

Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden

Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld

P.C. Jansen
E.P. Querner
C. Kwakernaak



Alterra-rapport 1516, ISSN 1566-7197



Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden

In opdracht van Bsik-programma Leven met Water (project P1006 Waarheen met het Veen?) en BO-01 Vitaal Landelijk Gebied.

Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden

Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld

P. C. Jansen

E.P. Querner

C. Kwakernaak

Alterra-rapport 1516

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak, 2007. *Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden; Een scenariostudie in het gebied rond Zegveld.* Wageningen Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1516. 86 blz.; 43 fig.; 17 tab.; 32 ref.

De maaiveldhoogte van de voor Nederland kenmerkende veenweidegebieden daalt in rap tempo als gevolg van oxidatie van veen door ontwatering. Regelmatig moeten slootpeilen worden aangepast en worden er onderbemalingen ingesteld om voldoende drooglegging voor landbouw te bewerkstelligen. Om de veengebieden te behouden zal de huidige wijze van drooglegging moeten worden aangepast. In deze scenariostudie zijn verschillende peilstrategieën en klimaatscenario's doorgerekend om effecten op de snelheid van maaivelddaling en de consequenties voor waterafvoer en -inlaat en waterkwaliteit te kwantificeren. Ook zijn de kansen van ander peilbeheer voor natuurontwikkeling bepaald.

Trefwoorden: Groene hart; klimaat, maaivelddaling, onderwaterdrains, peilstrategie, veen, veenoxidatie, veenweide

ISSN 1566-7197

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

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Probleemstelling en doelstelling van het onderzoek	13
1.3 Opzet van het onderzoek	14
1.4 Leeswijzer	15
2 Beschrijving van het onderzoeksgebied	17
2.1 Ligging	17
2.2 Geologie en geohydrologie	17
2.3 Ontwikkeling van bodem en landschap	19
2.4 Waterhuishouding	22
3 Werkwijze	25
3.1 Schematisatie van SIMGRO	25
3.1.1 Ruimtelijke discretisatie	25
3.1.2 De ondergrond	26
3.1.3 Het oppervlaktewatersysteem	28
3.1.4 De onverzadigde zone	30
3.1.5 Landgebruik	30
3.1.6 Neerslag en verdamping	31
3.1.7 Drinkwaterwinning en beregening	32
3.1.8 Randvoorwaarden modelrand	33
3.2 Het referentiemodel SIMGRO	33
3.2.1 Diep grondwater	34
3.2.2 Kwel en wegzetting	36
3.2.3 Freatisch grondwater	37
3.2.4 Afvoer en aanvoer	41
3.2.5 Discussie	43
3.3 Daling van het maaiveld	46
3.4 Waterverdeling	48
3.5 Nutriënten	49
3.6 Geschiktheid voor natuur	52
3.7 Geschiktheid voor landbouw	54
3.8 Uitgevoerde analyses	54
3.8.1 Waterpeilstrategieën	54
3.8.2 Klimaatscenario's	57
4 Resultaten modelanalyses	59
4.1 Diep grondwater en kwel	59
4.2 Freatisch grondwater en maaivelddaling	59
4.3 Wateraanvoer en waterafvoer	64

4.4 Waterverdeling	65
4.5 Nutriënten	68
4.6 Geschiktheid voor natuur	70
4.7 Geschiktheid voor landbouw	71
4.8 Gevolgen van klimaatverandering	72
5 Conclusies	75
Literatuur	79

Bijlagen

1 Het oppervlaktewatermodel SIMWAT	83
------------------------------------	----

Woord vooraf

In 2004 diende een breed samengesteld consortium van partijen uit onderzoek, beleid en beheer een projectvoorstel in bij het Bsik programma ‘Leven met Water’, getiteld “Waarheen met het Veen?”. Dit initiatief kwam voort uit de zorg over een duurzaam voortbestaan van het typisch Hollands cultuurlandschap van de veenweiden met zijn kenmerkende natuur van weidevogels, plassen en moerassen.

Het waterpeilbeheer in het veenweidegebied heeft een grote invloed op de snelheid van bodemdaling, de toekomst van de landbouw, de perspectieven voor natuur en de uitstoot van broeikasgassen door oxidatie van het veen. Daarom staan keuzen in waterpeilbeheer centraal in het project “Waarheen met het Veen?”.

Het rapport dat voor u ligt bevat de resultaten van hydrologische modelberekeningen over de gevolgen van een aantal waterpeilstrategieën voor een poldergebied in de westelijke veenweiden. Gekeken is naar gevolgen van peilverhoging en vergroting van peilvakken, conform het principe ‘Functie volgt peil’, en naar gevolgen van beëindiging van de inlaat van boezemwater. Berekend zijn de gevolgen voor de grondwaterstand en de bodemdaling, de afhankelijkheid van het boezemstelsel, de waterkwaliteit, de landbouw en de natuur. Ook klimaatverandering wordt in de analyse meegenomen.

Naast hydrologisch modelonderzoek vindt in het project “Waarheen met het Veen?” ook veldexperimenteel onderzoek plaats naar de werking van zogenoamde onderwaterdrains als middel om de bodemdaling te beperken en tegelijk de mogelijkheden voor de rundveehouderij te verbeteren. In een ander deelonderzoek worden kansen en knelpunten voor natuurontwikkeling bestudeerd die ontstaan bij vernatting van veenweidegebieden. Ook vindt bestuurskundig onderzoek plaats naar mogelijkheden voor ‘adaptief management’ als strategie om te komen tot duurzame ontwikkeling in veenweidegebieden. Tenslotte wordt een kennissysteem ontwikkeld waarmee de ontwikkelde kennis goed toepasbaar wordt gemaakt in planprocessen en beleidsontwikkeling voor de veenweiden, waarin verschillende partijen participeren.

“Waarheen met het Veen?” is een onderzoeksproject van Alterra, Centrum Landbouw en Milieu, LEI, Milieu- en Natuur Planbureau, Royal Haskoning, Rijkswaterstaat / RIZA, Universiteit Utrecht en Vrije Universiteit / Instituut voor Milieuvraagstukken. Alterra fungeert als trekker van het project.

Leden van het consortium van het project zijn verder de ministeries van LNV, V&W en VROM, de provincies Utrecht, Zuid- en Noord-Holland, de waterschappen binnen deze provincies, Vereniging Natuurmonumenten, LTO Nederland en Dienst Landelijk Gebied. Het project is onderdeel van het Bsik-programma Leven met Water.

Samenvatting

In het veenweidegebied rond de plaats Zegveld is als onderdeel van het project ‘Waarheen met het veen?’ een strategiestudie met een hydrologisch model uitgevoerd om de effecten van verschillende peilstrategieën op maaivelddaling, geschiktheid voor landbouw en natuur, waterinlaatbehoefte en de waterkwaliteit te onderzoeken. Deze studie dient als pilot om kennis en modellen over verschillende aspecten van het veenweidelandschap op gestructureerde wijze bijeen te brengen, waardoor plannen en besluitvorming over het westelijk veenweidegebied mogelijk wordt op basis van integrale afwegingen. Het doel van dit onderzoek is om inzicht te verschaffen in consequenties van mogelijke waterbeheersmaatregelen waarmee dit karakteristieke Hollandse landschap zo lang mogelijk kan blijven bestaan.

Het onderzoeksgebied, dat gelegen is tussen Woerden, Bodegraven en de Nieuwkoopse Plassen, bestaat momenteel uit vier afwateringseenheden van waaruit het water via een gemaal op de omringende boezemwateren wordt geloosd. Binnen iedere eenheid liggen meerdere peilvakken en vaak ook een groot aantal kleinere particuliere onderbemalingen. Deze situatie is als referentie voor de strategieberekeningen met het hydrologische model SIMGRO gemodelleerd. SIMGRO is een geïntegreerd model voor grond-, bodem- en oppervlaktewater dat op regionale schaal effecten van waterhuishoudkundige maatregelen kwantificeert. Het model is voor deze studie aangepast om rekening te kunnen houden met het dalende maaiveld in het veengebied. Daarvoor is gebruik gemaakt van de relatie tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand in de zomer en de maaivelddaling zoals die op een proefboerderij bij Zegveld zijn gemeten.

Met het model zijn, uitgaande van het huidige maaiveld, 5 verschillende peilstrategieën doorgerekend en 2 klimaatscenario's die door het KNMI voor het jaar 2050 zijn vastgesteld. Iedere berekening beslaat een periode van 45 jaar. Voor de peilstrategieën zijn zoveel mogelijk locale weergegevens gebruikt van 1950-1995. Voor de klimaatscenario's zijn weergegevens gebruikt van De Bilt. De resultaten zijn telkens om de 15 jaar gepresenteerd. Omdat er in de gekozen peilstrategieën en klimaatscenario's in deze studie vanuit is gegaan dat tussentijds geen peilaanpassingen plaatsvinden, terwijl de bodem wel meer of minder snel daalt, worden de veenweiden in het gebied geleidelijk steeds natter.

Een aantal peilstrategieën is gericht op verhoging van het slootpeil om zo de maaivelddaling tegen te gaan. In al deze gevallen is uitgegaan van een waterregime met zomer- en winterpeilen van respectievelijk 30 en 40 cm beneden maaiveld. Ook is het huidig hoge aantal peilgebieden gecombineerd tot een beperkt aantal grote peilgebieden. Bij de toegepaste drooglegging kan de landbouw nog net functioneren, maar omdat het maaiveld binnen een peilvak nooit vlak is, komen er delen voor die droger en natter zijn.

Strategie 1 gaat uit van de huidige indeling in 4 afwateringseenheden waarbinnen in totaal 18 peilvakken en 56 onderbemalingen liggen die allemaal het nieuwe peilregime (-30/-40 cm) krijgen. Hierdoor wordt het in alle landbouwpercelen natter dan in de referentiesituatie, met name in de onderbemalingen, waarvan alleen bekend is dat ze normaliter diep ontwaterd worden. In de grotere peilvakken komen al snel delen voor die te nat worden voor landbouw. Er is 15% extra inlaatwater nodig om het slootpeil in de zomer in stand te houden. 's Winters wijzigt de hoeveelheid afvoer nauwelijks.

Strategie 2 gaat uit van het hele onderzoeksgebied als één peilvak, waarvoor het slootpeil wordt ingesteld op -30/-40 cm ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte. Door de relatief grote hoogteverschillen binnen het onderzoeksgebied zal de grondwaterstand in de hoger gelegen kleigronden in het zuiden langs de Oude Rijn dalen, terwijl het veengebied in het noorden en centrale deel van het gebied op veel plaatsen permanent onder water komt te staan. In deze geïnundeerde veengebieden treedt geen maaivelddaling meer op. De maaivelddaling in hoger gelegen veengronden zal daarentegen toenemen. Door de verschillen in maaivelddaling treedt een nivellering van de huidige verschillen in maaiveldhoogte op. Er is 15% extra inlaatwater nodig om het zomerpeil van -30 cm ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte in stand te houden. 's Winters wijzigt de hoeveelheid afvoer nauwelijks.

Strategie 3 gaat uit van opdeling van het gebied in twee peilvakken. De kleigronden en de overgangszone naar het veen vormen het zuidelijk peilvak en het noordelijk peilvak beslaat het hele veengebied. Elk peilvak kent een slootpeil van -30/-40 cm ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte in het betreffende peilvak. Omdat de verschillen in maaiveldhoogte ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte bij indeling in 2 peilgebieden geringer zijn dan bij opschaling van het hele gebied naar 1 peilgebied (strategie 2), komen er in het lager gelegen noordelijke peilvak minder inundaties voor en in het hoger gelegen zuidelijke peilvak juist meer. Omgekeerd vindt er een verschuiving plaats van plekken die een grote drooglegging hebben van de kleigronden in het zuiden naar veengronden in het noorden. Voor deze peilstrategie is in vergelijking met de referentie ongeveer 4% meer inlaatwater in de zomer nodig.

Strategie 4 is gelijk aan strategie 3, maar op geschikte plekken zijn onderwaterdrains in het model opgenomen. Onderwaterdrains liggen beneden het slootpeil en zorgen voor een afvlakking van de grondwaterstanden: minder uitzakken van de grondwaterstand in de zomer (minder maaivelddaling) en minder opbollen van de grondwaterstand in de winter (beter berijdbaar). Ten opzichte van strategie 3 (zonder drains) is 10% meer inlaatwater nodig. Voor de niet gedraaineerde delen is er geen toename van inlaatwater, voor de delen die wel gedraaineerd bedraagt de toename ruim 30%.

Strategie 5 gaat uit van het hele gebied als 2 peilgebieden, maar zonder inlaat van gebiedsvreemd water om de drooglegging op peil te houden. In de winter wordt daartoe een buffervoorraad water opgebouwd door het winterpeil van -40 cm met 30

cm te verhogen tot -10 cm. Omdat in het gebied rond Zegveld grotendeels sprake is vanwegzijging van het grondwater, vooral naar de droogmakerij Polder Nieuwkoop, is de watervoorraad uit het neerslagoverschot in de winter volstrekt onvoldoende om het slootpeil en het grondwaterpeil in de zomer te handhaven. Op veel plaatsen zal de grondwaterstand tot dieper dan een meter uitzakken waardoor daar het maaiveld met centimeters per jaar daalt.

Een ander aspect van het onderzoek betreft de waterkwaliteit. Vooral de hoeveelheid en kwaliteit van het water dat 's zomers wordt ingelaten is daarbij van groot belang. De kwaliteit van het inlaatwater is niet verder in beschouwing genomen, maar berekeningen toonden aan dat in de kleinere poldersloten ver van de inlaatpunten het aandeel inlaatwater iets meer dan de helft kan bedragen. In de grotere waterlopen dichterbij de inlaatpunten kan dit oplopen tot bijna 100%. Bij een neerslagoverschot neemt dit percentage snel af. Aan het begin van de winter zal daardoor vrijwel al het ingelaten water weer zijn uitgeslagen op de boezem.

De interne belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor is afkomstig uit bemesting, atmosferische depositie, oxidatie (mineralisatie) van veen en uitlogging van de bodem. Over het algemeen geldt voor landbouwgronden dat onder nattere omstandigheden de belasting van oppervlaktewater door bemesting toeneemt. De toepassing van onderwaterdrains kan dit effect versterken, maar de verwachting uit lopend detailonderzoek in Zegveld en Linschoten dat wordt uitgevoerd als onderdeel van dit project is, dat dat voor een optimale combinatie van draindiepte en drooglegging niet het geval is. Onder droge omstandigheden neemt de mineralisatie toe waardoor meer stikstof vrij komt. Daardoor neemt de N-uitspoeling licht toe. Fosfor komt dan in grotere hoeveelheden in oplossing door uitlogging uit diepere lagen. Omdat bij de doorgerekende peilstrategieën grote delen van het gebied te nat worden voor landbouwkundig gebruik zal bemesting als bron van N en P wegvalen. Het netto resultaat van de oppervlaktewaterbelasting met N en P bij de verschillende peilstrategieën is dus afhankelijk van de intensiteit van het toekomstig grondgebruik en is daarom moeilijk vast te stellen. Wel komt naar voren dat de belasting vanuit de bodem¹ het grootst is in de referentiesituatie en bij strategie 5 (geen waterinlaat). De belasting van het oppervlaktewater met zowel stikstof als fosfor dat afkomstig is uit bemesting en uitlogging van de bodem in gebieden met onderwaterdrains groter is dan in vergelijkbare gebieden zonder drains, maar een definitieve uitspraak hierover is pas mogelijk nadat meerjarige meetreeksen beschikbaar zijn uit de pilots Zegveld en Linschoten.

In het onderzoeksgebied treedt overwegendwegzijging op naar het eerste watervoerende pakket onder invloed van de diepe droogmakerij Polder Nieuwkoop. Bij de peilstrategieën wordt de freatische grondwaterstand vaak hoger waardoor de wegzijging verder toeneemt. Waar gebieden in de modelberekeningen te nat worden voor landbouw ontstaan kansen voor natuur in de vorm van vegetatietypen die afhankelijk zijn van zwak zure, matig voedselrijke omstandigheden. Afhankelijk van

¹ Som van infiltratie uit de sloten, veenafbraak (organisch), mineralisatie (anorganisch) en bodemcomplex

het maaibeheer betreft het vegetatietypen als moerasbos, veenmosrietland en schraalgrasland.

Tot slot is onderzocht wat het effect van het toekomstige klimaat is op de waterhuishouding en de maaivelddaling. De berekeningen zijn gedaan voor de referentiesituatie. Uit de verschillende klimaatscenario's voor 2050 zijn er 2 gekozen die samen de bandbreedte van gevolgen voor neerslag, verdamping en temperatuur omvatten. In het scenario 'gematigd' (G) verandert het minst ten opzichte van de huidige klimaattoestand; de temperatuur stijgt met 0,9°C en de wat grotere hoeveelheid neerslag die 's zomers valt, compenseert de toegenomen verdamping. Daardoor zijn de gevolgen in hydrologisch opzicht klein. De temperatuurstijging is grotendeels verantwoordelijk voor een toename van de maaivelddaling met 15%. In het scenario 'warm' (W+) verandert het meest. 's Zomers neemt de hoeveelheid neerslag af met 19%, neemt de verdamping toe met 15% en stijgt de temperatuur 2,8°C. Dit heeft tot gevolg dat er 's zomers 43% meer inlaatwater nodig is. De grondwaterstand zakt desondanks dieper weg. De diepere grondwaterstand en de temperatuurstijging zijn ieder voor de helft verantwoordelijk voor de toegenomen maaivelddaling met 68%.

Als er geen peilaanpassingen plaatsvinden, verloopt de maaivelddaling voor klimaatscenario W+ het snelst. De uiteindelijke maaivelddaling stopt ongeveer als het niveau van het oppervlaktewater is bereikt. Als het peil van het oppervlaktewater wordt aangepast na maaivelddaling van ongeveer 10 cm, gebeurt dat in de referentiesituatie om de 15 jaar, met klimaatscenario G om de 13 jaar en met klimaatscenario W+ om de 9 jaar.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De mens heeft het afgelopen millennium het karakteristieke westelijke veenweidegebied gemaakt tot wat het nu is: een weids landschap met groene weiden die verdeeld worden door brede sloten. Vanaf het moment dat de mens ingreep in de ontwatering is de veengroei omgeslagen in veenafbraak waardoor de bodem is gaan dalen. Bij een voortzetting van het principe ‘peil volgt functie’, waarbij de drooglegging wordt aangehouden die door de huidige landbouw als optimaal wordt beschouwd, daalt het maaiveld iedere eeuw met meer dan 1 meter. En met meer warme zomers in het vooruitzicht als gevolg van klimaatverandering zal de daling nog verder toenemen. Het zal duidelijk zijn dat dit landschapstype dan binnen afzienbare tijd verdwijnt, tenzij er op korte termijn maatregelen worden genomen. Rijk, provincies en waterschappen, maar ook boeren en natuurbeheerders onderkennen het probleem. Samen met onderzoekers en gebruikers maken zij deel uit van het consortium “Waarheen met het Veen?”, dat als doel heeft de mogelijkheden voor het waterbeheer te onderzoeken op hun gevolgen voor behoud van de veenbodem, het landschap, het landgebruik, de milieukwaliteit en de natuur. Het eerste jaar concentreert het onderzoek zich vooral in een poldergebied van circa 4500 ha rond Zegveld bij Woerden. Hier vindt experimenteel onderzoek plaats naar de effecten van onderwaterdrainage op de bodemdaling, de grondwaterstand, de waterkwaliteit en de grasgroei. Ook vindt hier biologisch onderzoek plaats naar de gevolgen van vernatting van voormalige landbouwgronden voor ecologisch herstel en ontwikkeling. Tevens worden voor dit gebied hydrologische modellen toegepast en gekoppeld aan kennis en modellen over waterkwaliteit, bodemdaling, landbouw en natuur, om de effecten van verschillende hydrologische strategieën (peilstrategieën) door te kunnen rekenen. In dit rapport komen de hydrologische modelberekeningen aan bod. Daarbij gaat het dus niet alleen om de hydrologische effecten, maar ook om de gevolgen daarvan voor de bodemdaling, de waterkwaliteit, en de natuur.

1.2 Probleemstelling en doelstelling van het onderzoek

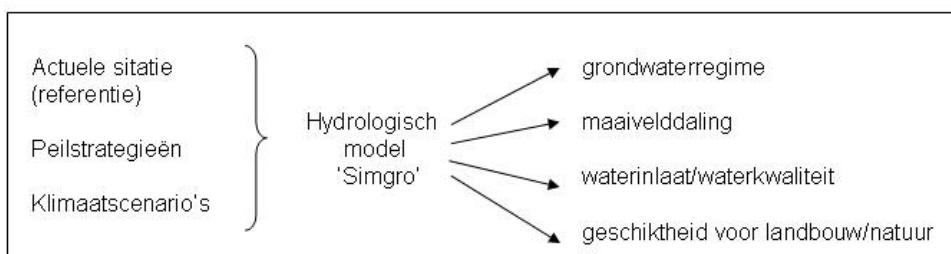
Binnen “Waarheen met het Veen?” staat de vraag centraal of, en zo ja hoe, het mogelijk is om de bodemdaling in het westelijk veenweidegebied zoveel mogelijk te verminderen met behoud en versterking van de kernkwaliteiten van het gebied.

Doel van het project is om in getal en beeld inzichtelijk te maken welke maatregelen in het waterpeilbeheer getroffen zouden kunnen worden en welke gevolgen die zullen hebben voor de snelheid van bodemdaling, de afhankelijkheid van het boezemsysteem, de waterkwaliteit en de mogelijkheden voor natuur en landbouw. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de kwaliteit van en het draagvlak voor planvorming en beleidskeuzen over de toekomst van het veenweidegebied aanzienlijk zal toenemen wanneer voor alle betrokkenen duidelijk is welke keuzemogelijkheden

er zijn en wat de gevolgen daarvan zijn voor de kwaliteit van de leefomgeving van mens en natuur. Op dit moment zijn dit vragen die elk apart in theorie beantwoord kunnen worden, maar waarvoor onvoldoende kennis beschikbaar is om de consequenties te overzien als maatregelen op regionale schaal worden toegepast. Deze strategiestudie moet dat voor een veenweidegebied als voorbeeldgebied inzichtelijk maken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een hydrologisch model waarmee het effect van verschillende peilstrategieën wordt geëvalueerd.

1.3 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in het veenweidegebied rond Zegveld. Het gebied is kenmerkend voor veel van de veenweidegebieden in West-Nederland. Naast een groot centraal gelegen gebied waar nog een dik veenpakket voorkomt, bestaat een deel ook uit de overgang naar een -inmiddels hoger gelegen- kleigebied langs de Oude Rijn. Centraal in het onderzoek staat het hydrologische model SIMGRO (van Walsum et al., 2004). SIMGRO is een regionaal model dat voor zowel grond- als oppervlaktewater de toestand in de tijd beschrijft. Het model wordt gecalibreerd op de huidige waterhuishoudkundige situatie. Daarna wordt het model gebruikt om verschillende peilstrategieën en klimaatscenario's door te rekenen. Een complicerende factor waarmee rekening moet worden gehouden is de maaivelddaling. Hiervoor is een aparte rekenmodule aan SIMGRO toegevoegd. Tot slot worden nog enkele berekeningen uitgevoerd om zicht te krijgen op de effecten van het veranderende klimaat.



Figuur 1-1 Overzicht van de werkwijze

In tijden van watertekort zal water in de polders moeten worden ingelaten om het gewenste slootpeil en grondwater niveau te handhaven. Dit water is afkomstig uit de boezem. Dit gebiedsvreemd water is van invloed op de waterkwaliteit in het veengebied. Voor de kwaliteit van de waterafhankelijke natuur zou waterinlaat zo veel als mogelijk moeten worden beperkt. Om inzicht te krijgen in de verspreiding van gebiedsvreemd water door de polder is een koppeling gemaakt van SIMGRO met het oppervlaktewatermodel SIMWAT (Querner, 1993). Dit model is ontwikkeld om de stroming in waterlopen te simuleren. Het oppervlaktewaterstelsel dient als het transportmiddel om het water aan- of af te voeren. Door het toevoegen van een stof die niet door chemische processen in een andere vorm kan worden omgezet, een zogenaamde tracer, is het mogelijk het aandeel buitenwater te berekenen.

Als peilbesluiten niet periodiek worden aangepast aan het dalende maaiveld of andere peilstrategieën worden doorgevoerd zal dat directe gevolgen hebben voor de

geschiktheid voor landbouw en natuur. De economische gevolgen van een peilstrategie voor de landbouw zijn in het kader van een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse voor het poldergebied rond Zegveld doorgerekend (Bos en Vogelzang, 2006). De geschiktheid voor de natuur wordt getoetst met het natuur-evaluatiemodel NATLES (Runhaar et al., 2003). Dit model gebruikt grondwaterstanden en kwelfluxen die met SIMGRO zijn berekend. De geschiktheidsberekeningen worden uitgevoerd voor een natuurdoeltype dat karakteristiek is voor natte veengronden. Er wordt in het kort gekeken naar de gevolgen voor landbouw. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van criteria die voor een onderzoek naar vernatting van melkveehouderijen in een veengebied zijn opgesteld (Hoving en de Vos, 2007).

In veenweidegebieden komen relatief hoge concentraties stikstof, fosfor en soms ook chloride (zout) voor. Het zoutgehalte is vooral een probleem in gebieden met veel zoute kwel of zout inlaatwater. In het gebied bij Zegveld is dat niet het geval, daarom wordt er hier voor het aspect ‘waterkwaliteit’ alleen naar stikstof en fosfor gekeken. Een belangrijke beperking hierbij is dat factoren als bemesting, processen in het oppervlaktewater en de kwaliteit van inlaatwater niet of niet goed bekend zijn. Om toch een goede vergelijking voor waterkwaliteit tussen de strategieën te kunnen maken wordt de belasting van het oppervlaktewater berekend op basis van relaties die zijn afgeleid uit een studie van Hendriks et al. (2007, in prep.) tussen enerzijds de drooglegging en anderzijds bemesting, depositie en de bijdrage uit de bodem door veenafbraak en uitlogging in veengronden.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van het proefgebied Zegveld gegeven. Daarbij wordt uitgebreid ingegaan op de opbouw van het gebied en de waterhuishouding. Bij de werkwijze in hoofdstuk 3 is een belangrijke plaats ingeruimd voor de schematisatie en kalibratie van het SIMGRO-model. Ook de wijze waarop de maaivelddaling is aangepakt wordt in dit hoofdstuk besproken. Verder worden het oppervlaktewatermodel SIMWAT en het natuur-evaluatiemodel NATLES toegelicht en worden de relaties voor de belasting van het oppervlaktewater met N en P vastgesteld. Aan het eind van hoofdstuk 3 komen de strategieën met de verschillende peilen en de klimaatscenario's aan bod.

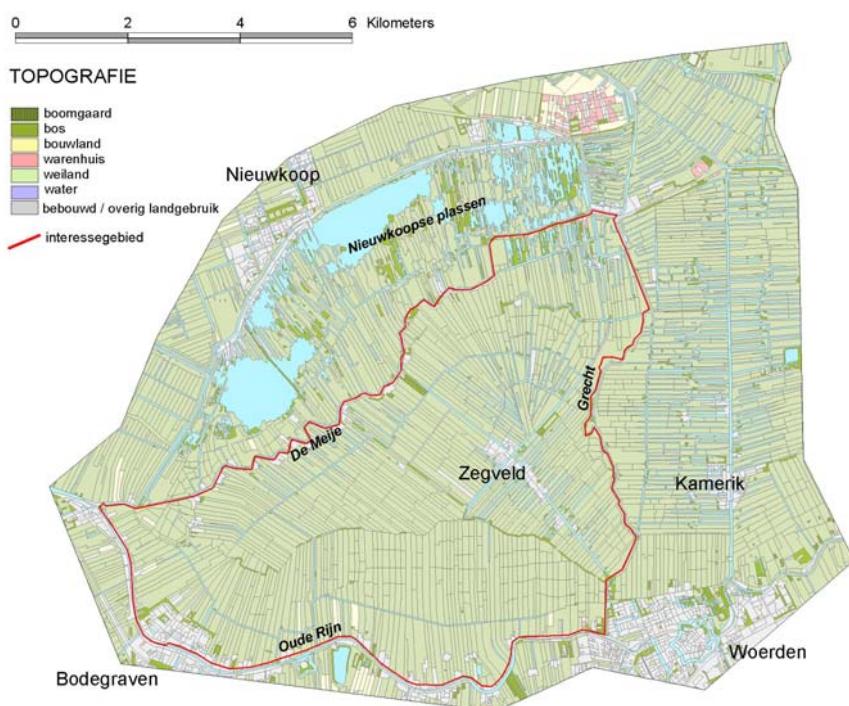
In hoofdstuk 4 worden de resultaten van alle peilstrategieën op alle aspecten apart en in hun onderlinge samenhang gegeven. Tot slot volgt hoofdstuk 5 met een aantal conclusies.

2 Beschrijving van het onderzoeksgebied

2.1 Ligging

Het onderzoeksgebied ligt in het noordwesten van de provincie Utrecht (figuur 2-1). Het gebied is opgesplitst in het interessegebied dat 4493 ha beslaat en een brede randzone van 13247 ha die dient als overgangsgebied waarvan de invloed op de waterhuishouding in het interessegebied wordt meegenomen in de berekeningen.

Centraal in het gebied ligt de plaats Zegveld. In de randzone liggen Woerden, Bodegraven en Nieuwkoop. De belangrijkste wateren in het gebied zijn de Oude Rijn in het zuiden, de Grecht in het oosten en de Nieuwkoopse plassen in het noordwesten.



Figuur 2-1 Ligging van het onderzoeksgebied

2.2 Geologie en geohydrologie

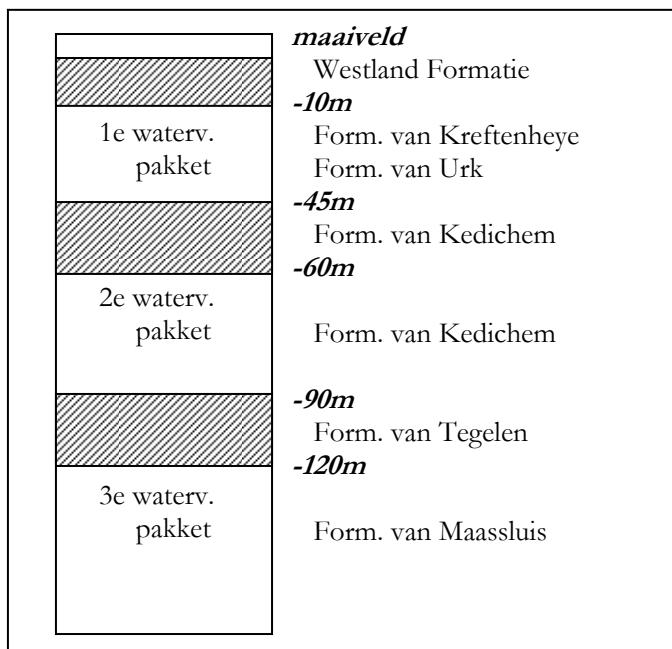
In figuur 2-2 staat een schematische weergave van de opbouw van de belangrijkste bodemlagen in het studiegebied. Voor de beschrijving is gebruik gemaakt van een aantal publicaties (Boswinkel en Cornelissen, 1980; Negeman et al., 1996 en Zagwijn en van Staalduin, 1975).

De oudste afzettingen uit figuur 2-2 worden tot de Formatie van Maassluis gerekend. Deze dateren uit het vroeg Pleistoceen toen West-Nederland zeegebied was. De (mariene) afzettingen, die voornamelijk uit zand bestonden, hebben een dikte van meer dan 100 m. Geohydrologisch gezien vormt de Formatie van Maassluis het 3^e watervoerende pakket.

In het laat Tiglien werd het kouder waarbij water werd vastgelegd in de vorm van ijs en sneeuw. Daardoor daalde de zeespiegel en werd het gebied onderdeel van de delta van Rijn, Maas en Elbe. In het studiegebied werden de mariene afzettingen bedekt door de overwegend kleiige afzettingen van de Rijn, die tot de Formatie van Tegelen worden gerekend. Deze laag, die een dikte heeft van ongeveer 30 m, vormt de scheiding tussen het 2^e en 3^e watervoerende pakket.

Tijdens de 2^e ijstijd van het Pleistoceen en de daarop volgende interglaciale periode, het Waalien, werd eerst overwegend grof zand afgezet en later meer fijn zand. Beide pakketten worden tot de Formatie van Kedichem gerekend. In geohydrologisch opzicht wordt hierin wel onderscheid gemaakt. Het grofzandige deel van deze Formatie vormt het 2^e watervoerende pakket, terwijl het fijnzandige gedeelte, een weerstandbiedende laag, de scheiding vormt met het 1^e watervoerende pakket. De dikte van de scheidende laag varieert van minder dan 10 m bij de Nieuukoop tot meer dan 20 m bij Woerden.

De Rijn is ook verantwoordelijk voor de grofzandige afzettingen van de Formaties van Kreftenheye en Urk. Deze hebben plaatsgevonden in het laat Pleistoceen, van de derde ijstijd tot en met de vierde ijstijd. De Formaties van Kreftenheye en Urk vormen samen het 1^e watervoerende pakket. In het zuidwesten van het studiegebied is dit pakket met 30 m het dunst, in het noordoosten met meer dan 40 m het dikst.



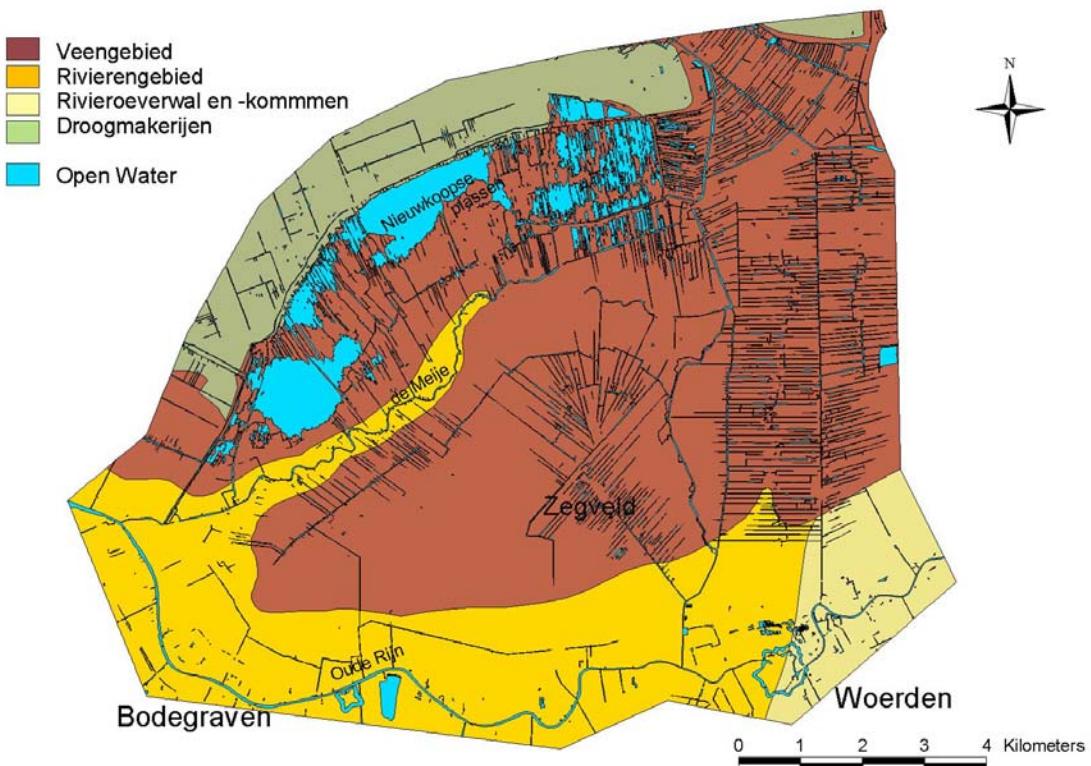
Figuur 2-2 Schematische opbouw van de (geo-)hydrologie in het modelgebied

De jongste geologische periode, het Holoceen begint ca. 10 000 voor Chr. De zeespiegel lag aanvankelijk tientallen meters beneden NAP, maar rond 5 000 voor Chr. was die gestegen tot ongeveer 10 m – NAP. Langs de huidige kust was een strandwal ontstaan, met daarachter een waddengebied waar kleig zand werd afgezet. In die tijd is in het oosten van het waddengebied veengroei op gang gekomen. Tegelijk met een verdere stijging van de zeespiegel breidde de veengroei zich in westelijke richting uit en bedekte uiteindelijk de hele zone tot de strandwal die inmiddels tot een duinenrij was uitgegroeid. Op dit (laag-)veen vormden zich later ook hoogveenkussens. De Rijn verlegde zijn loop in noordelijke richting naar de loop van de huidige Kromme en Oude Rijn. Langs de toenmalige Rijn sedimenteerde klei (Formatie van Gorkum). De rest van het gebied, waar de hele holocene bovenlaag uit fijne slibhoudende zanden, klei en een (al dan niet afgegraven) afdekend veenpakket bestaat, wordt tot de Formatie van Westland gerekend. Dit pakket reikt tot ongeveer 10 m – NAP.

2.3 Ontwikkeling van bodem en landschap

Landschappelijk gezien kan het modelgebied in een aantal deelgebieden worden onderscheiden. De kenmerken van deze deelgebieden hangen nauw samen met de geologische ontwikkelingen sinds het laat Holoceen en met de ontwikkelingen in het landgebruik vanaf de Middeleeuwen. Op de geomorfologische kaart (fig. 2-3), de bodemkaart (fig. 2-4) en de hoogtekaart (fig. 2-5) zijn deze ontwikkelingen nog duidelijk te herkennen.

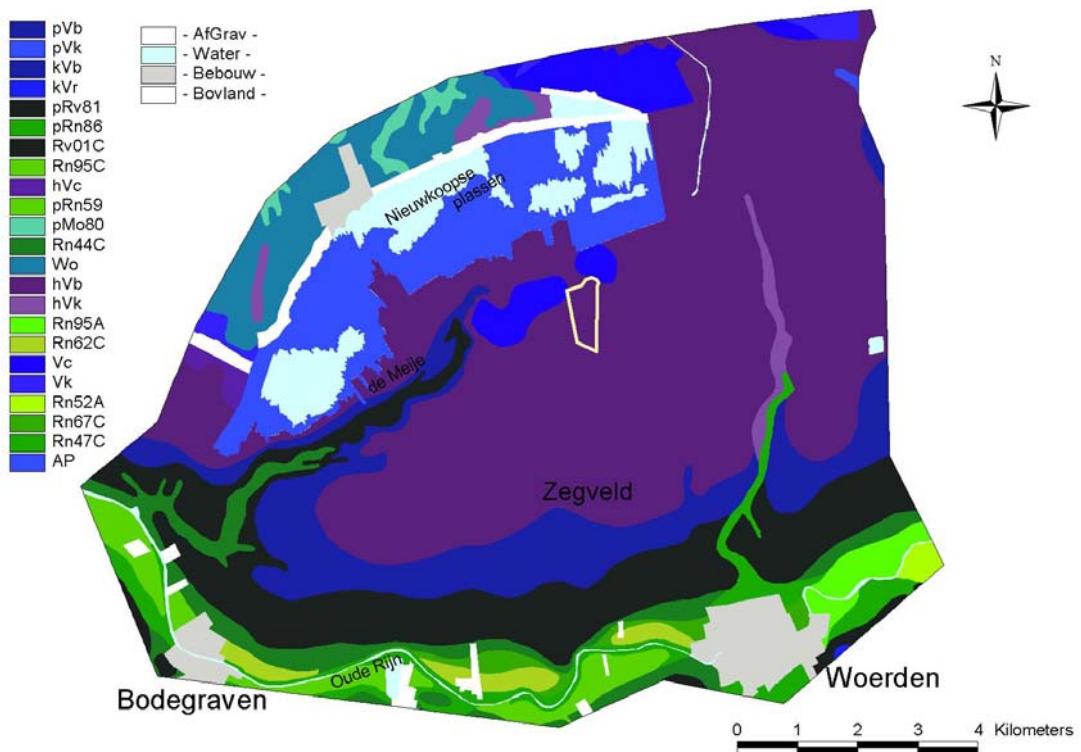
In de moerassige laagte tussen de Utrechtse Heuvelrug en de duinen is tijdens het Holoceen op uitgebreide schaal veen gevormd. Dwars door het veengebied stroomde de (oude) Rijn door laagtes en erosiedalen in westelijke richting, waarbij op uitgebreide schaal klei is gesedimenteerd. Aan het eind van de 15^e eeuw kwam met de komst van molens de polderontwikkeling op gang en zijn grote delen van het veengebied voor de turfwinning afgegraven (De Bont, 1991). Op veel plaatsen zijn de plassen die door de turfwinning ontstonden later weer drooggelegd. Het maaiveld in deze droogmakerijen ligt tussen de 3 en 6 m beneden NAP. Aan de noordweststrand van het modelgebied ligt een dergelijke droogmakerij: polder Nieuwkoop. Ten zuidoosten van deze diepe polder liggen de Nieuwkoopse plassen. Daar is in het verleden wel veen afgegraven, maar de plassen zelf zijn nooit drooggelegd. In het centrale gedeelte van het modelgebied, met daarin de plaats Zegveld en de proefboerderij Zegveld, is geen veen afgegraven. Ten gevolge van de ontwatering is het veen wel fors ingeklonken, en dat proces gaat nog steeds door.



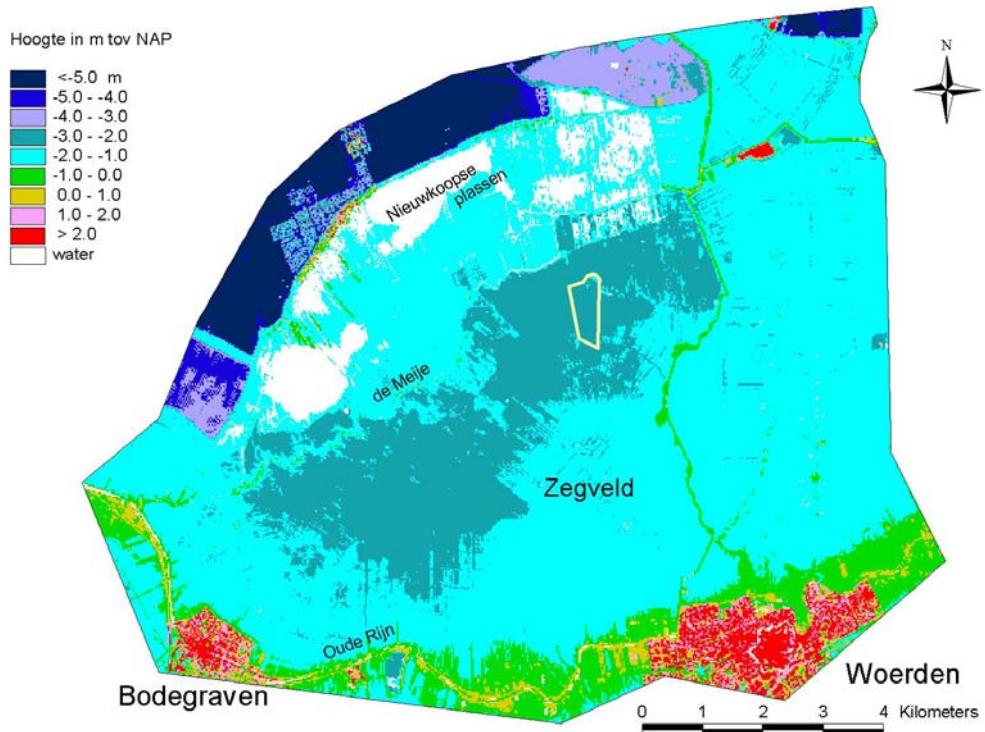
Figuur 2-3 Geomorfologische kaart van het studiegebied

In het uiterste zuidoosten van het modelgebied komt klei voor. Er is nog steeds een systeem van rivieroeverwallen en -kommen herkenbaar. Ten westen van Woerden zijn oeverwallen en kommen minder prominent aanwezig en wordt het landschapstype aangeduid als rivierengebied. Ook de westelijke helft van het riviertje de Meije hoort tot het rivierengebied. In tegenstelling tot de maaivelddaling in de veengebieden en in de droogmakerijen is de maaiveldhoogte van de zone met rivierklei nauwelijks veranderd. Was dit gebied vroeger het laagst, nu ligt het 2 m hoger dan de veenomgeving en zelfs meer dan 4 m hoger dan de droogmakerijen.

Op de bodemkaart (fig. 2-4) is de rivierklei (groen op de bodemkaart) kalkloos, uitgezonderd 2 bodemvlakjes ten oosten van Woerden. Daar komt kalkrijke zavel voor. De zwaarte van de klei varieert van zavel en lichte klei op de oeverwallen tot zware klei in de kommen. In de richting van het (paarse) veengebied is klei in afnemende dikte op het veen afgezet. De donkergroene strook (bodemcodes Rv81 en Rv01C) wordt daarom nog tot de kleigronden gerekend en de blauwe strook (code pVb) tot de veengronden. In deze strook is de kleilaag altijd nog minstens 15 cm dik. Het meeste veen is eutroof broekveen of bosveen (paars, code hVb). De bovengrond is op de meeste plaatsen veraard en wat vermengd met klei, maar in de oostelijke helft is een moerig toemaakdek van 15 - 40 cm dikte opgebracht. Direct ten noordoosten en noordwesten van de proefboerderij komt (eutroof) zeggeveen voor, zonder minerale laag (blauw, code Vc). Langs de Nieuwkoopse plassen is na de vervening weer een moerasvegetatie gaan groeien. Op de bodemkaart staat dit met de code AP (petgaten) aangegeven.



Figuur 2-4 Bodemkaart van het studiegebied



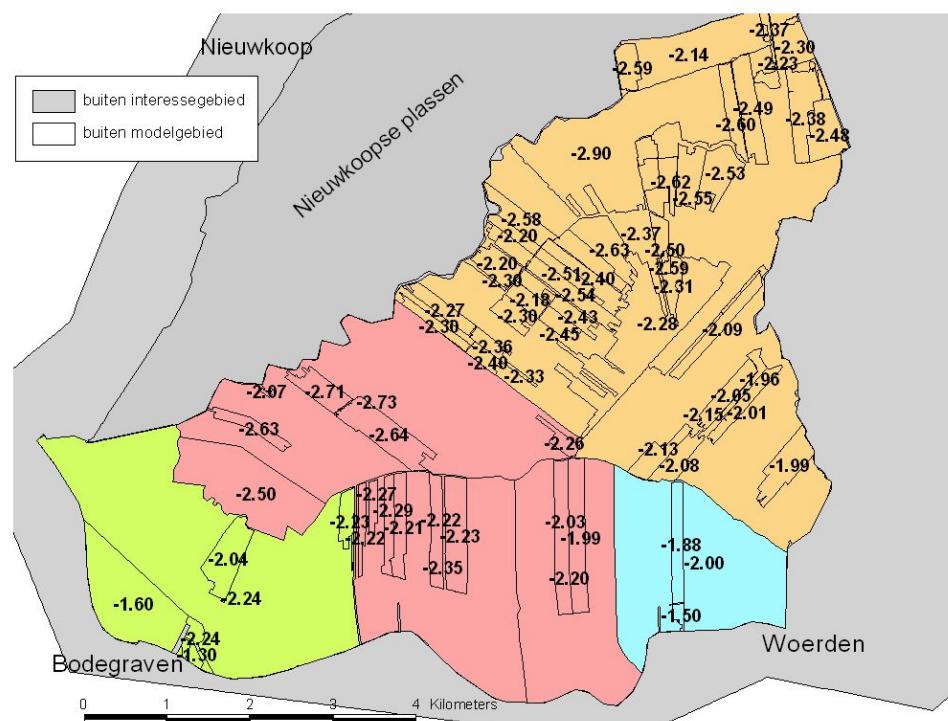
Figuur 2-5 Hoogtekaart van het studiegebied

Op de hoogtekaart (fig. 2-5) zijn de diepe polders in het noordwesten duidelijk te herkennen, evenals de strook rivierklei langs de Oude Rijn waar de maaiveldhoogte nauwelijks is veranderd. De hoogste, niet bebouwde delen, liggen op NAP. In de laagste plekken in het middengebied is het maaiveld sinds de ontginning als gevolg van veenoxidatie gedaald met meer dan 3 m tot 2,5 m - NAP.

2.4 Waterhuishouding

Binnen het interessegebied liggen 4 grote polders, met elk een aantal kleinere peilvakken die verschillende zomer- en winterpeilen hebben (figuur 2-6). Het grote aantal peilvakken is het gevolg van verschillen in daling van het maaiveld en de voortdurende aanpassingen van peilen.

Door de aanwezigheid van klei in het zuiden is de strook langs de Oude Rijn minder gedaald dan het noorden en westen van het gebied. In het zuidoosten is geen klei aanwezig, maar is de maaivelddaling waarschijnlijk minder groot omdat het er in het verleden natter is geweest. Om ondanks de voortgaande maaivelddaling toch de gewenste drooglegging te behouden worden peilbesluiten regelmatig aangepast. De peilen die in figuur 2-6 zijn aangegeven zijn afkomstig uit peilbesluiten van het begin van de 21^e eeuw.



Figuur 2-6 Afwateringseenheden met peilvakken en zomerpeilen in m tov NAP

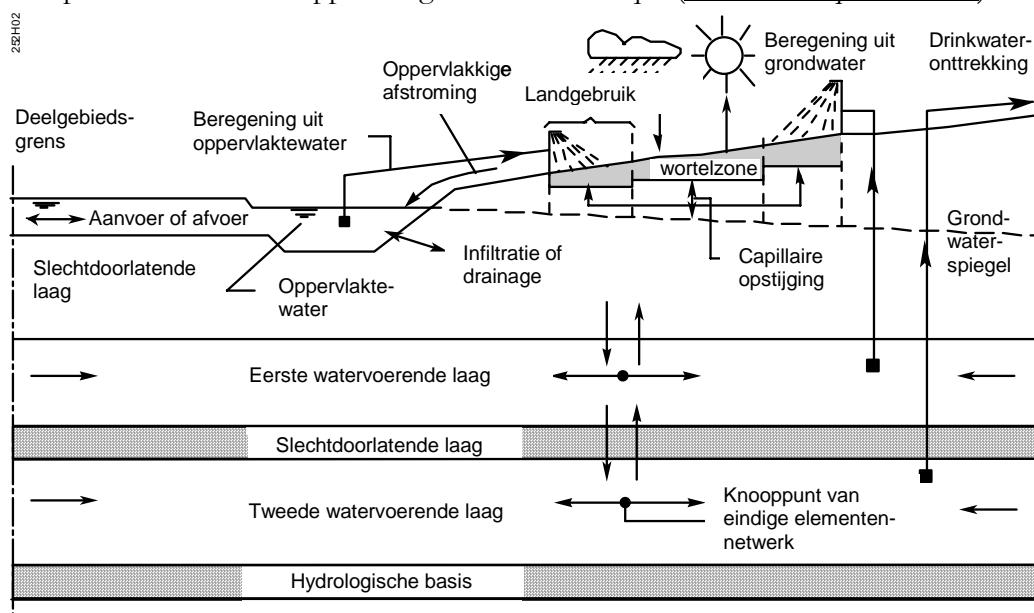
Het peilbeheer binnen de polders wordt geregeld met kleinere gemalen en stuwen. De polders slaan het overtollige water via gemalen uit op de Oude Rijn en de Grecht. Via inlaatpunten kan ook water worden aangevoerd om het water niveau in de waterlopen op peil te houden. Behalve inlaatpunten aan de Grecht en de Oude Rijn zijn er ook 2 inlaatpunten bij de Nieuwkoopse plassen. Er is weinig bekend over de hoeveelheid water die wordt ingelaten. Afgaande op gegevens van de afwateringseenheid in het noordoosten van het interessegebied gaat het om een hoeveelheid van 200 mm in een normale zomer.

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden beheert het interessegebied en de polders ten oosten en zuiden daarvan. Het Hoogheemraadschap Rijnland is verantwoordelijk voor de waterhuishouding van de Nieuwkoopse plassen en de polders bij Nieuwkoop.

3 Werkwijze

3.1 Schematisatie van SIMGRO

Figuur 3-1 geeft een overzicht van de processen waarmee het model SIMGRO rekening houdt. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste invoerparameters besproken. Voor een uitgebreide toelichting op het model zelf wordt verwezen naar van Walsum et al. (2004). Het programma SIMGRO wordt sinds 2001 aangestuurd met behulp van een ArcView-applicatie genaamd AlterraAqua (www.alterraqua.alterra.nl).



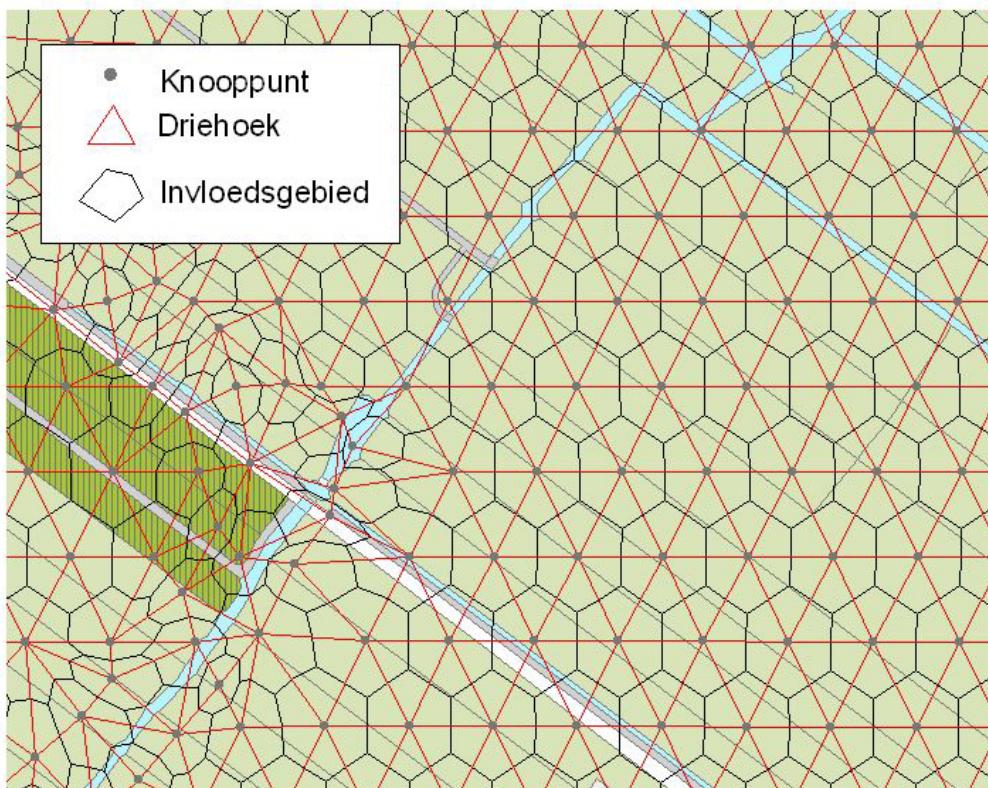
Figuur 3-1 Schematische weergave van het model SIMGRO

3.1.1 Ruimtelijke discretisatie

Het modelgebied heeft een ruime zone rond het interessegebied waarin eventuele fouten in de randvoorwaarden worden vereffend. In het noordwesten zijn daarom de Nieuwkoopse plassen en de diepe polders bij Nieuwkoop aan het modelgebied toegevoegd om rekening te kunnen houden met de gevolgen voor de diepe grondwaterstroming in het interessegebied. Aan de oost- en zuidzijde van het interessegebied is ook een strook aan de andere kant van de boezemwateren van respectievelijk de Grecht en de Oude Rijn toegevoegd.

Het eindige elementennetwerk van SIMGRO wordt gebruikt voor de numerieke berekeningen van de grondwaterstroming. Daarvoor is een driehoekennetwerk aangemaakt, met in iedere hoek een knooppunt. De berekeningen vinden plaats tussen alle knooppunten die via de driehoeken met elkaar verbonden zijn. Ieder knooppunt is representatief voor een invloedsgebiedje. Drainage, neerslag, ed.

worden via het invloedsgebiedje aan een knooppunt toegerekend, terwijl omgekeerd de uitkomsten voor een knooppunt voor het hele gebiedje gelden. In figuur 3-2 staat een voorbeeld van de elementen cq. driehoeken, de knooppunten en de invloedsgebieden. Het hele modelgebied heeft 14 136 knooppunten.



Figuur 3-2 Uitsnede van het netwerk voor de berekeningen met SIMGRO op de topografische ondergrond

In het modelgebied worden 3 gebieden onderscheiden:

1. Het interessegebied, dat binnen de boezemwateren (de Meije, de Grecht en de Oude Rijn) ligt. De oppervlakte bedraagt 4493 ha en de knooppunt dichtheid bedraagt 18 per 10 ha, wat neerkomt op een onderlinge afstand van de knopen van 75m.
2. De bufferzone die om het interessegebied ligt. De knooppunt dichtheid bedraagt hier 1,6 per 10 ha en de knooppuntsafstand 250m.
3. Het gebied van de proefboerderij Zegveld waar de knooppunt dichtheid is verfijnd tot 160 knopen per 10 ha. De knooppuntsafstand bedraagt hier 25m. De proefboerderij is binnen het interessegebied als detailgebied apart onderscheiden om een nauwkeurige koppeling te kunnen leggen tussen de modeluitkomsten en de metingen die op de percelen en sloten van de proefboerderij plaatsvinden.

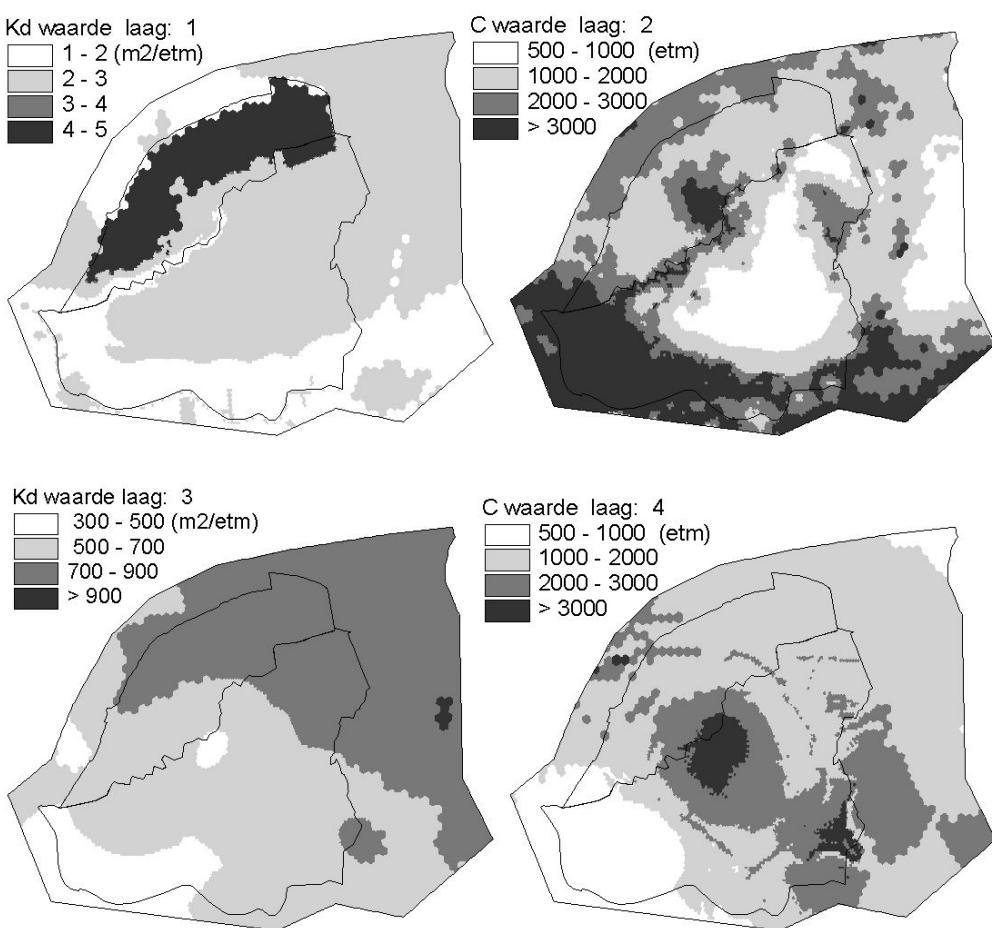
3.1.2 De ondergrond

Voor de grondwaterstroming in de verzadigde zone wordt onderscheid gemaakt tussen watervoerende en weerstandbiedende lagen. In watervoerende lagen is de stroming horizontaal. In de weerstandbiedende lagen is de stroming verticaal

(wegzetting/ kwel). Voor de schematisatie van de ondergrond in het studiegebied is gebruik gemaakt van de geohydrologische opbouw van het SIMGRO-model voor het gebied Amstelland (Wendt, 2002) en de beschrijving van geologie en geohydrologie (hfst. 2.2). Er zijn vier watervoerende pakketten onderscheiden en drie scheidende lagen (tabel 3-1).

Tabel 3-1 Geohydrologische schematisatie van het model

Laag	nr.	Formatie	Materiaal
Freatisch pakket	1	Westland (Gorkum)	vnl. veen (klei -Oude Rijn)
Deklaag	2	Westland	slibhouwend zand en klei
Eerste watervoerend pakket	3	Kreftenheye/Urk	zand en grof zand
Eerste slecht doorlatende laag	4	Kedichem	fijn zand
Tweede watervoerend pakket	5	Kedichem	grob zand
Tweede slecht doorlatende laag	6	Tegelen	klei en kleiig zand
Derde watervoerend pakket	7	Maassluis	zand



Figuur 3-3 Doorlaatvermogen en weerstand van de lagen 1 – 4.

Uit figuur 2-2 is alleen het afdekkende pakket, de Formatie van Westland, opgesplitst in een watervoerende toplaag en een daaronder gelegen weerstandbiedende laag. Door het onderscheiden van een watervoerende toplaag wordt de stroming van en

naar de ontwateringsmiddelen beter gesimuleerd. De doorlatendheid van het veen is wat groter dan van de slibhoudende zandlaag die daaronder ligt.

Omdat er geen aanwijzingen zijn voor een grote heterogeniteit van laag 2 zijn de grote verschillen in weerstand door vereffening teruggebracht. Tegelijkertijd zijn op grond van de dikte en samenstelling van de toplaag wel verschillen in het doorlaatvermogen (kD -waarde) van het bovenste freatische pakket doorgevoerd. In figuur 3-3 staan de weerstand en het doorlaatvermogen van de bovenste 4 bodemlagen.

3.1.3 Het oppervlaktewatersysteem

Ontwatering

SIMGRO maakt onderscheid in verschillende typen ontwateringsmiddelen. In het modelgebied komen de volgende typen voor, waarvoor in Alterraqua met een rekenprocedure de drainage-eigenschappen voor de knooppunten worden berekend: Hoofdwaterlopen (systeem 2). De ligging en de dimensies van de hoofdwaterlopen zijn overgenomen van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Een aantal ontbrekende waterlopen buiten het waterschapsgebied is toegevoegd.

Sloten en greppels (systeem 3). De sloten en greppels zijn overgenomen van de topografische kaart 1 : 10 000. De dimensies zijn overgenomen uit de kennistabel die voor SIMGRO is samengesteld. In de tabel wordt rekening gehouden met het bodemtype en de grondwatertrap. In de veengebieden in het modelgebied komt een aantal dusdanig brede sloten voor dat ze niet als lijnelement, maar als vlakelement op de topografische kaart staan aangegeven. Om de geautomatiseerde procedure voor toekenning van drainage-eigenschappen aan de invloedgebieden te kunnen gebruiken zijn deze slootvlakken vervangen door dubbele lijnelementen. Gemiddeld levert de procedure weerstanden die vergelijkbaar zijn met de resultaten van onderzoek naar het peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik (de Vos et al., 2004) waarin voor de sloten voor zowel de drainage- als infiltratieweerstand een waarde van 100 dagen is vastgesteld.

Maaiveld (systeem 5). Bij hoge grondwaterstanden kan water via laagtes oppervlakkig afstromen naar lagere delen of naar de waterlopen. Hiervoor zijn standaardwaarden gebruikt.

Buisdrainage komt in de actuele situatie nauwelijks voor en is daarom niet opgenomen. Bij 2 van de strategieën worden onderwaterdains als hulpmiddel ingezet tegen maaivelddaling. Bij de toelichting over die strategieën worden de kengetallen toegelicht (hfdst. 3.5.1).

Afwatering

De begrenzing van de afwateringsgebieden en de streefpeilen zijn overgenomen van het peilbesluit uit 2002 van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Het stelsel van hoofdwaterlopen is opgedeeld in 627 compartimenten. Deze verbinden 36 afwateringseenheden met elkaar. Door 142 afwateringseenheden loopt geen

hoofdwaterloop. Deze waterlopen zijn via een aparte link in het model met een hoofdwaterloop verbonden.

In het model zijn stuwen, gemalen, riooloverstorten en waterzuiveringsinstallaties opgenomen en verder ook de sluizen in de Grecht en in de Oude Rijn (figuur 3-4). De dimensies van stuwen, de capaciteit van de gemalen en de polderpeilen zijn overgenomen uit bestanden van het Hoogheemraadschap. Op basis van dimensies van de waterlopen en de aanwezigheid van kunstwerken zijn relaties afgeleid tussen waterpeil en waterberging enerzijds en waterafvoer anderzijds.

Voor de vele onderbemalingen in het gebied zijn bij het Hoogheemraadschap weliswaar peilen bekend, maar de waarden daarvan zijn veel hoger (in sommige gevallen zelfs gelijk aan maaiveld) dan ze in werkelijkheid zijn. Regelmatig worden droogleggingen van meer dan 60 cm aangetroffen (pers.med., R. Hemel, HDSR). Voor deze studie is uitgegaan van een actuele drooglegging bij onderbemalingen van 50 cm, zowel in de zomer als in de winter.

Omdat geen gegevens bekend zijn van de hoeveelheden boezemwater die het modelgebied binnenkomen en verlaten, maar tegelijkertijd de peilfluctuaties minimaal zijn, is voor de boezemwateren verondersteld dat de capaciteit van zowel waterafvoer als wateraanvoer ruim voldoende is om de streefpeilen te realiseren.



Figuur 3-4 Kunstwerken

Wateraanvoer

Op een aantal plaatsen kan water via gemalen en duikers uit de boezemwateren worden ingelaten in de polders om het water niveau daar op peil te houden (figuur 3-4). In principe kunnen alle polders in het modelgebied van water worden voorzien, maar de inlaatcapaciteit voor individuele afwateringseenheden is niet bekend.

Daarom is een schatting gemaakt van de maximale inlaatcapaciteit: oppervlakte van de afwateringseenheid \times 2,5 mm/etm.

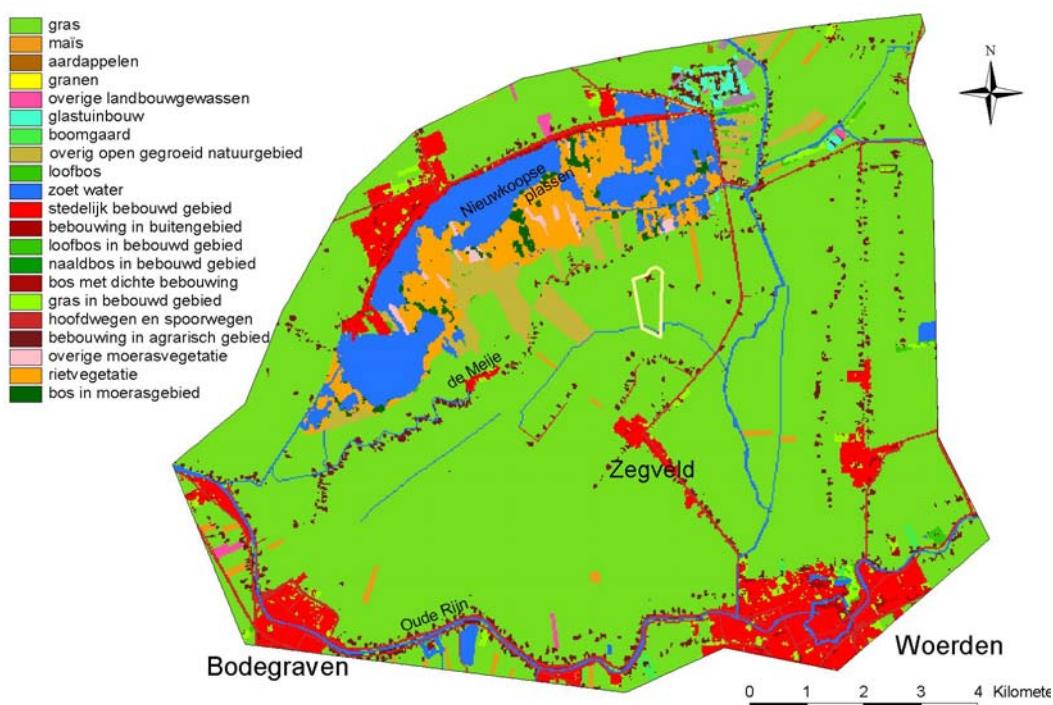
3.1.4 De onverzadigde zone

Om het verloop van het vochtgehalte in de onverzadigde zone te kunnen berekenen wordt gebruik gemaakt van de bodemfysische eigenschappen van de bovengrond. De verschillende bodemtypen die in het modelgebied voorkomen zijn ontleend aan de bodemkaart 1 : 50 000 (figuur 2-4). Met behulp van een vertaaltable zijn de bodemeenheden gekoppeld aan profielen, de zogenaamde Pawn-eenheden, die op hun beurt uit bodemeenheden van de Staringreeks (Wösten, et al., 1994) zijn opgebouwd. Van de bodemeenheden van de Staringreeks zijn k-h en h-θ-relaties van boven- en ondergrond bekend.

In het model wordt gerekend met een freatische bergingscoëfficiënt die, afhankelijk van de diepte, varieert van 0,1 tot 0,3.

3.1.5 Landgebruik

Het landgebruik is voor de hydrologie belangrijk vanwege de verdamping van vegetaties en de afvoereigenschappen van verharde oppervlakken. Voor de berekening van de gewasverdamping uit de referentieverdamping worden gewasfactoren in SIMGRO gebruikt.



Figuur 3-5 Landgebruik in het studiegebied

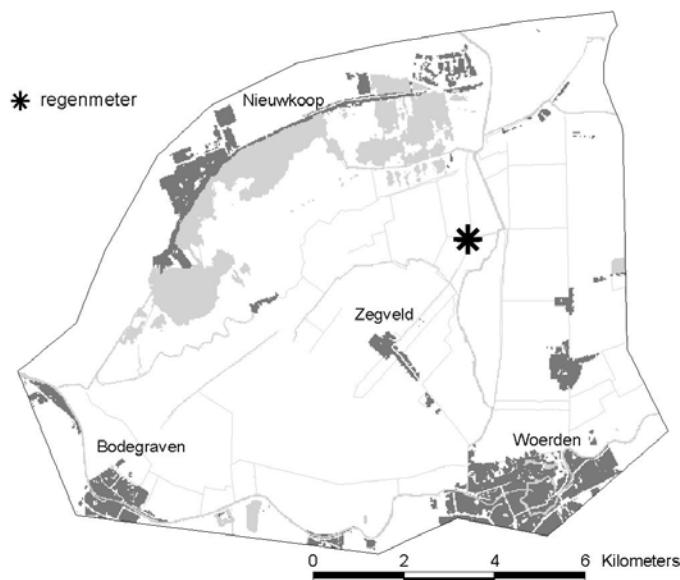
De gegevens over het landgebruik zijn afkomstig van de landelijke landgebruikskartering Nederland LGN 3 (De Wit et al., 1999). De begroeiing in het centrale gedeelte van het modelgebied bestaat voornamelijk uit gras. De Nieuwkoopse Plassen bestaan voor een gedeelte uit open water, rietvegetaties en ‘overig’ natuurgebied.

De plaatsen Woerden, Nieuwkoop, Bodegraven, Kamerik en Zegveld zijn als stedelijk gebied aangemerkt. Hier wordt rekening gehouden met een standaard aandeel verhard oppervlak en een versnelde afvoer van neerslagwater via rioolstelsels (zie ook figuur 3-4).

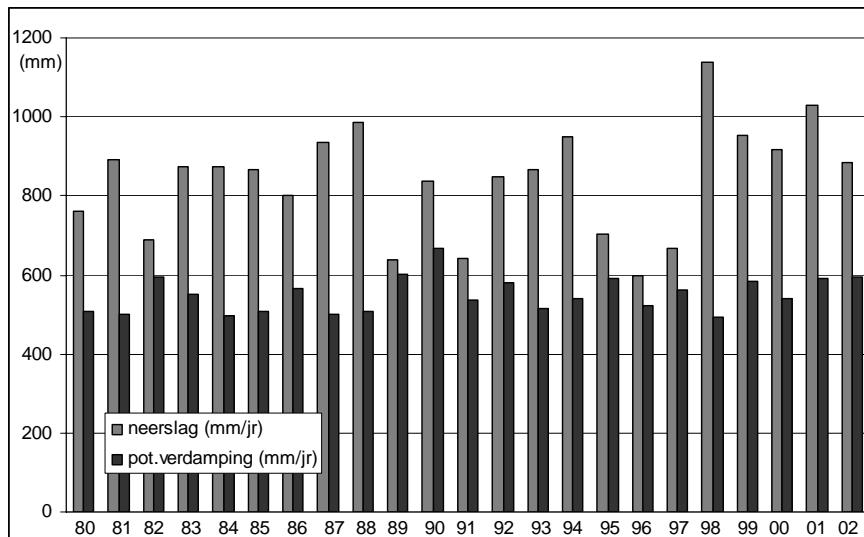
3.1.6 Neerslag en verdamping

Voor de neerslag zijn de gegevens gebruikt die centraal in het gebied door het KNMI zijn waargenomen (figuur 3-6). Voor de verdamping is de zogenaamde referentie-gewasverdamping gebruikt die het KMNI voor De Bilt heeft vastgesteld. Omdat de ruimtelijke variatie in verdamping over Nederland klein is, zijn de waarden voor De Bilt ook representatief voor het onderzoeksgebied.

Voor de periode 1980-2002 zijn in figuur 3-7 jaarsommen van neerslag en referentie-gewasverdamping uitgezet. Opvallend nat zijn de jaren 1998 en 2001. De (potentiële) verdamping varieert tussen 500 en 600 mm/jr.



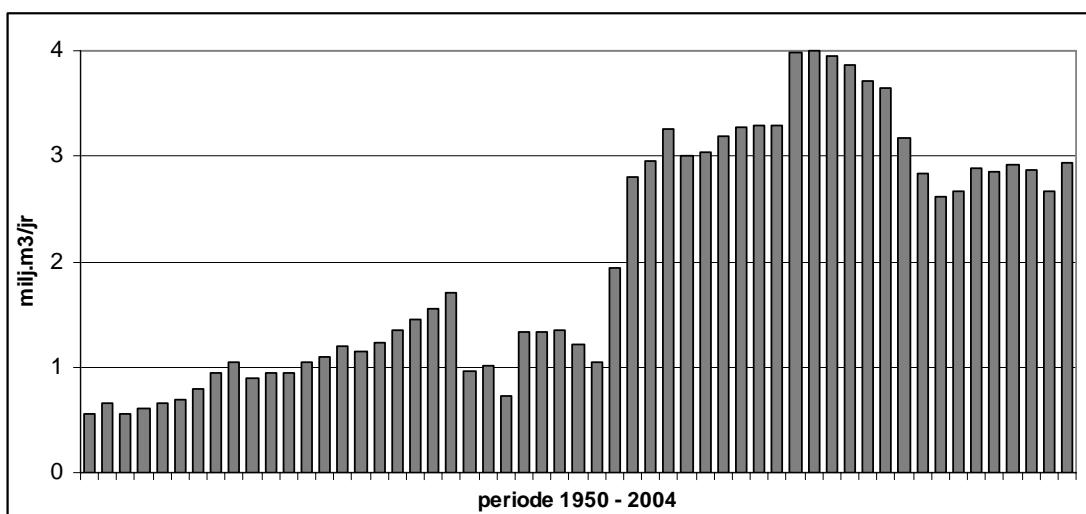
Figuur 3-6 Situering van de regenmeter



Figuur 3-7 Jaarlijkse hoeveelheid neerslag en referentie-gewasverdamping in de periode 1980-2002

3.1.7 Drinkwaterwinning en berekening

Ten noordoosten van Woerden ligt een drinkwaterwinning die sinds 1931 in gebruik is. Het water wordt gewonnen uit het eerste watervoerende pakket. De jaarlijkse onttrekking sinds 1950 staat in figuur 3-8. Sinds 1996 is de onttrekking gestabiliseerd op een kleine 3 miljoen m³ per jaar. De verwachting is dat deze hoeveelheid ook de komende jaren zal worden onttrokken (pers. meded. H.Timmer, drinkwaterbedrijf Oasen).



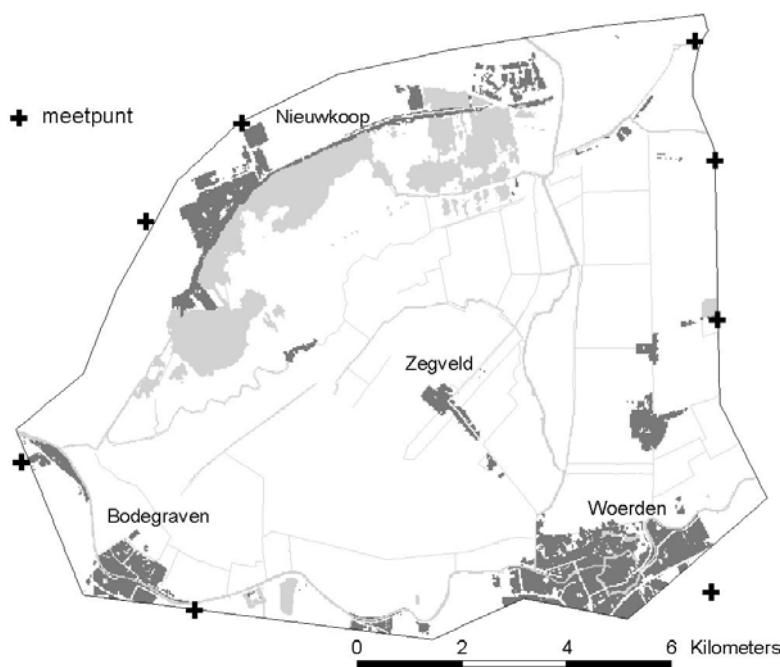
Figuur 3-8 Jaarlijkse onttrekking van drinkwaterwinning 'De Hooge Boom' bij Woerden in de periode 1950-2004

In het model is geen rekening gehouden met onttrekking van grond- of oppervlaktewater voor berekening. In de praktijk wordt incidenteel door een enkele

boer wel beregend, maar de hoeveelheid is te verwaarlozen (pers. meded. van den Akker, Alterra).

3.1.8 Randvoorwaarden modelrand

Voor de knooppunten aan de rand van het modelgebied moet of de flux of de stijghoogte van het grondwater voor de watervoerende pakketten worden opgegeven. Hier zijn stijghoogtes gebruikt, die ontleend zijn aan meetpunten die dicht bij de rand van het modelgebied liggen (figuur 3-9). De gegevens van de meetpunten zijn afkomstig van het grondwaterarchief (DINO) van TNO-NITG. Omdat de meetreeksen van de meeste meetplekken onvoldoende overlappen met de rekenperiode, is aan de hand van de gemiddelde stijghoogtes en standaarddeviaties het jaarlijkse sinusverloop van de stijghoogtes vastgesteld. Hieruit zijn maandelijkse waarden voor de invoer in het SIMGRO-model berekend. De waarden voor de randknooppunten die niet naast een meetpunt liggen zijn door interpolatie verkregen.



Figuur 3-9 Meetpunten voor bepaling van de stijghoogtes van het grondwater langs de rand van het modelgebied

3.2 Het referentiemodel SIMGRO

Het model heeft als gecombineerd oppervlakte- en grondwaterstromingsmodel een groot aantal invoerparameters. De juistheid van deze invoergegevens is niet altijd evident, en omdat vereenvoudigingen in de modelschematisatie zijn toegepast, zijn de uitkomsten van het model ook in zekere mate onnauwkeurig. Om te beoordelen of de berekende afvoeren en grondwaterstanden de meetgegevens goed benaderen en of veranderingen in invoergegevens en modelschematisatie noodzakelijk zijn is het

model voor de periode 1996-2002 doorgerekend. Voor de vergelijking van gemeten en berekende afvoeren zijn de gegevens van de belangrijkste polder (Groot Zegveld) voor de periode 2001-2002 gebruikt, omdat hiervan de meeste waarnemingen bekend zijn.

3.2.1 Diep grondwater

Volgens een eerste verkenning met het referentiemodel was de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket (laag 3) in het midden van het modelgebied te hoog, waardoor de grondwaterstroming niet alleen naar het noordwesten gericht was, maar ook naar het noordoosten en zuidwesten. Daarom is de kD-waarde van dit pakket vergroot. Met een grotere kD-waarde is het verhang in noordwestelijke richting gelijkmatiger en komt de berekende stijghoogte beter overeen met de gemeten stijghoogte. Bij een wat lagere stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket worden ook de kwelcomponent naar de toplaag en de berekende afvoer kleiner.

In de zomer is de berekende afvoer kleiner dan de gemeten afvoer en in de winter is die juist hoger. Tabel 3-2 laat voor verschillende kD-waarden het verschil zien tussen de berekende afvoer uit polder Groot Zegveld en de uitgeslagen hoeveelheid die gemeten is bij het gemaal. Met een toenemende kD-waarde wordt een steeds kleinere afvoer berekend. Op jaarbasis is het verschil tussen gemeten en berekende afvoer het kleinst bij een vermenigvuldigingsfactor 4.

Op dagbasis verandert de afwijking tussen gemeten en berekende afvoer nauwelijks bij een andere vermenigvuldigingsfactor voor de kD-waarde. De standaardafwijking blijft ongeveer 0,42 m³/sec. De belangrijkste oorzaak daarvan is dat in de modelberekeningen niet, maar bij de bemaling wel wordt geanticipeerd op de weersverwachting.

Tabel 3-2 Verschil van de berekende afvoer met de gemeten afvoer uit de polder Groot Zegveld bij verschillende kD-waarden van het 1^e watervoerende pakket (laag 3).

	gemeten afvoer (mm)	vermenigvuldigingsfactor voor kD-waarde				
		1	2	3	4	5
zomer	230	-20%	-23%	-26%	-29%	-32%
winter	692	17%	14%	12%	10%	8%
jaar	922	8%	5%	3%	0%	-2%
		994 mm	966 mm	945 mm	924 mm	904 mm

Een aanpassing van de weerstand van de scheidende laag tussen de toplaag en het 1^e watervoerende pakket levert geen verbetering van de uitkomsten op. In tabel 3-3 staat het verschil tussen de berekende afvoer met de gemeten afvoer uit de polder Groot Zegveld bij verschillende c-waarden van de 1^e scheidende laag (laag 2). In alle gevallen is voor de kD-waarde van het 1^e watervoerende pakket uitgegaan van een vermenigvuldigingsfactor 3. De tabel laat zien dat met een grotere weerstand (factor 2) van de scheidende laag in de winter een relatief grote afvoer wordt berekend, maar dat deze niet evenredig afneemt met een afname van de weerstand. Dat komt omdat bij een geringere weerstand (factor 0,5) de wegzetting naar het 1^e watervoerende pakket in de hoger gelegen boezemgebieden groter is. Daardoor neemt de kwel in het

centrale gedeelte toe, en daarmee ook de berekende afvoer van polder Groot Zegveld.

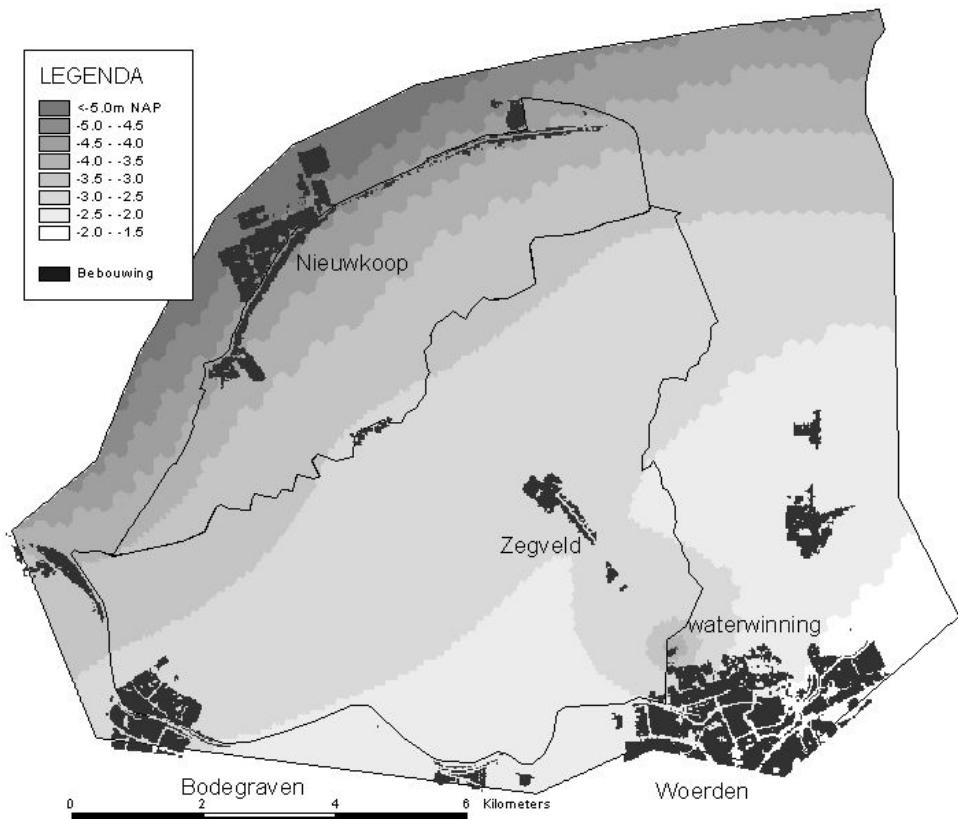
Op dagbasis verandert de afwijking tussen gemeten en berekende afvoer nauwelijks bij een andere vermenigvuldigingsfactor voor de c-waarde. De standaardafwijking blijft ongeveer $0,42 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Tabel 3-3 Verschil van de berekende afvoer met de gemeten afvoer uit de polder Groot Zegveld bij verschillende c-waarden van de 1^e scheidende laag (laag 2).

	gemeten afvoer (mm)	vermenigvuldigingsfactor voor c-waarde		
		0,5	1,0	2,0
zomer	230	-19%	-26%	-26%
winter	692	18%	12%	13%
jaar	922	9%	3%	3%
		1022 mm	945 mm	952 mm

De gevoeligheid van de modeluitkomsten voor veranderingen van de hydraulische eigenschappen van de diepere lagen (laag 4 t/m 7) is gering. Dat geldt ook voor de randvoorwaarden op de modelrand die via meting verkregen zijn. Een verandering van de stijghoogtes in de watervoerende pakketten met 25 cm heeft alleen in de randzone een ander verloop van de isohypsen tot gevolg.

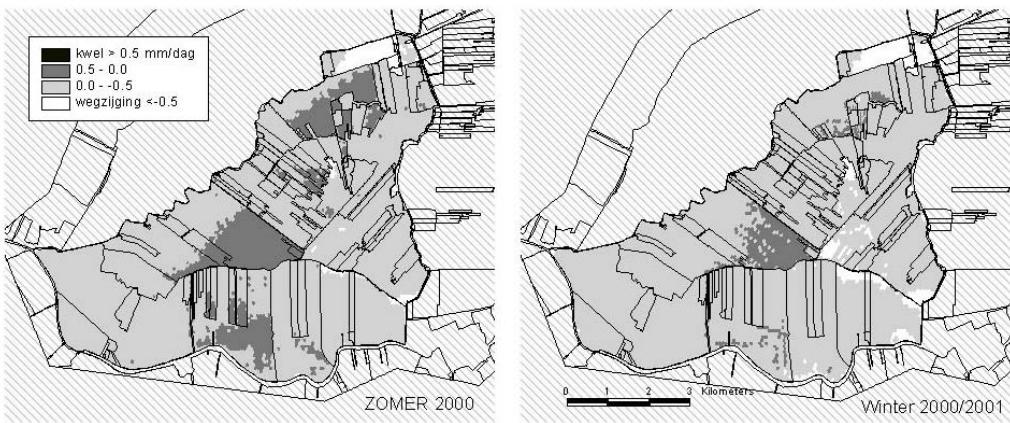
Op grond van de toetsing van de modeluitkomsten voor een analyse van de eigenschappen van de ondergrond is alleen de kD-waarde van het 1^e watervoerende pakket aangepast. Voor het hele pakket is deze met een factor 3 vergroot. De kD-waarde in het 1^e watervoerende pakket varieert na de aanpassing tussen de 900 en ruim 2700 m^2/dag , waarden die ook in de literatuur voor dit gebied worden gegeven (Boswinkel en Cornelissen, 1980). De stijghoogte in het middengebied in het 1^e watervoerende pakket is daarmee nog steeds aan de hoge kant en wordt de berekende afvoer via het gemaal in de winter overschat en in de zomerperiode onderschat. Verdere aanpassingen van de eigenschappen in de ondergrond leveren geen verbetering op. De oorzaak is gelegen in het feit dat met de opgelegde randvoorwaarden in de vorm van stijghoogtes voor de modelrand de uitstroom via de watervoerende pakketten wordt onderschat omdat het model geen rekening houdt met de hoeveelheid water die als kwel in de diepe polders buiten het model ten noordwesten van Nieuwkoop aan deze laag wordt onttrokken. Daarom zijn voor de hele noordwestelijke modelrand de randvoorwaarden voor stijghoogtes vervangen door een opgelegde flux. Deze flux is gebaseerd op het verhang in gemeten stijghoogtes en de aangepaste kD-waarde. Voor de lagen 3, 5 en 7 zijn fluxen berekend van respectievelijk -400, -60 en -160 m^3/dag . De gemiddelde stijghoogte over de hele rekenperiode (1996-2003) die daarmee voor het eerste watervoerend pakket (laag 3) is berekend, staat in figuur 3-10.



Figuur 3-10 Gemiddelde stijghoogte en isohyps in het eerst watervoerende pakket in de periode 1996-2003

3.2.2 Kwel en wegzijging

Via de eerste scheidende laag treedt met het aangepaste model een jaarlijkse wegzijging op van een kleine 100 mm. Er zijn geen meetgegevens van kwel en wegzijging bekend, maar op grond van stijghoogteverschillen tussen het freatisch grondwater en het grondwater in het eerste watervoerende pakket is duidelijk dat in polder Groot Zegveld overwegend wegzijging optreedt. Figuur 3-11 laat de gemiddelde kwel/wegzijging in het zomerhalfjaar van 2000 en het daarop volgende winterhalfjaar zien. Op plekken waar de freatische grondwaterstanden dieper zijn dan de omgeving treedt netto een kleine kwelflux op. In het zomerhalfjaar is het gebied met kwel wat groter dan in de winter.



Figuur 3-11 Netto kwel en wegzetting in polder Groot Zegveld in een zomer- en winterhalfjaar

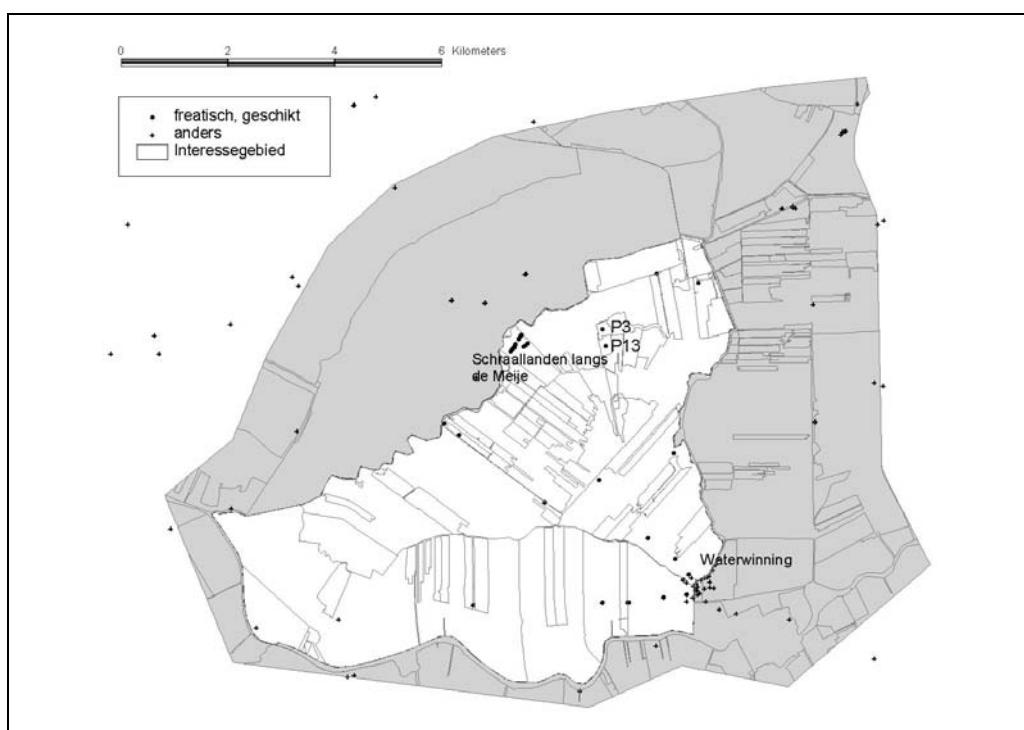
3.2.3 Freatisch grondwater

Naast de geohydrologie zijn de weerstanden (drainage, infiltratie, intree en uittree) van de waterlopen, verdamping en waterinlaat belangrijke modelparameters die van invloed zijn op het freatisch grondwater. Er was geen reden om de verdamping aan te passen. De marge daarvoor is klein en bovendien kan de betrouwbaarheid niet worden getoetst. Daarom is voor de toetsing van het freatisch grondwater gebruik gemaakt van de gevoeligheid voor de weerstanden en de waterinlaat. Deze zijn in samenhang met de afvoer (hfst. 3.2.4) getoetst.

De berekende grondwaterstanden kunnen als vlakdekkende kaart worden gepresenteerd en als tijd-stijghoogtelijnen voor afzonderlijke punten. Een vlakdekkende kaart biedt de mogelijkheid om deze te vergelijken met de grondwatertrappenkaart (Stiboka, 1969 en 1970). De grondwatertrappenkaart is echter gedateerd (de opname heeft in de periode 1960-1964 plaatsgevonden). Inmiddels is het maaiveld gedaald, zijn peilen aangepast en is het aantal onderbemalingen uitgebreid. Ook is de grondwatertrappenkaart grof. Met uitzondering van de strook met klei en klei-op-veengronden langs de Oude Rijn hebben de veengronden in het interessegebied vrijwel overal een grondwatertrap II. Dit geeft wel aan dat het gebied altijd nat is geweest, met grondwaterstanden in de winter tot aan het maaiveld en gemiddeld laagste grondwaterstanden tussen de 50 en 80 cm.

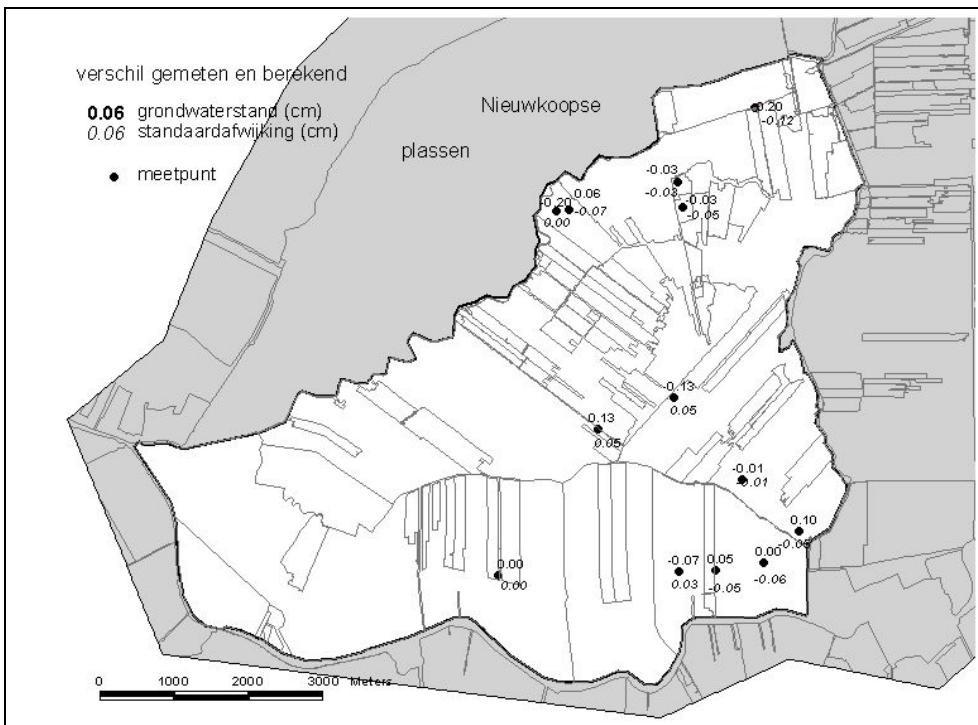
Om de berekende grondwaterstand te beoordelen wordt deze vergeleken met peilbuismetingen. Hiervan zijn er 40 beschikbaar voor het interessegebied (figuur 3-12), maar een aantal is niet geschikt omdat meetgegevens voor de rekenperiode ontbreken. Ook van de meetbuizen die in principe wel geschikt zijn valt een aantal af. In het natuurgebied 'Schraallanden langs de Meije' staan bijvoorbeeld meetbuizen in transecten over percelen om verschillen tussen grondwaterstanden binnen een perceel te meten. Daarnaast heeft dit natuurgebied in het model één peilregime, maar in werkelijkheid worden met windmolentjes en stuwtjes diverse regimes onderhouden.

Op grond van vergelijkingen van gemeten en berekende standen zijn enkele weerstanden en afvoerrelaties aangepast die in eerste instantie als standaardwaarden die de GIS applicatie Alterraqua voor SIMGRO geeft (www.alterraqua.alterra.nl). Met name door te lage uittree- en infiltratieweerstanden in het greppelsysteem was de wateraanvoer op relatief lage plekken dusdanig groot, dat de grondwaterstand in de zomer niet of nauwelijks daalde. Verder is door aanpassingen van afvoerrelaties de afvoer bij waterstanden rond het maaiveld toegenomen. Daardoor is de GHG, die eerder te vaak boven maaiveld kwam, iets minder hoog dan eerder berekend. Bij dit alles is ervan uitgegaan dat de maximale toevoer van oppervlaktewater overall maximaal 2,5 mm/dag bedraagt om de peilen zo goed mogelijk op niveau te houden. Van de afzonderlijke peilvakken is de maximale inlaat onbekend, maar in veenpolders die goed van water kunnen worden voorzien is een inlaathoeveelheid van enkele millimeters per dag gebruikelijk (pers. medeling van Bakel, Alterra).



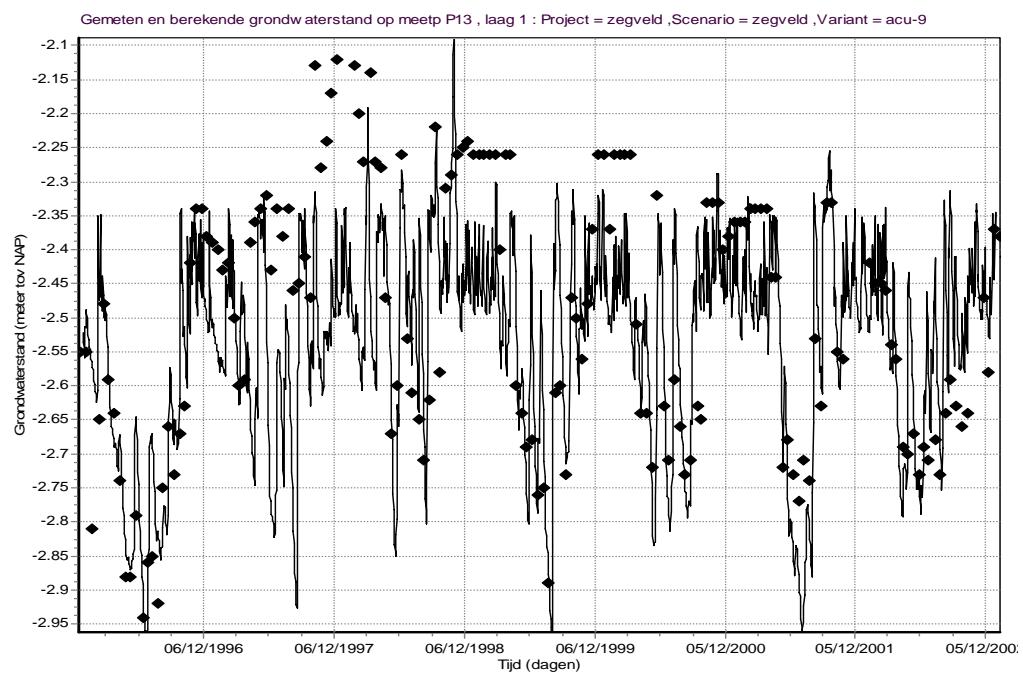
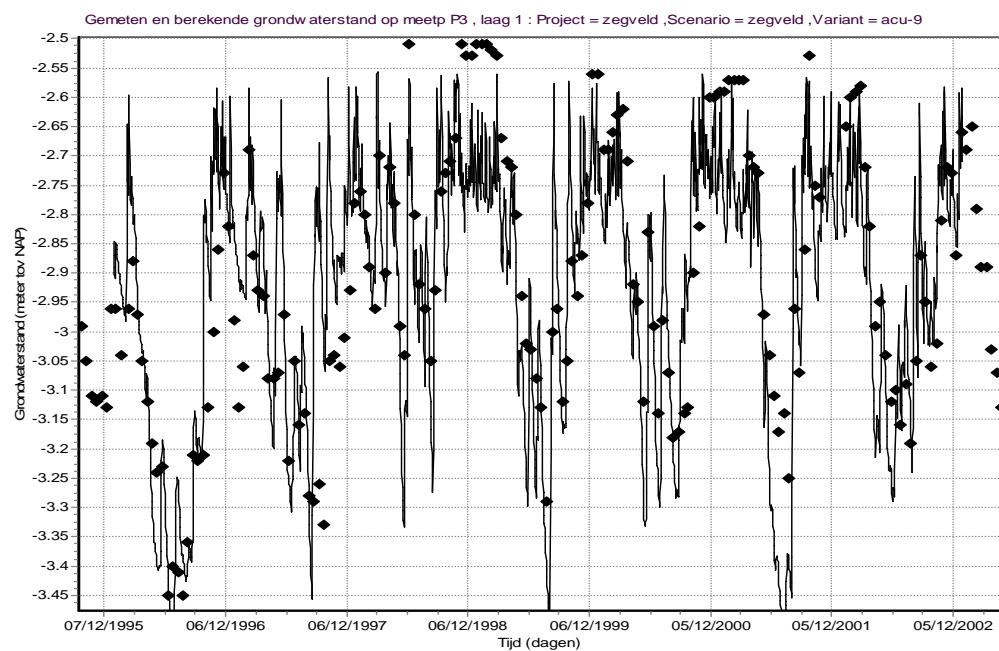
Figuur 3-12 Grondwaterstandsmeetbuizen in en rond het interessegebied

Het model is gekalibreerd. Als uitkomst daarvan staat in figuur 3-13 het gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden, evenals de standaardafwijking. De verschillen zijn in absolute zin klein, maar dat geldt ook voor de fluctuaties. Van de punten met wat grotere verschillen is de waarde van de meetgegevens in een aantal gevallen discutabel. Voor de schraalanden langs de Meije is al aangegeven dat verschillende peilregimes de oorzaak zijn. In een aantal gevallen treedt nauwelijks fluctuatie op, wat erop wijst dat de meetbuis dicht bij een waterloop staat. Ook komt het voor dat de grondwaterstand jaarlijks daalt, waarschijnlijk omdat het peilregime periodiek wordt gecorrigeerd voor het (dalende) maaiveld.



Figuur 3-13 Verschil tussen gemeten en berekende freetsche grondwaterstanden

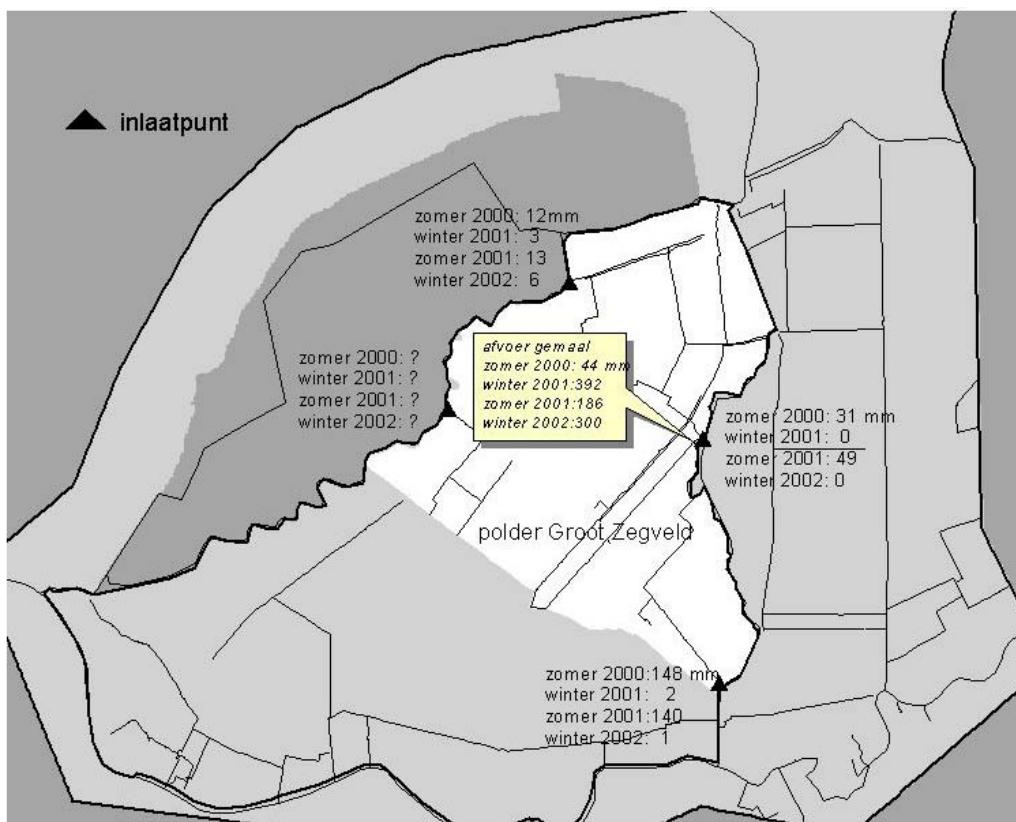
De grondwatermeetbuizen P3 en P13 op de proefboerderij Zegveld zijn representatief voor een diep en ondiep ontwaterd gedeelte. Van deze buizen staan de gemeten en berekende standen in figuur 3-14. Opvallend is dat in de kalibratieperiode soms meer hogere standen zijn gemeten. Tussen de beide plekken is geen verband tussen de datums waarop de hoogste standen zijn gemeten, en ook wordt niet iedere winterperiode eenzelfde maximum bereikt. Na 2002 komen de gemeten standen dichter in de buurt van de hoogst berekende standen. Voor de eerdere verschillen is de oorzaak niet aan te geven. De maaiveldhoogte zal anders zijn geweest, mogelijk was er een ander peilregime en is er anders omgegaan met inundaties.



Figuur 3-14 Berekende en gemeten tijdstijgbooglijnen op proefboerderij Zegveld in een diep (P3) en ondiep (P13) ontwaterd gedeelte

3.2.4 Afvoer en aanvoer

Van de grootste polder in het interessegebied, polder Groot Zegveld, is bekend hoeveel water er tussen 2000 en 2002 bij het gemaal is uitgeslagen. In polder Groot Zegveld wordt op meerdere plaatsen water ingelaten. In figuur 3-15 staan de hoeveelheden per zomer- en winterhalfjaar. Van het meest westelijke inlaatpunt aan de Nieuwkoopse Plassen is alleen bekend dat de orde van grootte vergelijkbaar is met de (kleine hoeveelheid) die via het noordelijke inlaatpunt wordt ingelaten.



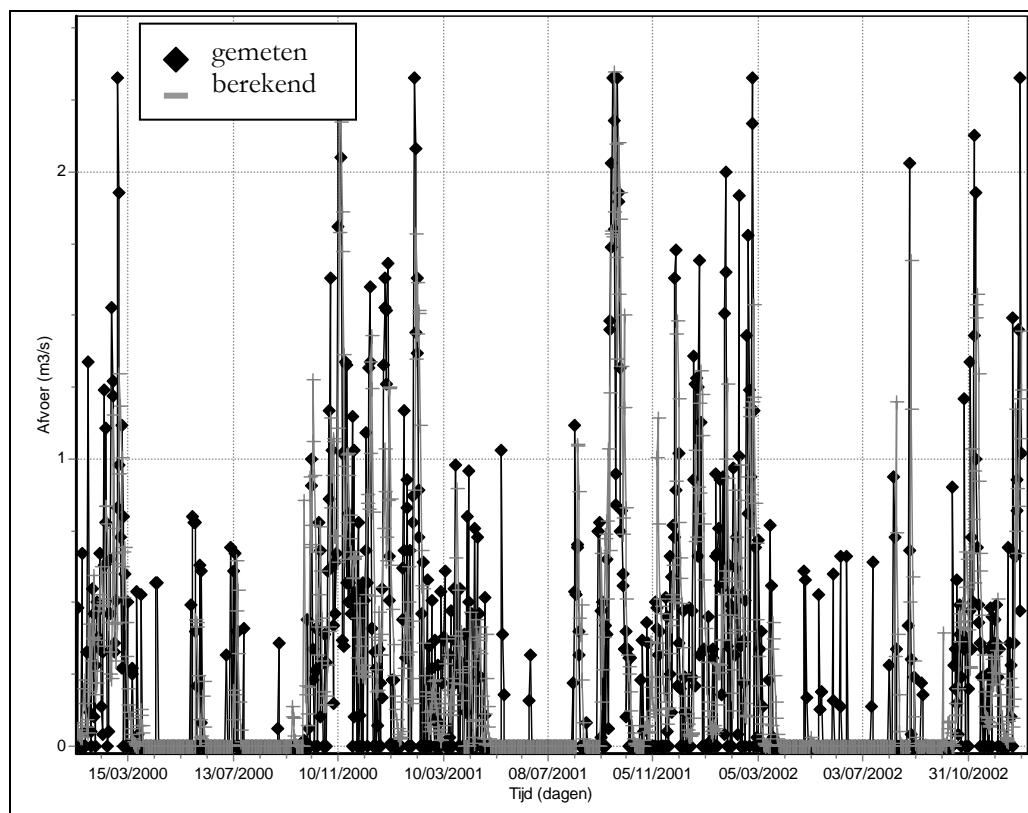
Figuur 3-15 Gemeten aan- en afvoer van oppervlaktewater in polder Groot Zegveld in de periode april 2000 – april 2002

Na de toetsing van de stijghoogtes van het diepe grondwater en het freatisch grondwater in de voorgaande paragrafen zijn de gemeten en berekende afvoeren van polder Groot Zegveld met elkaar vergeleken. In figuur 3-16 staan de gemeten en berekende afvoer op dagbasis weergegeven. Het verschil tussen berekende en gemeten afvoer bedraagt over de periode zomer 2000 t/m winter 2002 4%. In het eerste jaar is de gemeten afvoer 15% groter dan de berekende hoeveelheid. In het tweede jaar is de gemeten afvoer 5% kleiner dan de berekende afvoer.

De verschillen worden ook groter als de vergelijking tussen gemeten en berekende afvoeren voor een kortere periode wordt gemaakt (tabel 3-4). De belangrijkste reden hiervoor is het feit dat het model rekening houdt met starre randvoorwaarden voor de afvoer en inlaat van water, terwijl in de praktijk wordt geanticipeerd op de weersverwachting en rekening kan worden gehouden met wensen ten aanzien van waterinlaat en –afvoer.

Tabel 3-4 Correlatiecoëfficiënt voor berekende en gemeten afvoeren van polder Groot Zegveld voor verschillende perioden

	jaar	maand	20 dagen	10 dagen	dag
Correlatiecoëfficiënt	0,96	0,96	0,96	0,91	0,62



Figuur 3-16 Gemeten en berekende afvoer van polder Groot Zegveld in de periode 2000-2003

De wateraanvoer die door het model berekend wordt is minder dan de gemeten hoeveelheid (tabel 3-5). In de zomer is het verschil ongeveer 60 mm. In de winterperiodes is de ingelaten hoeveelheid klein. Een duidelijke oorzaak is niet aan te geven. Gegevens over de ingelaten hoeveelheid water zijn meestal onbetrouwbaar omdat ze berekend worden uit het verval en de tijd dat een schuif openstaat. De metingen kunnen daardoor een overschatting geven, maar een deel van het water kan ook naar andere afwateringseenheden worden doorgevoerd of voor doorspoeling worden gebruikt. Ook kan dewegwijziging naar de ondergrond groter zijn, maar dat is minder waarschijnlijk (zie ook 3.2.5).

Tabel 3-5 Waterinlaat in polder Groot Zegveld

	Winter 2000	Zomer 2000	winter 2001	Zomer 2001
Gemeten *)	5	191	7	202
Berekend	2	127	2	146

*) exclusief kleine, onbekende hoeveelheid uit de Nieuwkoopse plassen

3.2.5 Discussie

De belangrijkste modelparameters voor de kalibratie van het referentiemodel zijn de geohydrologische eigenschappen van de bovenste 3 bodemlagen, de drainage- en infiltratieweerstanden en de waterinlaat. Voor de toetsing van de modeluitkomsten waren weinig geschikte meetgegevens van grondwaterstanden, afvoeren en waterinlaat beschikbaar. Een cruciale variabele bleek de noordwestelijke modelrand te zijn. De diepe polders bij Nieuwkoop zorgen voor een sterk verhang van het grondwater in de watervoerende pakketten en daardoor ook van een grote laterale flux over de modelrand. Het model berekent een te kleine flux uit de stijghoogtes die voor de modelrand zijn opgegeven. Daarom is gekozen om aan dit deel apart berekende fluxen op te leggen.

Bij de kalibratie van het referentiemodel wordt geen rekening gehouden met de daling van het maaiveld. Dat levert een aantal onzekerheden op, omdat is uitgegaan van een hoogtemodel en peilgebieden die in feite momentopnamen zijn. De maaiveldhoogte in het veengebied neemt jaarlijks af, en de indeling en het peilregime worden regelmatig aangepast. Dat heeft invloed op grondwaterstanden, waterafvoer, en dergelijke. Daar is hier geen rekening mee gehouden. Het referentiemodel is, als geen rekening wordt gehouden met de daling van het maaiveld, feitelijk alleen geschikt voor het jaar waarop maaiveld en peilen gelden (ca. 2002). Voor dat jaar is er op jaarbasis geen verschil tussen gemeten en berekende afvoer en komt de gemeten grondwaterfluctuatie bij de meetpunten op de proefboerderij goed met elkaar overeen.

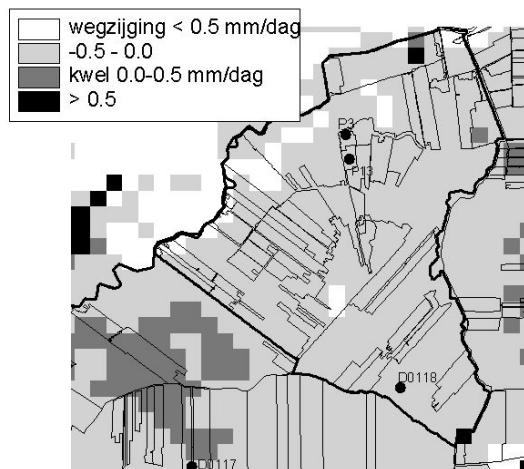
Voor de rekenperiode zijn de verschillen tussen gemeten en met het referentiemodel berekende grondwaterstanden en afvoeren acceptabel klein. Waterbalansen (tabel 3-6) laten nog wel verschillen zien, maar omdat eventuele fouten in neerslag, verdamping en afvoer relatief klein zijn, moet de oorzaak van de verschillen gezocht worden bij dewegwijziging en/of de gemeten wateraanvoer. Voor beide zomerhalfjaren (2000 en 2001) zou een toename van de wegwijziging met -50 mm een beter sluitende balans opleveren. Omdat er met betrekking tot de stijghoogte van het grondwater tussen het freatische en het 1^e watervoerende pakket nauwelijks sprake is van een seizoensfluctuatie, zal de wegwijziging in de winterperiode dan ook met een vergelijkbare hoeveelheid toenemen. Voor de winter van 2000/2001 zou dat ook een passender waterbalans opleveren, maar voor de winter van 2001/2002 zou de wegwijziging juist minder groot moeten zijn. Een grotere wegwijziging is ook niet aannemelijk volgens het NAGROM-model, waarmee voor heel Nederland voor gridcellen van 250 x 250 meter de kwel is berekend. De gemiddelde wegwijziging in polder Groot Zegveld bedraagt volgens dat model 0,18 mm/dag tegenover 0,25 mm/dag die hier is berekend. De patronen in kwel en wegwijziging volgens het NAGROM-model (figuur 3-17) komen in grote lijnen overeen met figuur 3-16. De verschillen zijn toe te schrijven aan verschillen in schematisatie.

Tabel 3-6 Vereenvoudigde waterbalansen voor polder Groot Zegveld

	Zomer 2000	Winter 2000/01	Zomer 2001	Winter 2001/02
Neerslag *)	377 (mm)	564	586	427
Verdamping **)	-438	-88	-483	-115
Wegzetting **)	-45	-50	-46	-50
Afvoer *)	-44	-392	-186	-300
Inlaat *)	191	5	202	7
verschil	41	39	73	-31

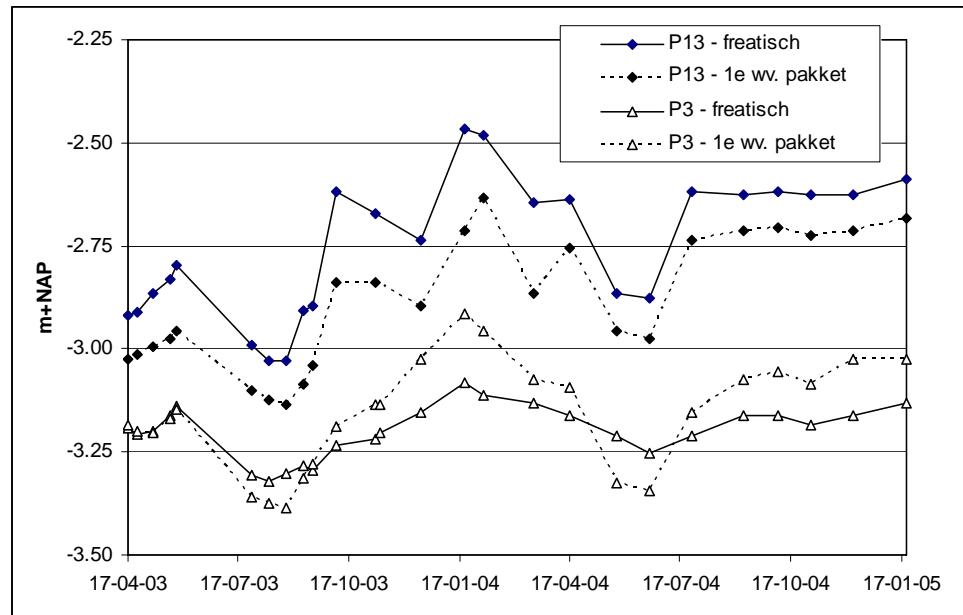
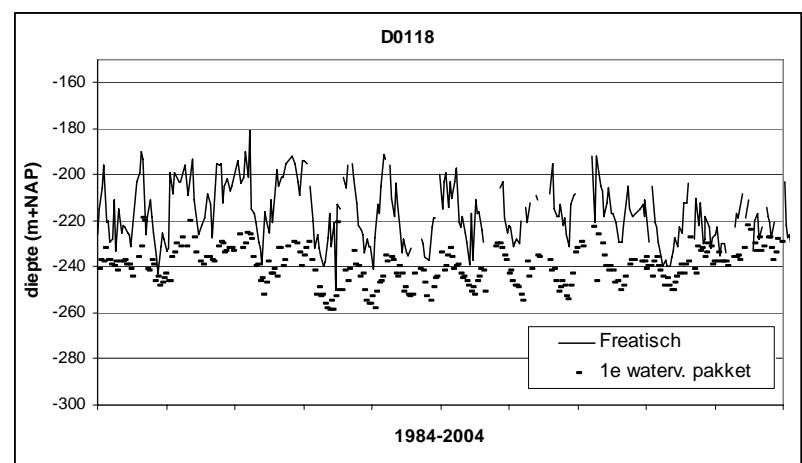
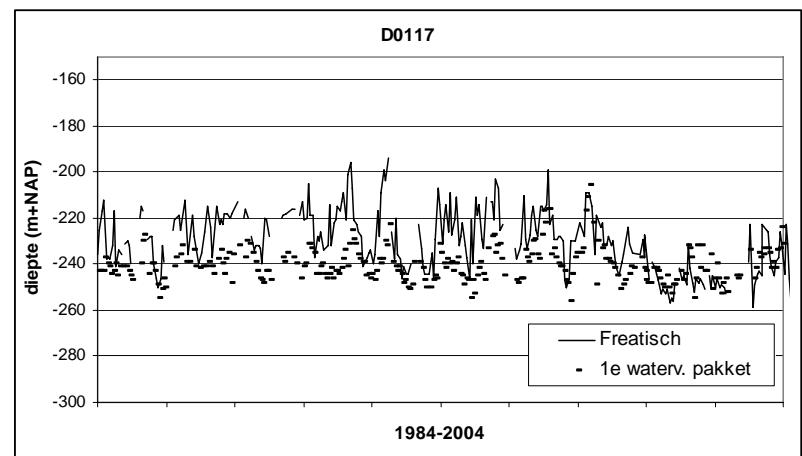
*) gemeten

**) berekend



Figuur 3-17 Kwel en wegzetting in polder Groot Zegveld volgens het nationale grondwatermodel (NAGROM)

In figuur 3-18 staan 4 meetplekken aangegeven waar de stijghoogte van het grondwater in het 1^e watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand gemeten worden. Bij D0117, D0118 en P13 (zie fig. 3-17) is het verschil tussen de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand negatief, oftewel er is sprake van een wegzettingsituatie. Alleen bij P3 is 's zomers het verschil negatief, maar 's winters positief.



Figuur 3-18 Gemeten stijghoede van het grondwater in het 1^e watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand op 4 verschillende plekken

De berekende waterinlaat is in beide zomers ongeveer 60 mm kleiner dan de gemeten waterinlaat. Met een 60 mm grotere inlaat in de zomer zouden de waterbalansen veel beter kloppen. De balans zou daarmee in de zomer van 2000 een klein tekort laten opleveren en in de zomer van 2001 een klein overschat. Anderzijds zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat de gemeten inlaat is overschat of dat er een gedeelte voor doorspoeling is gebruikt. Opvallend is wel dat in de zomer van 2001 de gemeten waterinlaat groter is dan in 2000, terwijl er juist veel meer neerslag is gevallen.

3.3 Daling van het maaiveld

Daling van het maaiveld in veengebieden is het gevolg van oxidatie, zetting of klink en krimp. De voornaamste oorzaak van een versnelde daling van het maaiveld is een versterkte biologische afbraak van het veen als gevolg van een betere toetreding van lucht door ontwatering. Maaivelddaling door peilverlaging in het studiegebied treedt al op sinds de ontginning die in de elfde eeuw heeft plaatsgevonden (Beuving en van den Akker, 1996). Tot 1875 is het maaiveld in het veengebied met 1,50 m gedaald, wat neerkomt op een jaarlijkse daling van 1,7 mm. In de periode 1875 – 1965 is de ontwatering verbeterd en als gevolg daarvan is het maaiveld nog eens met 0,5 m gedaald (5,6 mm/jaar).

Op de proefboerderij Zegveld is tussen 1966 en 1992 de daling van het maaiveld in een veenbodem zonder kleidek intensief gemeten bij twee verschillende ontwateringsdiepten. Bij een slootpeil van gemiddeld 0,35 m–mv bedraagt de gemiddelde dalingsnelheid 6,7 mm/jaar en bij diep slootpeil van 0,70 m–mv neemt de snelheid met ruim een factor 2 toe tot 15,8 mm/jr. Een gedeelte van de daling lijkt samen te hangen met (structurele) klink. Deze ligt in de orde van grootte van enkele millimeters per jaar (Beuving en van de Akker, 1996). Meer recente metingen die onder stabielere omstandigheden en iets hogere slootpeilen hebben plaatsgevonden laten een daling zien van 5 mm/jaar op het natte perceel en 12 mm/jaar op het droge perceel (meded. van de Akker, 9/8/06).

Voor de berekening van de daling is een koppeling tussen slootpeilen en daling en tussen grondwaterstanden en daling gemaakt aan de hand van metingen die de afgelopen jaren op de proefboerderij jaarlijks zijn gedaan (interne notitie van den Akker, 2006). De daling is hier gerelateerd aan de het gemiddelde van de 3 laagste grondwaterstanden die jaarlijks wordt berekend uit de grondwaterstanden op de 14^e en 28^e van iedere maand (LG3).

In tabel 3-7 staat de daling voor het eutrofe veentype dat het centrale gedeelte van het interessegebied beslaat. Hierin komt binnen een diepte van 1,20 m geen minerale laag voor. Voor veen met een kleilaag is rekening gehouden met de dikte van het veen tussen de kleilaag en de grondwaterstand. Omdat hiermee op grenzen van bodemvlakken discontinuïteiten in daling worden berekend is per knooppunt een schatting gemaakt van de absolute veendikte. De schatting is gebaseerd op interpolatie tussen overgangen van bodemeenheden. Daar zijn de veendiktes wel bekend, bijvoorbeeld op de overgang van een veengrond met kleidekken van 15-40

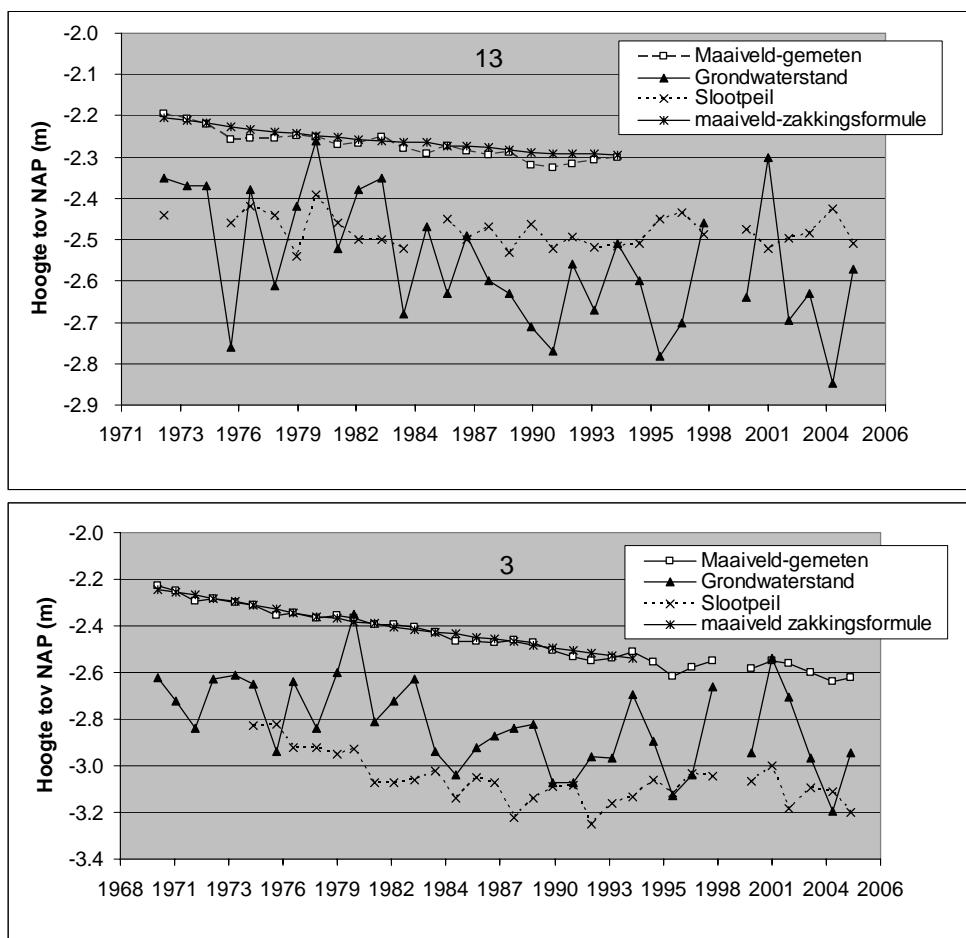
cm en van 40-60 cm. Hierdoor krijgt ook de daling van veen in de overgang van het centrale gedeelte van het interessegebied naar de Oude Rijn een geleidelijker verloop.

Tabel 3-7 Daling in millimeters per jaar van veen op basis van de gemiddeld laagste grondwaterstand in een jaar (LG3). Tussenliggende waarden worden lineair geïnterpoleerd.

grwst. (m-mv)	daling (mm/jr)	grw.stand (m-mv)	daling (mm/jr)
0,00	0,0	0,70	9,8
0,10	0,8	0,80	12,2
0,20	1,7	0,90	14,5
0,30	2,6	1,00	16,9
0,40	3,8	1,10	19,2
0,50	5,1	1,20	21,6
0,60	7,4	1,30	23,9

Discussie

De maaivelddaling die uit de gemiddeld laagste grondwaterstand van een jaar (LG3) berekend is uit tabel 3-7 is vergeleken met de gemeten zinking op de proefboerderij Zegveld. De metingen worden sinds 1970 in het voorjaar gedaan.



Figuur 3-19 Vergelijking van gemeten en de berekende daling van het maaiveld bij een diep (3) en ondiep (13) ontwaterde meetplek op proefboerderij Zegveld

Om een goede vergelijking te kunnen maken is voor de berekende maaiveldhoogte uitgegaan van de gemeten hoogte op de eerste meetdatum. Als compensatie voor de peilaanpassingen die in werkelijkheid wel (maar in de berekeningen niet) hebben plaatsgevonden is de LG3 jaarlijks gecorrigeerd voor de daling die al heeft plaatsgevonden. Voor de diep ontwaterde meetplek op de proefboerderij (plek 3) is uitgegaan van de maaiveldhoogte (in 1970) van 2,23 m-NAP en voor de ondiep ontwaterde meetplek (plek 13) van 2,20 m-NAP. Figuur 3-19 laat zien dat berekend en gemeten goed overeenkomen. De gemeten dalingen variëren meer als gevolg van zwel en klink die samenhangen met de omstandigheden tijdens de eenmalige meting. In een erg nat voorjaar kan de zwel daardoor zelfs zo groot zijn dat de maaiveldhoogte netto toeneemt.

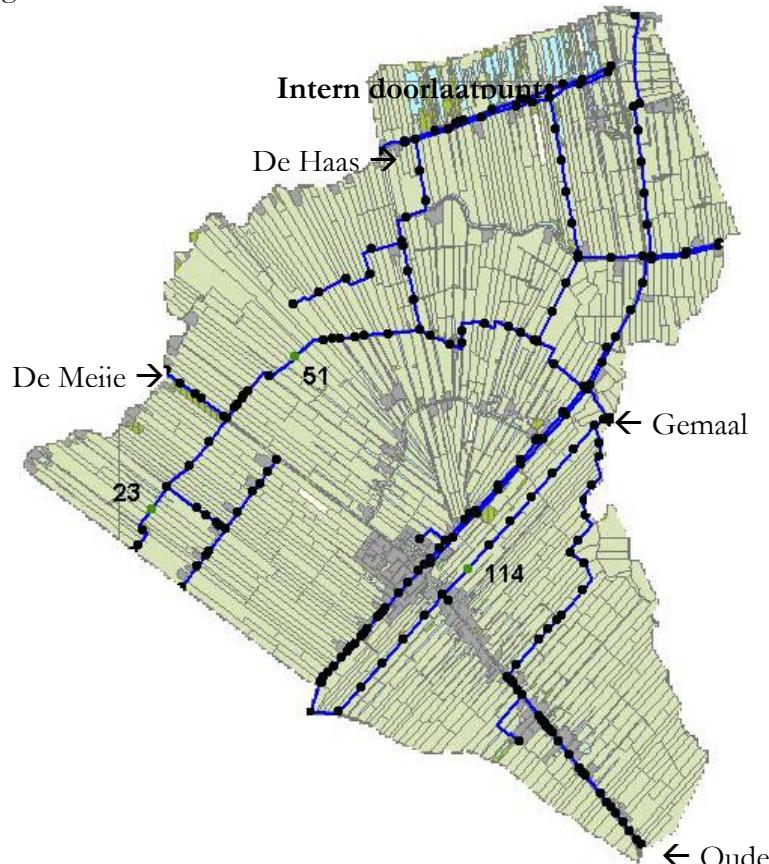
3.4 Waterverdeling

Waterinlaat in de zomer dient om het water op peil te houden ten tijde van water tekort (zomer periode). Dit water wordt uit de boezem het gebied ingelaten. Dit gebiedsvreemde water kan van invloed zijn op de waterkwaliteit, en kan veenoxidatie en dus de bodemdaling versterken. Om na te gaan in hoeverre (gebiedsvreemd) inlaatwater uit de boezem in het onderzoeksgebied kan doordringen is een koppeling gemaakt van het model SIMGRO met het oppervlaktewatermodel SIMWAT (Querner, 1993). SIMWAT is ontwikkeld om in waterlopen de stroming te simuleren. In bijlage 1 staat een technische toelichting van het model. Om met SIMWAT situaties door te rekenen zijn randvoorwaarden noodzakelijk, zoals drainage of infiltratie. Deze hoeveelheden worden op tijdstap-basis uitgewisseld met het grondwatermodel. Het grondwatermodel functioneert dan als een deelsysteem dat water vraagt of over heeft. Het oppervlaktewaterstelsel dient als het transportmiddel om het water aan- of af te voeren. In het oppervlaktewatermodel wordt ook met een tracer (of conservatieve stof) gewerkt. Op deze manier is het mogelijk het aandeel buiten water in ieder punt van het netwerk te berekenen.

Voor de waternaanvoer voor peilbeheersing wordt gebruik gemaakt van inlaten. In werkelijkheid is dit bijvoorbeeld een afsluitbare duiker die gedeeltelijk of geheel wordt open gezet. Het inlaatdebit wordt dan afgestemd op de waterbehoefte, om zodoende het streefpeil te handhaven. Het model compenseert op deze wijze automatisch de waterstandsverlagingen door water in te laten. Hiermee wordt de waternaanvoer voor peilbeheersing nagebootst.

Het model is beperkt tot het afwateringsgebied van gemaal Zegveld omdat voor de kalibratie van het model alleen daarvan voldoende gegevens over de hoeveelheden uitslagwater en inlaatwater bekend waren. De totale oppervlakte van dat gebied bedraagt 1913 ha. Het geschematiseerde waterlopenstelsel staat in figuur 3-20. Hierin liggen 220 knooppunten, met daarnaast 2 gemalen voor interne opmaling, 1 gemaal (Zegveld) voor afwatering van de hele afwateringseenheid op de boezem. Via dit gemaal kan ook water worden ingelaten. Verder zijn er nog 3 andere inlaatpunten en 1 punt om water naar een ander afwateringsgebied door te voeren. Gemiddeld is in dit deel van de polder ca. 12% open water aanwezig.

Vanwege de grote rekentijd moesten de berekeningen met SIMWAT worden beperkt tot enkele jaren. Hiervoor is de periode 1990 -1996 gekozen. In deze periode komen natte en droge jaren voor, die naar verwachting ook een minimale en maximale inlaatbehoefte opleveren. Het model houdt alleen rekening met de hoeveelheden water die nodig zijn voor peilhandhaving. Mogelijke waterinlaat om door te spoelen wordt niet meegenomen.



Figuur 3-20 Schematisatie van het oppervlaktewaterstelsel in afwateringseenheid Zegveld voor toepassing van SIMWAT. Aangegeven zijn waterinlaatpunten en knooppunten waarvoor uitkomsten worden gegeven.

3.5 Nutriënten

De belasting van het oppervlaktewater in veengebieden met stikstof (N) en fosfor (P) is de resultante van verschillende processen. De belangrijkste nutriëntenbronnen zijn: meststoffen uit de landbouw, atmosferische depositie, waterinlaat, veenafbraak cq. mineralisatie en uitlogging van het bodemcomplex. Aan de andere kant wordt er N en P vastgelegd in terrestrische en aquatische biomassa, wordt het via gemalen afgevoerd of verdwijnt het als N₂ in de atmosfeer. Bij alle processen speelt ook het waterlopenstelsel een belangrijke rol.

Omdat al deze factoren in ruimte en tijd wijzigen en deze complexe berekeningen die hiervoor nodig zijn buiten het bestek van deze studie vallen zijn gegevens van onderzoek in een andere veenpolder gebruikt (Hendriks et al., in prep.). Dat

onderzoek is uitgevoerd in de Vlietpolder bij Hoogmade. Zegveld en de Vlietpolder kennen beide een ondiepe uit- en afspoelingscomponent en een geringe wegzetting. Maar qua bodemopbouw en hydrologische situatie verschillen beide gebieden toch zodanig van elkaar dat de resultaten van de Vlietpolder voor Zegveld een relatieve betekenis hebben.

In de Vlietpolder zijn op een proefperceel voor verschillende ontwateringsdiepten en voor situaties met en zonder onderwaterdrains modelberekeningen uitgevoerd. De mestgift is gebaseerd op recente hoeveelheden (2000-2001). Hieruit zijn voor N en P relaties afgeleid tussen de ontwateringsdiepte en de bijdrage van respectievelijk bemesting, atmosferische depositie en de som van infiltratie vanuit de sloten, veenafbraak en uitlogging van het bodemcomplex (tabel 3-8).

Tabel 3-8. Belasting van het oppervlaktewater met stikstof (N) en fosfor (P) door verschillende bronnen in veengebieden bij verschillende droogleggingen. Belasting = Y (kg/ha/jr) Drooglegging =X (cm) (naar Hendriks et al., 2007)

		BRON	VERGELIJKING	R ²
N		meststoffen	$Y=0,0035X^2 - 0,5363X + 26,227$	0,996
		depositie	$Y=0,0005X^2 - 0,1033X + 5,9367$	1,000
		bodem*)	$Y=-0,0002X^2 + 0,1162X + 9,5813$	0,999
N	onder-water-drains	meststoffen	$Y=-0,0003X^3 + 0,067X^2 - 4,7546X + 117,82$	1,000
		depositie	$Y=0,0003X^2 - 0,0527X + 2,3998$	1,000
		bodem*)	$Y=8^{E-}05X^3-0,0112X^2+0,5524X+7,193^{**})$	1,000
P		meststoffen	$Y=0,0002X^2 - 0,0318X + 2,1887$	0,999
		depositie	$Y=2^{E-}05X^2 - 0,0045X + 0,24$	1,000
		bodem*)	$Y=0,0005X^2 - 0,024X + 1,3272$	1,000
P	onder-water-drains	meststoffen	$Y=-2^{E-}05X^3 + 0,0045X^2 - 0,3432X + 9,6159$	1,000
		depositie	$Y=3^{E-}05X^2 - 0,0042X + 0,1744$	0,993
		bodem*)	$Y=0,0011X^2 - 0,0271X + 1,0^{**})$	0,970

*) som van infiltratie uit de sloten, veenafbraak (organisch), mineralisatie (anorganisch) en bodemcomplex

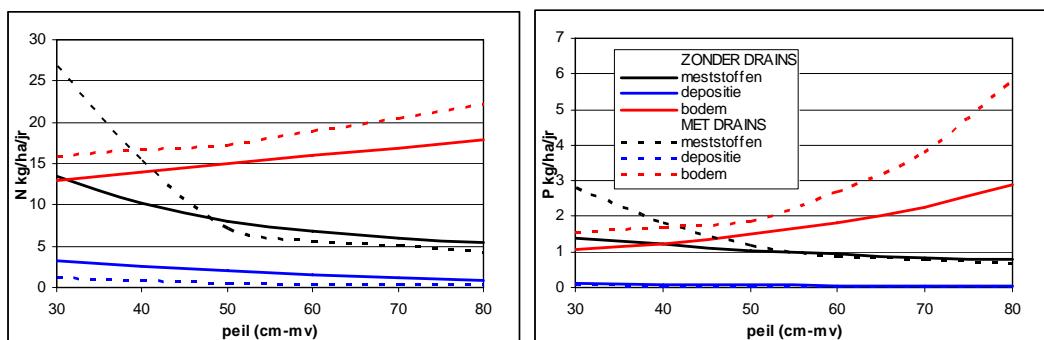
**) gebaseerd op 4 ipv 6 getallenparen

De relaties laten een goede correlatie zien tussen de ontwateringsdiepte en de bijdrage van verschillende bronnen. Figuur 3-21, waarin deze relaties staan afgebeeld, laat voor stikstof zien dat als het in een situatie zonder onderwaterdrains natter wordt, de bijdrage van bemesting groter wordt, maar dat tegelijkertijd de bijdrage vanuit de veenbodem vermindert. Per saldo neemt de N-belasting toe. Een verhoging van een relatief hoog slootpeil heeft weinig effect op de totale P-belasting. Uitgaande van een diep slootpeil neemt de totale P-belasting af bij een verhoging van het peil omdat de uitlogging dieper uit het profiel wegvalt.

Onderwaterdrains hebben bij een ondiep slootpeil een grote uitspoeling van N en P uit mest tot gevolg. Bij een diep slootpeil leiden de drains tot een toename van de uitlogging van N en met name P vanuit de bodem onder de gemiddeld laagste grondwaterstand waar hoge ammonium en fosfaatconcentraties in evenwicht zijn met het bodemcomplex. Er moet rekening mee worden gehouden dat het model waarop de relaties voor onderwaterdrains zijn gebaseerd niet geoptimaliseerd is voor drooglegging en dieptelijging van de drains. In de volgende versie van het model wordt deze beperking ondervangen.

Voor de berekening van de belasting van het oppervlaktewater in het studiegebied is een aantal randvoorwaarden geformuleerd:

- De berekeningen zijn alleen uitgevoerd voor het veengebied omdat er geen goede relaties voor kleigronden beschikbaar zijn. De bijdrage van de kleigronden aan de totale belasting zal kleiner zijn omdat de bijdrage vanuit de veenbodem ontbreekt. Verder verschillen de uitkomsten tussen de strategieën voor de kleigebieden ook minder, omdat ze door hun hogere ligging altijd een grote drooglegging hebben.
- Voor de drooglegging in de relaties van tabel 3-8 zijn de zomer- en winterpeilen van de strategieën gebruikt. Omdat de meeste processen vooral in het zomerhalfjaar plaatsvinden is aan het zomerpeil een weegfactor 0,75 toegekend en aan het winterpeil een factor 0,25. De drooglegging in het studiegebied is vervolgens berekend uit het verschil tussen maaiveldhoogte van een gridcel en de drooglegging per peilvak. De peilstrategieën 3 en 5 (2 peilvakken met respectievelijk wel en geen waterinlaat) zijn wat betreft drooglegging in de zomer in principe gelijk, maar omdat het slootpeil in strategie 5 wegzakt is de drooglegging (dat wil zeggen: de slootpeilen) van deze strategie aangepast met het verschil tussen de gemiddelde grondwaterstanden van beide strategieën om zo toch een indicatie van de nutriëntenbelasting te kunnen geven.
- Bij alle peilstrategieën komen min of meer extreme droogleggingen voor. Als grens voor de geringste drooglegging is 0 cm genomen, en voor de grootste drooglegging 100 cm - mv.
- Onder erg natte omstandigheden zijn gebieden niet geschikt voor landbouw en zal er in die gebieden geen mest meer worden toegediend. Voor de berekeningen is aangenomen dat de grens tussen wel of geen bemesting vanuit de landbouw bij een ontwateringsdiepte van 20 cm ligt.
- Processen zoals uitwisseling van de nutriënten met de waterbodem en opname door waterplanten zijn niet in beschouwing genomen. De veranderingen in belasting met N en P zijn daarom niet vertaald naar veranderingen in concentraties in het slootwater.



Figuur 3-21 Belasting van het oppervlaktewater met stikstof (N) en fosfor (P) door verschillende bronnen in relatie tot het slootpeil

3.6 Geschiktheid voor natuur

Bodemdaling in de veenweiden wordt vooral veroorzaakt door landbouwkundige ontwatering. Om dit proces tegen te gaan is een hoger grondwaterpeil noodzakelijk. Dit biedt mogelijkheden voor natuurontwikkeling.

Binnen het project “Waarheen met het Veen?” doet de vakgroep Landschapsecologie van de Universiteit Utrecht onderzoek naar de ecologische perspectieven bij vernatting van huidige landbouwgronden. Onderzoek wordt gedaan naar:

- de veranderingen die zich bij vernatting voltrekken in de bodemchemie, zoals fosfaatmobilisatie en denitrificatie;
- de ontwikkelingsmogelijkheden van plantengemeenschappen bij de nieuw ontstane bodemchemische omstandigheden;
- de mogelijkheden voor herstel of ontwikkeling van waardevolle natuur op voormalige landbouwgronden.

De eerste zeer voorlopige resultaten van dit experimenteel onderzoek zijn gerapporteerd (van de Riet, 2006). Dit onderzoek is echter nog niet zover gevorderd dat nu reeds hiervan gebruik kan worden gemaakt bij de analyse van natuurontwikkelingskansen bij verschillende peilstrategieën in polder Zegveld.

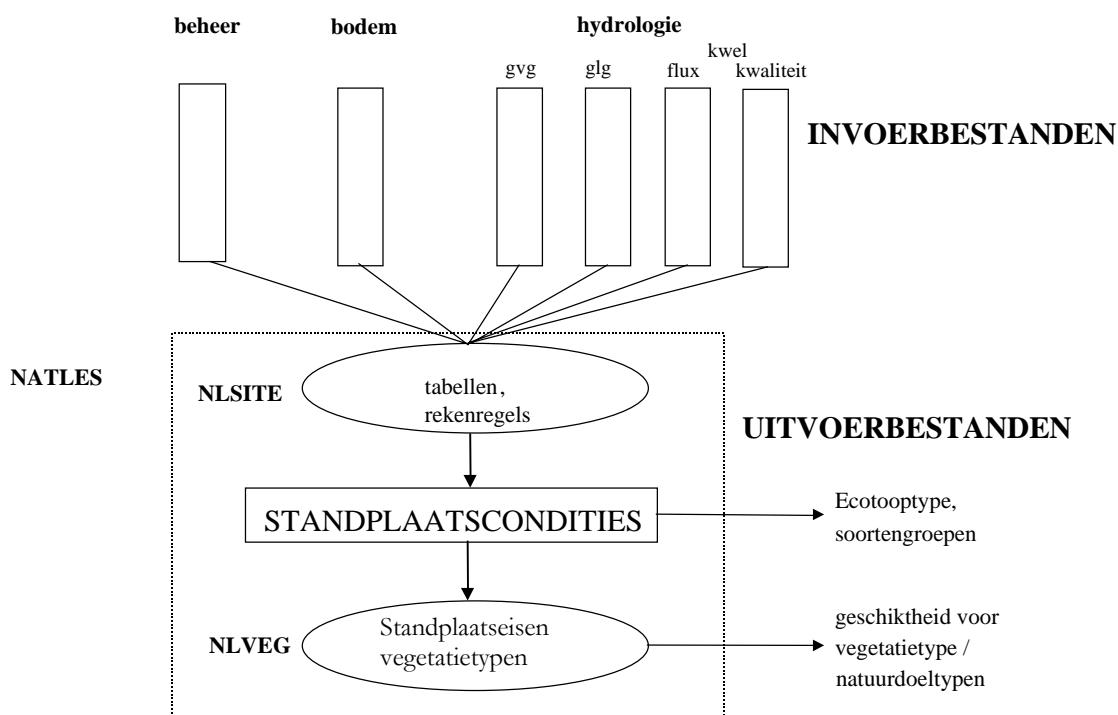
Om hier toch iets over te kunnen zeggen is een modelanalyse uitgevoerd met het model NATLES. NATLES (Runhaar et al. 2003) Naarmate de veengebieden natter worden neemt de geschiktheid voor verschillende typen natte, terrestrische natuur toe. De mate van geschiktheid wordt met het model NATLES berekend. NATLES staat voor ‘NATuurgericht Land-Evaluatie-Systeem’ (Runhaar et al., 2003). Het is een programma dat gebruik maakt van geografische bestanden met informatie over de conditionerende factoren die sturend zijn voor de vegetatie-ontwikkeling: bodem, beheer en hydrologie (figuur 3-22). De invoerbestanden zijn omgezet naar ArcView-gridbestanden met rasters van 25 x 25 meter die aansluiten bij de bestanden van SIMGRO.

De standplaatscondities en vegetatiestructuur worden gebruikt om de standplaatsen in te delen in ecotooptypen. Daartoe is gebruik gemaakt van de CML-ecotooptypen-indeling volgens Stevens et al. (1987). In deze indeling worden op basis van standplaatscondities en vegetatiestructuur ruim honderd ecotooptypen onderscheiden. Een voorbeeld is type G32: ‘Grasland op zeer vochtige, voedselarme, zwak zure bodem’. Afhankelijk van het gewenste detailniveau kan ook worden gekozen voor een vereenvoudigde indeling in ecotoopgroepen, waarbij ca. 50 typen worden onderscheiden. Door Runhaar et al. (1987) wordt per ecotootype aangegeven welke hogere plantensoorten kenmerkend zijn voor de onderscheiden typen.

Voor de bepaling van de geschiktheid voor vegetatie- en natuurdoeltypen wordt gebruik gemaakt van tabellen waarin per type wordt aangegeven welke standplaatscondities al dan niet geschikt zijn.

De voorspelling heeft een statisch karakter. Dat wil zeggen dat deze geldt voor veronderstelde evenwichtssituaties. Verder wordt uitgegaan van een deterministische

benadering, waarbij per ruimtelijke eenheid slechts één standplaats type wordt voorspeld. Wel kan een standplaats type geschikt zijn voor meerdere vegetatie-eenheden.



Figuur 3-22 Opzet van het model NATLES

Hier is gekozen om de geschiktheid te bepalen voor het natuurdoeltype Veenmosrietland (3.28). (Bal et al., 2001). Wamelink en Runhaar (2000) geven de abiotische randvoorwaarden van dit doeltype: natte, voedselarme en zure tot matig zure omstandigheden zoals die bij wegzetting in veengebieden veelvuldig voorkomen. Van de benodigde hydrologische gegevens worden de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de kwelflux met SIMGRO berekend.

Beheer, bodem en waterkwaliteit zijn als vaststaand beschouwd. Voor de bodem wordt de bodemkaart 1 : 50 000 gebruikt (figuur 2-4). De kwaliteit van het grondwater is in dit holocene gedeelte van Nederland in de termen van NATLES als hard te kwalificeren. Wanneer dit water de bovengrond kan bereiken gaat NATLES uit van een basische of zwak zure standplaats. Als dat niet het geval is, wordt aangenomen dat de standplaats zuur is. Het beheer wordt verondersteld volledig te zijn afgestemd op de vegetatietypen waarvoor de geschiktheid wordt berekend.

3.7 Geschiktheid voor landbouw

Door Bos en Vogelzang (2006) is een maatschappelijke kosten-baten analyse uitgevoerd van peilveranderingen in polder Zegveld. Daarbij hebben zij gekeken naar de gevolgen voor landbouw, waterbeheer, natuurwaarden, bewoning en recreatie. Verder geeft een onderzoek naar de effecten van verminderde drooglegging in de Krimpenerwaard goed inzicht in de economische gevolgen voor de landbouw cq. de melkveebedrijven in veenweidegebieden (Hoving en de Vos, 2007). Daarom wordt hier volstaan met een beknopte analyse om aan te geven in hoeverre het gebied geschikt is voor landbouw bij de verschillende peilstrategieën en klimaatscenario's. Er wordt een methode toegepast die gebaseerd is op uitgangspunten die Hoving en de Vos in hun studie hanteren. Die stellen dat vernatting van melkveebedrijven van 50 ha mogelijk is als er voldoende variatie in de drooglegging tussen de percelen aanwezig is en er voldoende goed ontwaterde percelen zijn. Vernatting heeft wel tot gevolg dat extra voer moet worden aangekocht. Hoving en de Vos onderscheiden 4 droogleggingsklassen (0 cm, 0-30 cm, 30-50 cm, > 50 cm). De verhouding tussen de oppervlaktes die in de droogleggingsklassen vallen geven aan hoe nat een bedrijf is.

Hier is er van uitgegaan dat als van een gebied van 50 ha meer dan 25 ha een drooglegging heeft van meer dan 30 cm, het aan het criterium van voldoende variatie en voldoende goed ontwaterde percelen voldoet. Om praktische redenen is naar verdeling van de drooglegging in het hele gebied gekeken en niet naar de gemiddelde drooglegging per perceel.

Hoving en de Vos gaan er van uit dat de drooglegging in de winter en zomer hetzelfde is, maar in het interessegebied is dat vaak niet het geval. Hier is voor de drooglegging in de winter gekozen omdat de draagkracht aan het einde van de winter een belangrijke maatstaf is voor de bewerkbaarheid van een perceel.

Om op vergelijkbare wijze als Hoving en de Vos de landbouwkundige mogelijkheden te analyseren bij verschillende peilstrategieën in Zegveld is het interessegebied opgedeeld in gebieden van 500 x 1000 m. Hiervan zijn alleen de gebieden in beschouwing genomen die binnen het interessegebied liggen. Een paar gebieden zijn afgevallen omdat ze gedeeltelijk in het natuurgebied De Haak liggen. Het totale aantal gebieden bedraagt 62. Hiervan ligt de helft in het noorden waar veen zonder kleidek voorkomt en waar de grootste maaivelddaling en vernatting te verwachten valt. In het zuiden hebben de gebieden een kleidek.

3.8 Uitgevoerde analyses

3.8.1 Waterpeilstrategieën

Behalve voor de actuele peilsituatie zijn ook analyses uitgevoerd naar effecten op grondwaterregime, maaivelddaling en geschiktheid voor natuurdoeltypen voor 5 waterpeilstrategieën in het interessegebied. Vanwege de specifieke beschermde status is het natuurgebied 'de Haeck' dat in het uiterste noordoosten ligt, buiten

beschouwing gelaten. Voor elk van de strategieën wordt uitgegaan van een peilregime met een zomerpeil van 30 cm en een winterpeil van 40 cm beneden de gemiddelde maaiveldhoogte van de afwateringseenheid. De verwachting is dat dit peilregime gemiddeld genomen nattere omstandigheden oplevert, en daardoor ook een geringere maaivelddaling zal optreden.

Alle peilstrategieën zijn doorgerekend voor een periode van 45 jaar. Om daarbij een realistisch beeld te hebben van de wisselingen in de weersgesteldheid zijn de weersgegevens van 1950-1995 van De Bilt gebruikt. De polderpeilen worden in de modelberekeningen gedurende de hele periode niet aangepast en voor de grondwateronttrekking wordt een constante onttrekking van 2,9 milj. m^3/jr aangehouden. Verder is steeds uitgegaan van een onveranderd landgebruik.

De maaiveldhoogte cq. drooglegging is jaarlijks gecorrigeerd voor de maaivelddaling. De daling worden per 15 jaar gesommeerd voor nieuwe SIMGRO-invoer en voor de presentatie.

In tabel 3-9 staat een overzicht van de peilstrategieën. Strategie 0 wordt met de peilen doorgerekend die ook voor het referentiemodel zijn gebruikt. Dit moet een beeld opleveren van de autonome ontwikkelingen als de huidige peilen niet meer worden aangepast. Na verloop van tijd zal dan de drooglegging op veel plaatsen niet meer optimaal zijn volgens landbouwkundige normen.

Tabel 3-9 Overzicht van de strategieën

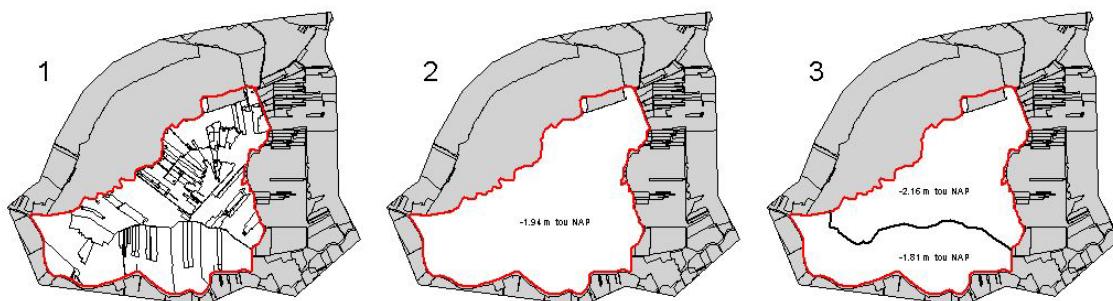
Aanduiding	Indeling peilvakken	Peil zp/wp (cm)	Onderwaterdrains	Waterinlaat
0	Actueel	Actueel (referentie)	nee	ja
1	Actueel	-30/-40	nee	ja
2	1 peilgebied	-30/-40	nee	ja
3	2 peilgebieden (noord en zuid)	-30/-40	nee	ja
4	2 peilgebieden (noord en zuid)	-30/-40	ja	ja
5	2 peilgebieden (noord en zuid)	-30/-10	nee	nee

Voor de strategieën 1 – 3 worden zomerpeilen van 30 en winterpeilen van 40 cm beneden maaiveld gehanteerd. In feite verschilt alleen de indeling in peilgebieden. De indeling is als volgt (figuur 3-23):

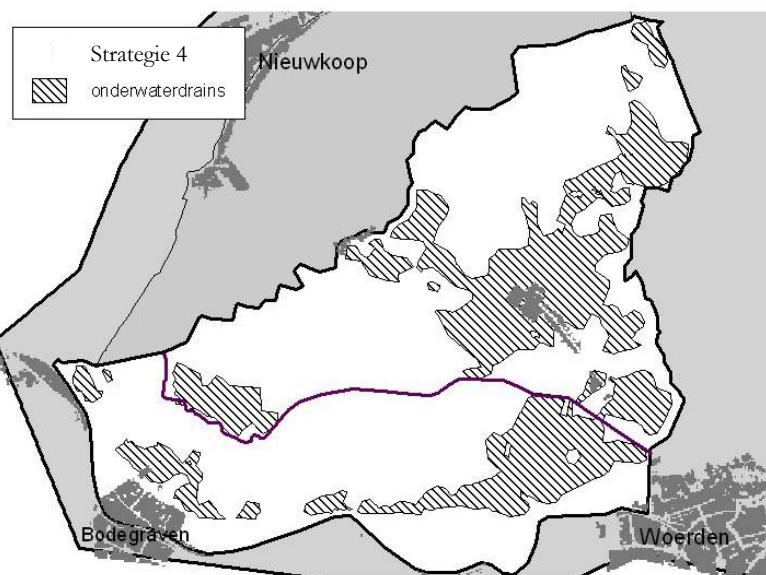
1. De huidige indeling met polders en onderbemalingen
2. Het hele interessegebied als 1 peilgebied
3. Een splitsing in 2 peilgebieden in noord, dat gemiddeld genomen het laagste maaiveld heeft, en zuid, waarvan ook het oplopende maaiveld in de richting van de Oude Rijn deel uitmaakt.

Strategie 3 wordt in strategie 4 uitgebreid met toepassing van ‘onderwaterdrains’ die er in droge perioden voor moeten zorgen dat het maaiveld minder snel zakt. Via de drains kan er een snelle watertoevoer naar het midden van de percelen plaatsvinden en zakken de grondwaterstanden daar minder ver uit. Anderzijds zorgen onderwaterdrains er in natte perioden voor dat hoge grondwaterstanden beter

worden afgetopt. Er zijn wel randvoorraarden verbonden aan de toepassing van onderwaterdrains. Bij slootpeilen hoger dan 30 cm beneden maaiveld zijn ze ongewenst omdat dan vooral de dierlijke meststoffen snel naar het oppervlaktewater kunnen uit- en afspoelen. Bij peilen dieper dan 70 cm beneden maaiveld kunnen onderwaterdrains de diepere veenbodem laten uitlogen. Verondersteld is dat de drains onder het laagste slootpeil liggen. Als onderlinge afstand is 4 m aangehouden. Alleen bij kleine afstanden zijn drains in het veengebied effectief (pers. mededeling Van den Akker, Alterra). Voor de drainageweerstand is 27 dagen genomen. Deze weerstand is berekend aan de hand van onderzoek op proefboerderij Zegveld (pers. meded. R. Hendriks, Alterra). Bij de aanwijzing van de gedraineerde gebieden zijn gebiedjes van enkele hectares niet meegenomen en is de begrenzing wat afgerond (figuur 3-24).



Figuur 3-23 Indeling in peilgebieden voor de peilstrategieën en de gemiddelde maaiveldhoogtes



Figuur 3-24 Onderwaterdrains in strategie 4

Door de maaivelddaling zal het gebied dat een drooglegging van 30-70 cm heeft, gedurende de periode van 45 jaar, wijzigen. Een gedeelte wordt op den duur te nat en anderzijds zal een gedeelte van het gebied dat eerder te droog was wel voor drainage in aanmerking komen. Daarmee is hier verder geen rekening mee gehouden.

In strategie 5 wordt de situatie van strategie 3 gevuld (2 peilgebieden), maar er wordt geen water meer ingelaten om de grondwaterstand op peil te houden. In de winter wordt een buffervoorraad water opgebouwd door het winterpeil 30 cm te verhogen, dus tot 10 cm-mv. Strategie 5 is bedoeld om de gevolgen voor de grondwaterstand en maaivelddaling in beeld te brengen als geen gebiedsvreemd water in het gebied wordt ingelaten.

3.8.2 Klimaatscenario's

Door het KNMI zijn in 2006 klimaatscenario's uitgebracht die een beeld geven van de veranderingen in temperatuur, neerslag, verdamping, wind en zeespiegel rond het jaar 2050 (KNMI, 2006). In totaal zijn 4 scenario's gepresenteerd. Voor deze studie zijn de scenarios gekozen met de minste en met de meeste veranderingen ten opzichte van het huidige klimaat, om de bandbreedte van de gevolgen van het veranderende klimaat aan te geven. In tabel 3-10 staat een samenvatting van de belangrijkste veranderingen. Het gematigde scenario gaat uit van een wereldwijde temperatuurstijging van 1°C en ongewijzigde luchtstromingspatronen in West Europa (scenario G). In de zomer valt wat meer neerslag en is ook de verdamping wat hoger. Het warme scenario gaat uit van een wereldwijde temperatuurstijging van 2°C en een andere luchtcirculatie (scenario W+). Daardoor worden de winters zachter en natter door meer westenwind. De zomers worden aanzienlijk warmer en droger door meer oostenwind.

De hogere temperatuur heeft tot gevolg dat de oxidatie van veen toeneemt waardoor de maaivelddaling ook zal toenemen. De toename van de maaivelddalingen is berekend met een factor f uit vergelijking (Tate, 1987):

$$f = \frac{T - T_r}{Q_{10}}$$

met

T = nieuwe temperatuur

T_r = referentitemperatuur

Q₁₀ = factor, met voor veen de waarde 3 (Hendriks, 1991).

Tabel 3-10 Veranderingen in het klimaat in 2050 volgens 2 klimaatscenario's (KNMI, 2006)

	Scenario G (gematigd)	Scenario W+ (warm)
Algemeen		
Wereldwijde temp.stijging	+ 1°C	+ 2°C
Verandering luchtcirculatie	Nee	Ja
Zomer		
Gem. temperatuur	+ 0,9°C	+ 2,8°C
Gem. hoeveelheid neerslag	+3%	-19%
Aantal natte dagen ($\geq 0,1\text{mm}$)	-2%	-19%
Potentiële verdamping	+3%	+15%
Winter		
Gem. temperatuur	+ 0,9°C	+ 2,3°C
Gem. hoeveelheid neerslag	+4%	+14%
Aantal natte dagen ($\geq 0,1\text{mm}$)	0%	+2%

De effecten van de klimaatsverandering worden voor de referentiesituatie berekend. Daarvoor wordt de referentiesituatie met andere hoeveelheden neerslag en verdamping en de aangepaste relatie tussen grondwaterstand (LG3) en maaivelddaling uit tabel 3-7 doorgerekend. In vergelijking met de maaivelddaling voor het huidige klimaat (tabel 3-7) neemt de daling voor klimaatscenario G toe met 10% toe en voor scenario W+ met 35%. Er wordt verder geen rekening gehouden met neveneffecten van klimaatsverandering, zoals veranderingen van de stijghoogtes in en de watervoerende pakketten en de beschikbaarheid van inlaatwater.

4 Resultaten modelanalyses

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de modelberekeningen die zijn uitgevoerd voor de hiervoor beschreven peilstrategieën. Om daarbij ook de wisselvalligheid in het weer per jaar mee te kunnen nemen is uitgegaan van de weersgegevens van 1950-1995. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 3 periodes van elk 15 jaar. Voor deze periodes, die hier verder zijn aangeduid met 1, 2 en 3, zijn weergegevens van respectievelijk 1950-1965, 1966-1980 en 1981-1995 gebruikt. Voor de berekeningen is uitgegaan van de maaiveldshoogte anno 2005. Vertaald naar de toekomst geven de periodes dus een beeld van de situatie in 2005-2019, 2020-2034 en 2035-2049. De klimaatscenario's zijn gebaseerd op de periode rond 2050.

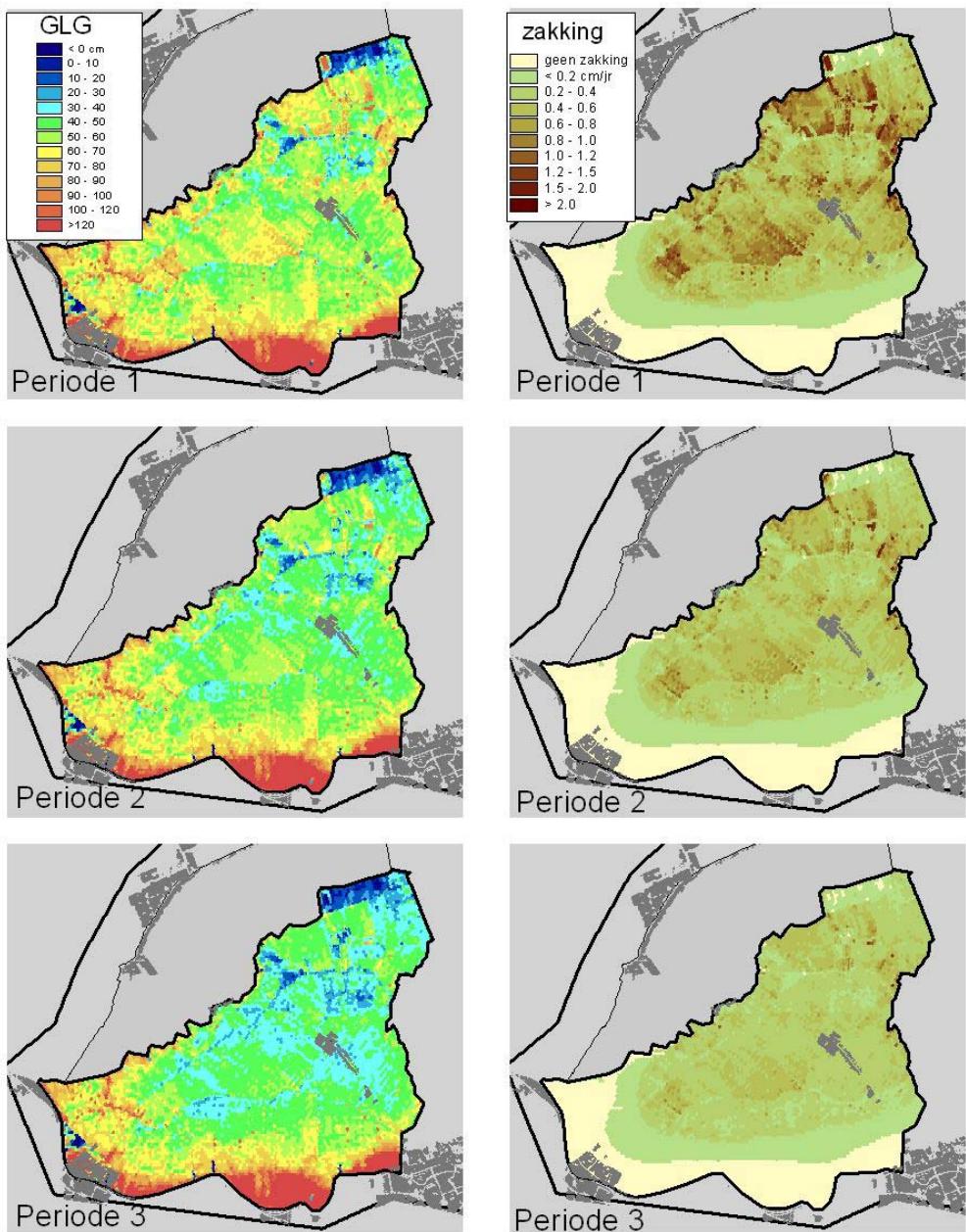
4.1 Diep grondwater en kwel

De stijghoogte van het 1^e watervoerende pakket in het interessegebied wordt vooral bepaald door de peilen in de diepe polders bij Nieuwkoop in het noordwesten en de grondwaterwinning bij Woerden. Beide blijven in alle peilstrategieën ongewijzigd, en aangezien de (netto) wegzijsing vanuit het freatisch grondwater bij alle strategieën ook nauwelijks wijzigt, is het isohypsenpatroon zoals dat voor de referentiesituatie is geschatst (figuur 3-10) ook voor de overige doorgerekende peilstrategieën van toepassing.

Het kwel- en wegzijsingspatroon voor peilstrategie 0 komt overeen met dat voor de referentiesituatie (figuur 3-11). De verschillen in polderpeilen maken dat er plaatselijk kwel optreedt, maar aangezien bij alle strategieën met een hoger freatisch peil wordt gerekend, neemt de kwel af en de wegzijsing toe. Bij de strategieën met grotere peilvakken (2, 3, 4) is het kwel/wegzijsingspatroon gelijkmatiger. Alleen op plekken, waar in de zomer het grondwater diep wegztakt, treedt nog kwel op. In strategie 5, waarin geen water wordt ingelaten en de grondwaterstand in de zomer diep wegztakt, treedt in de zomer de meeste kwel op. In de winter wordt hier het peil extra hoog opgezet, en dat resulteert weer in een grotere wegzijsing.

4.2 Freatisch grondwater en maaivelddaling

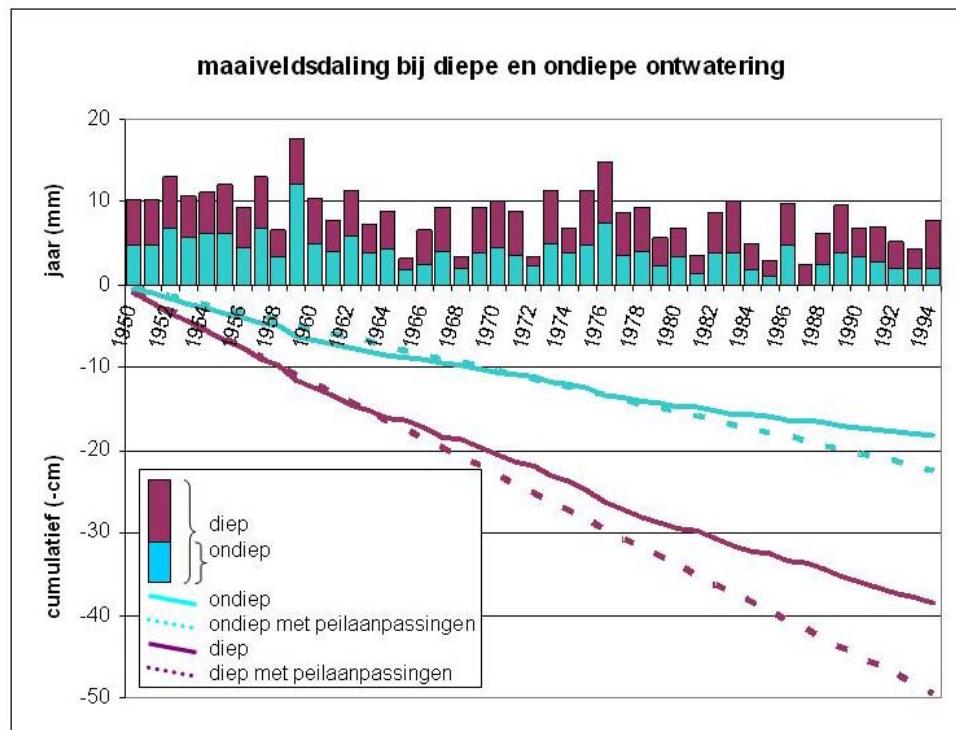
In figuur 4-1 staat de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddelde daling van het maaiveld in de 3 tijdvakken van 15 jaar voor het referentiemodel, dat uitgaat van handhaving huidige peilvakken, echter zonder tussentijdse verlaging van het slootpeil conform de maaivelddaling. De maaivelddaling is een goede afspiegeling van de GLG. De GHG is niet opgenomen omdat die vrijwel altijd hoog is en de verschillen klein zijn. De natte plek in het noorden is natuurgebied 'De Haeck'. Omdat dat gebied buiten het interessegebied is gehouden is daar het peil in alle berekeningen ongewijzigd. Het natte perceel dat iets in zuidwestelijke richting ligt is



Figuur 4-1 Gemiddeld laagste grondwaterstand en gemiddelde daling in 3 opeenvolgende perioden van 15 jaar voor uitgangssituatie (strategie 0)

natuurgebied ‘Schraallanden langs de Meije’. Daar zijn de peilen wel in de strategieën aangepast. De maaivelddaling wordt kleiner in zuidelijke richting waar het veenpakket onder een steeds dikker kleilaag uitwint. De opeenvolgende perioden in figuur 4-1 laten zien dat de GLG in de loop van de tijd afneemt en dat de maaivelddaling verminderd. Omdat de laagste delen natter worden en de hoogste delen droger blijven en dus sneller blijven zakken, nivelleren de verschillen in maaiveldhoogte. Figuur 4-2 illustreert dat apart voor de diep (ca. 55 cm) en ondiep (ca. 20 cm) ontwaterde percelen op de proefboerderij (met respectievelijk de

meetplekken P3 en P13). De jaarlijkse maaivelddaling is erg groot in droge jaren (weerjaren 1959 en 1976). De cumulatieve maaivelddaling (zie fig. 4-2) laat goed zien dat die achterblijft bij de daling die zou optreden als de drooglegging wel wordt aangepast aan de maaivelddaling.



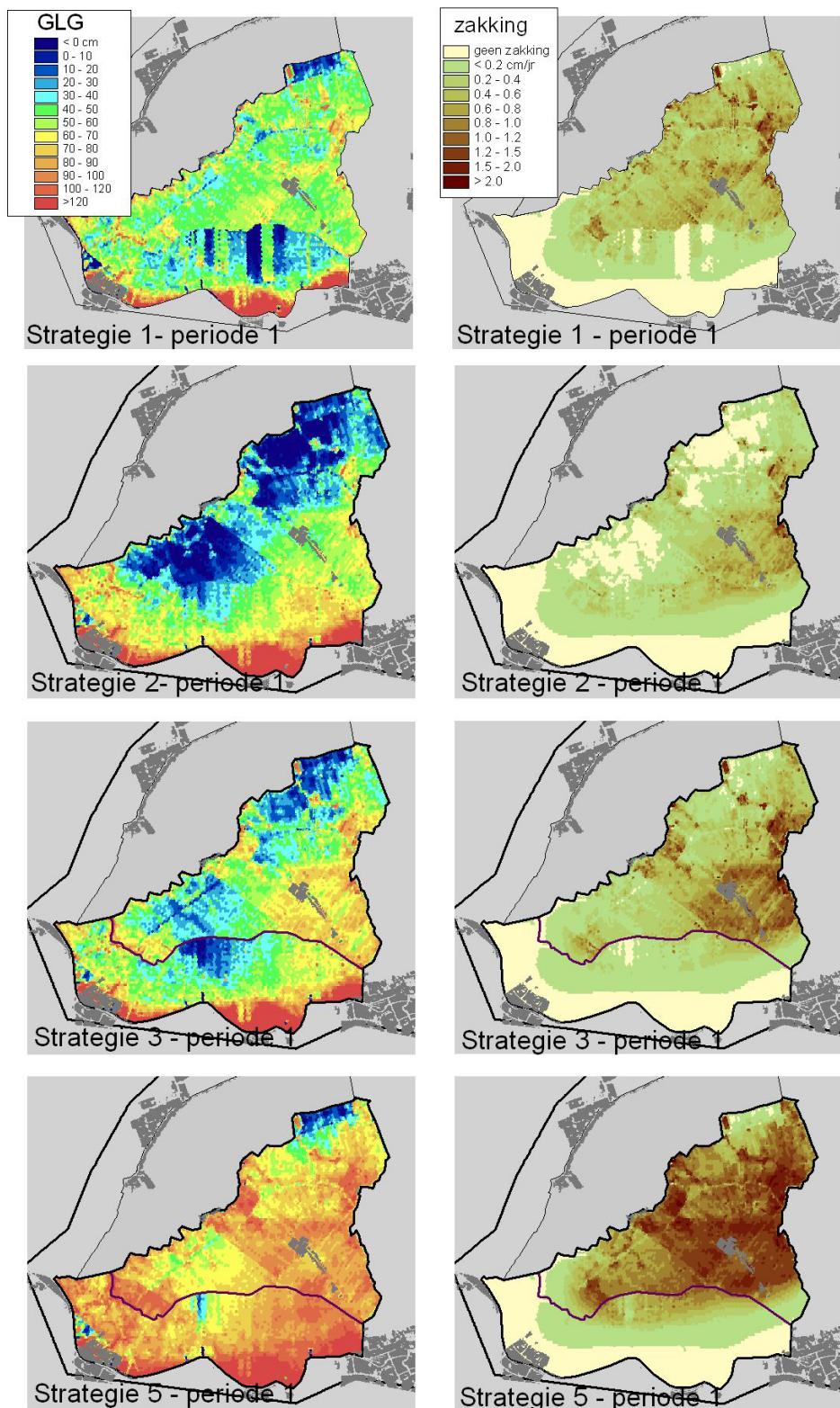
Figuur 4-2 Berekende maaivelddaling bij proefboerderij Zegveld met de weerjaren 1950—1995 in de referentiesituatie (strategie 0)

In figuur 4-3 staat de GLG en gemiddelde maaivelddaling in de eerste periode van 15 weerjaren afgebeeld, zoals die berekend is voor de peilstrategieën 1, 2, 3 en 5. De onderwaterdrains in strategie 4 worden apart besproken (figuur 4-4).

In vergelijking met de referentiesituatie (fig. 4-1, periode 1) is strategie 1 aanzienlijk natter. Voor deze strategie is uitgegaan van een zomerpeil van 30 cm onder de gemiddelde maaiveldhoogte. Hoe groter het hoogteverschil binnen een peilvak is, des te groter is het verschil tussen de droogste en de natste plek binnen dat peilvak. Zo liggen de erg natte plekken in fig. 4-1 in peilvakken waarvan ook de hoger gelegen gronden langs de Oude Rijn deel uitmaken.

Strategie 2 gaat uit van het hele gebied als één peilvak. Grote delen blijven permanent nat. Daar treedt dan ook geen bodemdaling op. Andere delen worden in deze strategie juist droger, met name de hoger gelegen kleizone langs de Oude Rijn.

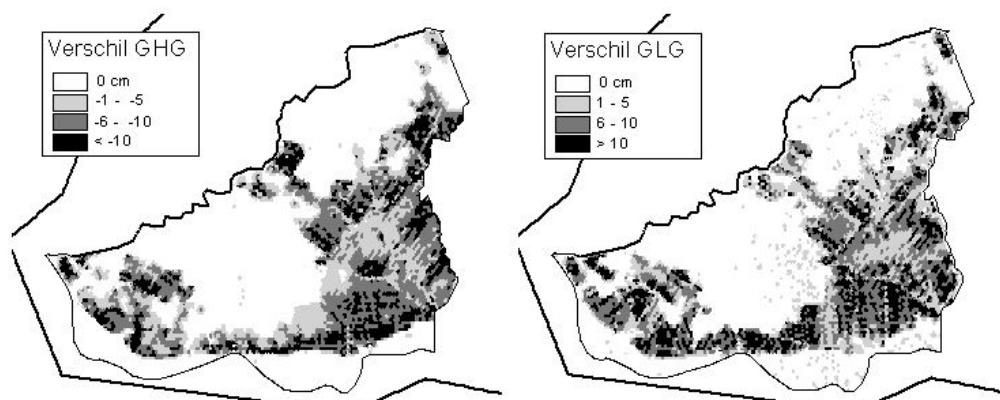
Strategie 3 kent 2 grote peilvakken met een peilverschil tussen het hoger gelegen zuidelijke vak en het lager gelegen noordelijke vak van 35 cm. Het gemiddeld slootpeil in de noordelijke helft is wel lager dan dat in strategie 2, waardoor minder open water voorkomt en het in het oosten droger is. Over het hele gebied gezien zijn de verschillen in grondwaterstand minder groot dan bij strategie 2.



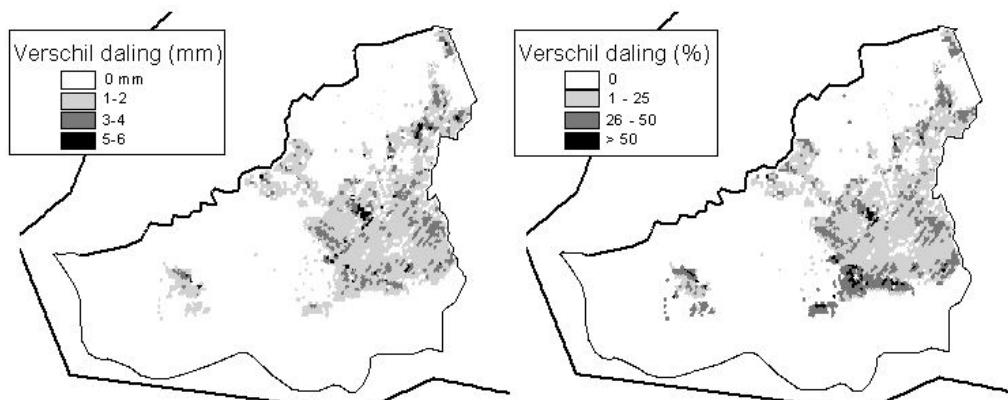
Figuur 4-3 Gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddelde maainvelddaling in de 1^e periode van de strategieën 1, 2, 3 en 5

Bij strategie 5 wordt geen water vanuit de boezem ingelaten. De opgebouwde buffervoorraad tot een GHG van 10 cm onder maaiveld in de winter is duidelijk onvoldoende om in dit gebied, met grotewegzetting naar de noordelijk gelegen droogmakerij, het diep wegzaakken van de grondwaterstand in de zomer te voorkomen. De maaivelddaling is navenant groot.

De aanwezigheid van onderwaterdrains in strategie 4 heeft in vergelijking met de strategie zonder drains (strategie 3) een lagere GHG en een hogere GLG tot gevolg (figuur 4-4). Per saldo daalt het maaiveld op die plekken minder, omdat vooral de GLG invloed heeft op de maaivelddaling.



Figuur 4-4 Verschil in GHG en GLG tussen strategie 3 en strategie 4 (resp. zonder en met onderwaterdrains) in de eerste periode. Door de aanwezigheid van drains wordt de GHG lager en de GLG hoger.



Figuur 4-5 Gemiddelde afname maaivelddaling door onderwaterdrains in de eerste periode van 15 jaar.

Figuur 4-5 laat de verschillen in maaivelddaling zien. Het verschil kan oplopen tot 5 mm/jaar. In de zone met klei-op-veen langs de Oude Rijn hebben de onderwaterdrains wel effect op de GHG en GLG, maar nauwelijks op de daling van het maaiveld omdat die daar al gering is.

Discussie

De randvoorwaarde voor de drooglegging waarop onderwaterdrains effectief kunnen worden ingezet, zijn hier ingegeven uit milieuoverwegingen. Lopend onderzoek doet vermoeden dat in hydrologisch opzicht een drooglegging van meer dan ca. 55 cm

niet zinvol is (pers. meded. van den Akker, Alterra). Daarmee zou de randvoorwaarde voor drooglegging worden beperkt van 30 tot maximaal 55 cm. Het oppervlak met onderwaterdrains waarmee in strategie 4 is gerekend zou daarmee kleiner worden. Voor de effectiviteit per hectare gedraineerd maakt het weinig uit.

Onder optimale omstandigheden kan de daling in gebieden met onderwaterdrains halveren tot 5 mm/jaar. Maar ondanks de aanwezigheid van drains zal het maaiveld toch, zij het langzamer, dalen. Hierdoor worden gebieden geleidelijk te nat voor een zinvolle toepassing van onderwaterdrains. Verder toonden praktijkproeven aan dat moldrains alleen kortstondig functioneerden (van den. Akker, pers. meded., Alterra) Buisdrainage voldeed beter, maar is wel duurder. Bij aanwezigheid van een wat dikkere kleilaag zijn onderwaterdrains minder effectief. Ook in veengebieden met kwel zijn onderwaterdrains minder effectief.

4.3 Waternaamvoer en waterafvoer

Voor alle strategieën zijn de hoeveelheden water berekend die uit het hele gebied op de boezem worden uitgemalen en worden ingelaten. Tabel 4-1 geeft daar een overzicht van. De afvoeren tussen de strategieën 0, 1, 2 en 3 verschillen binnen dezelfde periode weinig van elkaar. De onderwaterdrains in strategie 4 laten een ongeveer 15 mm grotere jaaraafvoer zien dan in strategie 3. De afvoer bij strategie 5 is veruit het kleinst, omdat er vrijwel geen water wordt ingelaten².

De waterinlaat laat grotere verschillen zien. Bij strategie 1 is in vergelijking met strategie 0 15% meer water nodig om het hogere peil te handhaven. Strategie 2, waar delen ook in de zomer onder water staan (dus een grotere verdamping) heeft een vergelijkbare hoeveelheid extra inlaatwater nodig. Strategie 3 kent minder open water en heeft slechts 4% extra inlaatwater nodig. Onderwaterdrains zorgen voor een extra toevoerbehoefte van ruim 10% ten opzichte van dezelfde strategie zonder drains.

Bij alle strategieën neemt de hoeveelheid uitgeslagen water en inlaatwater toe van periode 1 naar periode 3. Een verklaring is dat in periode 1 gemiddeld weinig neerslag viel. Bovendien neemt ook de berging cq. buffering in de onverzadigde zone in de opeenvolgende periodes af omdat het slootpeil niet meer wordt aangepast aan de maaivelddaling, waardoor de grondwaterstand sneller reageert op een neerslagoverschot of -tekort.

² Dat er toch enkele millimeters per jaar wordt ingelaten komt door de randvoorwaarde in SIMGRO, dat waterinlaat pas is toegestaan als de grondwaterstand dieper wegzakt dan 1,5 m

Tabel 4-1 Gemiddelde afvoer per jaar en aanvoer in het zomerhalfjaar (in mm) in 3 opeenvolgende periodes van 15 jaar.

Strategie *)	AFVOER			AANVOER		
	periode 1	periode 2	periode 3	periode 1	periode 2	periode 3
0	363	376	411	109	123	145
1	364	376	411	125	140	163
2	357	368	400	124	134	159
3	358	369	402	113	125	148
4	373	384	416	126	141	161
5	248	254	261	5	5	5
Neerslagoverschot (jaar) (mm/jr)			Neerslagtekort (zomer) (mm/jr)			
	260	275	268	-27	-28	-60

*) Strategie 0: actuele peilregime (ca. 2002)

Strategie 1: actuele indeling in peilvakken; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm

Strategie 2: 1 peilgebied; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm tov gem. maaiveld

Strategie 3: 2 peilvakken; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm tov gem. maaiveld

Strategie 4: Als 2 met onderwaterdrains

Strategie 5: Als 2 zonder waterinlaat, en een winterpeil van -10 cm tov gem. maaiveld

Tabel 4-2 Waterafvoer in een nat winterhalfjaar en in een droge zomer (in mm)

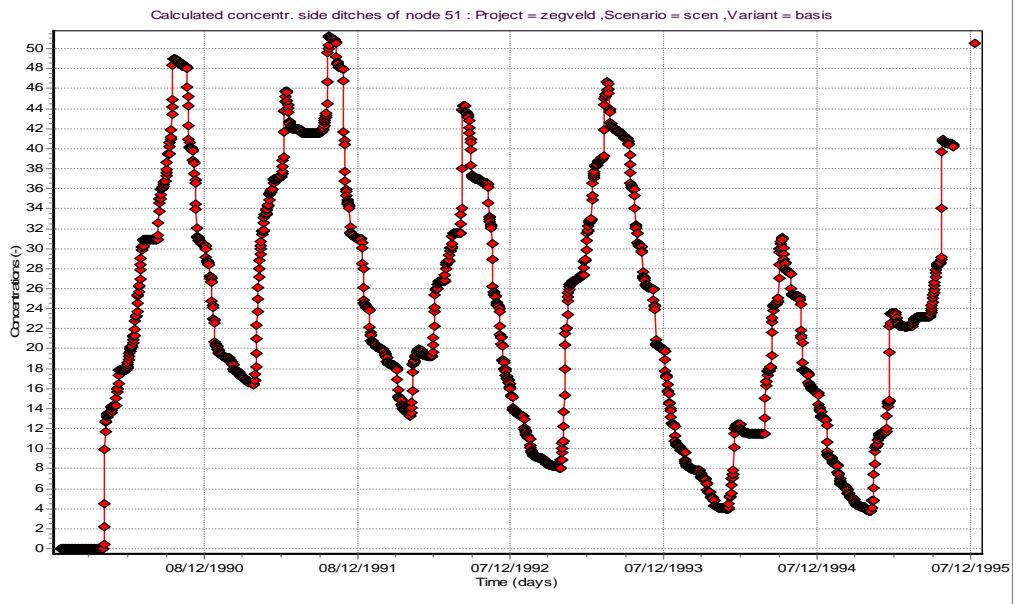
referentiejaar	AFVOER			AANVOER		
	1960	1974	1981	1959	1976	1982
Strategie	periode 1	periode 2	periode 3	periode 1	periode 2	periode 3
0	423	447	521	246	253	241
1	426	452	526	273	282	267
2	429	460	527	265	278	265
3	424	452	521	253	263	250
4	426	456	526	274	279	264
5	262	322	317	8	9	8

Om te zien of bij meer extreme weersituaties meer water moet worden uitgeslagen of ingelaten zijn per periode een natte winter en droge zomer geselecteerd. Voor periode 1 zijn dat respectievelijk 1960 en 1959, voor periode 2 1974 en 1976 en voor periode 3 1981 en 1982. De bijbehorende hoeveelheden staan in tabel 4-2. De waterafvoer hangt sterk af van het neerslagoverschot. De toename varieert van 60 tot meer dan 100 mm. Voor de wateraanvoer is in droge zomers ongeveer dubbel zoveel nodig als in een normale zomer.

4.4 Waterverdeling

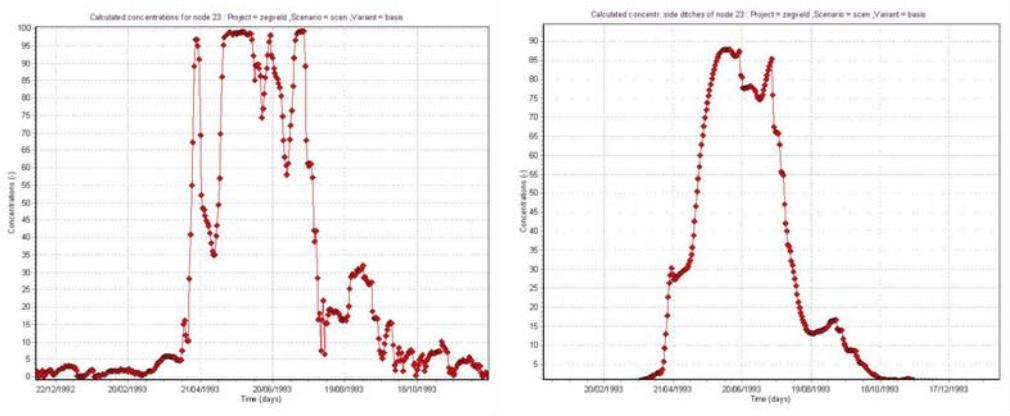
Om een beeld te krijgen van de verdeling van inlaatwater over de poldersloten is voor afwateringsgebied Zegveld (figuur 3-19) deze berekend voor de strategieën 0, 2, 3 en 4 voor de weerjaren 1990-1996.

In figuur 4-6 staat het percentage boezemwater weergegeven dat in de referentiesituatie voorkomt in de perceelsloten/kavelsloten bij knooppunt 51 (voor locatie zie figuur 3-19). Gedurende de zomer wordt het percentage boezemwater hoger. Afhankelijk van de weersomstandigheden wordt het aandeel tussen de 30 en 50%.



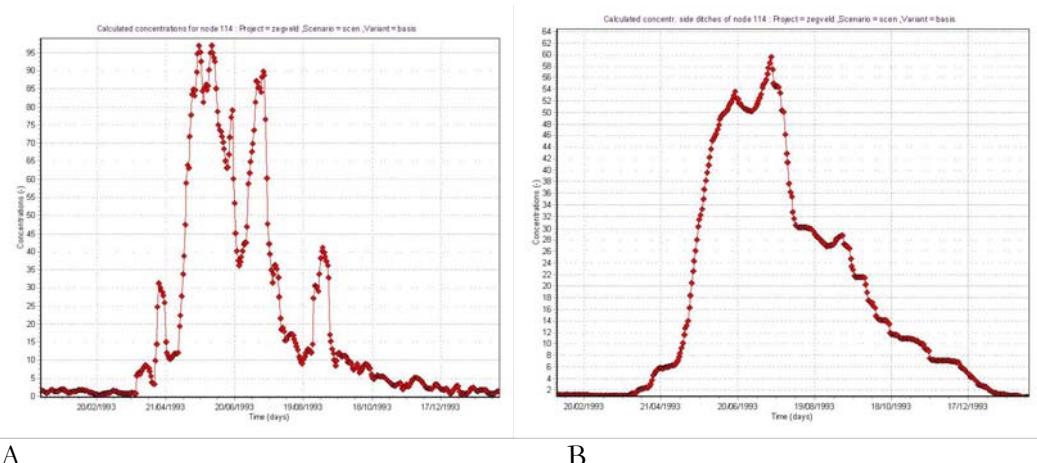
Figuur 4-6 Percentage inlaatwater bij perceelsloten bij knooppunt 51 (voor locatie zie fig. 3-19)

In figuur 4-7 staat het percentage boezemwater voor het droge jaar 1993 voor de hoofdwaterloop en voor de perceelsloten bij knooppunt 23. In de hoofdwaterloop bereikt het percentage boezemwater in de zomer nagenoeg 100%, ondanks dat deze locatie ver achter in het gebied ligt. Door regenval in de zomer zakt dit aandeel sterk. Voor de perceelsloten is het aandeel boezemwater aanzienlijk lager.



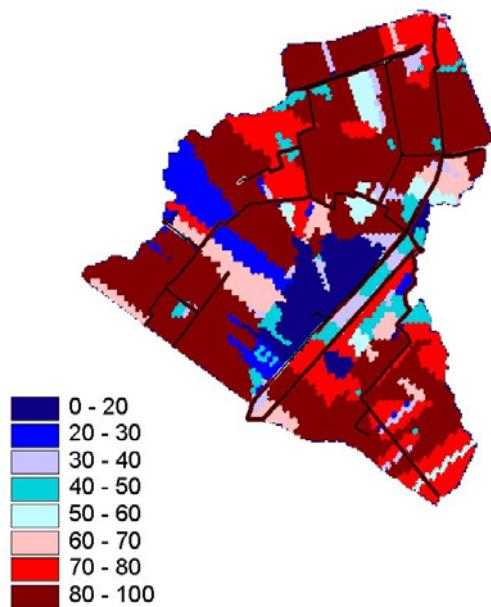
Figuur 4-7 Verloop van het percentage boezemwater in 1993 in de hoofdwaterloop (A) en in de kleinere perceelsloten (B) bij knooppunt 23 (voor locatie zie fig. 3-19)

In figuur 4-8 is het aandeel boezemwater in 1993 weergegeven voor knooppunt 144. Dit punt ligt ver van het inlaatpunt. Het aandeel boezemwater in de hoofdwaterloop wordt er maximaal 85%. Voor de perceelsloten bij dit punt is het aandeel maximaal 60%.

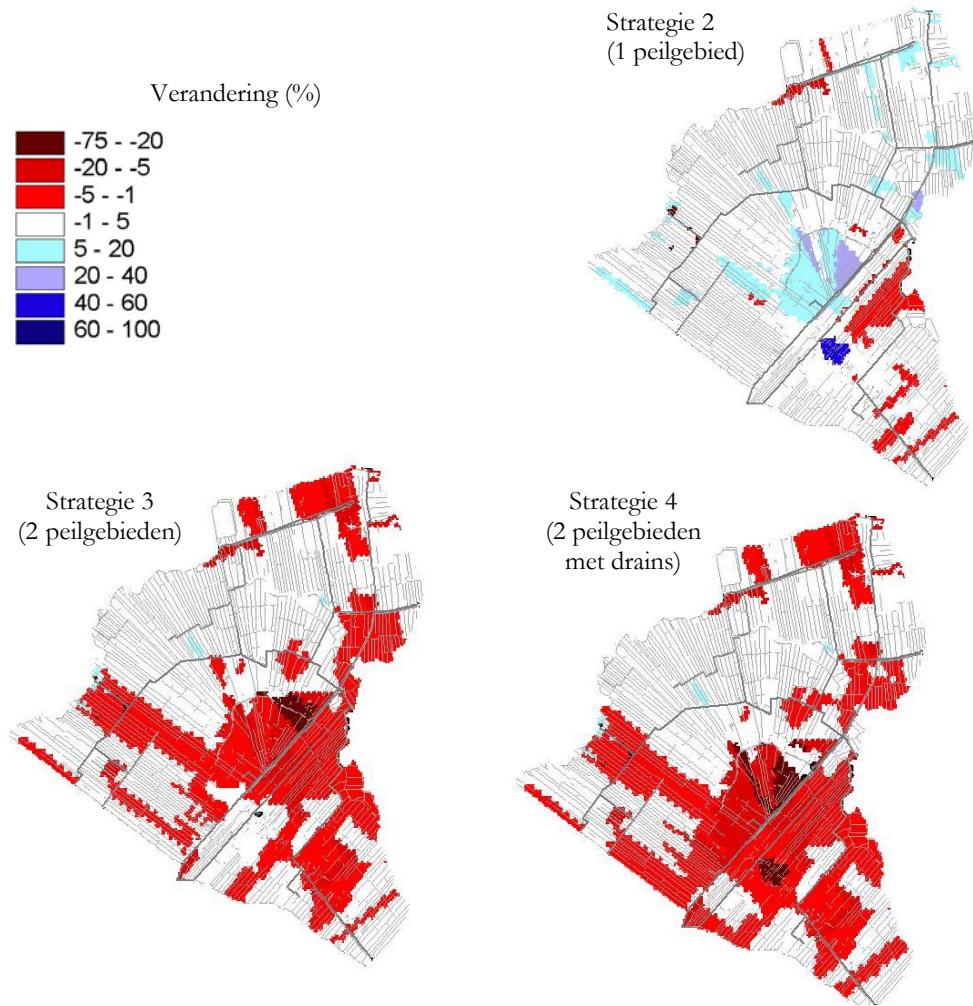


Figuur 4-8 Verloop van het percentage boezemwater in 1993 in de hoofdwaterloop (A) en in de kleinere perceelsloten (B) bij knooppunt 114 (voor locatie zie fig. 3-19).

In figuur 4-9 staat het gemiddelde aandeel inlaatwater in de zomer in afwateringseenheid Zegveld voor de referentiesituatie (strategie 0) en in figuur 4-10 de veranderingen hierin voor de strategieën 2, 3 en 4. Bij strategie 2 gaat in de zuidoosthoek het polderpeil ca. 10-15 cm naar beneden, in de rest van het gebied gaat het peil ca. 15 cm omhoog. Bij een verlaging van het polderpeil zal meer water worden ingelaten en wordt het aandeel boezemwater groter. In figuur 4-10 bij strategie 2 is de verandering zichtbaar, zij het dat de verandering gering is. Bij de strategieën 3 en 4 gaat het polderpeil in het gehele gebied naar beneden, er is dus meer waternaam en het aandeel boezemwater neemt toe.



Figuur 4-9 Gemiddeld aandeel boezemwater in afwateringseenheid Zegveld (zomerperiode) in de referentiesituatie



Figuur 4-10 Verandering van het aandeel boezemwater in perceelsloten voor de strategieën 2, 3 en 4 ten opzichte van de referentiesituatie (figuur 4-9).

4.5 Nutriënten

De belasting van het oppervlaktewater met de meststoffen stikstof (N) en fosfor (P) in het gebied zijn berekend per strategie aan het begin van de 1^e rekenperiode (tabel 4-3) en na 30 jaar aan het begin van de 3^e periode (tabel 4-4). In de tabellen staat aangegeven welk gedeelte van het ca. 5000 ha grote gebied niet bemest is, omdat de drooglegging in de betreffende strategie daar minder is dan 20 cm. De bijdrage van de nutriënten N en P aan de totale belasting in strategieën met veel natte gebieden (strategie 2 in tabel 4-3 en alle strategieën in tabel 4-4) is daardoor klein. De bijdrage aan N vanuit de bodem neemt in natte gebieden juist af, voor P is er weinig verschil. Onderwaterdrains hebben in deze studie een groot effect op de uitspoeling. In de tabel zijn voor deze strategie (4) de gebieden met en zonder onderwaterdrains ook apart weergegeven. De bijdrage van N en P via atmosferische depositie aan de belasting van het oppervlaktewater is in de gedraaineerde gebieden kleiner dan in de niet gedraaineerde gebieden. Dat komt omdat er minder N en P oppervlakkig afspoelt

en er meer door de vegetatie wordt opgenomen. Maar de bijdrage door bemesting en door omzettingen vanuit de bodem neemt in gedraaide gebieden toe.

Tabel 4-3 Berekende stikstof- en fosforbelasting van het oppervlakteswater in kg/ha/jr voor verschillende strategieën aan het begin van de eerste rekenperiode

PERIODE 1	Strategie						
	0	1	2	3	4 geen drains	4 wel drains	5 totaal
bemest (%)	97	87	48	75	47	28	75
niet bemest (%)	3	13	52	25	25	0	25
N uit mest	10,0	10,5	5,4	7,7	7,5	12,0	8,8
N uit depositie	2,6	3,0	4,1	3,1	3,5	0,5	2,6
N uit bodem	14,0	13,3	11,9	13,4	12,8	17,0	14,0
N som	26,6	26,9	21,4	24,2	23,8	29,6	25,5
P uit mest	1,2	1,2	0,6	0,9	0,9	1,3	1,0
P uit depositie	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1
P uit bodem	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	2,6	1,7
P som	2,5	2,5	2,0	2,4	2,3	4,0	2,7

Tabel 4-4 Berekende stikstof- en fosforbelasting van het oppervlakteswater in kg/ha/jr voor verschillende strategieën met de maaiveldhoogte aan het begin van de 3e rekenperiode

PERIODE 3	Strategie						
	0	1	2	3	4 geen drains	4 wel drains	5 totaal
bemest (%)	26	22	20	23	14	9	22
niet bemest (%)	74	78	80	77	58	20	78
N uit mest	3,0	2,4	2,2	2,4	1,8	7,5	3,4
N uit depositie	4,9	4,9	5,1	4,9	5,0	1,9	4,1
N uit bodem	11,0	10,9	10,7	11,0	10,9	10,5	10,8
N som	18,9	18,3	17,9	18,2	17,7	19,9	18,3
P uit mest	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,8	0,4
P uit depositie	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
P uit bodem	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3
P som	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	2,1	1,9

Na 30 jaar is het maaiveld in alle strategieën gedaald, terwijl het slootpeil niet wordt aangepast, waardoor een groot gedeelte van het veengebied te nat is geworden voor landbouw (tabel 4-4). Ook in strategie 4 zijn de gebieden met onderwaterdrains grotendeels te nat geworden voor het huidige landbouwkundig gebruik. De bijdrage van mest aan de totale belasting is daardoor verder afgangen, hoewel die voor de gedraaide gebieden nog steeds het hoogst is.

Discussie

De toename van de uitspoeling door de aanwezigheid van onderwaterdrains komt omdat draindiepte en drooglegging weliswaar binnen de gestelde randvoorwaarden vallen, maar deze niet in onderlinge samenhang zijn geoptimaliseerd. Het maatwerk dat voor de optimalisatie nodig is, valt buiten de scope van deze scenariostudie. In een apart onderzoek wordt daar wel gedetailleerd aandacht aan besteed (van den Akker et al., in prep.). De uitspoeling van N en P uit mest en bodem met een

geoptimaliseerde draindiepte zal naar verwachting kleiner zijn dan hier is berekend. Mogelijk is de uitspoeling zelfs minder groot dan onder dezelfde omstandigheden zonder drains het geval is.

Voor gebieden met een drooglegging van minder dan 20 cm is verondersteld dat er niet meer wordt bemest omdat het te nat is voor landbouwkundig gebruik. In een detailstudie wordt onderzocht welke consequenties vernatting van landbouwgronden heeft op de bodemchemie en de ontwikkelingsmogelijkheden van natte natuur (van de Riet, 2006).

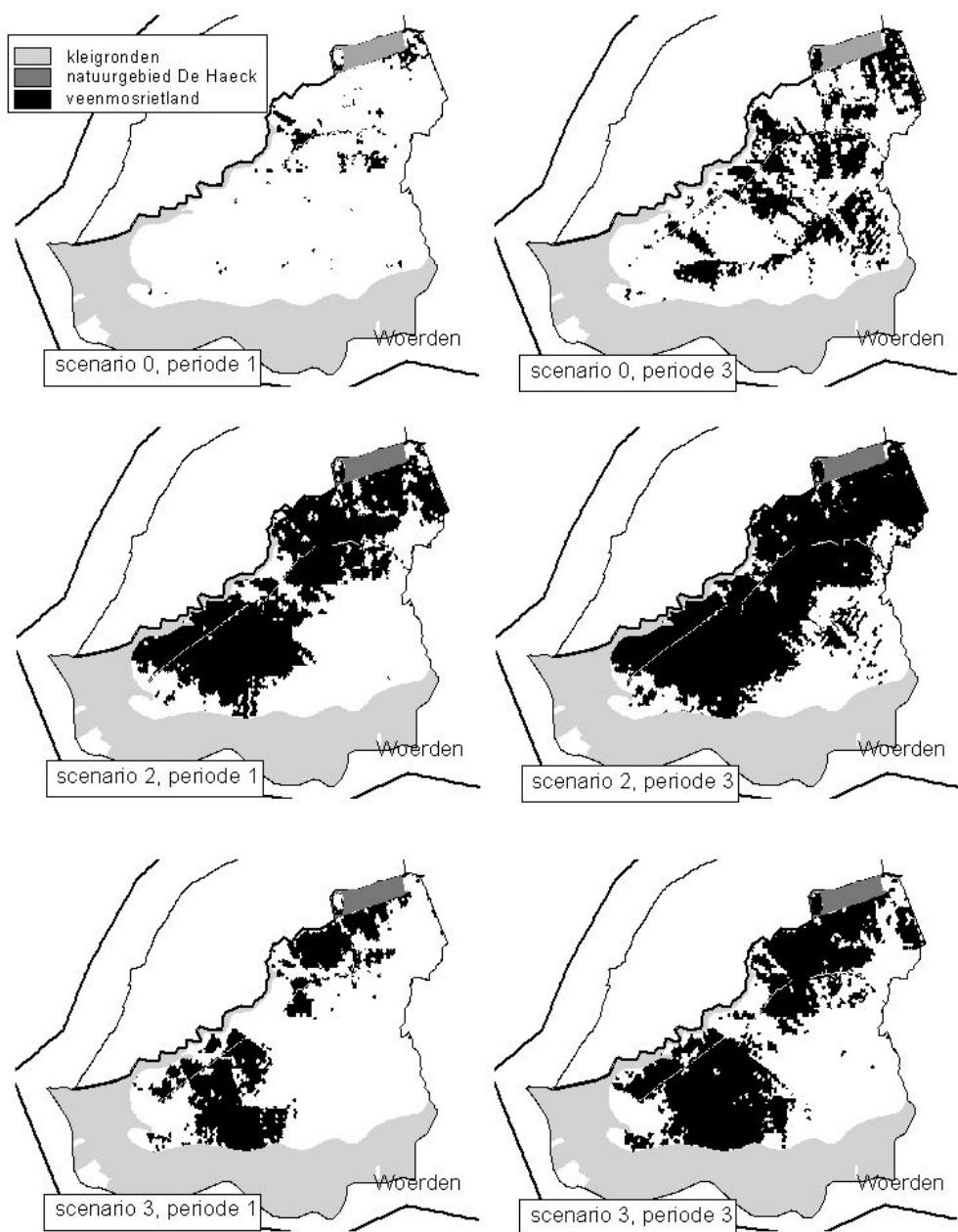
4.6 Geschiktheid voor natuur

Het eutrofe veengebied zou in een kwelsituatie in principe geschikt zijn voor het vegetatietype ‘bloemrijk grasland’, maar met de aanleg van de diepe polders bij Nieuwkoop is het studiegebied vooral een wegzigingsgebied geworden. Alleen in de referentiesituatie komt op een aantal plekken met een relatief diepe ontwatering kwel voor, maar de flux is onvoldoende groot voor bloemrijk grasland. De natte veengronden in het studiegebied zijn geschikt voor vegetatietypen die in de huidige natuurgebieden worden aangetroffen: moerasbos, rietland en schraalgrasland. In tabel 4-5 staat het percentage van de veengronden dat geschikt is voor veenmosrietland. Als geschikt zijn aangemerkt alle gebieden die volgens NATLES een geschiktheidspercentage van 75% of hoger hebben. De kleigronden zijn niet geschikt voor dit vegetatietype. Uit de tabel blijkt dat er grote verschillen kunnen optreden, niet alleen tussen de strategieën, maar ook in de toename tussen periode 1 en 3. Onderwaterdrainage heeft nauwelijks invloed omdat deze niet in de natste gebieden worden toegepast. Voor de referentiesituatie en de strategieën 2 en 3 staat de verspreiding van geschikte gebieden voor veenmosrietland in figuur 4-11. De geschikte plekken zijn nauw gecorreleerd met een hoge grondwaterstand waardoor het kaartbeeld overeenkomst vertoont met de GLG van figuur 4-1. De gebieden die geschikt zijn voor veenmosrietland zijn te nat voor reguliere weidebouw. Overigens valt het natuurgebied De Haeck buiten het modelgebied voor Natles.

De condities voor de geschiktheid voor zwak zure schraalgraslanden, zoals in het natuurgebied De Meije worden aangetroffen, zijn vergelijkbaar met die van veenmosrietland. Alleen is de geschiktheid minder bij langdurig optredende inundaties, zoals op grotere schaal bij de strategieën 2, 3 en 4 het geval is (en na verloop van tijd bij alle strategieën).

Tabel 4-5 Oppervlakte van de veengronden dat geschikt is voor het doeltype veenmosrietland

Strategie	Geschikt oppervlak (%)	
	Periode 1	Periode 3
0 - basis	4	30
1 - alle peilvakken	13	45
2 - 1 peilvak	50	66
3 - 2 peilvakken	27	47
4 - 2 peilvakken met drains	26	46
5 - 2 peilvakken geen waterinlaat	2	12



Figuur 4-11 Geschiktheid voor veenmosrietland voor verschillende strategieën. Voor omschrijving van de strategieën zie hoofdstuk 3.7.

4.7 Geschiktheid voor landbouw

De geschiktheid voor landbouw is berekend voor gebieden van 50 ha. Als van deze gebieden minimaal 25 ha in de winter een drooglegging heeft van meer dan 30 cm is er voldoende variatie in drooglegging om nog een melkveebedrijf te kunnen exploiteren. In tabel 4-6 staat het percentage van de 62 gebieden binnen het interessegebied die hieraan voldoen.

Tabel 4-6 Percentages van gebieden die voor meer dan de helft van de oppervlakte een drooglegging van minimaal 30 cm hebben.

Strategie/Scenario	Start	Na 15 jaar	Na 30 jaar	Na 45 jaar
0	97	76	40	27
1	81	65	18	13
2	58	52	45	34
3	73	63	50	42
4	73	66	58	52
5	73	53	40	27
G	97	66	35	26
W+	97	52	27	26

Strategie 0: actuele peilregime (ca. 2002)

Strategie 1: actuele indeling in peilvakken; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm

Strategie 2: 1 peilgebied; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm tov gem. maaiveld

Strategie 3: 2 peilvakken; met zomerpeil -30 cm en winterpeil -40 cm tov gem. maaiveld

Strategie 4: Als 2 met onderwaterdrains

Strategie 5: Als 2 zonder waterinlaat, en een winterpeil van -10 cm tov gem. maaiveld

Klimaatscenario G: Gematigd

Klimaatscenario W+: Warm

Bij aanvang van de berekeningen haalt 3 % van de gebieden met het actuele peilregime (strategie 0) en klimaatscenario's G en W+ niet het droogleggingscriterium van 30 cm. Deze gebieden omvatten delen van natte natuurgebieden. Bij klimaatscenario W+, gevolgd door scenario G is de oppervlakte dat aan het criterium (drooglegging -30 cm) voldoet na 15 jaar al scherp afgenoemd. Daarna gaat de afname langzamer. Met het actuele peilregime is de afname van de oppervlakte dat aan het criterium voldoet in de eerste periode minder scherp, maar daarna houdt de afname wel langer aan. Na 45 jaar zijn de gebieden die nog wel voldoen volgens het actuele peilregime (strategie 0) en de beide klimaatscenario's (G en W+) dezelfde. Ze liggen vooral in het zuiden waar weinig of geen zinking optreedt omdat er overwegend klei voorkomt.

Bij scenario 1 (alle peilvakken -30/-40cm) is de drooglegging in de winter 40 cm en zou men kunnen verwachten dat heel het gebied aan het criterium van 30 cm drooglegging voldoet. Maar binnen grote peilvakken komen ook plekken voor die een grotere en kleinere drooglegging hebben dan het gemiddelde. Na 30 jaar is bij dit scenario het kleinste areaal nog geschikt voor landbouw.

Bij de scenario's met grote peilvakken is bij aanvang de oppervlakte dat voldoet veel kleiner dan in de actuele situatie, maar dit verschil wordt geleidelijk steeds minder. Onderwaterdrains (scenario 4) hebben, vooral ook op de langere termijn een positief effect. De oppervlakte dat geschikt is voor landbouw is groter dan met scenario 3 dat geen onderwaterdrains heeft.

4.8 Gevolgen van klimaatverandering

De gevolgen van klimaatveranderingen zijn doorgerekend voor de referentiesituatie en de uitkomsten die hier gepresenteerd worden hebben betrekking op de veengronden binnen het studiegebied. Dit betreffen de gronden uit de bodemkaart

(fig. 2-4) met de bodemcodes hVb en Vc. Het is een aaneengesloten veengebied van 2165 ha.

De klimaatscenario's (tabel 3-10) hebben weinig effect op de wegzetting omdat het stijghoogteverschil tussen het freatische en diepe grondwater niet veel verandert. Verder blijft de vochtvoorziening voor het grasland vrijwel altijd voldoende waardoor actuele en potentiële verdamping weinig van elkaar verschillen. De gevolgen voor de wateraanvoer en de waterafvoer staan in tabel 4-7. Naast de hoeveelheden in millimeters per zomer en winter in de periodes 1 en 3 zijn ook de procentuele verschillen met de referentiesituatie gegeven.

In vergelijking met de referentiesituatie heeft het gematigde klimaatscenario G nauwelijks effect op de afvoer. De wateraanvoer wordt wel iets groter. Het warme klimaatscenario W+ heeft een iets grotere afvoer in de winter tot gevolg, maar in de zomer neemt de afvoer met een derde af. In de zomer is bij W+ aanzienlijk meer water nodig. In periode 1 gaat het om een toename van 43%. In periode 3 zijn afvoer en aanvoer groter dan in periode 1.

Tabel 4-7 Waterafvoer en aanvoer in het veengebied bij verschillende klimaatscenario's.

	Referentie		Klimaat G		Klimaat W+	
	Periode 1	Periode 3	Periode 1	Periode 3	Periode 1	Periode 3
Afvoer winter / zomer (mm)	273/103	337/116	276/104	343/116	290/67	374/83
Idem in % tov referentie	+1/+1		+2/0		+6/-34	+11/-29
Aanvoer winter / zomer (mm)	22/144	27/191	23/151	29/199	26/206	37/255
Idem in % tov referentie			+4/+5	+10/+5	+16/+43	+37/+34

In de winter is er geen verschil in grondwaterstandsverloop tussen de referentiesituatie en de klimaatscenario's. Blijkbaar is de capaciteit voor de ont- en afwatering voldoende om de extra hoeveelheid neerslag in de winter (+4% voor scenario G en +14% voor scenario W+) op te vangen. In de zomer compenseert bij scenario G de toename van de neerslag de verdampingstoename waardoor de grondwaterstand iets dieper wordt dan in de referentiesituatie. De toegenomen maaivelddaling is in dit scenario vooral het gevolg van het temperatuurseffect.

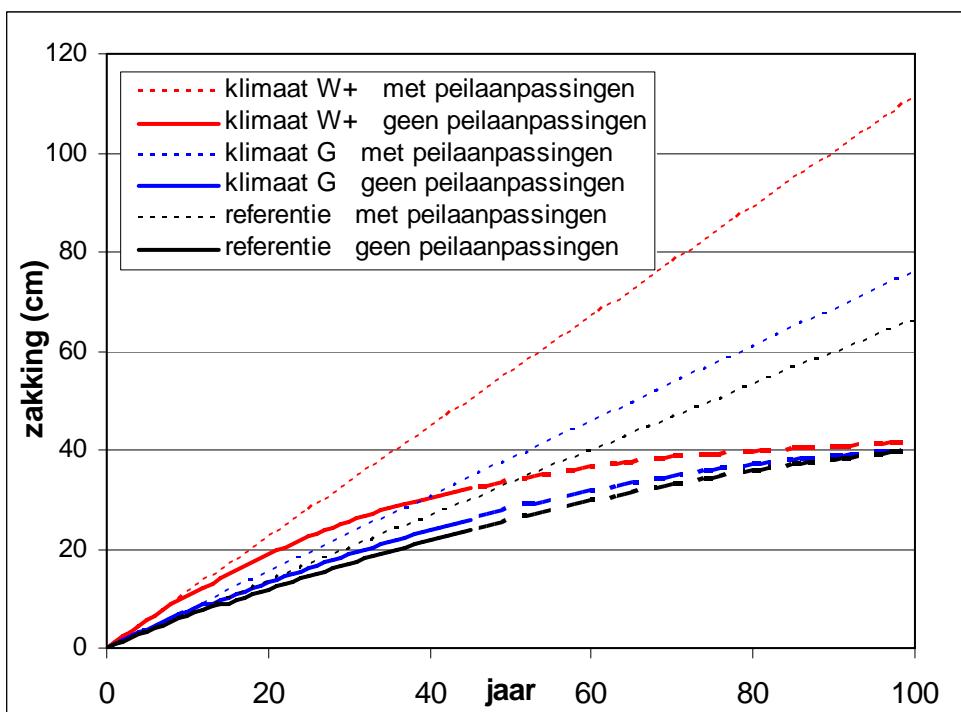
Met scenario W+ wordt de grondwaterstand 's zomers wel dieper. In periode 1 neemt de GLG met 10 à 15 cm toe. De extra hoeveelheid inlaatwater kan onvoldoende doordringen in de percelen om de toegenomen verdamping (+15%) en de kleinere hoeveelheid neerslag (-19%) te compenseren. Voor klimaatscenario W+ heeft de lagere grondwaterstand in de zomer in combinatie met het temperatuurseffect grote gevolgen voor de maaivelddaling.

In figuur 4-12 staat voor de komende 100 jaar het verloop van de maaivelddaling voor de referentiesituatie en de beide klimaatscenario's voor situaties met en zonder peilaanpassingen. Voor de situatie zonder peilaanpassingen zijn relaties afgeleid uit de maaivelddaling in de 3 periodes. De relaties beschrijven de daling gedurende de eerste 45 jaar. De situatie na 100 jaar zal min of meer samenvallen met de ontwateringsdiepte, en omdat die in alle 3 de gevallen hetzelfde is, zal de totale maaivelddaling ongeveer even groot zijn.

Voor de referentiesituatie met peilaanpassingen is daling in de eerste periode 15 jaar geëxtrapoleerd. Na telkens 15 jaar wordt het peil met de daling die in die periode heeft plaatsgevonden (9,9 cm) verlaagd. In een periode van 100 jaar wordt het peil dan $100 \text{ jaar} / 15 \text{ jaar} = 6,7$ keer aangepast. Bij de klimaatscenario's daalt het maaiveld sneller, en dat maakt dat peilen eerder aangepast moeten worden. Als de peilaanpassingen ook telkens plaatsvinden na 9,9 cm maaivelddaling zijn voor klimaatscenario's G en W+ respectievelijk 7,7 en 11,1 peilaanpassingen in 100 jaar nodig. De daling die het gevolg is van de extra peilaanpassingen is relatief klein. Over de periode van 100 jaar is dat voor scenario G 2 cm en voor scenario W+ 8 cm.

De totale maaivelddaling is voor scenario G na 100 jaar gemiddeld 76 cm en is daarmee 15% groter dan in de referentiesituatie. Van deze 15% is 10% toe te schrijven aan de temperatuurstijging (hfdst. 3.7.2). De resterende 5% is dan toe te schrijven aan een lagere grondwaterstand.

Voor scenario W+ bedraagt de daling na 100 jaar 111 cm. Dat is 68% groter dan in de referentiesituatie. De hogere temperatuur draagt hier voor 35% aan bij en de lagere grondwaterstand voor 33%.



Figuur 4-12 Maaivelddaling voor de referentiesituatie en de klimaatscenario's G en W+ voor situaties met en zonder peilaanpassingen

5 Conclusies

Het onderzoek naar verschillende peilstrategieën in het gebied rond Zegveld heeft een aantal conclusies opgeleverd die ook van toepassing zijn voor vergelijkbare veenweidegebieden in Nederland. De conclusies zijn hier thematisch weergegeven:

Hogere slootpeilen

- Opzetten van het slootpeil of het aanleggen van onderwaterdrains met als doel om de veenbodem te vernatten en daarmee de mineralisatie van veen te verminderen is een effectieve maatregel om maaivelddaling tegen te gaan.
- Het loslaten van het principe ‘peil volgt functie’ (huidige praktijk) en in plaats daarvan het toepassen van het principe ‘functie volgt peil’ heeft in veengebieden tot gevolg dat de verschillen in drooglegging zowel binnen als tussen de peilvakken gaandeweg afnemen omdat de hoger gelegen droogste plekken het snelste dalen.
- Opzetten van het slootpeil (of niet meer periodiek verlagen van het slootpeil) in veengebieden heeft een lichte afname van de belasting van het oppervlaktewater met N en P door mineralisatie en uitlogging van het bodemcomplex tot gevolg. De uitspoeling van stikstof en fosfaat uit mest naar het oppervlaktewater neemt eerst wel toe bij vernatting, maar zal uiteindelijk weer afnemen doordat een steeds groter areaal niet meer wordt bemest omdat het ongeschikt is geworden voor landbouw.
- Als binnen landbouwbedrijven in veengebieden weinig variatie in drooglegging voorkomt en de gemiddelde drooglegging kleiner wordt dan 30 cm heeft vernatting een verschuiving van geschiktheid voor landbouw naar geschiktheid voor natuur³ tot gevolg.

Grottere peilvakken

- In veengebieden leiden grotere peilvakken in eerste instantie tot grotere verschillen in drooglegging tussen de laagste en hoogste delen. De maaivelddaling kan in de hoogste (droogste) delen toenemen, terwijl die in de natste delen afneemt (en bij inundatie niet meer optreedt). Hierdoor verminderen de verschillen in maaiveldhoogte.
- Het principe ‘functie volgt peil’ zal betekenen dat huidige laaggelegen landbouwgronden (met name diep ontwaterde onderbemalingen) in veengebieden natter worden en daardoor mogelijk een functiewijziging zullen moeten ondergaan. Hier ontstaan kansen voor natte natuur. Op de hoger gelegen klei-ope-veen gronden blijven ook bij toepassing van ‘functie volgt peil’ de mogelijkheden voor landbouw met voldoende drooglegging bestaan. De nivelleren van de maaiveldhoogte, die zal optreden bij toepassing van het principe ‘functie volgt peil’, zal op den duur tot steeds minder conflicten leiden tussen de landbouw- en natuurfuncties in het veenweidegebied.

³ Natuur waarvan de groeiplaats nat, matig voedselrijk en door het ontbreken van kwel zwak zuur is.

- Om de condities voor beschermde natte natuurgebieden in veengebieden te kunnen behouden zullen deze gebieden vooralsnog als apart peilgebied beheerd moeten blijven.

Waterinlaat

- Waterinlaat leidt tot een slechtere waterkwaliteit door interne eutrofiering, maar peilhandhaving is en blijft in het poldergebied van Zegveld noodzakelijk om het diep uitzakken van de grondwaterstand te voorkomen en het veen voldoende nat te houden. Er lekt grondwater weg naar de diepe droogmakerij Nieuwkoop ten noorden van de Nieuwkoopse plassen. Waterconservering in de winter, door het opzetten van het peil heeft hier onvoldoende rendement om het grondwater in dit poldergebied op peil te houden met uitsluitend gebiedseigen water.
- Inlaat van water uit de boezems gebeurt op veel plaatsen. Hoe dichter bij de inlaatpunten hoe hoger het aandeel boezemwater in de sloot wordt. Op plekken ver van de inlaatpunten loopt het percentage inlaatwater in grotere watergangen in een droge zomer op tot ruim 85% en in de kleinere perceelsloten tot ruim 60%.
- Neerslag in de zomer kan in poldersloten tot snelle veranderingen in de verhouding gebiedseigen water t.o.v. gebiedsvreemd boezemwater leiden. Al aan het begin van de winter wordt vrijwel al het gebiedsvreemd water in poldersloten verdronken door gebiedseigen water.

Onderwaterdrains

- Onderwaterdrains kunnen effectief worden ingezet om in veengebieden de bodemdaling te verminderen bij behoud en zelfs verbetering van landbouwkundige productieomstandigheden. Ze zijn minder effectief in klei-op-veengebieden, waar de kleilaag dikker is dan 40 cm.
- Onderwaterdrains kunnen alleen verantwoord worden ingezet bij een drooglegging tussen de 30 en 60 cm. Ondieper aangebracht leiden de onderwaterdrains tot sterke af- en uitspoeling van meststoffen uit de toplaag, dieper aangebracht leiden ze tot een sterke toename van nutriëntenuitspoeling door een grotere uitlogging van het bodemcomplex (Hendriks et al., 2007).
- Onderwaterdrains zorgen voor een verhoging van de laagste grondwaterstanden in de zomer waardoor de maaivelddaling, uitgaande van een daling van 10 mm/jr afneemt met maximaal 5 mm/jr. In de winter wordt de grondwaterstand door het drainerend effect van de onderwaterdrains minder hoog wat gunstig is voor de draagkracht van de bodem en de kwaliteit van het gras.
- Onderwaterdrains leiden wel tot een toename van de wateraanvoerbehoefte in de zomer. In het proefgebied is 10% meer inlaatwater nodig. Omgerekend naar het oppervlak waar onderwaterdrains zinvol kunnen worden toegepast is de toename op gebiedsniveau in totaal ruim 30% (80 mm). Het effect van onderwaterdrains op de waterafvoer in de winter is minimaal.
- Onderwaterdrains kunnen een grotere belasting van het oppervlaktewater met zowel N als P tot gevolg tot gevolg hebben. De resultaten van de metingen in de pilots Zegveld en Linschoten die worden uitgevoerd in dit project, zijn echter nog niet uitgewerkt. Een definitieve uitspraak is pas mogelijk nadat een meerjarige meetreeks beschikbaar zijn en het toegepaste model is aangepast. Duidelijk is wel

dat draindiepte en drooglegging in onderlinge samenhang een optimum hebben waarbij de belasting van het oppervlaktewater minimaal is. Kleine peilvakken zijn geschikter om draindiepte en drooglegging te optimaliseren dan grote peilvakken waar grotere hoogteverschillen voorkomen.

Klimaat in 2050

- Het gematigde klimaatscenario G (KNMI, 2006) heeft betrekkelijk weinig gevolgen voor de waterhuishouding. De maaivelddaling neemt wel met 15% toe. Hiervan is 10% het gevolg van de temperatuurstijging en 5% het gevolg van een lagere grondwaterstand.
- Met het meest extreme klimaatscenario W+ is 's zomers 43% meer inlaatwater nodig. Desondanks daalt de GLG met bijna 15 cm. De maaivelddaling neemt met 68% toe. Hiervan is 35% het gevolg van de temperatuurstijging en 33% het gevolg van een lagere grondwaterstand.
- Wanneer geen peilaanpassingen plaatsvinden is de grootte van de maaivelddaling op den duur, ongeacht het klimaatscenario, ongeveer gelijk aan de ontwatering-diepte. Dat moment wordt het eerste bereikt bij het scenario met de grootste temperatuurstijging.
- Wanneer de peilen aangepast blijven worden op het moment dat het maaiveld ongeveer 10 cm is gedaald, gebeurt dat voor scenario G iedere 13 jaar en voor scenario W+ iedere 9 jaar. Bij het huidige klimaat gebeurt dat iedere 15 jaar.

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, R.F.A. Hendriks, R.J. Wolleswinkel en M. Pleijter (in prep.). Effectiviteit peilverhogingen en onderwaterdrains om veengrond te behouden. Tussenrapportage eerste metingen en scenarioberekeningen. Alterra rapport, Wageningen.

Beuving J. en J.J.H. van den Akker, 1996. Maaivelddaling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegvelderbroek. Rapport 377. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bont, Chr. De, 1991. Het historisch-geografische gezicht van het Nedersticht. Wageningen, SC-DLO. Rapport 133.

Bos, E, en T. Vogelzang, 2006. MKBA Peilverandering Polder Zegveld. LEI-Wageningen UR, 's-Gravenhage.

Boswinkel, J.A. en C.M.L. Cornelissen, 1980. Grondwaterkaart van Nederland. Kaart 30 Oost en 31 West. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Chow, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York. 680 pp.

Groen, C.L.G., R.A.M. Stevers, C.R. Van Gool en M.E.A. Broekmeijer, 1993. Uitwerking ecotopenysteem fase 3. Herziene typologie en vertaalsleutels voor Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg. CML-mededeeling nr. 49. Centrum voor Milieukunde, Leiden.

Hendriks, R.F.A, 1991. Afbraak en mineralisatie van veen. Alterra, Wageningen. Rapport 199.

Hendriks, R.F.A., R. Kruijne, J. Roelsma, K. Oostindie, H.P. Oosterom en O.F. Schoumans, 2002. Berekening van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in vier poldergebieden. Alterra, Wageningen, rapport 408.

Hendriks, R.F.A., D.J.J. Walvoort en M.H.J.L. Jeukens, 2007. Evaluation of the applicability of the SWAP-ANIMO model for simulating nutrient loading of surface water in a peat land area; Calibration, validation, and system and strategie analysis for a study area in the Vlietpolder. Alterra, Wageningen, rapport 619.

Hoving, I.E. en J.A. de Vos, 2007. Verminderde drooglegging en melkveebedrijven in de Krimpenerwaard. Praktijkrapport 95. Animal Sciences Group, Lelystad.

KNMI, 2006. Klimaat in de 21^e eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt. (www.knmi.nl/klimaatscenarios)

Leenders, D. (red.), in prep. Modellering oppervlaktewaterkwaliteit voor het gebied Kamerik en Kockengen. Alterra, Wageningen, rapport...)

Negeman, A.J.H., J.W.A. Foppen en F.H. Kloosterman, 1996. Landelijke Hydrologische Systeemanalyse. Deelrapport 3. TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Querner, E.P., 1990. Wateraanvoer voor verziltingsbestrijding op de Zuid-Hollandse eilanden. Landinrichting 30(2): 25-32.

Querner, E.P., 1993. Aquatic weed control within an integrated water management framework. Proefschrift Universiteit Wageningen. Report 67, DLO Winand Staring Centrum (nu Alterra). 204 pp.

Rienks, W.A., A.L. Gerritsen, W.J.H. Meulenkamp, F.G.W.A. Ottburg, E.P.A.G. Schouwenburg, J.J.H. van den Akker en R.F.A. Hendriks, 2004. Veenweidegebied in Fryslân – de effecten van vier peilstrategieën. Alterra, Wageningen, rapport 989.

Riet, B.P. van de, 2006. Mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de Westelijke Veenweidegebieden. Tussenrapport 2006. Universiteit Utrecht, vakgroep Landschapsecologie.

Runhaar J., C.L.G. Groen, R. Van der Meijden & R.A.M. Stevers, 1987. Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora. Gorteria 13: 277-359.

Runhaar, J., H. Kuijpers, H.L. Boogaard, E.P.A.G. Schouwenberg en P.C. Jansen, 2003. Natuurgericht Landevaluatie-systeem (NATLES) versie 2. Wageningen, Alterra, rapport 550.

Schoumans, O.F., J. Roelsma, H.P. Oosterom, P. Groenendijk, J. Wolf, H. van Zeijts, G.J. van den Born, S. van Tol, A.H.W. Beusen, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer en F.K. van Evert, 2002. Nutriëntenemissie vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0. Clusterrapport 4: Deel 1. Alterra-rapport 552, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.

Stiboka, 1969. Bodemkaart van Nederland. Blad 31 West. Stichting voor Bodemkartering. Wageningen.

Stiboka, 1970. Bodemkaart van Nederland. Blad 31 Oost. Stichting voor Bodemkartering. Wageningen.

Tate, R.L., 1987. Soil organic matter. Biological and Ecological Effects. New York, John Wiley & Sons. 291 pp.

Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, J. Wolf, J.G. Conijn en G. Holshof, 2004. Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw. Alterra rapport 987. Wageningen.

Vreugdenhil, C.B., 1973. Computational methods for channel flow. Hydraulic Research for Water Management, TNO Proceedings Inf., 18. pp. 38-79.

Wendt, T.A., 2002. Wateropgave deelstroomgebiedsvisie Amstelland. Grontmij, Utrecht.

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 en M.F.R. Smit, 2004. SIMGRO 5.01. Theory and model implementation. Wageningen, Alterra rapport 913.

Wamelink, G.W.W. en J. Runhaar, 2000. Abiotische randvoorwaarden voor Natuurdoeltypen. Wageningen, Alterra rapport 181.

Wit, A.J.W. de, T.G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruikersbestand. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 663.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 18.

Zagwijn, W.H. en C.J. van Staalduin, 1975. Toelichting bij Geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijk Geologische Dienst, Haarlem.

Bijlage 1 Het oppervlaktewatermodel SIMWAT

Met het oppervlaktewatermodel SIMWAT is het mogelijk om de verdeling van water te simuleren in tijden met een waterbehoefte en water af te voeren in tijden van wateroverschot. Een veranderend proces in de tijd, waarbij gemalen een zekere periode werken, inlaten open staan, etc. Hiervoor wordt het oppervlaktewaterstelsel geschematiseerd als een netwerk van waterlopen. Het oppervlaktewatermodel SIMWAT (simulatie waterbeweging in netwerken) maakt gebruik van de bewegingsvergelijking van Saint-Venant (CHOW, 1959). Voor een netwerk van waterlopen berekent deze vergelijking de waterstanden en de waterbeweging op elke plaats en tijd. Deze vergelijking is een benadering in de vorm van berekende waterstanden op een aantal plaatsen (de knooppunten). De waterbeweging in de waterlopen is een zeer langzaam veranderend proces in de tijd, waardoor de Saint-Venant vergelijking te vereenvoudigen is. In plaats van een dynamische golf rekent het model dan met een zogeheten "diffusion wave type" (Vreugdenhil, 1976). Dit heeft het voordeel dat voor de te kiezen tijdstap geen beperkingen gelden. Er gelden dan ook geen beperkingen voor de tijdstap, maar deze wordt alleen beperkt door hydraulische gegevens en gebiedskenmerken. Voor het verband tussen stromingsweerstand en stroomsnelheid kan gerekend worden met de formule van Manning of Chezy (Querner, 1993).

Waterbeweging

Het waterlopenstelsel wordt in het model SIMWAT geschematiseerd tot een stelsel van leidingen en knooppunten. In elk knooppunt kunnen meerdere leidingen samenkommen. In een knooppunt wordt een waterstand h_i berekend en voor een leiding volgt hieruit een debiet Q als:

$$Q_{ji} = K_{ji} (h_j - h_i) \quad (1)$$

de term K_{ji} omvat de ruwheid en geometrie van een leidingvak. Door gebruik te maken van de continuïteitsvergelijking en vergelijking (1) kan voor alle knooppunten in matrix vorm een vergelijking worden opgesteld in de vorm:

$$\{T\} = [K] \{h\} \quad (2)$$

hierin bevat de vector $\{T\}$ alle bekende termen en de matrix $[K]$ wordt beschouwd als de weerstands- en bergingsmatrix. Deze matrix omvat alle bijdragen van de stromingsweerstand tussen het beschouwde knooppunt en alle aanliggende knooppunten en de bergingscapaciteit van het knooppunt. Met behulp van matrixinversie wordt een stelsel van n -vergelijkingen met n -onbekenden opgelost. Omdat de weerstand afhankelijk is van de (onbekende) waterstand is het nodig om een aantal iteraties uit te voeren. De tijdstap kan in principe vrij gekozen worden, maar voor numerieke stabiliteit is het beperkt door factoren als leidinglengte, verandering debiet, geometrie, etc. In de praktijk wordt de tijdstap niet groter genomen als een kwart dag. In elk knooppunt wordt een uitwisseling met het grondwatersysteem mogelijk gemaakt. De flux is afhankelijk van de waterstand in de

leiding ten opzichte van de grondwaterstand, drainage of infiltratie is dan ook mogelijk.

Het waterdoorvoerend vermogen van een waterloop wordt bepaald door de aanwezigheid van ruwheden over het natte profiel, meestal in de vorm van waterplanten. De remmende werking wordt meestal uitgedrukt in de ruwheidsparameter kM bij toepassing van de formule van Manning. Als er in de waterloop veel vernauwingen voorkomen, zoals bruggetjes en duikers, dan hebben deze ook een remmende werking op het debiet. Intree- en uittreeverliezen veroorzaken een waterstandsverschil over elk kunstwerk, die de afvoer afremt. In de waterlopen zijn veel duikers aanwezig. In het stromingsmodel is het onmogelijk om al deze duikers apart in beschouwing te nemen. Daarom is voor de ruwheidsparameter kM een waarde van 25 aangehouden om de weerstand van alle duikers en bruggetjes te verdisconteren.

Conservatieve stof

Bij berekeningen van een conservatieve stof is deze gebaseerd op de continuïteitsvergelijking van deze stof, uitgaande van een bekende (= berekende) waterbeweging. Voor de conservatieve stof wordt in dit onderzoek het aandeel boezemwater (gebiedsvreemd water) verstaan. Voor het netwerk wordt door de gemodelleerde waterlopen echter een klein deel van de totale hoeveelheid open water beschouwd. Daarom wordt een schatting gemaakt van het watervolume van het resterende gedeelte, dat als bergend vermogen aan het netwerk wordt toegevoegd. De bergingscapaciteit van de leidingen wordt in het model verondersteld voor te komen in de knooppunten. De nieuwe concentratie in een knooppunt hangt af van de inkomende hoeveelheid water met het daarbij horende gehalte.

Het proces van afvoer via de sloten naar de grotere waterlopen wordt ten aanzien van de tracer stof in twee stappen onderverdeeld. Ten eerste het slotenstelsel waar het water verzameld wordt. Dit slotenstelsel wordt door zijn groot aantal en kleine afmetingen niet als leidingen in het oppervlaktewatermodel zijn meegenomen, maar alleen als reservoir eraan gekoppeld. Ten tweede de waterlopen die in het oppervlaktewatermodel geschematiseerd zijn als de leidingen (netwerk). Het drainagewater komt voor de conservatieve stof berekening eerst in het reservoir dat gekoppeld is aan een knooppunt van het oppervlaktewater netwerk. Bij de mate van turbulentie die door de stroming optreedt, wordt verondersteld dat in beide reservoirs een volledige menging plaatsvindt.

Bij een afvoer van water door de hoofdwaterlopen zal alleen het aandeel buitenwater die in het knooppunt aanwezig is, een verandering in het aandeel buitenwater kunnen krijgen en verandert het watertype in de aanliggende sloten niet. De aanliggende sloten worden alleen van water voorzien uit de hoofdwaterlopen als er water instroomt doordat er water de grond in infiltrert of bij een peilverhoging.

Interactie met het grondwatermodel

Een model van een netwerk wat het waterlopen patroon voorstelt, is in staat om het water te verdelen in tijden van waterbehoefte en water te verzamelen in tijden van wateroverschot. Infiltratie en drainage wordt in beschouwing genomen door het grondwatermodel per knooppunt aan het oppervlaktewater systeem te koppelen.

Afhankelijk van een grondwaterstand ten opzichte van de waterstand in de waterloop treedt drainage of infiltratie op. Het grondwatersysteem wordt ook nog gevoed vanuit diepere lagen of er treedt wegzetting op. Daarnaast is er een stroming naar de onverzadigde zone door capillaire opstijging of percolatie als er veel neerslag valt.

Bij drainage of infiltratie in Simgro wordt het water direct naar een knooppunt van het oppervlaktewater in het model Simwat gekoppeld. In gebieden waar geen oppervlaktewaternetwerk aanwezig is wordt de standaard aanpak oppervlaktewater uit Simgro, bakjes concept, gebruikt.

