot Diep, de Hooilanden en de Tempelstukken langs de Slokkert en Broekland en Roeghoorn langs het Oostervoortsche Diep (figuur 4.1). Dit zijn graslanden en natuurgebieden op veen- en moerige gronden in het lager gelegen beekdal. Hier is een grote dichtheid aan sloten en greppels te vinden, waardoor onder de huidige omstandigheden het neerslagoverschot versneld wordt afgevoerd. Als maatregel wordt ook hier de bodemdiepte gehalveerd en worden duikers geplaatst (figuur 4.1).



Figuur 4.1 Maatregelen genomen in het stroomgebied van Peizerdiep, Amer en Anreperdiep.

4.3 Effecten op afvoer, grondwaterstand en landgebruik

Om de voorgenomen ingrepen uit paragraaf 4.2 te analyseren worden de gesimuleerde afvoer en grondwaterstand vergeleken met het referentiemodel. Er wordt alleen gekeken naar de afvoer van Peizerdiep, Anreperdiep en Amerdiep. Voor de effecten op stroomgebiedsschaal worden de grondwaterstanden, de GVG, GHG en GLG, onderzocht. Verder worden de effecten op landbouw en natuur bepaald. Omdat voor de indeling naar natuurdoeltypen een natte en een droge

variant is onderscheiden, wordt voor beide varianten bekeken of de ingrepen bijdragen aan de doelrealisatie.

4.3.1 Afvoer

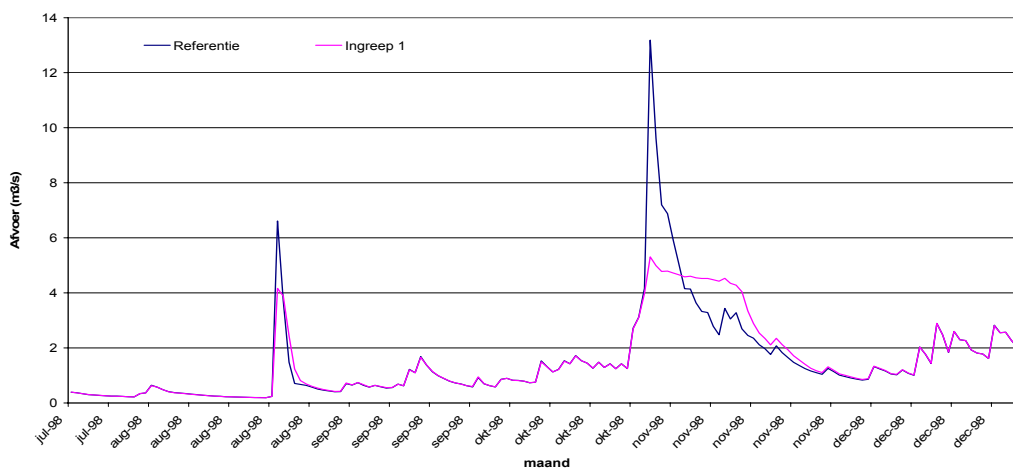
Om de effecten van de ingrepen op de afvoer in kaart te brengen is voor verschillende herhalingsstijden de maximale afvoer berekend (tabel 4.1). Knijpduikers hebben een groot effect op de reductie van afvoerpieken. De afname in de piekafvoeren bedragen ca. 25-50%. Een groot deel van de piekafvoer zal tijdelijk geborgen worden, stroomopwaarts van het kunstwerk. De piek wordt uitgesmeerd over een langere periode (figuur 4.2). Dit veroorzaakt wel een hogere afvoer die vijf keer per jaar optreedt (tabel 4.1), maar de lage afvoeren (Q95 uit tabel 4.1) veranderen niet.

Het effect van verondiepen op de piekafvoer is minder groot dan bij het toepassen van knijpduikers. Met deze maatregel is de afname in de orde van grootte 5-20%. Bij het verondiepen worden de lage afvoeren ook een stuk minder (Q95 uit tabel 4.1). De afname in de lage afvoer bedraagt ca. 10-20%.

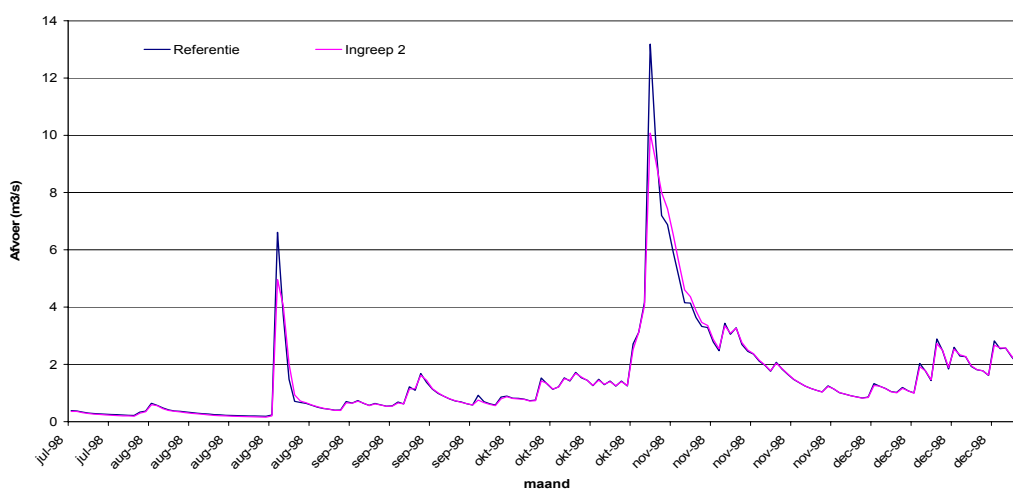
Het Anreeperdiep ondervindt minder effect van de ingrepen dan de andere beken (Tabel 4.1 en figuur 4.3). Een mogelijke verklaring is dat deze beek veel water krijgt vanuit het stedelijk gebied Assen, waar geen maatregelen zijn genomen.

Tabel 4.1 Afvoer (m³/s) bij verschillende herhalingsstijden van Amer-, Anreeper- en Peizerdiep met en zonder ingreep (voor periode 1988-1998). Ingrep 1 is het vertragen van de afvoer, ingrep 2 is halvering van de bodemdiepte. Q95 staat voor de waarde waar de afvoer 5% van de tijd onder blijft (Referentiescenario uit Rakhorst, 2005).*

Stroomgebied	Variant	10 jaar	5 jaar	1 jaar	5x	15x	Q95
Amerdiep	Referentie*						
	Knijpduikers	13.180	9.620	5.418	3.078	2.227	0.182
	Reductie (%)	5.321	4.980	4.603	3.138	2.245	0.182
	Verondiepen	60	49	15	-2	-1	0
	Reductie (%)	10.078	9.056	4.994	3.071	2.246	0.154
		24	7	8	0	-1	14
Anreeperdiep	Referentie*						
	Knijpduikers	9.121	5.807	3.379	1.939	1.472	0.118
	Reductie (%)	6.973	3.741	3.019	1.972	1.476	0.119
	Verondiepen	24	36	8	-2	0	0
	Reductie (%)	8.475	5.526	3.438	1.929	1.433	0.092
		7	4	2	1	1	22
Peizerdiep	Referentie*	16.923	16.170	10.913	6.966	4.971	0.497
	Knijpduikers	10.369	10.245	9.774	7.234	5.093	0.502
	Reductie (%)	39	36	12	-3	0	0
	Verondiepen	13.487	13.247	10.771	6.921	4.796	0.411
	Reductie (%)	21	18	0	4	3	16



Figuur 4.2 Afvoer Amerdiep met en zonder begrenzen van de afvoer voor een deel van het jaar 1998 (Rakhorst, 2005).



Figuur 4.3 Afvoer Amerdiep met en zonder verondiepen van de waterlopen voor een deel van het jaar 1998 (Rakhorst, 2005).

4.3.2 Inundatie

Om wateroverlast benedenstrooms te verminderen zal meer wateroverlast bovenstrooms geaccepteerd moeten worden. Voor de maand oktober 1998, met veel neerslag, is in Bijlage 5 aangegeven hoe groot het gebied is dat dan onderwater zou lopen. Op bijna alle plaatsen met knijpduikers, loopt een veel groter deel van het beekdal onder water dan zonder deze maatregel (tabel 4.2). Het inundatieeffect van verondiepen is meer gelijkmatig verspreid langs de beken en bij het Peizer- en Anreepdiep duidelijk over een groter oppervlak dan bij toepassen van knijpduikers (tabel 4.2). Knijpduikers veroorzaken vooral een diepere inundatie (tabel 4.3). Het blijkt dat over de berekeningsperiode (1989-1999) het beekdal 4 keer onderloopt bij knijpduikers en maar 1 keer in 1998 bij verondiepen van de beken (Rakhorst, 2005).

Tabel 4.2 Het oppervlak aan ondergelopen land als gevolg van de genomen maatregelen voor 29 oktober 1998.

Stroomgebied	Oppervlak aan ondergelopen land (ha)				
	Referentie-model	Knijpduikers	Toename (%)	Verondiepen	Toename (%)
Peizerdiep	77	171	122	258	236
Amerdiep	153	266	74	253	66
Anreepdiep	148	193	30	218	48

Tabel 4.3 Het oppervlak aan ondergelopen land als gevolg van de genomen maatregelen met een verdeling tussen inundatie tot 0,5 m en meer dan 0,5 m.

Stroomgebied	Oppervlak aan ondergelopen land (ha), verdeeld naar de diepte (m)					
	Referentiemodel		Knijpduikers		Verondiepen	
	0 - 0,5 m	> 0,5 m	0 - 0,5 m	> 0,5 m	0 - 0,5 m	> 0,5 m
Peizerdiep	71	6	131	40	241	17
Amerdiep	133	20	174	92	218	36
Anreepdiep	141	7	173	20	210	8

4.3.3 Grondwaterstanden

Knijpduikers veroorzaken alleen een tijdelijke verhoging van de waterstand in de beken. Daarom is er zeer beperkt doorwerking naar het grondwater en heeft het geen effect op de grondwatertrappen. Bij verondiepen is de verhoging van grondwaterstanden goed merkbaar, voor de GVG is deze weergegeven in bijlage 6. Te zien is dat halveren van de bodemdiepte voor een groot gebied een verhoging van de GVG tot gevolg heeft van 3-10 centimeter. Alleen binnen een afstand van enkele honderden meters van de beken kan deze verhoging tot 40 of 50 centimeter oplopen. In het Geelbroek leidt dit tot grondwaterstanden die net onder en soms boven het maaiveld uitkomen.

4.3.4 Doelrealisatie landbouw

Omdat het toepassen van knijpduikers geen merkbare verandering van de GxG tot gevolg heeft, is deze ingreep niet geanalyseerd m.b.v. waternood. Het effect van het verondiepen van de beken op landbouw en natuur is weergegeven in bijlage 7 en 8. Te zien is in de bijlagen dat langs de beken de doelrealisatie van landbouw op veel plaatsen minder wordt als logisch gevolg van de regelmatigere optredende inundatie en de hogere grondwaterstanden. Verder van de beken af leiden de hogere grondwaterstanden juist tot een betere doelrealisatie. Hier zal minder droogteschade optreden.

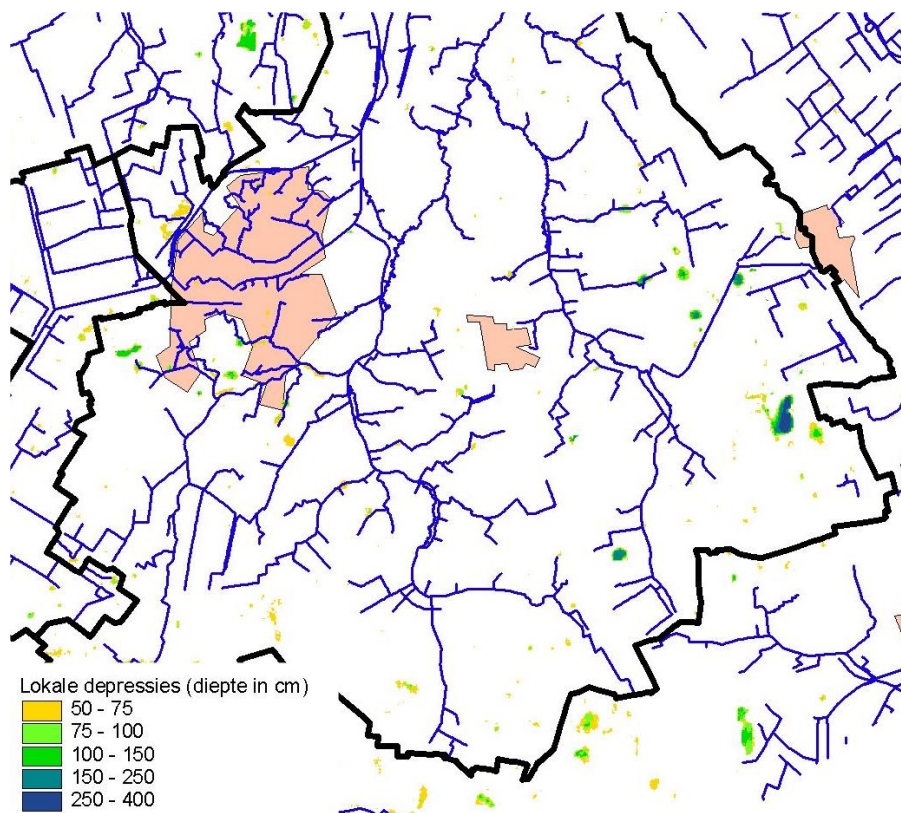
4.3.5 Doelrealisatie natuur

De in bijlage 7 en 8 gegeven verschillen in doelrealisatie laten zien dat de hoger wordende GVG bijna overal een positieve invloed heeft op de doelrealisatie van de natuurdoeltypen. De plaatsen waar de doelrealisatie achteruit gaat, hebben een grotere toename van de natschade dan de afname van de droogteschade.

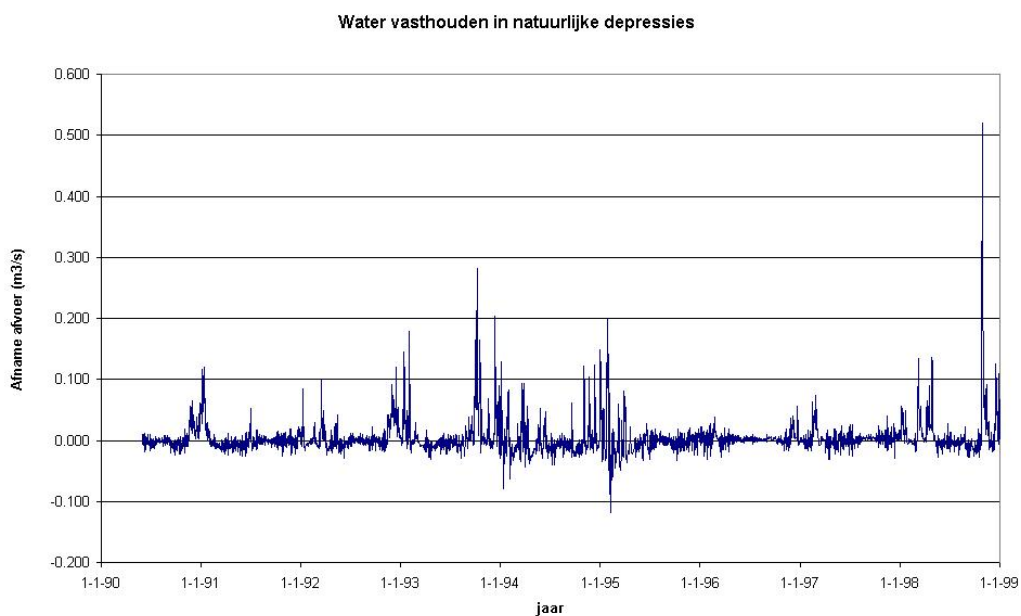
4.4 Water vasthouden in natuurlijke depressies

Met name in het stroomgebied van de Drentsche Aa waren er in het verleden veel natuurlijke laagten aanwezig. Deze lokale depressies waren in het verleden de natte gebieden, die door het graven van een waterloop ontwaterd zijn. In de Stroomgebiedvisie Groningen/Noord- en Oost Drenthe wordt dit als een mogelijkheid gezien voor het bergen en vasthouden van water op een natuurlijke manier (Stuurgroep Water 2000+, 2002).

In figuur 4.4 is aangegeven voor het bovenstroomse deel van de Drentsche Aa waar deze natuurlijke depressies in het maaiveld aanwezig zijn. Deze kaart is afgeleid van het maaiveld bestand (AHN, zie ook par. 2.2). Door het water in de depressie vast te houden en in de grond te laten infiltreren, kan dit een maatregel zijn die de afvoer in de Drentsche Aa kan verminderen. Op basis van de informatie weergegeven in figuur 4.4 zijn er 10 depressies gekozen om daar het water vast te houden. Figuur 4.5 geeft een eerste indruk van de afname in de afvoer bij Schipborg weer, die optreedt ten opzichte van de huidige situatie. Een afname in de afvoer (positieve getallen wordt meestal gevolgd door een heel kleine toename in de afvoer. Eind oktober 1998 is de afname het grootst, ca $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, wat neerkomt op een vermindering van 4% in de afvoer. Deze eerste berekeningen om water te bergen in natuurlijke laagten kunnen mogelijkheden scheppen om meer water bovenstrooms vast te houden.



Figuur 4.4 Natuurlijke (lokale) laagten in het landschap om mogelijk water vast te houden (diepte van laagte is aangegeven in cm t.o.v. maaiveld omgeving).



Figuur 4.5 Afname in de afvoer bij Schipborg in de Drentse Aa door water vast te houden in natuurlijke laagten uit figuur 4.4.

4.5 Conclusies

Als maatregelen is onderzocht het stremmen van de afvoer door middel van (knijp)duikers en het verondiepen van waterlopen. Bij toepassen knijpduikers is er voor gekozen om de afvoer die gemiddeld 1 maal per jaar optreedt, nog ongestoord af te voeren. Hierdoor hebben knijpduikers een groot effect op de afvoerpieken. De afname in de piekafvoeren bedragen ca. 25-50%. Het effect van verondiepen op de piekafvoer is minder groot dan bij het toepassen van knijpduikers. Met deze maatregel is de afname in de orde van grootte 5-20%.

De mate van wateroverlast bij de twee maatregelen verschillen. Waar bij knijpduikers direct stroomopwaarts de oevers kortstondig onderlopen, is dit effect bij verondiepen meer verspreid langs de beken. Dit betekent dat bij toepassen van knijpduikers over een beperkter deel langs de beek inundatie(schade) zal optreden. Maar deze inundatie zal wel groter zijn dan bij verondiepen.

Bij verondiepen is er een verhoging van de GVG in de nabijheid van de beken waar te nemen. Dit heeft op de natuur voornamelijk een positief effect. De natuurdoeltypen komen beter tot hun recht, omdat zonder ingreep te droge omstandigheden bestonden. Voor landbouw betekent de verhoging van de GVG vooral een verslechtering van de doelrealisatie. Voor zowel de natuur als de landbouw is met Waterlood niet te bepalen wat het effect van inundatie is op de doelrealisatie.

Uit eerste berekeningen met het water vasthouden in natuurlijke laagten wordt de piekafvoer vermindert. Meer gedetailleerdere berekeningen zijn nodig om het effect beter in beeld te brengen.

Bij het toepassen van knijpduikers is er in dit onderzoek voor gekozen om de afvoer die gemiddeld 1 maal per jaar optreedt, nog ongestoord af te voeren. Bij extreme situaties, zoals die in oktober 1998 hebben plaatsgevonden, is het ook denkbaar om de afvoer uit het bovenstrooms gelegen gebied te begrenzen op bijvoorbeeld niet meer dan eens per 10 of 50 jaar. Op die manier wordt er gericht gekozen om wateroverlast in benedenstrooms gelegen gebied te voorkomen, door bovenstrooms overlast toe te staan.

Door het nemen van maatregelen is het heel goed mogelijk om de afvoer van het Drents Plateau te vertragen. Bij begrenzing van afvoeren worden de pieken over een langere tijd uitgesmeerd. Bijvoorbeeld eind oktober 1998, was er een kleine week een hoge afvoer. Door het begrenzen van de afvoer is die dan uitgesmeerd over een periode van ca. 2,5 week. Een nadere analyse van de waterhoeveelheden die de boezem inkomen is nodig om vast te stellen in hoeverre de vertraging van de afvoer uit de Drentse Beken de wateroverlast problematiek rond Groningen kan verlichten.

5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Het SIMGRO model is opgezet voor een gebied van 120.000 ha, hiervan is het eigenlijke interessegebied ca. 75.000 ha groot. In dit onderzoek is de nadruk komen te liggen om de beekafvoeren en grondwaterstanden zo goed als mogelijk te berekenen. Van de beken van het Drentsche Aa systeem wordt nog voor het Rolderdiep een iets te hoge afvoer berekend. Het Deurzerdiep en de beken die hierin uitkomen (Amer- en Anreepdiep) geven betere resultaten voor de afvoer te zien (bijlage 3). Voor het Peizer en Eelderdiep zijn de verschillen groter, voor 3 locaties is de berekende afvoer lager dan de gemeten. Dit verschil zou kunnen worden veroorzaakt door een onderschatting van de waterinlaat uit de Drentse kanalen. Ook de onnauwkeurigheid van de afvoermetingen zou een rol kunnen spelen bij dit verschil. Voor deze beken wordt de basisafvoer goed berekend, maar zijn de afvoerpieken soms te laag.

De verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden zijn over het algemeen klein. Dichtbij de waterlopen komen veel buizen voor waar de berekende grondwaterstand minder dan 30 cm afwijkt. Verder van de beken af zijn er punten waar de berekende grondwaterstand meer afwijkt. De betrouwbaarheid van het model is voldoende om hiermee de effecten van maatregelen inzichtelijk te maken.

Om water bovenstrooms vast te houden is in eerste instantie gekozen voor toepassen van knijpduikers en het verondiepen van waterlopen. Knijpduikers begrenzen de afvoer tot een zekere bovengrens en bij verondiepen lopen de naast gelegen landerijen onder en wordt door de waterberging, ofwel meestromende water berging, de afvoer beperkt. Deze twee maatregelen zijn toegepast in de deelstroomgebieden van het Amer-, Anreep en Peizerdiep. Knijpduikers beperken de piekafvoeren met ca. 25-50%. Bij verondiepen is de afname in piekafvoeren in de orde van ca. 5-20%. Het effect van verondiepen op de piekafvoer is dus minder groot dan bij het toepassen van knijpduikers.

De effecten op de oppervlakte overstroomd land en de gemiddelde voorjaars-grondwaterstand (GVG) verschillen ook per ingreep. Waar bij knijpduikers direct stroomopwaarts van de duikers de oevers onderlopen, is dit effect bij verondiepen meer verspreid langs de beken. Dus om wateroverlast benedenstrooms te verminderen zal meer wateroverlast bovenstrooms geaccepteerd moeten worden.

Voor de landbouw en natuur zijn de verdrogende of vernattende effecten berekend. Bij verondiepen is er een verhoging van de GVG in de nabijheid van de beken waar te nemen. Dit heeft op de natuur voornamelijk een positief effect. De natuurdoeltypen komen beter tot hun recht, omdat zonder ingreep te droge omstandigheden bestonden. Voor landbouw betekent de verhoging van de GVG vooral een verslechtering van de doelrealisatie. Voor zowel de natuur als de landbouw is met Waternood niet te bepalen wat het effect van inundatie is op de doelrealisatie.

Bij het onderzoeken van mogelijke ingrepen is ook gekeken naar de rol die natuurlijke laagtes in het studiegebied kunnen spelen bij het vertragen van de afvoer. Uit eerste berekeningen blijkt dat er een kleine bijdrage te verwachten is door het vasthouden van water in deze laagten.

Aanbevelingen

De hydrogeologie van het gebied is zeer complex. Vooral de grillige verbreiding van slechtdoorlatende keileem, maakt het moeilijk om een goede schatting te geven van de dikte en doorlatendheid van de keileemlaag. Omdat het modelgebied relatief groot is, 120.000 ha, is de kans groot dat de modeluitkomsten voor delen van het gebied afwijkingen vertonen t.o.v. de waargenomen gegevens. Om het model te verbeteren kan de recent verbeterde hydrogeologische gegevens van NITG-TNO gebruikt worden (REGIS II). In dit vervolgonderzoek zal ook onderzocht moeten worden of de hydrogeologische opbouw van de Hondsrug er voor zorgt dat een deel van het neerslagoverschot dat hierop valt naar de Hunze afstroomt en niet naar het Rolderdiep en de Drentsche Aa.

In dit onderzoek is met Waternood gekeken in hoeverre de doelrealisaties van natuur en landbouw gehaald worden. Omdat het schaalniveau van de in kaart gebrachte natuurdoeltypen relatief groot is, zijn de uitkomsten voor natuur niet optimaal. Dit kan nog verder verbeterd worden door de onderscheiden natuurdoeltypen op een kleiner schaalniveau in kaart te brengen. Ook kan in Waternood het effect van inundatie op natuur en landbouw niet bepaald worden. Dit zou een completer beeld geven van de mogelijke effecten.

Bij het toepassen van de maatregel om de afvoer te begrenzen, is er in dit onderzoek voor gekozen om de afvoer die gemiddeld 1 maal per jaar optreedt, nog ongestoord af te voeren. Bij extreme situaties, zoals die in oktober 1998 hebben plaatsgevonden, is het ook denkbaar om de afvoer uit het bovenstrooms gelegen gebied te begrenzen op bijvoorbeeld niet meer dan eens per 10 of 50 jaar. Op die manier wordt er gericht gekozen om wateroverlast in benedenstrooms gelegen gebied te voorkomen, door bovenstrooms overlast toe te staan. Een nadere uitwerking en economische afweging hierbij is te overwegen.

Het vasthouden van water in de bovenlopen van de noordwest Drentse beken is heel goed mogelijk. De vertraging van de afvoer is beduidend. Een nadere analyse van de waterhoeveelheden die de boezem inkomen is nodig. Dit om vast te stellen in hoeverre de vertraging van de afvoer uit de Drentse Beken de wateroverlast rond Groningen voorkomen kan worden.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, P.E.V. van Walsum, M. Groenendijk, E.P. Querner, 2002. *Waterberging en verdrogingsbestrijding. Een nadere analyse van de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van modelberekeningen in twee stroomgebieden*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 640, 104 blz.
- Bakker, H. de, O.H. Boersma, C. Hamming, W. Heijink, P.C. Kuijer & G.G.L. Steur, 1991. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. Toelichting bij kaartblad 12 West Assen*. SC-DLO, Wageningen (ISBN 90 327 0241 6).
- Circel, D.G., E.P. Querner, P.J.J.F. Torfs & H.A.J. van Lanen, 2003. *Effecten van verdrogingsbestrijdende maatregelen en klimaatverandering op extreem hoge afvoeren. Een modelstudie met SIMGRO voor het Stortelersbeekgebied*. Wageningen, Alterra-rapport 844.
- Doppert, J.W.Ch., G.H.j. Ruegg, C.J. van Staalduin, W.H. Zagwijn & J.G. Zandstra, 1975. *Formaties van het Kwartair en Boven Tertair in Nederland. Toelichtingen bij de geologische overzichtskaarten van Nederland*. Haarlem, Rijks Geologische Dienst.
- EEA, 2001. *Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts, Environmental issue report No 21, European Environment Agency*. Copenhagen.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, J. van Os, L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel & C. Kwakernaak, 2002. *Waterkansen in het SGR2. Bouwstenen voor realisatie van de wateropgaven*. 88 pp.
- Kekem, A.J. van, T. Hoogland, J.B.F. van der Horst, 2005. *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart; werkwijze en resultaten*. Wageningen. Alterra-rapport 1080.
- Kortleve, M.W., 1989. *Regionaal geohydrologisch modelonderzoek van het stroomgebied van de Drentsche Aa. deel 1; Staatsbosbeheer, Projectgroep Hydrologie*. Utrecht. 89 pp.
- Mulder, E.F.J. de, M.C. Geluk, I.L. Ritsema, W.E. Westerhoff & T.E. Wong, 2003. *De ondergrond van Nederland*. Wolters-Noordhoff, Groningen/Houten.
- Nij Bijvank, R.A.F., J.M.J. Farjon, L.N. Noorman, K. Nieuwert en K.R. de Poel, 1998. *Horizonverkenning Noord - Nederland : een scenariostudie voor het landelijk gebied van Groningen, Friesland en Drenthe in 2030*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 548.

Projectgroep Waterlood, 1998. *Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater*. Utrecht, DLG-publicatie 1998/2.

Querner E.P. & P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO*. Wageningen, DLO Winand Staring Centre. Report 7.44 pp

Rakhorst, M. 2005. *Reductie van de piekafvoer in de noordwest-drentse beken; bepaling effecten van ingrepen, gesimuleerd met SIMGRO*. WUR, *Afstudeeronderzoek Hydrologie en Kwantitatief waterbeheer*. Mei 2005: pp. 118.

Schipper, P.C. & J.G. Streefkerk, 1993. *Van stroomdal naar droombdal, integratie van hydrologisch en oecologisch onderzoek ten behoeve van het beheer in de Drentse Aa*. Afdeling terreinbeheer, Staatsbosbeheer.

Spek, T., 2004. *Het Drentse esdorpenlandschap; een historisch-geografische studie*.

STOWA, 2002. *Functieafweging op basis van doelrealisatie en waardering*. Rapportnummer 2002-31, Utrecht.

STOWA, 2003. *Instrumentarium Waterlood*. Rapportnummer 2003-35, Utrecht.

Streefkerk, J.G., 1985. *Hydrologische ingrepen in het stroomgebied van de Drentse Aa en de gevolgen voor het landschapsreservaat "Stroomdallandschap Drentse Aa"*.

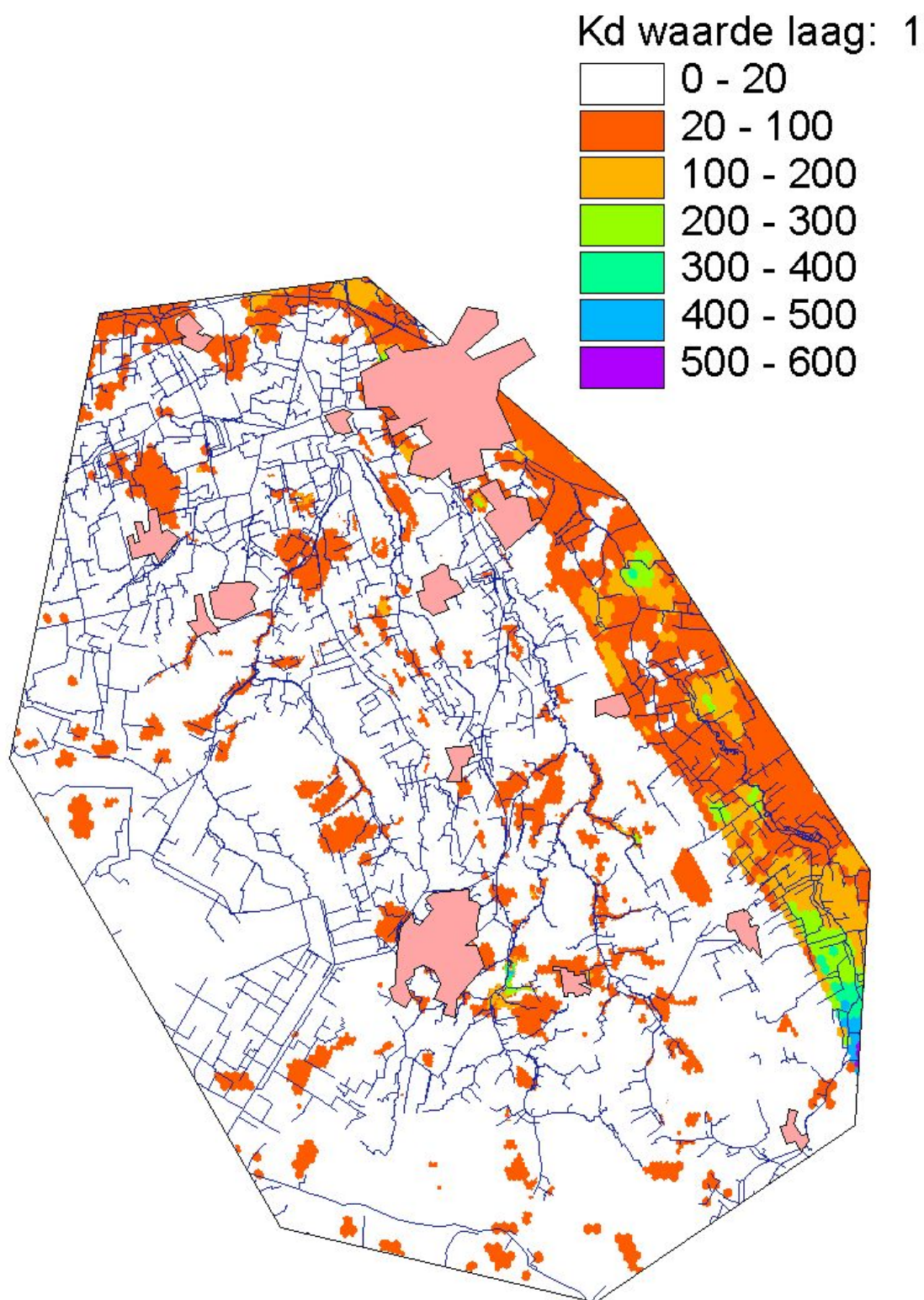
Stuurgroep Water 2000+, 2002. *Stroomgebiedsvisie Groningen/Noord- en Oost-Drenthe*.

Walsum, P.E.V. van, 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 5.0.1, Theorie and model implementation*. Wageningen, Alterra. Alterra-Report 913.1. 96 pp.; 28 figs.; 2 tables; 50 refs.

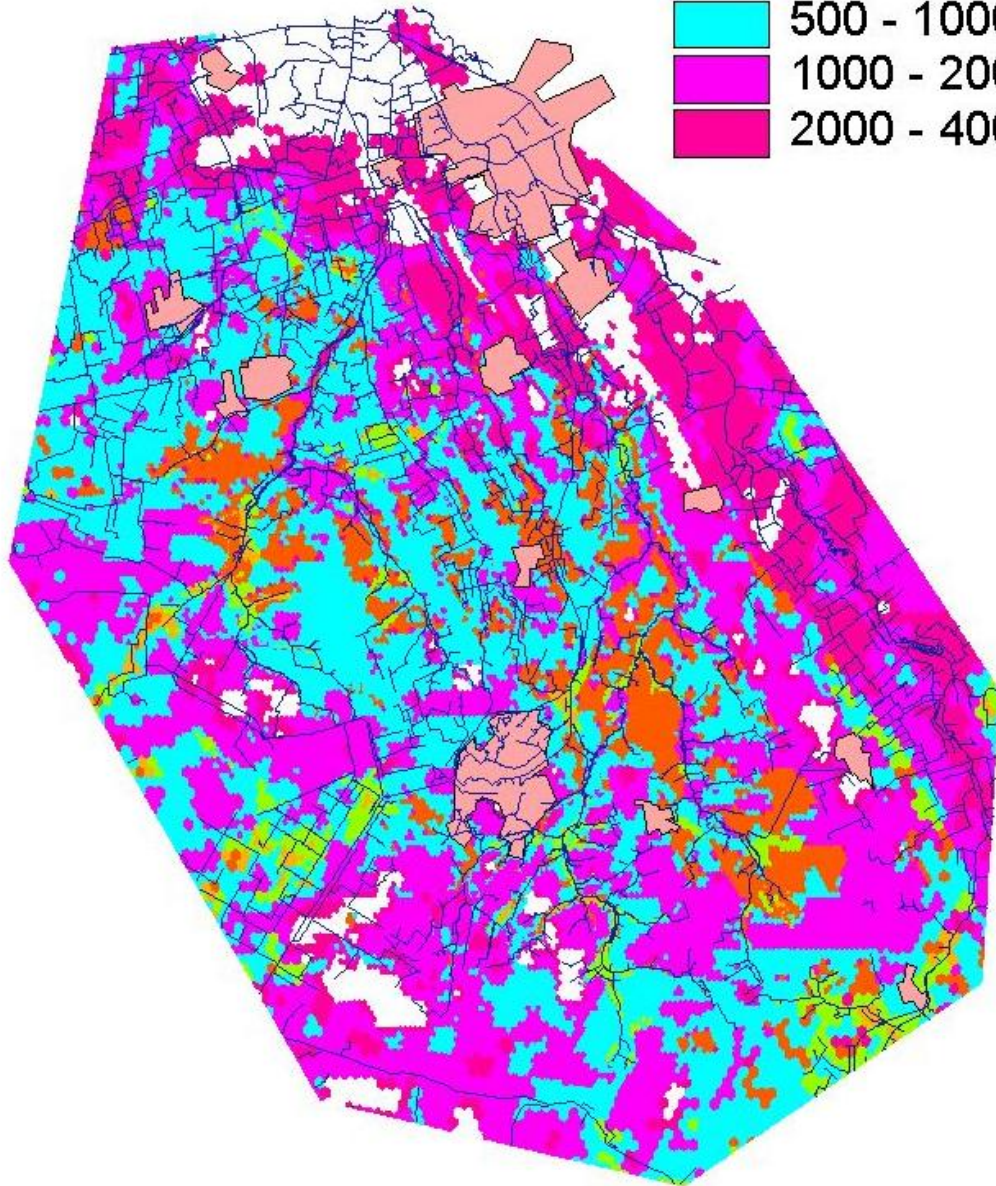
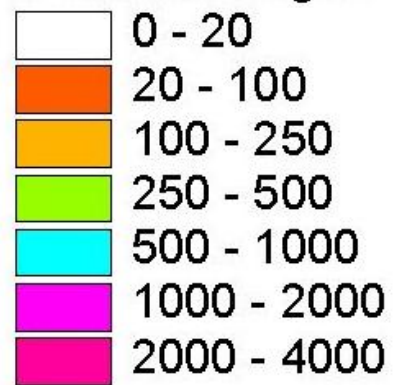
WB21, 2000. *Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw*.

Werkgroep herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch vademecum*. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.

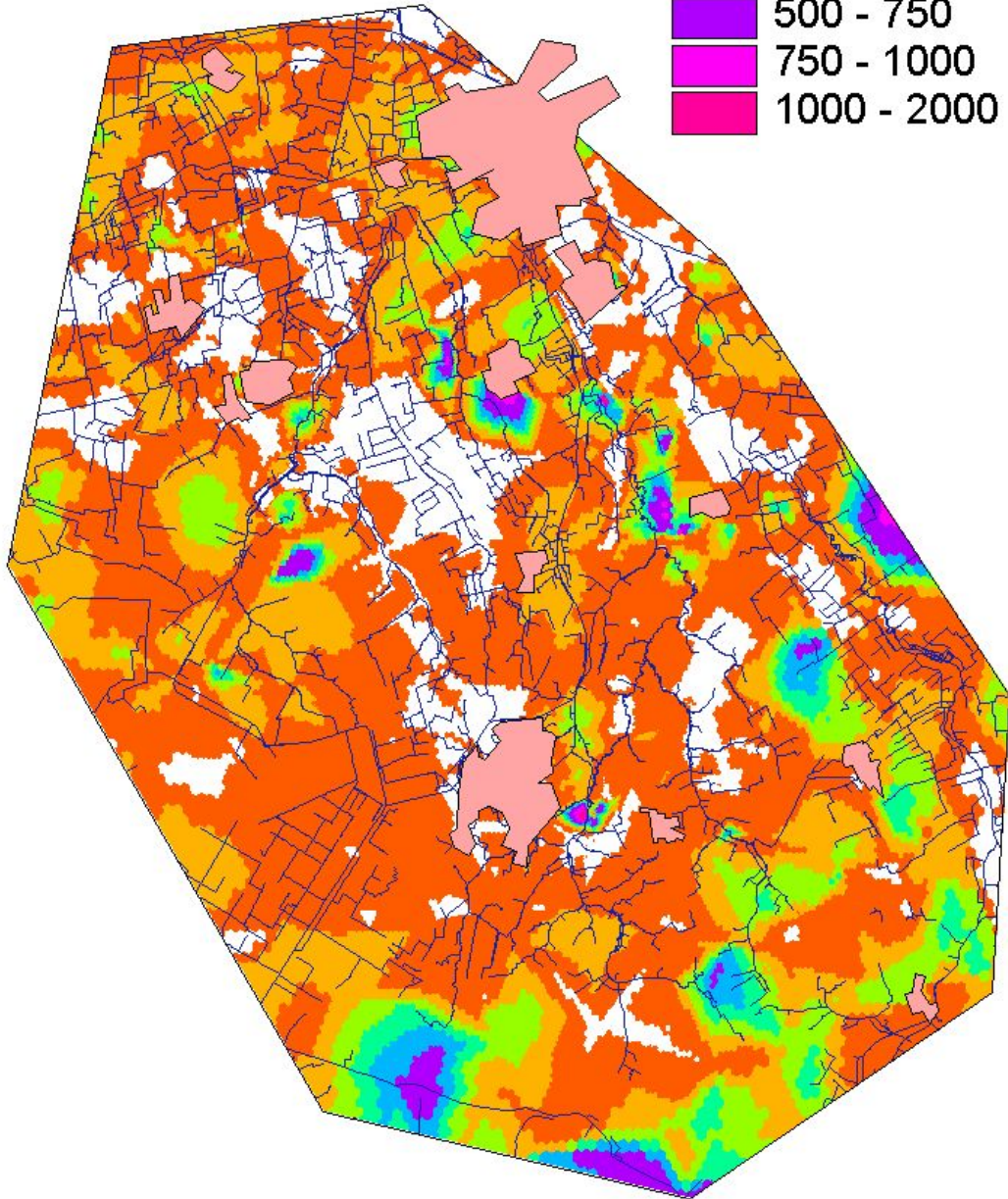
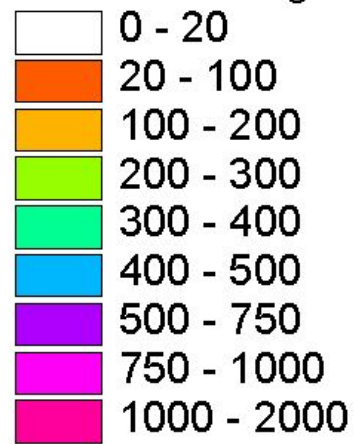
Bijlage 1 Kaartbeelden kD en c-waarden per laag (laag 2 kaart nieuw)



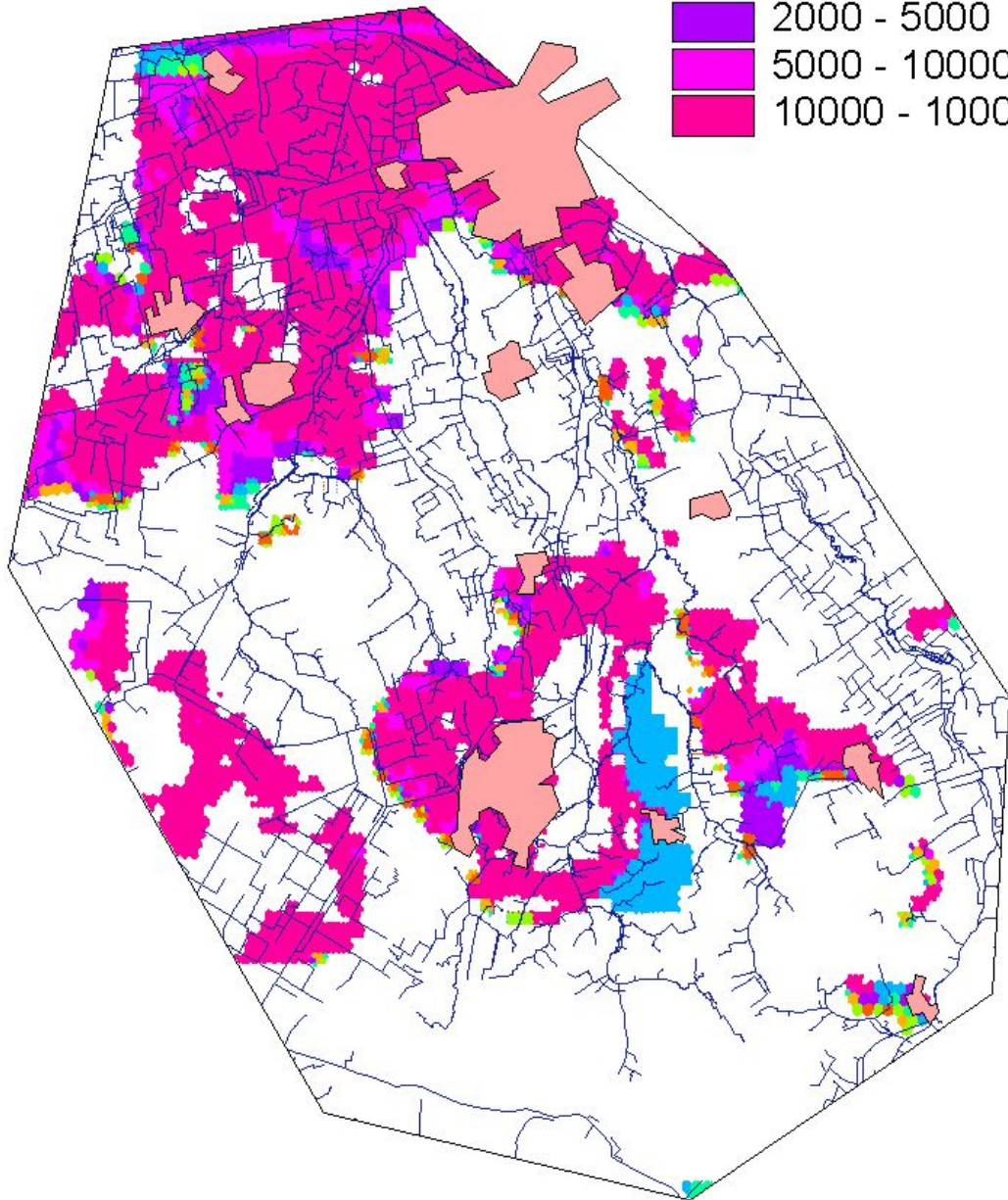
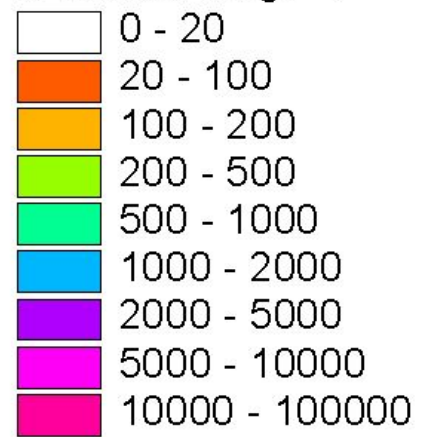
C waarde laag: 2



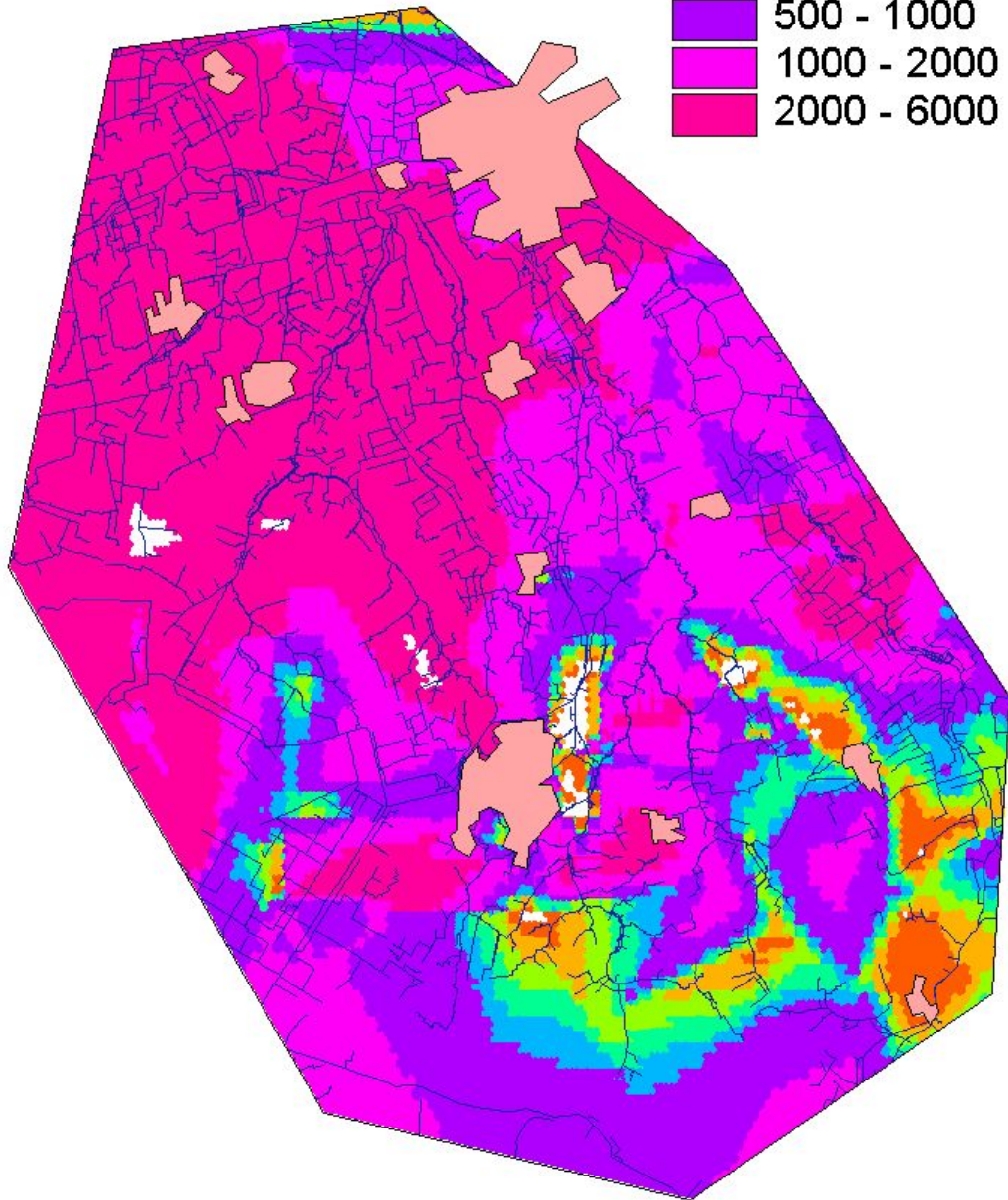
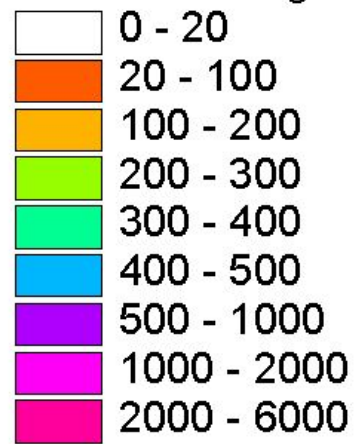
Kd waarde laag: 3



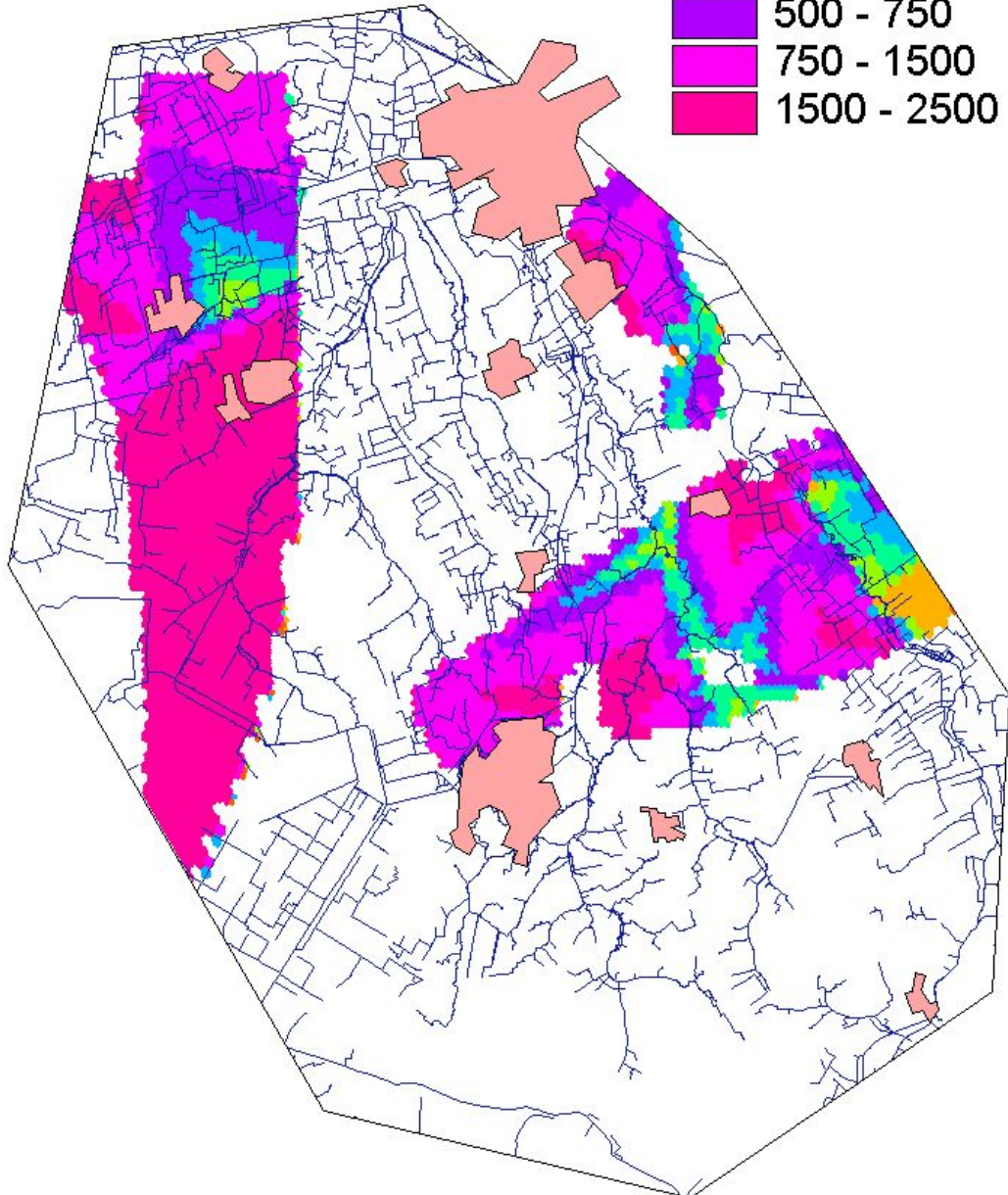
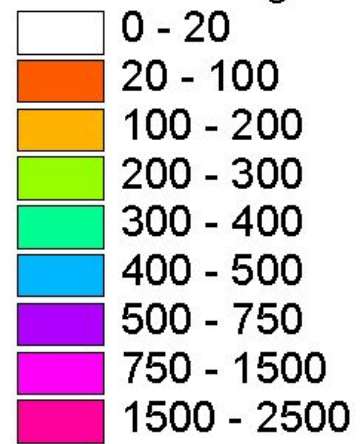
C waarde laag: 4



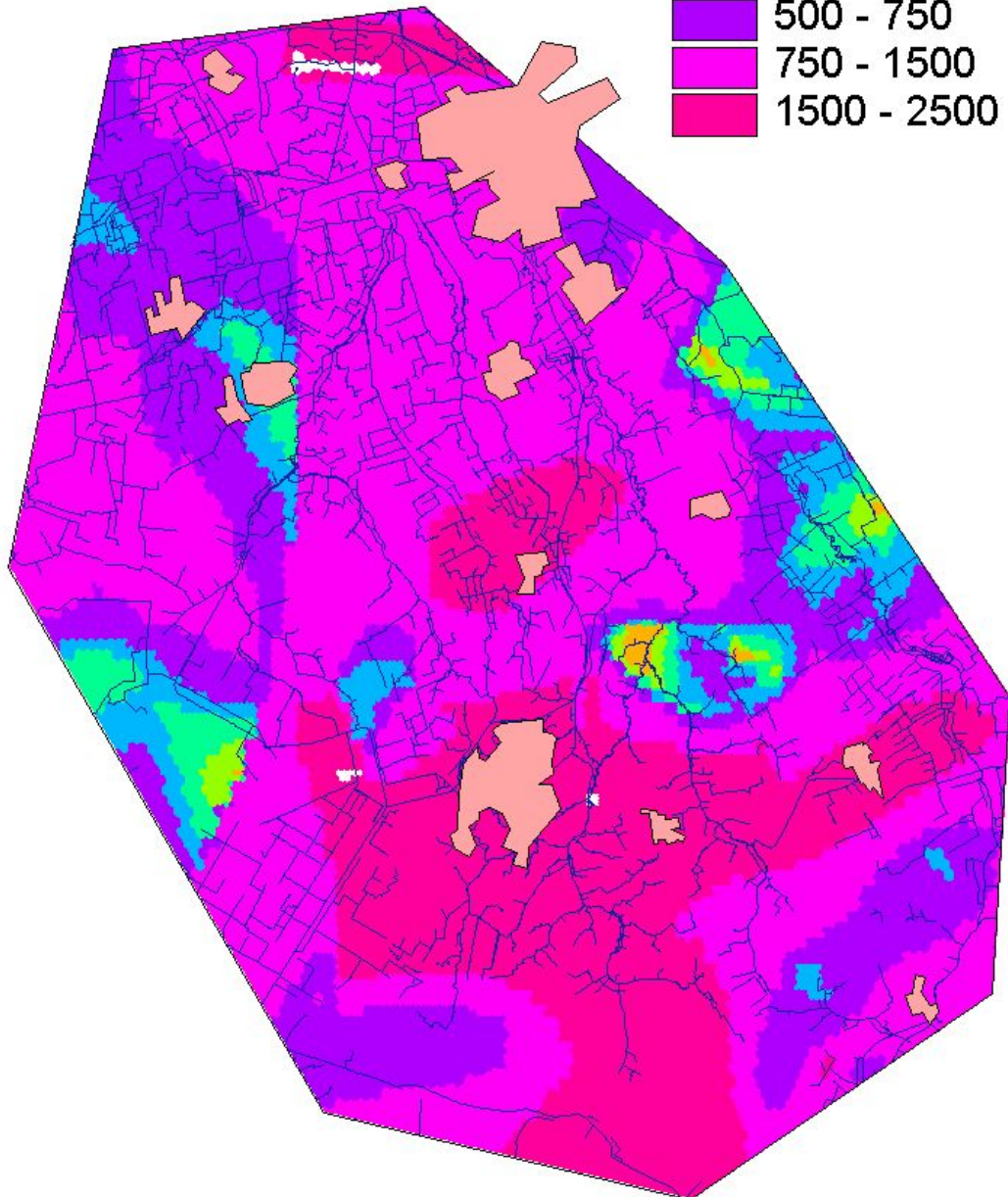
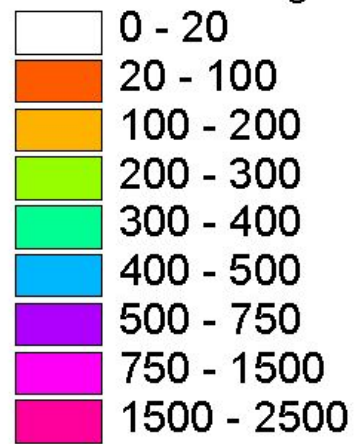
Kd waarde laag: 5



C waarde laag: 6



Kd waarde laag: 7

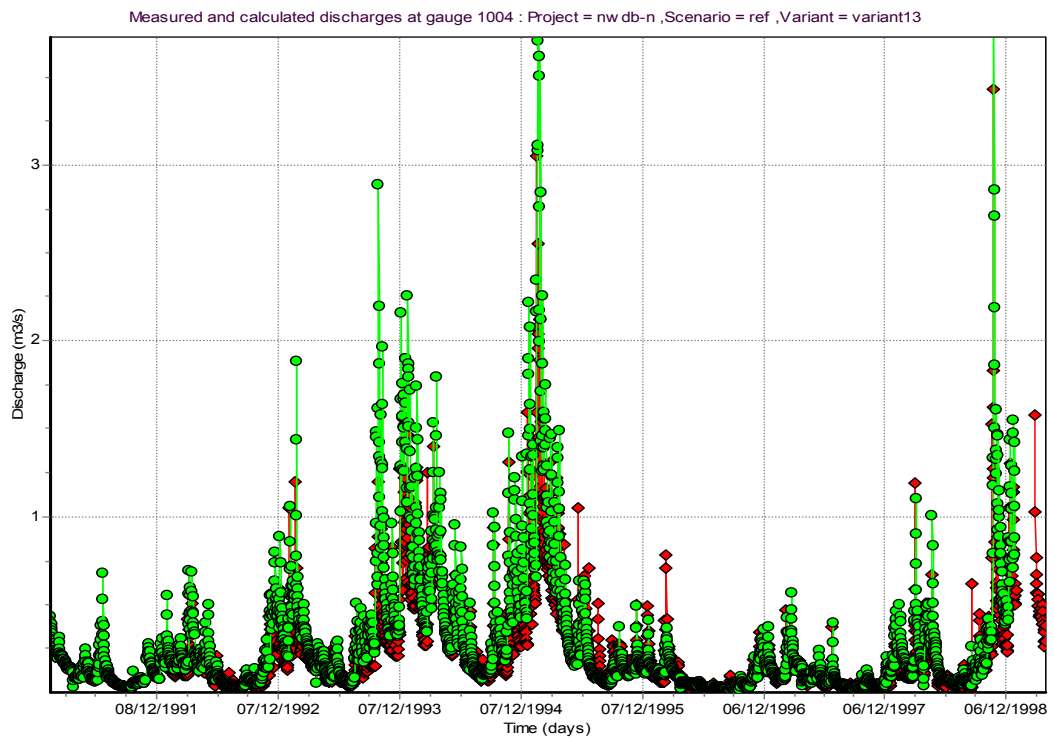


Bijlage 2 Meetlocaties afvoeren en waterstanden

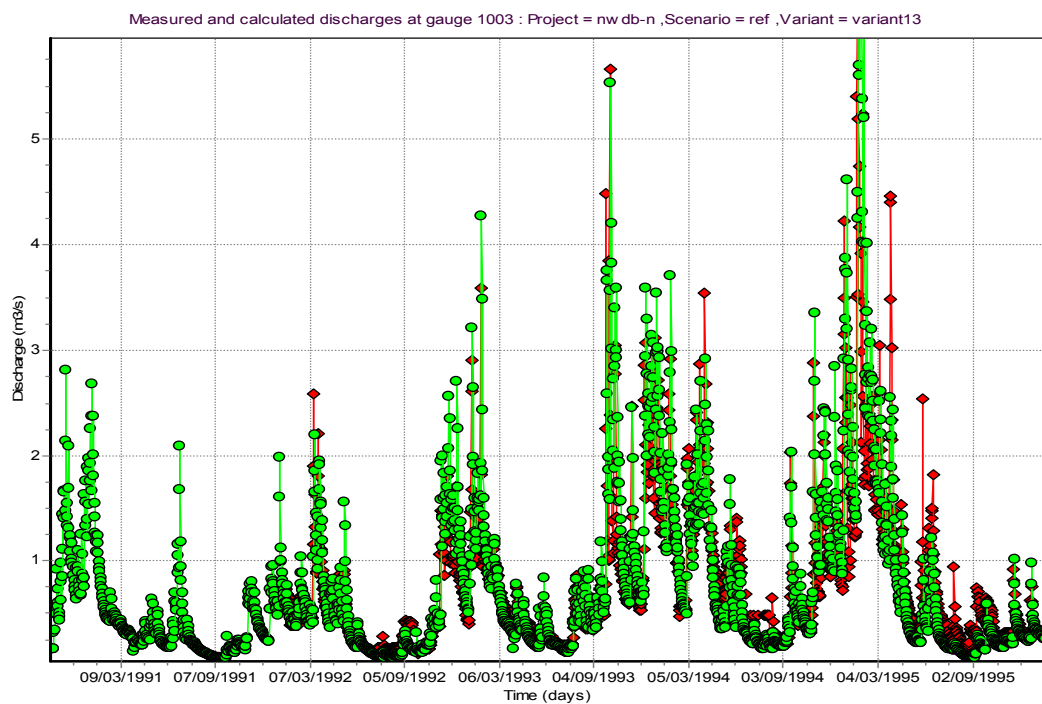
Afvoer meetpunt	Meetperiode
Schipborg	01-01-1977 t/m 18-11-2003
Amerdiep *)	15-01-1992 t/m 31-12-1995
Anreepdiep	13-03-1998 t/m 18-11-2003
Rolderdiep	16-01-1992 t/m 29-09-1999
Deurzerdiep (Loon)	01-01-1990 t/m 15-12-1999
Lieveren bij vistrap in Peizerdiep	16-11-1972 t/m 25-11-1996
Maslout (Boerelaan)	05-01-1973 t/m 18-01-1994
Eelderdiep (Bunne)	01-01-1990 t/m 08-04-1994
Oosterloop (Eelde)	15-11-1972 t/m 08-01-1997
Waterstanden	
Leekstermeer	01-01-2000 t/m 31-12-2003
Noorderhoogebrug (v. Starckenborgh k.)	01-01-1993 t/m 31-12-2003

*) Meetpunt Amerdiep is vanaf het jaar 1997 niet representatief, omdat de vispassage (als onderdeel van de verbinding Drentsche Aa (Loon) naar Holmers Halkenbroek) deels de transportfunctie van de Amerdiep overneemt. Hierdoor is de gemeten afvoer lager (bron: Jaap van Roon, DLG, Assen).

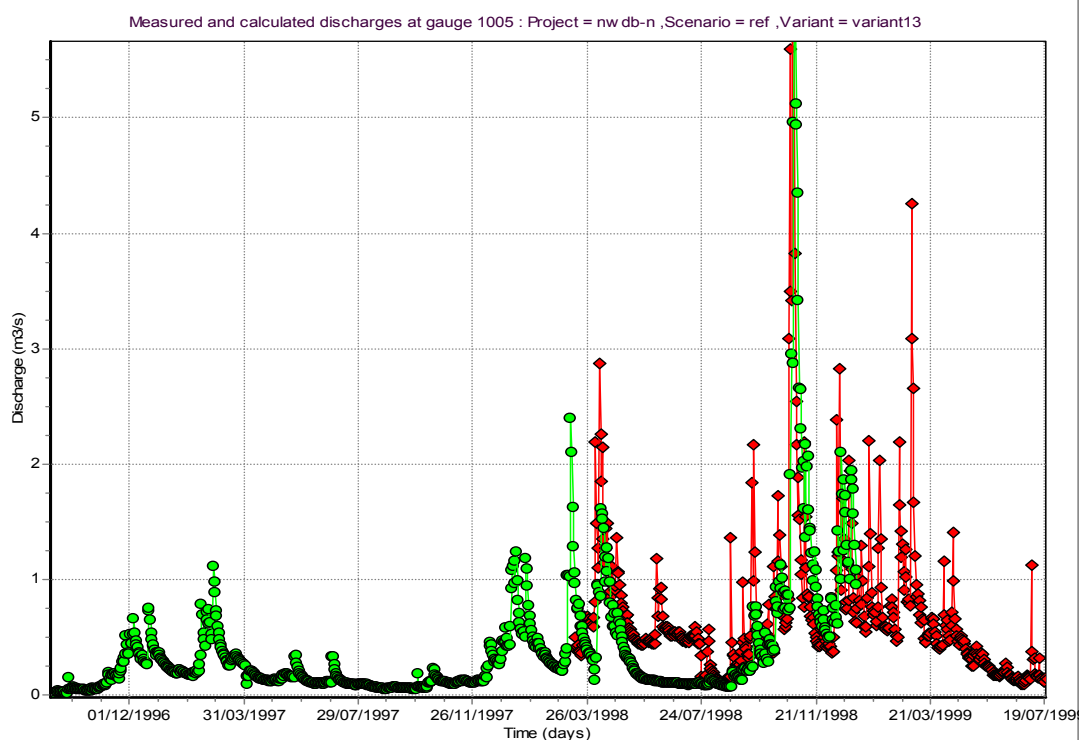
Bijlage 3 Gemeten en berekende afvoeren



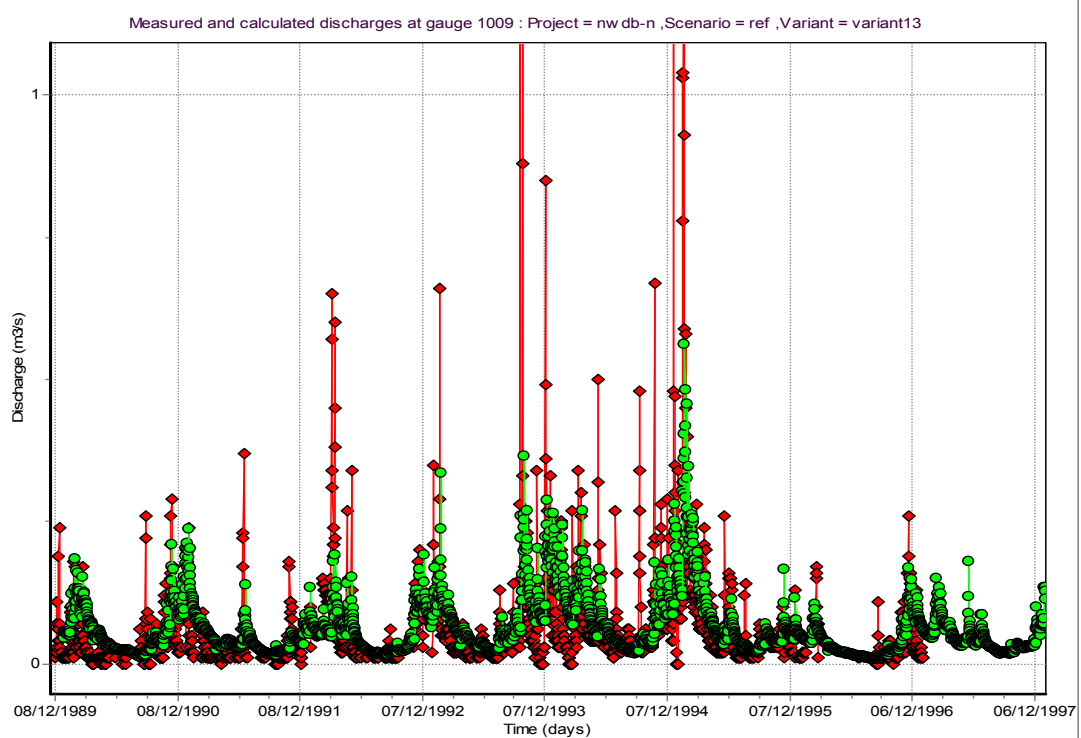
Rolderdiep



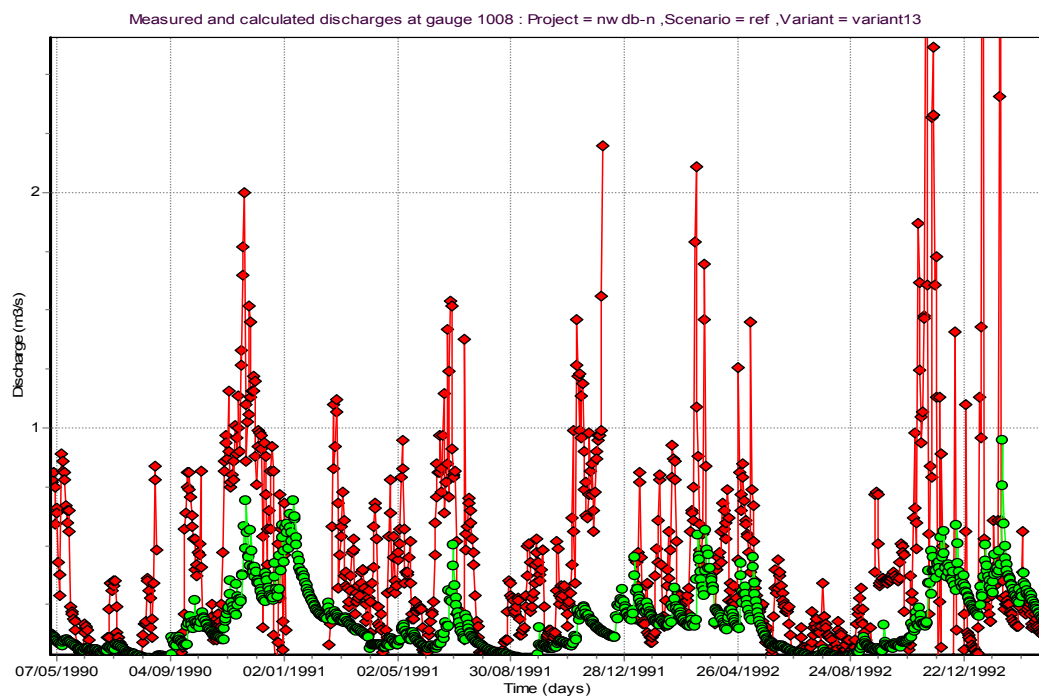
Amerdiep



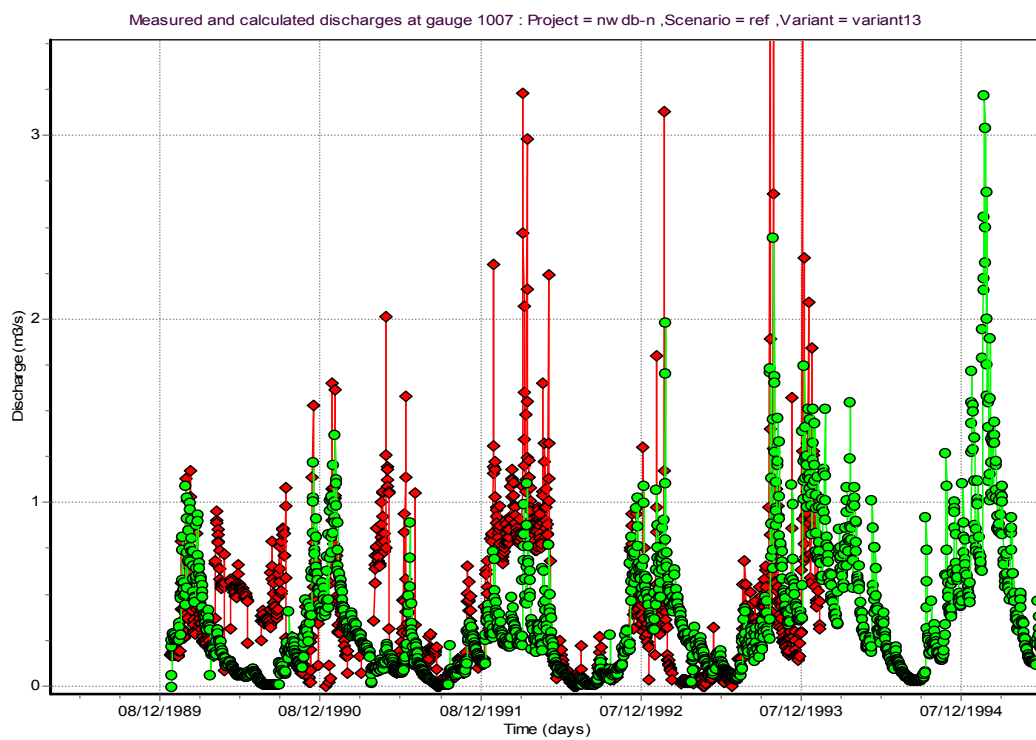
Anreperdiep



Oosterloop, Eelde



Eelderdiep, Bunne



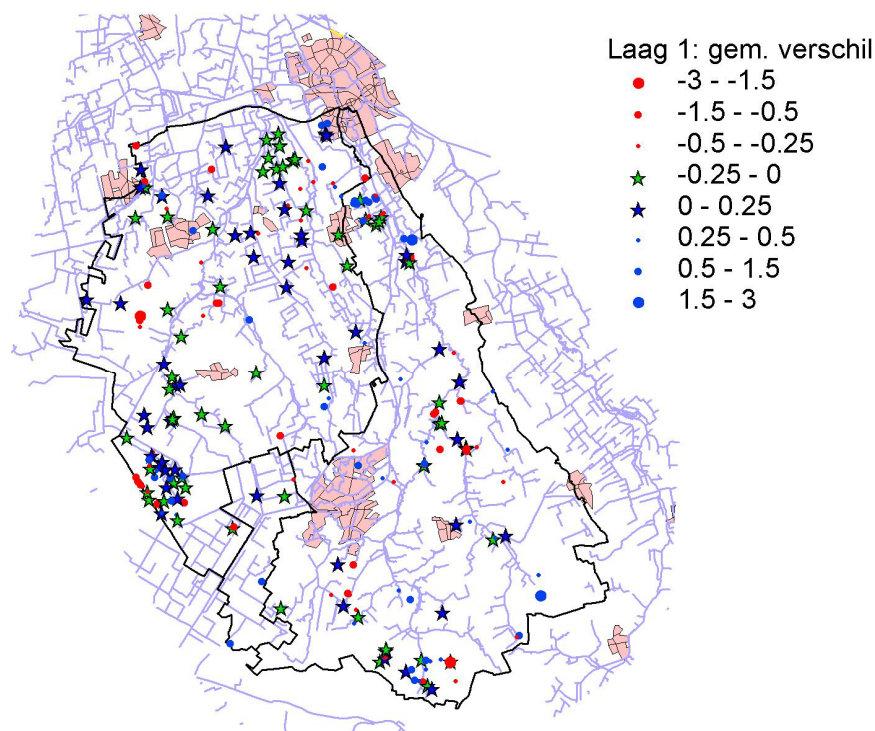
Matsloot

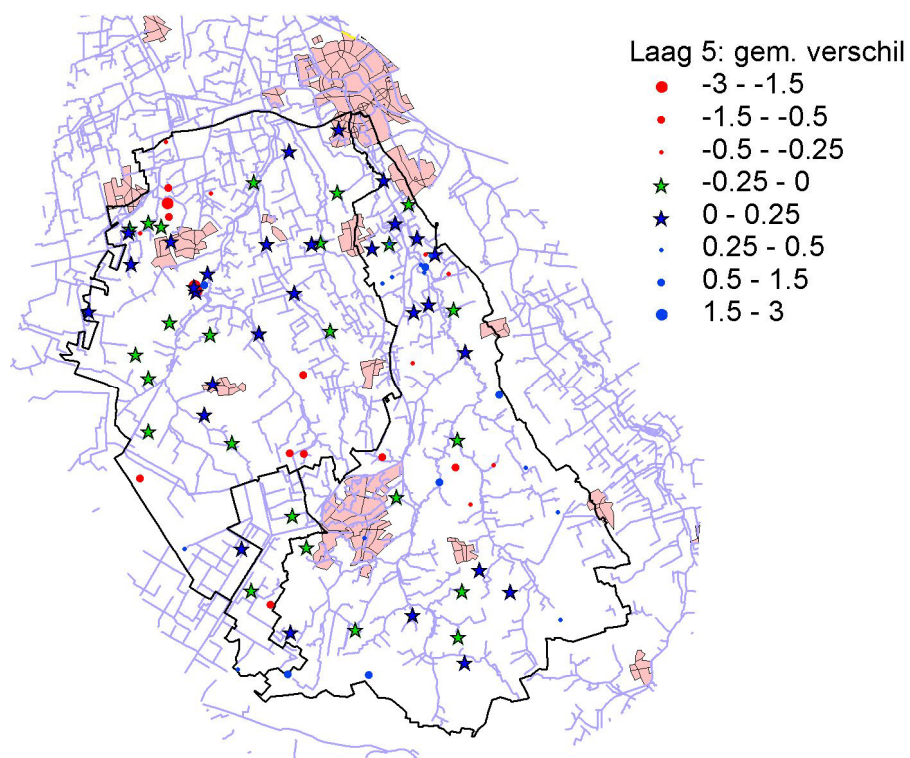
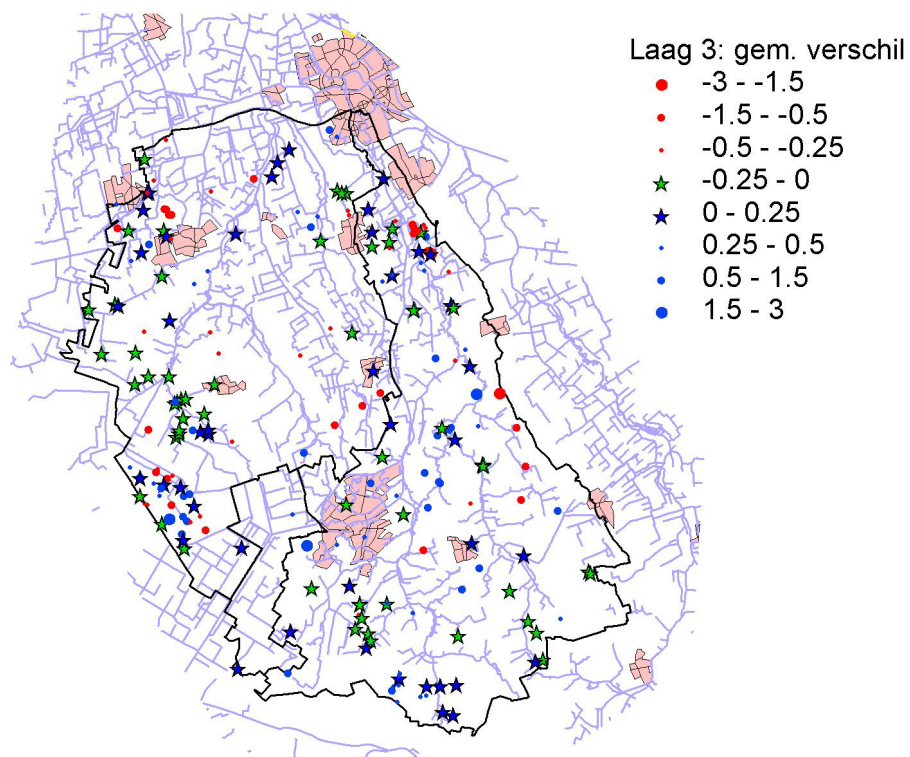
Bijlage 4 Verschil tussen gemeten en berekende grondwaterstanden

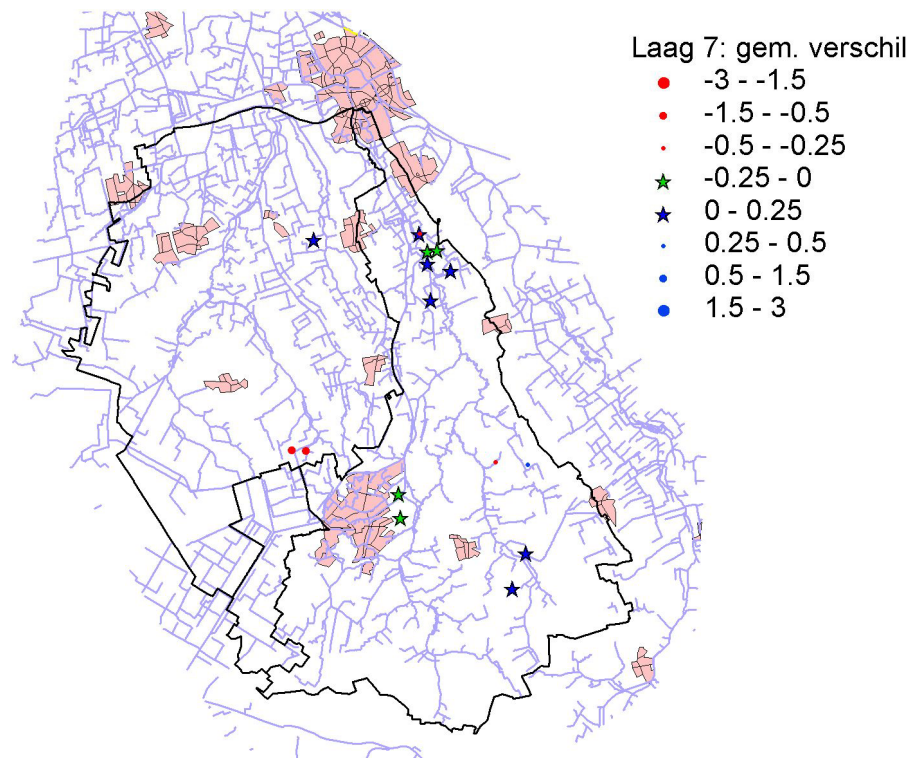
In de volgende 4 kaarten is het verschil weergegeven tussen gemeten en berekende grondwaterstanden. De afwijking van de berekende grondwaterstand t.o.v. de gemeten grondwaterstand is negatief bij te lage waarden (rood), positief bij te hoge waarden (blauw). Het betreft hier het verschil tussen de gemiddelde standen.

In onderstaande tabel is aangegeven het aantal peilbuizen waarvoor het verschil tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden kleiner is dan 0,5 en ook kleiner is dan 0,25 m.

Laag nr.	Aantal peilbuizen waarbij het verschil kleiner is dan de range		Totaal aantal buizen
	Verschil gemeten en berekende < 0,5 m	< 0,25 m	
1	239	145	332
3	186	115	256
5	114	94	176
7	24	18	30

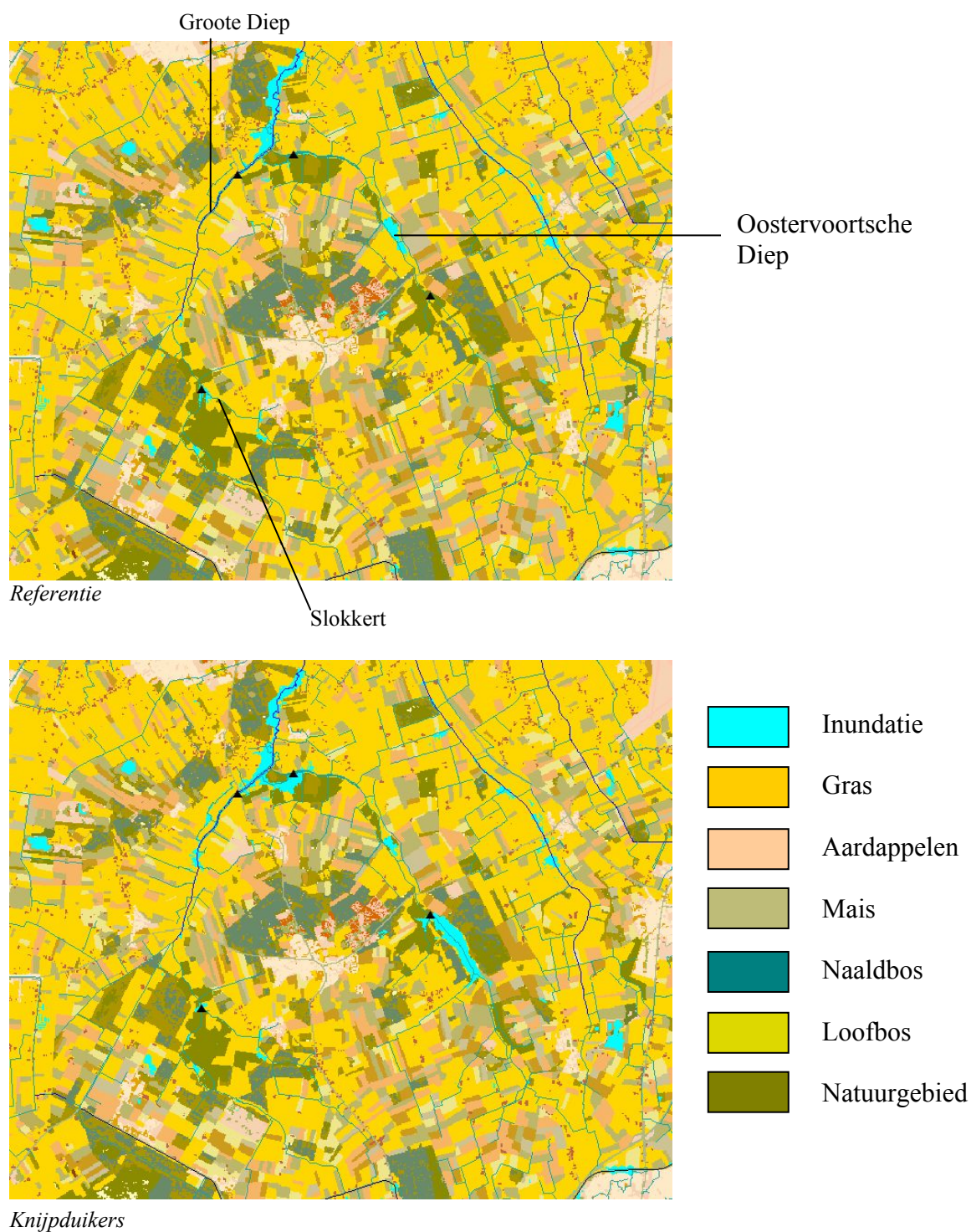


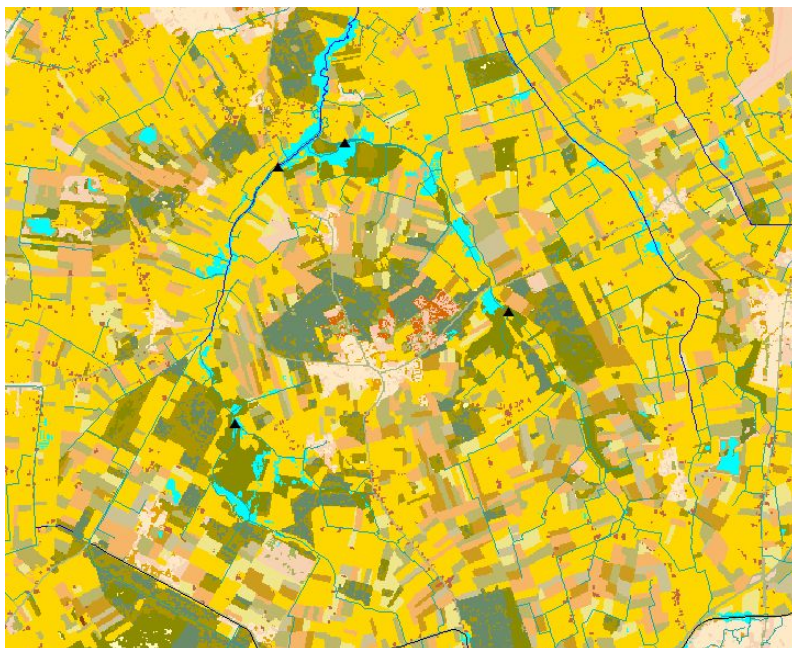




Bijlage 5 Inundatie in studiegebied op 29 oktober 1998

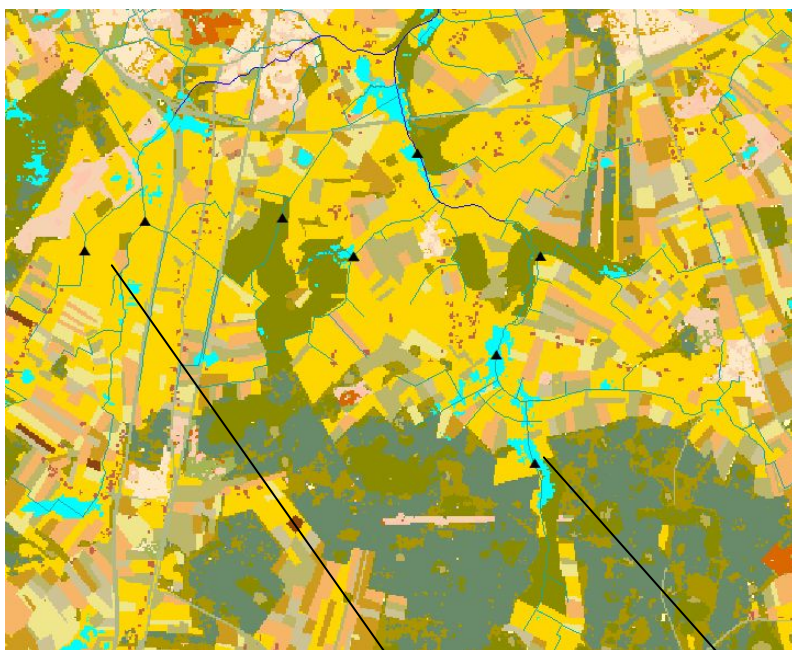
Inundatie bij Slokkert, Groote Diep en Oostervoortsche Diep op 29 oktober 1998





Verondiepen

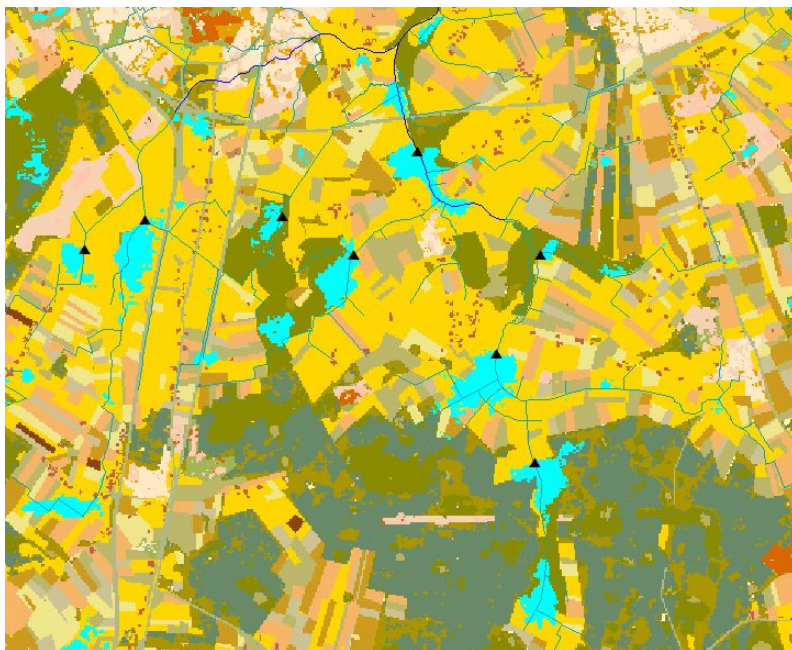
Inundatie Amer- en Anreepdiep op 29 oktober 1998



Referentie

Anreepdiep

Amerdiep

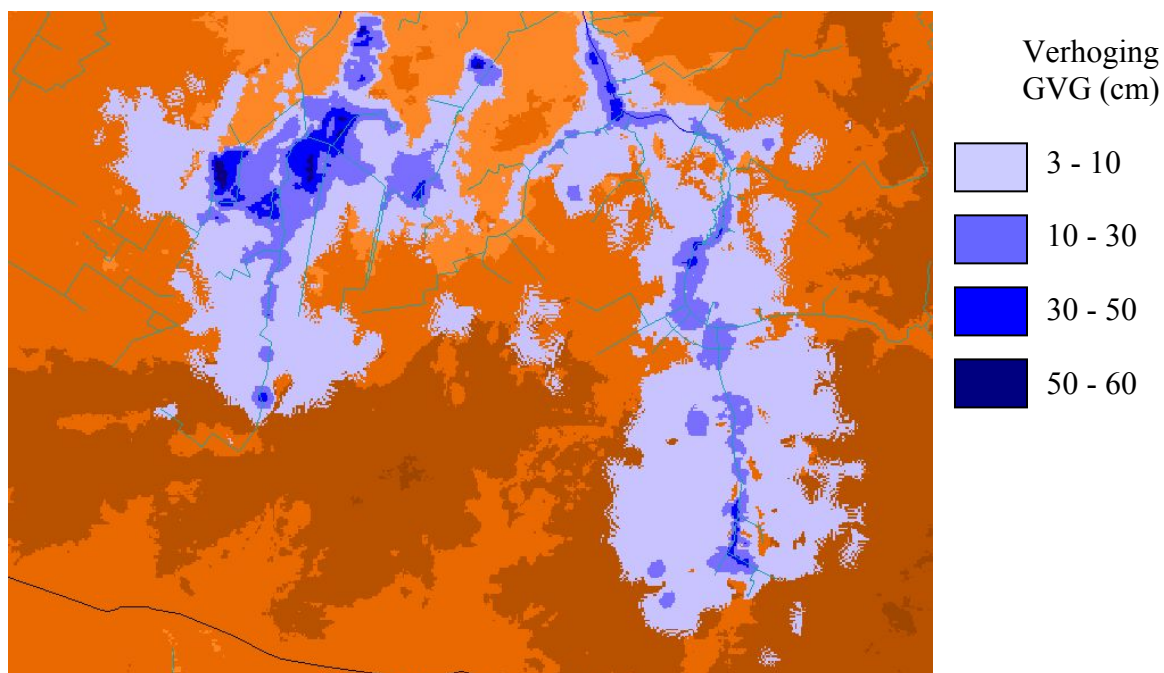


Knijpduikers

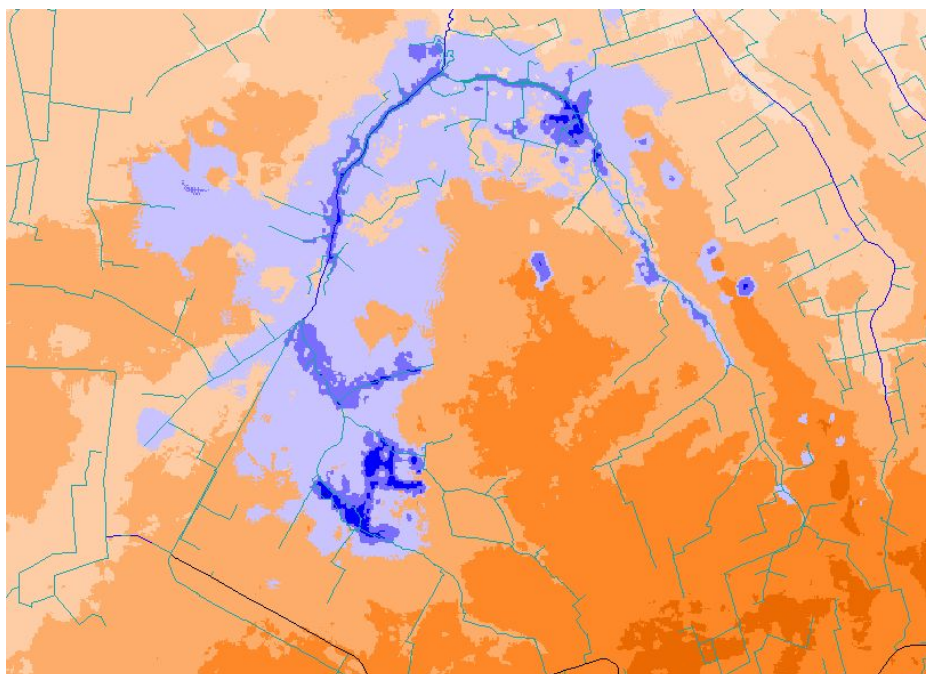


Verondiepen

Bijlage 6 Verhoging GVG als gevolg van verondiepen

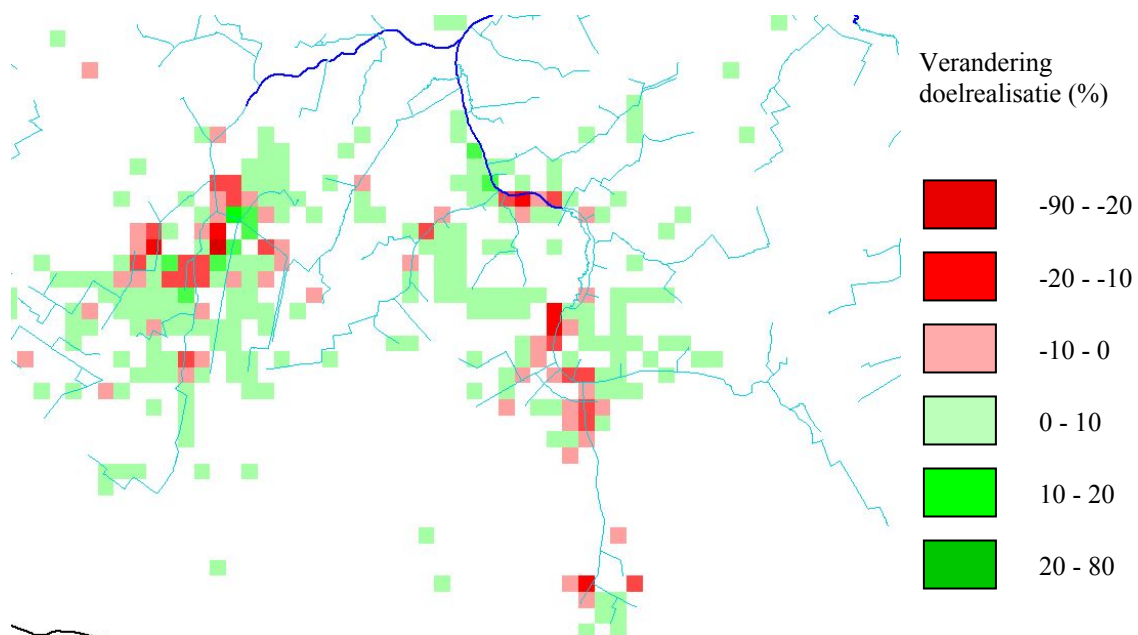


Figuur A 6.1. Verhoging GVG in omgeving Amer- en Anreepolder.

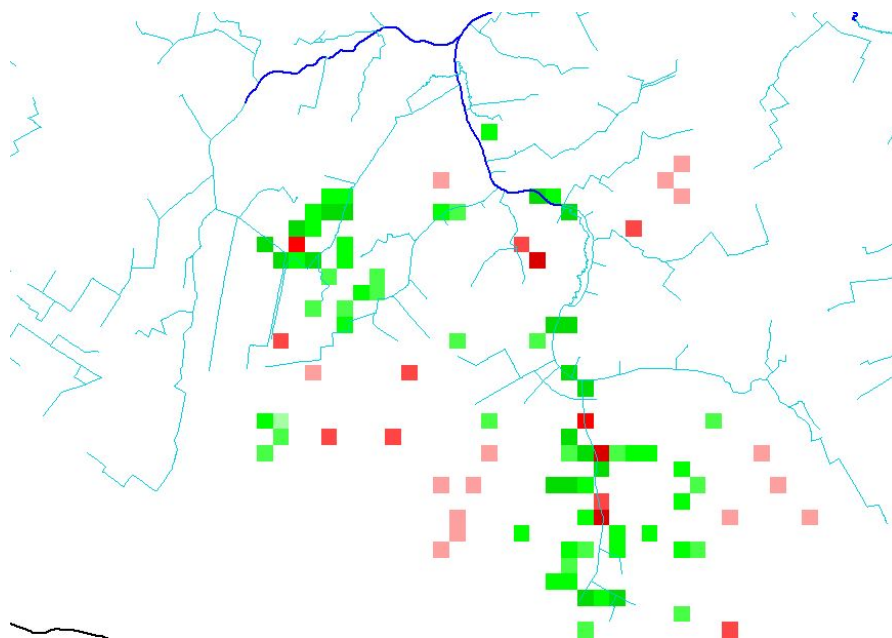


Figuur A 6.2. Verhoging GVG in omgeving Slokkert, Groote Diep en Oostervoortsche Diep.

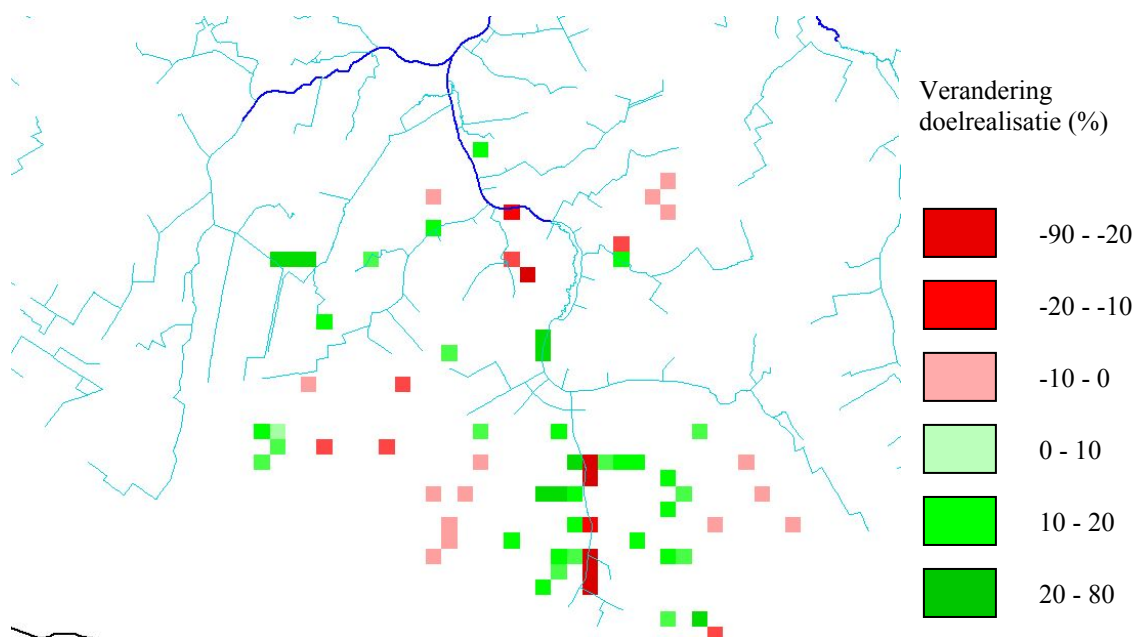
Bijlage 7 Effect van verondiepen op landbouw en natuur in stroomgebied van Amer- en Anreepdiep



Figuur A 7.1. Verschil in doelrealisatie landbouw.

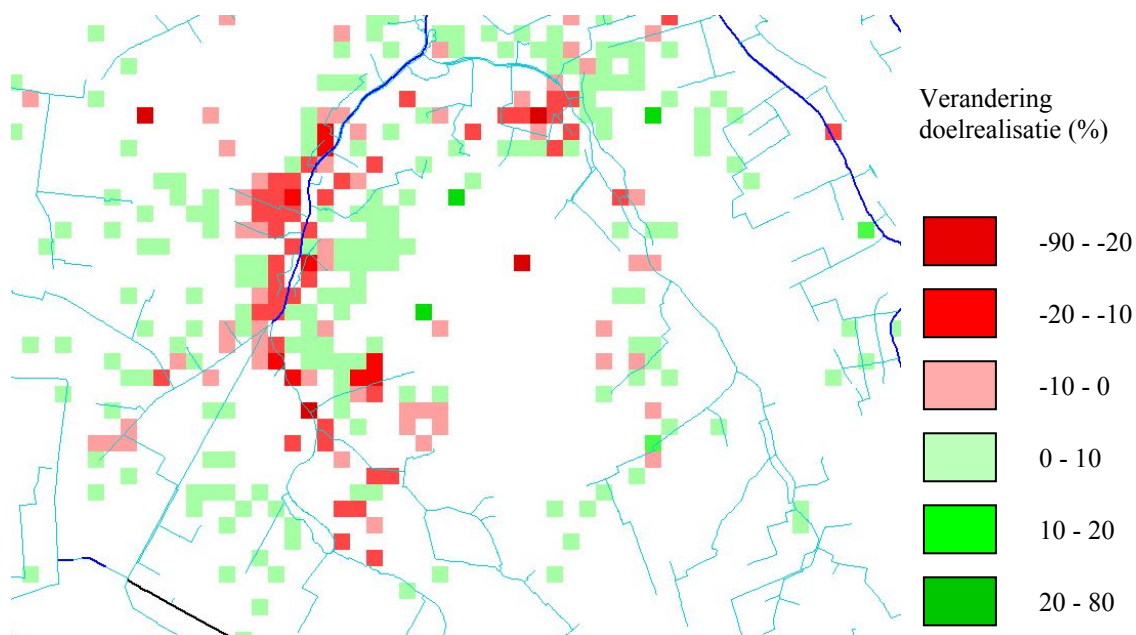


Figuur A 7.2. Verschil in doelrealisatie natuur bij natte variant natuur.



Figuur A 7.4. Verschil in doelrealisatie natuur bij droge variant natuur.

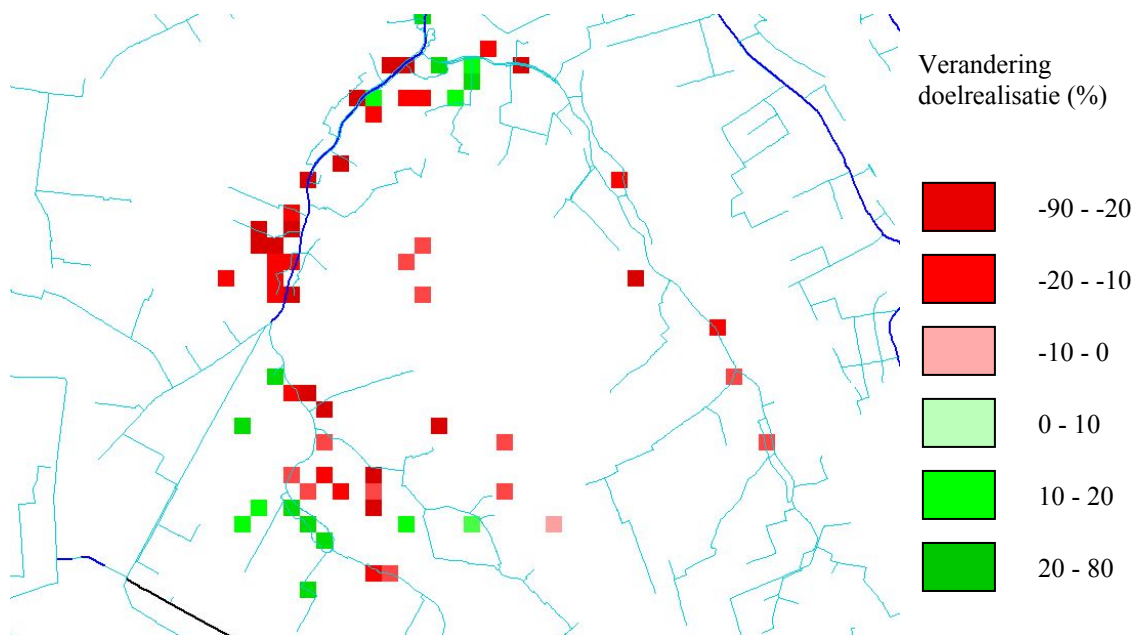
Bijlage 8 Effect van verondiepen waterlopen op landbouw en natuur in gebied Slokkert, Groote Diep en Oostervoortsche Diep



Figuur A 8.1. Verschil in doelrealisatie landbouw.



Figuur A 8.2. Verschil in doelrealisatie natuur met natte variant natuur.



Figuur 8.3. Verschil in doelrealisatie natuur met droge variant natuur.