

Waterberging in Het Waterrijk

Scenarioberekeningen naar piekberging en voorraadberging als opmaat voor een module voor anticiperend waterbeheer

P.C. Jansen, H.T.L. Massop, A.A. Veldhuizen, M.H. Mulder en C. Kwakernaak

Waterberging in Het Waterrijk

Scenarioberekeningen naar piekberging en voorraadberging als opmaat voor een module voor anticiperend waterbeheer

P.C. Jansen, H.T.L. Massop, A.A. Veldhuizen, M.H. Mulder en C. Kwakernaak

Alterra Wageningen UR
Wageningen, oktober 2015

Alterra-rapport 2667
ISSN 1566-7197

Jansen, P.C., H.T.L. Massop, 2015. Waterberging in Het Waterrijk; scenarioberekeningen naar piekberging en voorraadberging als opmaat voor een module voor anticiperend waterbeheer. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2667. 100 blz.; 85 fig.; 34 tab.; 11 ref.

Referaat. RichWaterWorld is een netwerk van publieke partners, kennisinstellingen en bedrijven dat onderzoek doet naar innovatieve systemen voor gecombineerde waterberging en waterzuivering. Basis hiervoor is een hydrologisch model waarmee de waterhuishouding voor de komende twee weken wordt berekend en preventieve maatregelen worden voorgesteld. Het model wordt getoetst in Het Waterrijk, een gebied voor piekberging en voorraadberging in Park Lingezege ten zuiden van Arnhem.

Trefwoorden: Park Lingezege, Het Waterrijk, waterretentie, voorraadberging, piekberging, waterberging, rietmoeras, MORIA, SWAP, waterbeheer

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Alterra-rapport 2667 | ISSN 1566-7197

Omslag: Weergave van de *Adaptief Water Management Tool*; tekening Arjen Spijkerman

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	11
2	Methode	13
	2.1 Park Lingezege en Het Waterrijk	13
	2.2 Het modelinstrumentarium	16
	2.2.1 Het hydrologisch model SWAP	16
	2.2.2 Het hydrologisch model MORIA	23
3	Vochthuishouding in de rietmoerassen (SWAP)	35
	3.1 De Rietzanger	35
	3.2 Het Waterrijk	41
	3.3 Resumé	49
4	De waterhuishouding in Het Waterrijk (MORIA)	52
	4.1 De waterhuishouding na inrichting van Het Waterrijk	52
	4.2 De waterhuishouding in 2050	56
	4.3 Anticiperen op weersverwachting	58
	4.4 Resumé	62
5	Discussie	64
	Literatuur	69
	Bijlage 1 Analyse van meetgegevens in en rond het proefveld	70
	Bijlage 2 Veldbezoek aan De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk	91
	Bijlage 3 Opbouw en eigenschappen van de bovengrond in het rietmoeras	93
	Bijlage 4 De stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond met klimaat W+ in 2050	97
	Bijlage 5 De maximale bergingscapaciteit in de peilvakken van Het Waterrijk	99

Woord vooraf

In 2013 is het project RichWaterWorld (RWW) gestart met steun vanuit het GO-EFRO-fonds voor regionale ontwikkeling en met financiering vanuit private partijen en kennisinstellingen. Het onderzoeksproject Waterrijk is inmiddels uitgegroeid tot het innovatie- en uitvoeringsprogramma RichWaterWorld voor realisatie van een reeks samenhangende maatschappelijke doelen in de regio. Het gaat daarbij om zelfvoorzienendheid van water, biologische waterzuivering, terugwinning van fosfaat en winning van duurzame energie. Daarmee levert RichWaterWorld een bijdrage aan de economische en ecologische ontwikkeling van de regio via kennis en innovaties, die ook ingezet kunnen worden voor (inter)nationale opgaven en markten.

In dat kader ontwikkelt Alterra Wageningen UR samen met MeteoGroup en Eijkelpark Agrisearch Equipment een webapplicatie waarmee voor veertien dagen in de toekomst waterstanden en waterbalansen voor een gebied worden voorspeld. Aansluitend volgt een advies om preventief in te grijpen in de waterhuishouding bij verwachte weersveranderingen. De applicatie omvat een hydrologisch model dat dagelijks wordt gevoed met rechtstreekse veldwaarnemingen en weersverwachtingen. Het model is ontwikkeld voor Het Waterrijk, een van de deelgebieden van Park Lingezegen dat momenteel tussen Arnhem en Nijmegen wordt aangelegd.

Elke partner rapporteert over de specifieke onderdelen waarmee zij participeren in het RWW-project. In dit rapport wordt door Alterra Wageningen UR verslag gedaan van het hydrologisch modelonderzoek voor Het Waterrijk.

Samenvatting

Door klimaatverandering neemt de kans op extreme buien en langdurig droge perioden toe. In korte tijd kunnen waterlopen droogvallen, gewassen verdrogen of kan er wateroverlast optreden. Regionaal en lokaal kunnen grote problemen ontstaan. Daarom worden op veel plekken in Nederland maatregelen genomen om de gevolgen te beperken. Zo wordt een gebied ten zuiden van Arnhem ingericht voor piekberging om stedelijke wateroverlast te vermijden. Percelen worden afgegraven, kades opgeworpen en peilregimes aangepast. Daarnaast worden rietmoerassen aangelegd om de natuurwaarde te verhogen, water vast te houden en de waterkwaliteit te verbeteren. Het gebied heeft de naam 'Het Waterrijk' gekregen en is onderdeel van het landschapspark Park Lingezegen dat in de Betuwe tussen Arnhem en Nijmegen wordt gerealiseerd. Het wordt ook als proefgebied gebruikt door verschillende bedrijven en kennisinstellingen, die onder de naam RichWaterWold (RWW) samenwerken aan een innovatief waterbeheersysteem.

In Het Waterrijk wordt tussen Arnhem-Zuid en het riviertje de Linge onder andere een 38 ha groot rietmoeras aangelegd dat bestemd is voor natuurontwikkeling, piekberging, voorraadberging en waterzuivering. Eerder zijn in dat gedeelte van Het Waterrijk al verschillende proefvelden aangelegd voor het onderzoek naar waterzuivering en voor de toetsing van een regionaal hydrologisch model. Het hydrologisch model voorspelt op basis van de weersverwachting de waterhuishouding en geeft aan welke maatregelen er preventief genomen moeten worden voor een optimaal waterbeheer. Er wordt een webversie van het model ontwikkeld dat gebruikmaakt van automatisch waargenomen waterstanden en van weersverwachtingen. Dat instrument is in principe ook geschikt voor vergelijkbare toepassingen in andere gebieden.

Als hydrologisch model wordt het grondwatermodelinstrumentarium MORIA (Modelling Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel) gebruikt. MORIA is een bestaand model voor het rivierengebied. Voor het RWW-project is het model uitgebreid met een oppervlaktewatermodule, zodat ook aan- en afvoer van peileenheden gekwantificeerd kunnen worden. Om de bruikbaarheid van het MORIA-model te toetsen en om inzicht te krijgen in de waterhuishouding van Het Waterrijk en omgeving, is ook het eendimensionale model SWAP gebruikt. Er zijn scenario's voor de toekomstige inrichting van het gebied doorgerekend. Ook is gekeken naar de effecten van klimaatverandering en de gevolgen van het beperken van waterinlaat. Er wordt gebruikgemaakt van waterstanden en neerslag die in en rond de proefvelden met sensoren worden gemeten en die online met de webapplicatie beschikbaar zijn.

Toepassing van SWAP

Een volgroeide rietvegetatie heeft een ruime tolerantie ten aanzien van de waterstand. Een zekere regulering van het peil is echter nodig om te voorkomen dat er te lang droogval optreedt en er plantensoorten als braam en berk kunnen kiemen. Ook een langdurig, erg hoge waterstand is ongewenst omdat riet dan kan afsterven.

Met het eendimensionale model SWAP zijn voor twee nieuw aangelegde rietmoerassen in Park Lingezegen berekeningen uitgevoerd om een betere inschatting te kunnen maken van de gewaseigenschappen en de interacties met bodem en water, die vervolgens in het MORIA-model toegepast kunnen worden. Aan de hand van de SWAP-berekeningen wordt ook de nodige kennis over de lokale waterhuishouding opgedaan. In een rietmoeras (De Rietzanger) dat in de oksel van de Betuwelijn en de N325 ligt, treedt overwegend wegzijging op en moet water worden ingelaten om het plas-dras te houden en te voorkomen dat het langdurig droogvalt. De afgegraven proefvelden in Het Waterrijk staan langdurig onder water. Ook daar is sprake van wegzijging, maar bij wat hogere rivierstanden slaat dat al gauw om in kwel, waarbij de waterstand oploopt. De invloed van de rivierdynamiek via de grondwaterstroming werkt in De Rietzanger bij de Betuwelijn sterker door dan in het rietmoeras van Het Waterrijk. De Rietzanger ligt op 3 km van de Waal, waar het rivierpeil meer fluctueert (en lager kan worden) dan het peil van de Neder-Rijn voor de stuw bij Driel, dat Het Waterrijk hydrologisch beïnvloedt.

Belangrijk voor de grootte van kwel en wegzijging blijkt niet alleen de stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond, maar ook de dikte en de doorlatendheid van het kleidek. Op sommige plekken ontbreekt het kleidek geheel na afgraven van het maaiveld en zullen kwel en wegzijging zich vooral in die kleilozes 'vensters' manifesteren. Maar ook de doorlatendheid van de klei zelf kan verschillen. Metingen van de verzadigde doorlatendheid (k_s) leverden waarden op van 0,2 en 54,8 cm/d. De waarde van 54,8 cm/d lijkt overschat, mogelijk door scheurvorming.

Riet, dat in beide gebieden recentelijk is aangeplant, heeft interne luchtkanalen waardoor de wortels van zuurstof worden voorzien, ook al staat er water op het maaiveld. De verdamping van rietscheuten en van een jonge, ijle rietvegetatie is nog zeer beperkt, maar omdat de gebieden langdurig onder water staan, is door de grote openwaterverdamping de totale verdamping toch substantieel. Per saldo is er weinig verschil met een volgroeide, opgaande rietvegetatie waar de transpiratie groot en de openwaterverdamping klein is.

Toepassing van MORIA

Het MORIA-model is uitgebreid met de belangrijkste waterlopen waardoor aan- en afvoer gekwantificeerd kunnen worden. Verder is het model aangepast voor de nieuwe situatie (verlaagd maaiveld, nieuw peilregime, ander landgebruik). Middels een nabewerking van rekenresultaten kunnen per zelf gekozen tijdvak ruimtelijke beelden, tijd-stijghoogtelijnen en waterbalansen opgevraagd worden. Volgens de berekeningen overheerst in de vier grootste peilvakken van Het Waterrijk kwel, maar in de zomer als het langdurig droog is en het rivierpeil laag, treedt ook wegzijging op. In de periode 1990-1995 variëren de hoeveelheden van de peilgebieden als volgt:

Kwel: 1,0 - 2,3 mm/d

Wegzijging: 0,4 - 0,7 mm/d

Het peil in het rietmoeras blijft in de zomer normaliter boven het minimum van 7,5 m+NAP als in de winter met de kwel en het neerslagoverschot een watervoorraad wordt opgebouwd tot het maximale peil van 8,0 m+NAP, ofwel 30 cm boven maaiveld. Qua waterbesparing is dat misschien optimaal, maar voor de rietvegetatie en de waterzuivering valt dat te betwijfelen.

Gemiddeld genomen nemen bij klimaatscenario W+ in 2050 de neerslag, verdamping en kwel in bescheiden mate toe, de waterafvoer af en zijn de (grond-)waterstanden lager. De (geringe) toename van kwel hangt samen met de grondwaterstanden die verder wegzakken dan de stijghoogte van het diepe grondwater dat onder invloed van lagere rivierstanden en een geringere infiltratie ook is gedaald. Maar omdat de verdeling en de intensiteit van de neerslag extremer zijn, gaan de waterstanden in de peilgebieden sterker fluctueren, wordt het verschil tussen kwel en wegzijging groter en verloopt de afvoer meer in de vorm van pieken. Bij een uitgekiend gebruik van de buffergebieden worden (zomerse) pieken opgeslagen om in te zetten voor de grotere watervraag. Per saldo is de jaarlijkse afvoer daardoor kleiner. Volgens de berekeningen hoeft dan geen water te worden ingelaten. Dit geldt echter alleen als het peil binnen de ecologische randvoorwaarden mag fluctueren en er geen beperkingen aan de duur van hoge of lage waterstanden zijn. Wanneer dat niet wenselijk is, zoals voor de niet-rietmoerasgebieden, moet in vergelijking met de actuele situatie wel meer water worden af- en aangevoerd.

Toepassing webversie van MORIA

Na aanpassing en toetsing van MORIA is een webversie van het model gemaakt. Die versie rekent met een vijftiendaagse weersverwachting en, voor zover beschikbaar, rivierstanden bij Lobith en de lokale waterstanden die online beschikbaar zijn. De webversie rekent op uurbasis. De verwachting voor de eerste twee dagen wordt mede op radarbeelden gebaseerd om neerslagpieken te kunnen voorspellen. Naast een 'gemiddelde' verwachting worden (erg) droge en (erg) natte verwachtingen gegeven, zodat ook rekening kan worden gehouden met extremere situaties. De webversie wordt momenteel aangepast aan wensen van gebruikers. Over de toepasbaarheid ervan wordt apart gerapporteerd. Een aantal mogelijkheden is hier al wel onderzocht.

Voor piek- en voorraadberging zijn hoogte en duur van de freatische grondwaterstand en het oppervlaktewater belangrijke randvoorwaarden voor bebouwing en vegetatie. De waterstanden kunnen als tijd-stijghoogtelijnen voor de weersverwachtingen (gemiddeld, (erg) nat en (erg) droog) worden opgevraagd. Er kan direct worden afgelezen bij welke weersverwachting op welke dag een

randvoorwaarde wordt over- of onderschreden. Op grond daarvan kan dan worden ingegrepen in afvoer of inlaat van water¹. Een andere variabele die belangrijk is voor piek- en voorraadberging is de bergingscapaciteit. Daarbij gaat het om de hoeveel water die in de overzadigde zone, in de waterlopen en op het maaiveld geborgen kan worden. Tussen de hoogst en laagst toegestane waterstand is de bergingscapaciteit min of meer potentieel. De berekeningen geven aan welk deel nog beschikbaar of bruikbaar is.

De uitkomsten die zijn berekend met de erg droge en droge weersverwachtingen (en in droge perioden ook met de gemiddelde verwachting) verschillen vaak weinig van elkaar. De verwachte neerslag is in alle gevallen klein of erg klein en ook de verdamping verschilt nauwelijks voor deze weersverwachtingen. De natte en de erg natte verwachting wijken meestal wel (heel) veel af van de gemiddelde verwachting, met dito gevolgen voor de waterstand en de berging.

Toepassing van de metingen

In de twee proefvelden (4 en 5) van elk 0,45 ha in het toekomstige rietveld, zijn diepe en freatische grondwaterstanden en de oppervlaktewaterpeilen gemeten. Ook het peil in de Aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg die langs de proefvelden loopt en dat van de Linge is gemeten, evenals de hoeveelheid neerslag. De meetgegevens leverden enkele opmerkelijke conclusies. De stijghoogte in de zandondergrond is gerelateerd aan het peil in de grote rivieren, maar wordt daarnaast ook sterk beïnvloed door het peil in de Aanvoerleiding. In proefveld 4 is de weerstand van de afdekkende kleilaag minimaal. Het peil (dat meestal boven maaiveld staat) correleert goed met dat van de Aanvoerleiding, en ook met de stijghoogte boven in het watervoerende pakket. In proefveld 5 is de weerstand van de afdekkende kleilaag groter (22 dagen). De kwel/wegzijging is daardoor gedempter, maar nog steeds aanzienlijk. Gedurende een meetperiode was de kwel er 4 mm/d.

De berekeningen hebben betrekking op een heel peilvak. Ruimtelijke beelden zijn gebaseerd op een rasternetwerk van 50 m. Dat sluit niet aan bij de lokale, ruimtelijke verschillen in de hydrologie die binnen beide proefvelden al volop blijken voor te komen. Ook de gemeten stijghoogte van het diepe grondwater en de fluctuaties in het oppervlaktewater zijn niet goed bruikbaar bij de toetsing van de berekeningen. De metingen illustreren wel de hydrologische complexiteit van Het Waterrijk en geven cruciale informatie voor de webapplicatie van het model. Het is dan wel zaak dat de metingen op een representatieve plek plaatsvinden.

Conclusies voor het modelinstrumentarium

Versillen in opbouw en fysische eigenschappen van de bodemlagen, gecombineerd met de invloed van de grote rivieren en een waterlopenstel voor waterafvoer en wateraanvoer, maken dat de waterhuishouding in Het Waterrijk complex is, met grote verschillen op korte afstanden. Voor de waterbufferende functie zoals dat van het rietmoeras, houdt dat een beperking in van de capaciteit die daar in potentie voor beschikbaar is. In natte perioden is de rivierstand vaak hoog, en in de aanloop daarnaartoe geregeld ook het waterpeil in de peilvakken. De metingen in een proefveld laten zien dat via kwelvensters waar het kleidek was afgegraven, het waterpeil de stijghoogte in de zandondergrond goed volgt, maar tevens dat waterlopen die ook de zandondergrond aansnijden dan sterk drainerend kunnen werken. Voor droge perioden met lage waterstanden geldt het omgekeerde. Retentie- of suppletiewater zijgt al vroegtijdig weg naar de ondergrond en naar waterlopen die een lager peil hebben. Mogelijk dat door de recente inrichting van het gebied de intreepeilstanden nog minimaal zijn en dat die toe gaan nemen als slib en detritus in de bovengrond bezinken.

De bodemopbouw is lokaal vaak dusdanig onregelmatig dat dit niet in de modellen kan worden meegenomen. Voor de toepassing van de modellen op het niveau van peilvakken of nog groter, op regionaal niveau, is het dan wel belangrijk dat weerstanden en doorlatendheden evenwichtig worden afgeleid uit (meet)gegevens.

Het MORIA-model kon slechts zeer beperkt worden getoetst aan de meetgegevens in Het Waterrijk. Maar waar het model kon worden getoetst, leverde dat acceptabele en verklaarbare verschillen op. Omdat uitgegaan is van het oorspronkelijke, gekalibreerde model en omdat de aanpassingen daaraan

¹ In een aparte 'tool' kan worden gesimuleerd wat het effect daarvan is. Per dag kan een hoeveelheid water worden opgegeven dat wordt ingelaten of afgevoerd. Dat vertaalt zich direct in een ander verloop van de grondwaterstand. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het verband tussen de waterstand en de berging die voor de afzonderlijke peilgebieden zijn afgeleid.

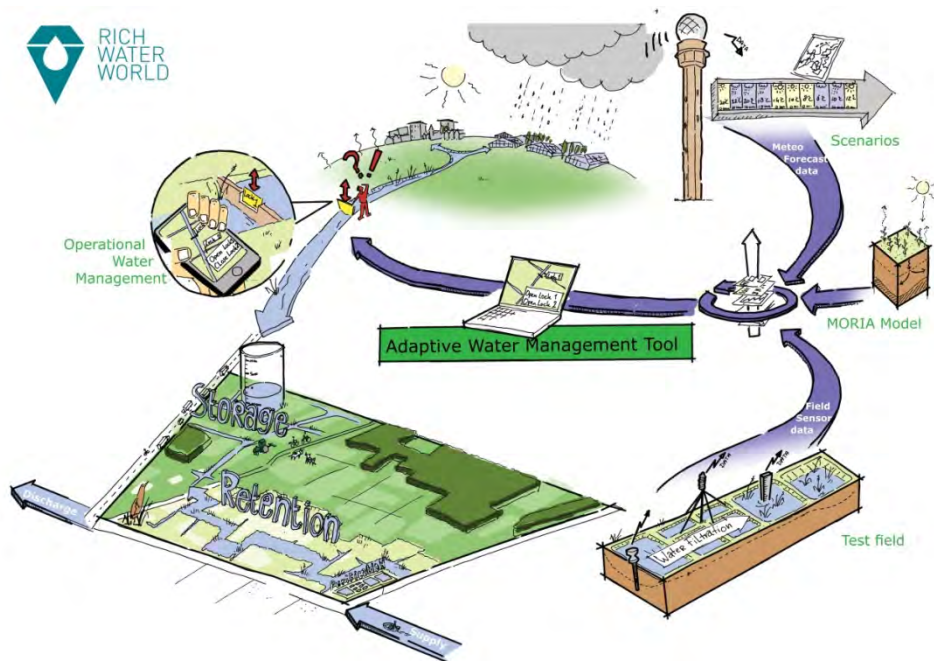
bescheiden zijn, mag worden verwacht dat de uitkomsten plausibel zijn. Voor de uiteindelijke toepassing van het model zijn exacte uitkomsten in dit stadium van het onderzoek vooralsnog minder relevant, omdat het onderzoek primair tot doel heeft om de werking van het hydrologisch systeem in kwantificeerbare termen (waterstanden, berging, aanvoer, afvoer) te kunnen voorspellen aan de hand van weersverwachtingen. In een complex gebied als de Overbetuwe met Het Waterrijk is daar nu de nodige ervaring mee opgedaan.

1 Inleiding

Door de verandering van het klimaat neemt de noodzaak toe om watertekorten aan te vullen en wateroverlast te bestrijden. Dat zal gepaard gaan met een toename van knelpunten. Langdurige inlaat- en afvoerverboden zijn dan bijvoorbeeld niet denkbeeldig. In Nederland worden daarom al extra maatregelen genomen om water op te slaan dat op strategische momenten ingezet kan worden (voorraadberging). Ook worden er meer gebieden ingericht waar water tijdelijk opgeslagen kan worden om de waterafvoer van andere gebieden te prioriteren (piekberging). Idealiter worden beide functies in eenzelfde gebied gecombineerd.

Om piekberging en voorraadberging zo optimaal mogelijk te laten verlopen, is preventief ingrijpen in het waterbeheer noodzakelijk, daarbij anticiperend op verwachte weersveranderingen. Er moet ook rekening worden gehouden met benodigde watercondities voor andere functies in dergelijke gebieden, zoals recreatie, natte natuur of (biologische) waterzuivering. In het nieuw aangelegde landschapspark Park Lingezegen, gelegen in de Betuwe tussen Arnhem en Nijmegen, is hieraan onderzoek uitgevoerd in de periode 2013-2015. Onder de projectnaam RichWaterWold (RWW) hebben de volgende partners samengewerkt: Park Lingezegen, Radboud Universiteit, Alterra Wageningen UR, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, MeteoGroup, B-Ware en Alliander.

Het RWW-project kent verschillende onderdelen (Work Packages). Dit rapport bevat resultaten van Work Package 2, dat zich richt op piek- en voorraadberging². Concreet heeft Work Package 2 tot doel het ontwikkelen van een innovatief waterbeheersysteem voor waterberging, in combinatie met waterzuivering en waterberging, binnen de hydrologische randvoorwaarden van de parkfuncties. Het ontwikkelde instrumentarium is bestemd voor Park Lingezegen, maar kan ook worden aangepast voor andere, hoger gelegen delta's.



Figuur 1.1 Weergave van de Adaptief Water Management Tool.

² Andere Work Packages richten zich op Waterzuivering van oppervlaktewater, Benutting en terugwinning van nutriënten uit het water en Duurzame energievoorziening.

Alterra Wageningen UR ontwikkelt samen met Eijkelpark en MeteoGroup een 'Adaptief Water Management Tool' als webapplicatie (www.richwaterworld.com; in prep.). Daarin worden weersverwachtingen en meetgegevens met een hydrologisch model doorgerekend. Voor veertien dagen in de toekomst levert dat inzicht in waterbalansen en waterstanden. Aansluitend wordt een advies gegeven over waterinlaat en -afvoer. Figuur 1.1 laat schematisch de samenhang tussen de verschillende onderdelen zien. De kennis die met het onderzoek en de webapplicatie wordt opgedaan, is met enige aanpassingen ook toepasbaar voor andere gebieden waar deze problematiek speelt.

Het veldonderzoek is uitgevoerd in Het Waterrijk, een gebied ten zuiden van Arnhem. Het Waterrijk is een deelgebied van Park Lingezegen dat tussen Arnhem en Nijmegen wordt aangelegd. Een van de aspecten die in het proefgebied onderzocht wordt, bestaat uit het toetsen van het hydrologisch model waarmee de waterhuishouding veertien dagen in de toekomst voorspeld wordt.

In dit rapport wordt ingegaan op de hydrologie van Het Waterrijk en het gebruikte hydrologisch modelinstrumentarium. Centraal staat daarbij het toekomstige rietmoeras ten oosten van de A325, de weg Arnhem-Nijmegen. De primaire functie van dit moeras is natuur, maar onderzocht wordt in hoeverre binnen de randvoorwaarden van deze natuurfunctie ook waterberging en waterzuivering mogelijk zijn. Er wordt verslag gedaan van de technische aanpassingen die aan het model zijn gedaan en van de modelinvoer. De modelinvoer zelf kon worden verbeterd op basis van nader onderzoek dat is uitgevoerd naar de vochtshouding in de rietmoerassen van twee gebieden. Dat geeft vooral inzicht in de waterbeweging (kwel/wegzijging) en de hoeveelheid water die nodig is voor verdamping.

In het toekomstige rietmoeras zijn twee met riet aangeplante proefvelden aangelegd waar de waterhuishouding en neerslag en verdamping door Eijkelpark worden gevolgd. De waterbalansen die met deze meetgegevens zijn opgesteld, leveren onder meer inzicht in de weerstand van de afdekkende kleilaag. Ook de doorwerking van het peil in de Nederrijn en de Waal, dat via de zandondergrond het regionaal watersysteem in dit deel van de Betuwe beïnvloedt, wordt waargenomen.

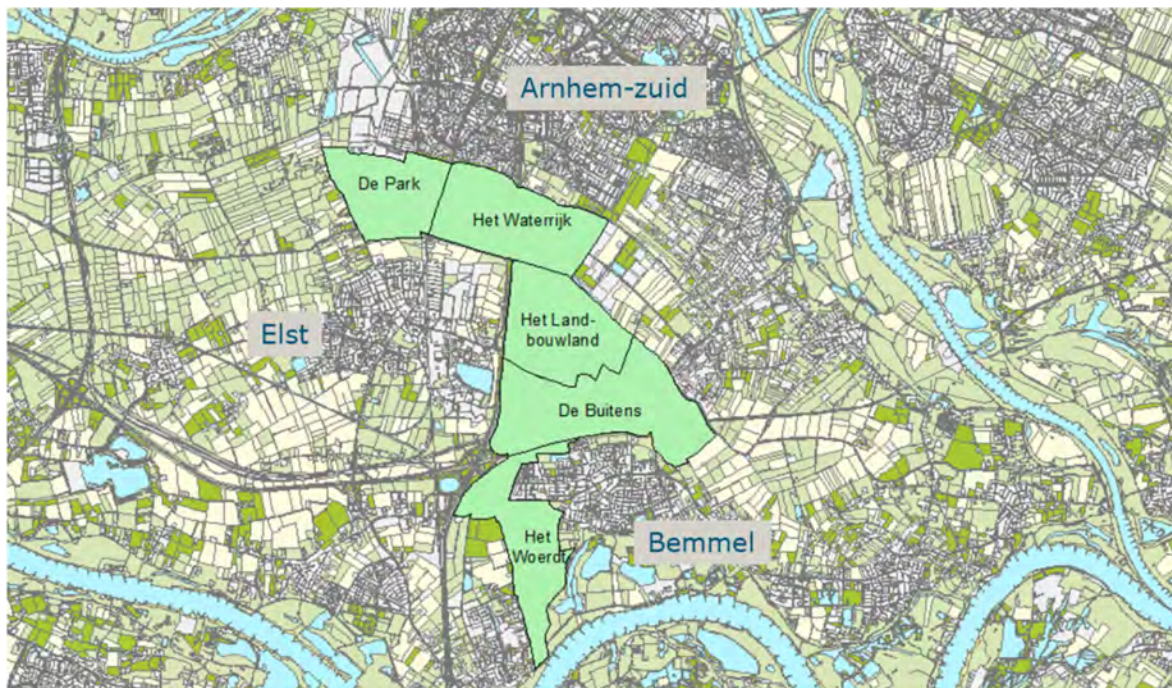
Met het hydrologisch model is in eerste instantie een aantal scenario's doorgerekend die inzicht geven in de huidige situatie en de situatie in 2050, als de verandering van het klimaat zich manifesteert. Daarnaast is een aantal berekeningen gedaan met vijftiendaagse weersverwachtingen.

2 Methode

2.1 Park Lingezegen en Het Waterrijk

Park Lingezegen

Park Lingezegen wordt in een brochure omschreven als 'een landschapspark waar in 2014 ruim 160.000 omwonenden hun dagelijkse ommetje of fietstocht kunnen maken'. Het hele gebied heeft een omvang van 1.700 ha en strekt zich uit van Arnhem-Zuid tot de Waal. In het parkgebied wordt meer ruimte vrijgemaakt voor natuur, water en landschap. Er komen vijf deelgebieden die elk een eigen accent krijgen (Figuur 2.1). Zo komen er in deelgebied 'De Park' stukken bos en open gedeelten. 'Het Landbouwwand' blijft een open gebied met boerderijen, 'de Buitens' kent meer bewoning en biedt ruimte voor nieuwe landgoederen en 'De Woerd' sluit aan bij de landschapszone bij de Waalsprong. Direct ten zuiden van Arnhem-Zuid wordt 'Het Waterrijk' ontwikkeld, een gebied waar delen worden ingericht voor waterrecreatie, natte natuur en piek- en voorraadbeging (Figuur 2.2). In totaal beslaat Het Waterrijk 280 ha.

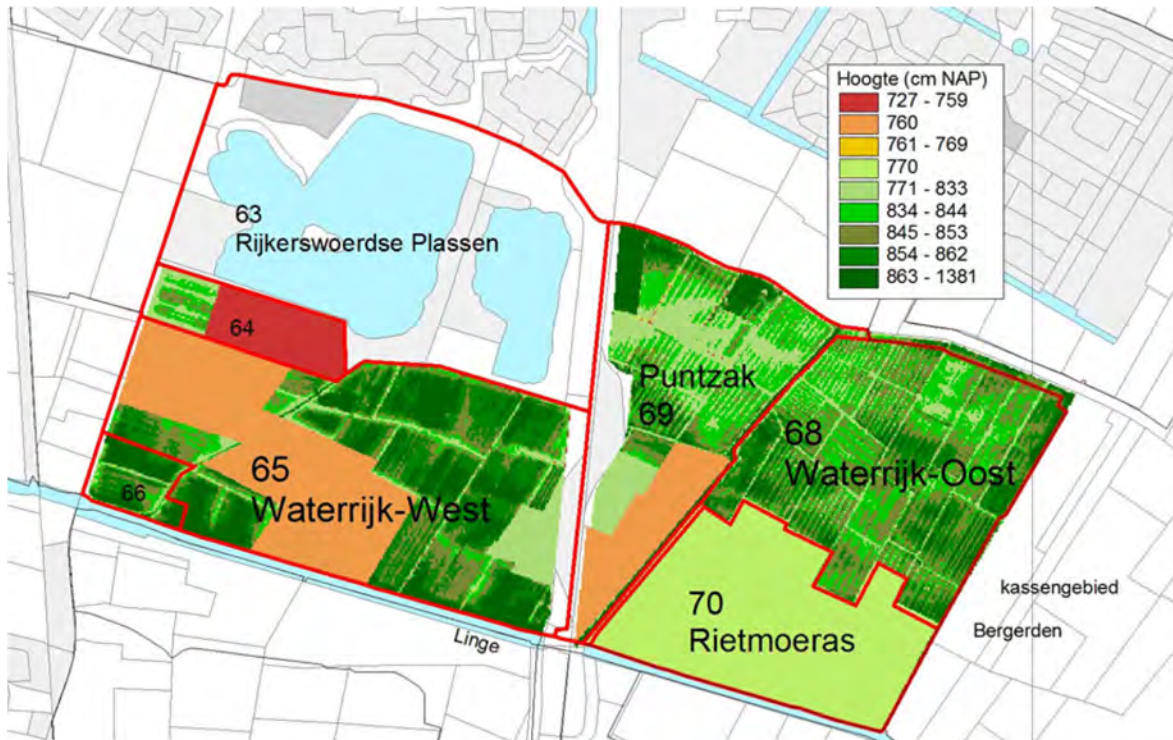


Figuur 2.1 Park Lingezegen met de vijf deelgebieden.

Het Waterrijk

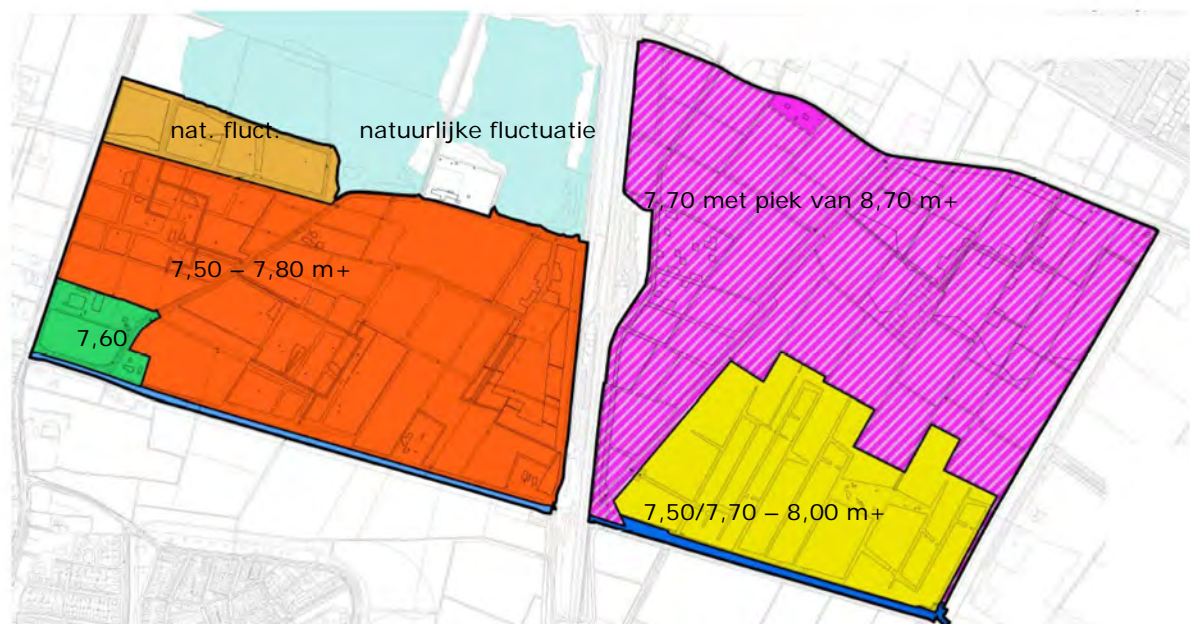
De waterbergingsgebieden in Het Waterrijk is bestemd voor de opvang van piekneerslag die via de Huissense Zeeg wordt afgevoerd om wateroverlast in Arnhem-Zuid en het kassengebied Bergerden (ten oosten van Het Waterrijk) te voorkomen. Het onderzoek waarover in dit rapport verslag wordt gedaan richt zich vooral op het gedeelte van Het Waterrijk dat ten oosten van de A325 ligt. Daarin ligt peilvak 69 (figuren 2.2 en 2.3), een deels afgegraven moerasgebied van 48 ha dat primair bestemd is voor de opvang van piekafvoeren uit de Huissense Zeeg. Verder zijn er een recreatiegebied (peilvak 68) van 52 ha – dat eveneens geschikt is voor waterberging – en een afgegraven rietmoeras (peilvak 70) van 37 ha, waar naast voorraadbeging ook water wordt gezuiverd. Voor alle drie de gebieden is onderzocht of piekberging en zuiveringsfunctie ook gecombineerd kunnen worden met voorraadbeging.

De Rijkerswoerdse Plassen, die in het noordwesten van Het Waterrijk liggen (gebied 63), zijn niet verbonden met waterlopen. Het peil fluctueert mee met het grondwater. Peilvak 64 wordt deels afgegraven en in de nieuwe situatie bij de Rijkerswoerdse Plassen gevoegd. Peilvak 65 heeft een gecombineerde functie voor natuur, waterberging en recreatie.



Figuur 2.2 De peilvakken van Het Waterrijk en de toekomstige maaiveldhoogte.

De peilvakken krijgen ook een ander peilregime (Figuur 2.3). Aan de oostzijde blijft het streefpeil 7,70 m+NAP, maar in de bergingsgebieden 68 en 69 mag het peil kortdurend oplopen tot 8,70 m+NAP waardoor het tot meer dan een meter (in de punt van peilvak 69) onder water komt te staan. Waterrijk-West – de weg Arnhem-Nijmegen (A325) snijdt het gebied in tweeën – ligt aan een benedenstrooms gelegen stuwpand van de Linge met een lager peil. De peilen in Waterrijk-West zijn navenant lager.



Figuur 2.3 Peilen in Het Waterrijk.

Proefveld

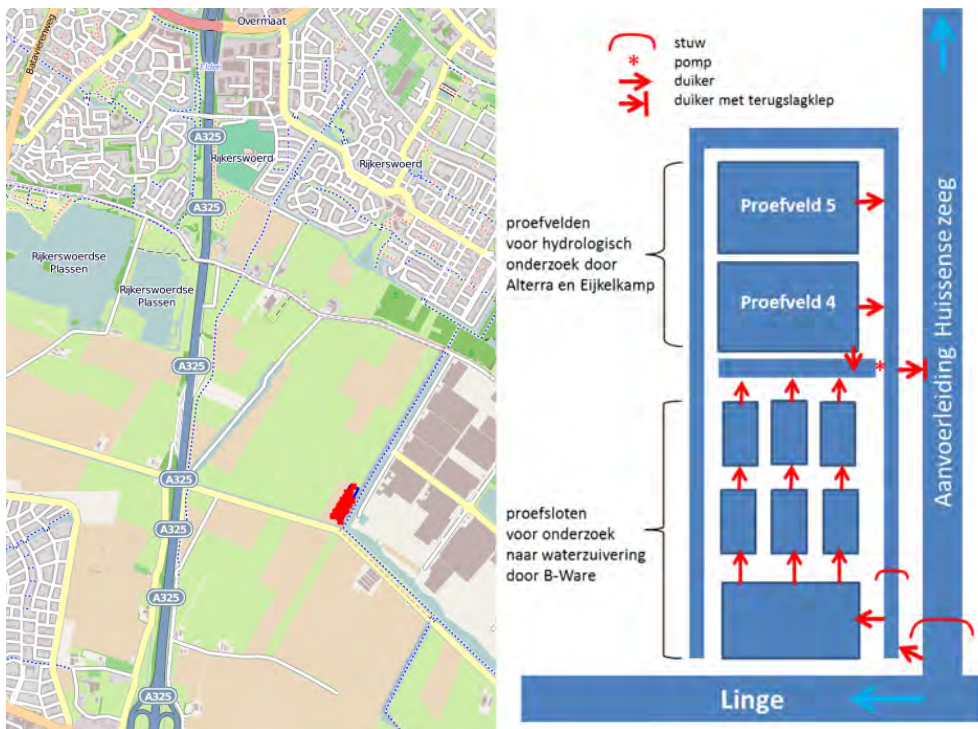
In het zuidoosten van het rietmoeras (peilgebied 70) van Het Waterrijk is in 2014 een proefgebied aangelegd om in het veld het gedrag van het toekomstige watersysteem te kunnen onderzoeken. Het twee hectare grote gebied bestaat uit meerdere proefsloten en proefvelden waarin de waterstand en doorstroming tot op zekere hoogte kunnen worden geregeld (Figuur 2.4). De uitgegraven proefsloten voeren permanent water en zijn ingericht voor onderzoek van B-Ware en Radboud Universiteit naar de effectiviteit van biogeochemische waterzuivering voor vastlegging en verwijdering van nutriënten (www.richwaterworld.com).

In de noordelijke helft van het proefgebied zijn twee velden van elk 0,45 ha aangelegd. Het maaiveld is afgegraven tot de toekomstige hoogte van het rietmoeras (7,70 m+NAP), waarna er riet is aangeplant. De proefvelden zijn omgeven door een dijkje. Via een duiker met een opzetstuk kan een verbinding worden gemaakt met het buitenwater. Afhankelijk van de waterstand in en buiten het proefveld kan het peil in het proefveld worden aangepast.

Beide proefvelden zijn bedoeld voor hydrologisch onderzoek. Daarbij gaat het om het vaststellen van waterbalansen en gebiedskenmerken die gebruikt kunnen worden om de hydrologische modellen mee te verfijnen. Ook kunnen de waterstanden worden gebruikt om de modeluitkomsten aan te toetsen. In de proefvelden worden neerslag, oppervlaktewaterpeilen, freatische grondwaterstanden en de stijghoogte boven in het watervoerende pakket geautomatiseerd gemeten. De firma Eijkelkamp draagt zorg voor de meetapparatuur (www.richwaterworld.com). De metingen zijn via telemetrie online beschikbaar, zodat de actuele situatie permanent bekend is.

De metingen in de proefvelden uit de periode 31 januari 2014 tot medio juli 2015 zijn in Bijlage 1 uitgebreid geanalyseerd. Er zijn tijd-stijghoogtelijnen en waterbalansen mee opgesteld en er zijn hydraulische weerstanden van de deklaag mee berekend. De telemetrische waarnemingen bleken waardevol om de waterhuishouding van de proefvelden te kunnen volgen om zo nodig water aan- of af te voeren. De meetreeksen zelf vertoonden hiaten en waren beperkt betrouwbaar. Daardoor konden nog geen harde conclusies worden getrokken. Wel was duidelijk dat:

- In beide proefvelden afwisselend kwel en wegzijging voorkomt;
- Er langdurig water op het maaiveld staat;
- Er structurele en incidentele verschillen zijn in hoeveelheden lokaal gemeten neerslag vergeleken met de neerslag gemeten op het KNMI-station Arnhem.



Figuur 2.4 Overzicht van het proefveld in het zuidoosten van het rietmoeras in Het Waterrijk.

2.2 Het modelinstrumentarium

In de aanloop naar de toepassing van het driedimensionale model MORIA, waarmee het gros van de berekeningen is gedaan, is het eendimensionale model SWAP gebruikt. SWAP is bij uitstek geschikt om het waterregime in relatie tot de vochtinhouding voor planten te beschrijven. Zo kan worden bekeken wanneer planten verdrogen of te lang onder water staan. De kennis die daarmee wordt opgedaan, geeft niet alleen veel inzicht in de hydrologie, maar wordt ook gebruikt in het model MORIA.

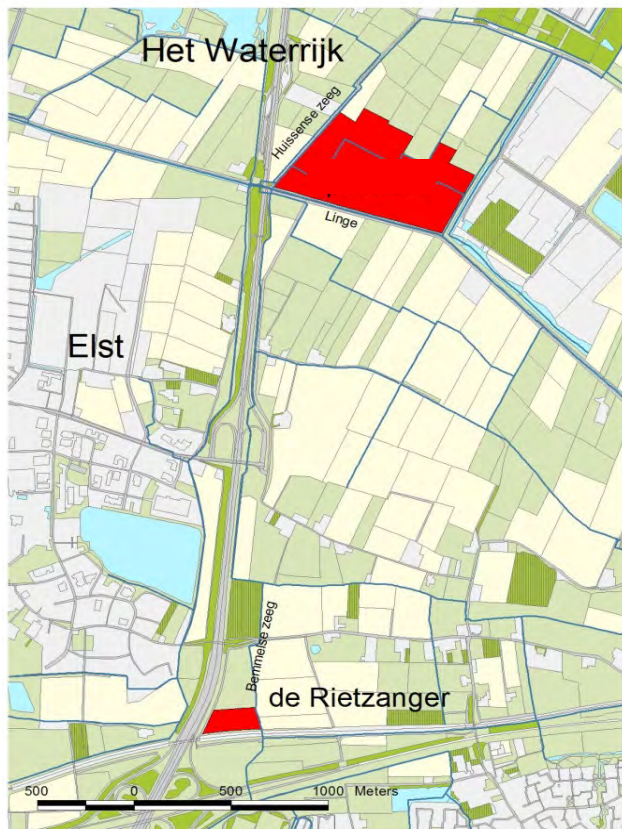
MORIA is het grondwatermodel van Waterschap Rivierenland. Het bestaat uit MODFLOW voor het grondwater, SIMGRO voor de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater en het model MetaSWAP voor de interactie tussen bodem, grondwater, atmosfeer en vegetatie.

Met de geïntegreerde versie van MORIA worden meerdere jaren achtereenvolgende effecten van verschillende scenario's doorgerekend. De capaciteit van wateraanvoer en -afvoer verschilt en er wordt gekeken naar gevolgen van klimaatverandering. Maar met hetzelfde model worden ook korte perioden doorgerekend waarvoor weerscenario's worden gebruikt.

2.2.1 Het hydrologisch model SWAP

2.2.1.1 Beschrijving van het model

SWAP staat voor Soil-Water-Atmosphere-Plant, is een eendimensionaal waterbalansmodel dat de dynamiek beschrijft van het verticale vochttransport in de onverzadigde zone als gevolg van gradiënten in drukhoogtes (Kroes en van Dam, 2003). Het model is ontwikkeld ten behoeve van de landbouw om aan de hand van een gesimuleerde vochtinhouding uitspraken te kunnen doen over de gewasopbrengst. Maar door de onderliggende fysiologische processen is het model ook in algemene zin goed toepasbaar en kan het bijvoorbeeld ook worden ingezet om de vochtinhouding van meer natuurlijke vegetaties te beschrijven. Het model wordt toegepast in het rietmoeras in Het Waterrijk en in De Rietzanger (Figuur 2.5). De Rietzanger is een klein (2,8 ha) rietmoeras dat enkele jaren geleden als proefgebied is aangelegd.



Figuur 2.5 Situering van het rietmoeras in Het Waterrijk en De Rietzanger.

Voor de berekeningen is versie 3.2 van het model SWAP gebruikt. SWAP kan als een bodemkolom worden beschouwd die is opgebouwd uit maximaal 40 compartimenten. Ieder compartiment heeft een eigen dikte en bodemfysische eigenschappen. Tussen de compartimenten wordt de waterbeweging berekend. Via het onderste compartiment vindt wegzijging en kwel plaats en via het bovenste compartiment neerslag en evaporatie. De gewasverdamping vindt plaats vanuit de compartimenten waarin zich wortels bevinden. De waterbewegingen van en naar de waterlopen lopen via de zijkanten van de compartimenten.

2.2.1.2 Modelinvoer

Ingrepen

De Rietzanger is in de winter van 2012/2013 ingericht als rietmoeras. Voor delen van Het Waterrijk staat de inrichting gepland in de periode tot 2018. De ingrepen komen grofweg neer op het afgraven van circa 80 cm bovengrond, het aanplanten van riet en een aanpassing van het peilregime. Dit heeft gevolgen voor:

1. De bovengrond. Door het afgraven van de humeuze kleibovengrond komt de kleiondergrond of mogelijk de zandondergrond aan de oppervlakte. Normaliter is een ondergrond humusarmer en minder gerijpt en dat heeft weer gevolgen voor bijvoorbeeld het waterbergend vermogen, de doorlatendheid en bewortelbaarheid. Door rijping zullen de bodemfysische eigenschappen in de loop der tijd wijzigen.
2. De ondergrond. Doordat de (klei)bovengrond door afgraving in dikte afneemt, vermindert ook de weerstand van de deklaag en zal de uitwisseling met het grondwater in de zandlaag (kwel/wegzijging) toenemen.
3. De vegetatie. Na de aanplant van riet zal er tijd overheen gaan voor er een gesloten rietmoeras is ontstaan. Gedurende die tijd zal ook de verdamping wijzigen. In eerste instantie zullen de transpiratie (gewasverdamping) en interceptie door het ingeplante riet klein zijn, maar na verloop van tijd nemen die toe. Voor de evaporatie (bodemverdamping) geldt het omgekeerde. Een

volgroeid rietmoeras zal regelmatig moeten worden gemaaid waarna dit proces in zekere zin weer van voren af aan begint.

4. De waterhuishouding. Het maaiveld wordt afgegraven tot een plas-drassituatie ontstaat. Voor zover er een waterlopenstel wordt aangelegd, is dat ook gericht op waterzuivering. De grondwaterstand mag aanzienlijk fluctueren, primair om goede condities voor het riet te creëren. Dit biedt echter ook capaciteit om water te kunnen bergen in natte perioden en om de waterinlaat in droge perioden te beperken.

Compartimentering en bodemopbouw

Voor de compartimentering van de bodem is het maximale aantal compartimenten (40) ingezet. De bovenste compartimenten zijn dun, 1 cm, omdat daar een grote nauwkeurigheid van de vochttoestand vereist is. De onderste compartimenten zijn 25 cm dik. De totale dikte die in beschouwing is genomen, bedraagt 4 m. De toekenning van de bodemlagen en bodemkenmerken aan de compartimenten is gebaseerd op de zanddiepte, de bodemkaart en aanvullende veldmetingen. Er is uitgegaan van de nieuwe situatie, dus na het verlagen van het huidige maaiveld.

In het moerasgebied De Rietzanger is de bovenlaag al afgegraven. Er is daarbij een variatie in maaiveldhoogte van enkele decimeters aangebracht. Voor het SWAP-model is uitgegaan van de gemiddelde maaiveldhoogte van 7,85 m+NAP. Door het afgraven is het kleidek op meerdere plekken verdwenen waardoor de zandondergrond dagzoomt. Op de andere plekken varieert de resterende kleidikte van een enkele decimeter tot een meter. Het bovenste gedeelte van de zandlaag is verspoeld en is soms ook nog wat lemig (Bijlage 2).

Voor het (toekomstige) moerasgebied Het Waterrijk is een SWAP-model gemaakt. In dit peilvak varieert de kleidikte – na afgraven – tussen de 1 en 2 m. In het model wordt uitgegaan van een dikte van 1 m. Bij de aanleg van het proefveld zijn profielbeschrijvingen gemaakt en zijn bodemmonsters genomen (Bijlage 3). Die bevestigden dat de klei zeer zwaar is, wat inhoudt dat het lutumgehalte minimaal 35% is.

Van iedere bodemlaag moeten bodemfysische eigenschappen worden opgegeven. Daarbij gaat het om de waterretentiekarakteristiek (h - θ -relatie) en de onverzadigde doorlatendheid (k - h -relatie). Hiervoor zijn de bodemfysische eigenschappen van de bodemmonsters uit Bijlage 3 en de eigenschappen uit de zogenaamde Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001) gebruikt. Voor de bovenste decimeters worden normaliter de eigenschappen van een bovengrond genomen, maar die zijn hier gedurende een langere periode na de afgraving niet van toepassing. Daarom hebben die ook de eigenschappen van een ondergrond gekregen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de schematisering van de bodemkolom.

Tabel 2.1

Overzicht van de bodemschematisatie.

diepte (cm)	dikte com- partimenten (cm)	Rietzanger		Waterrijk-rietmoeras		
		grondsoort	bodemtype Staringreeks *)	grondsoort	bodemtype Staringreeks *)	bodem- monster **)
5	1	matig zware klei	O12	zeer zware klei	O13	
10	1	lemig fijn zand	O3	zeer zware klei	O13	ja
20	2,5	lemig fijn zand	O3	zeer zware klei	O13	
30	2,5	lemig fijn zand	O3	zeer zware klei	O13	
40	5	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
50	5	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
60	10	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
70	10	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
80	10	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
90	10	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
100	10	grof zand	O5	zeer zware klei	O13	
110	25	grof zand	O5	grof zand	O5	
120	25	grof zand	O5	grof zand	O5	
130	25	grof zand	O5	grof zand	O5	
140	25	grof zand	O5	grof zand	O5	
150	25	grof zand	O5	grof zand	O5	
200	25	matig zware klei	O12	grof zand	O5	
250	25	matig zware klei	O12	grof zand	O5	
300	25	matig zware klei	O12	grof zand	O5	
350	25	matig zware klei	O12	grof zand	O5	
400	25	matig zware klei	O12	matig zware klei	O12	

*) Wösten, et al., 2001

**) representatief voor de hele kleilaag

Neerslag en verdamping

De bovenrand van het model beschrijft de neerslag en verdamping. Hiervoor worden gegevens op dagbasis van een lokaal meteostation (9073) gebruikt. Dit station is representatief voor Het Waterrijk. Er wordt een periode van zeven jaar doorgerekend (2002-2008). Daarin komen droge (2003 en 2006), gemiddelde (2004 en 2007) en natte (2002 en 2008) jaren voor. Vooral de zomer van 2003 was erg droog.

Er wordt ook gerekend voor een situatie in 2050, waarin het klimaat is veranderd. Als scenario is W+ genomen, het scenario waarin de veranderingen het grootst zijn. Het KNMI heeft hiervoor uit bestaande meetreeksen de neerslag en neerslag en verdamping berekend. De neerslag neemt in de zomer met 19% af en de potentiële verdamping met 15% toe. In de winter neemt de neerslag met 14% toe. Belangrijk voor de piekberging en voorraadberging is ook dat er 's zomers meer zware buien gaan vallen en er langduriger droge perioden voorkomen. Er wordt een periode van zeven jaar doorgerekend die geconverteerd is uit de jaren 1999-2005.

De verdamping, zoals die door het KNMI wordt geleverd, is de potentiële referentieverdamping voor gras. Op grond van gewaseigenschappen wordt onderscheid gemaakt in:

- Evaporatie: verdamping van kale grond. Deze zal, na de aanplant van rietwortels, groot zijn, omdat de bodem nog nauwelijks bedekt is. Als er water op het maaiveld staat, wat bij een rietvegetatie al snel het geval kan zijn, is er geen sprake meer van evaporatie, maar van openwaterverdamping.
- Interceptieverdamping: rechtstreekse verdamping van neerslag die op de vegetatie is gevallen
- Transpiratie: verdamping via de huidmondjes van bodemvocht dat door de vegetatie is opgenomen.

De groei van riet maakt dat de bodembedekking toeneemt dan wel de evaporatie afneemt en de transpiratie en interceptieverdamping toenemen. Daarom worden de berekeningen uitgevoerd voor twee ontwikkelingsstadia: twee jaar na de aanplant van het riet en als het rietmoeras volgroeid is. In Tabel 2.2 staat een overzicht van de gebruikte gewasfactoren voor riet.

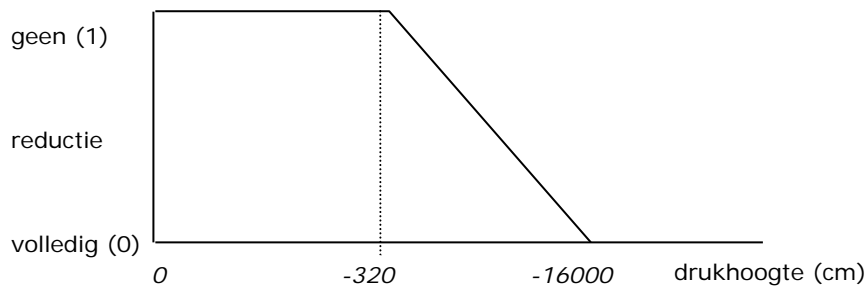
Tabel 2.2

Gewaseigenschappen van riet.

	na 2 jaar	volgroeid
bodembedekking (%) winter/zomer	10-20/20-25	90/100
index bladoppervlakte winter/zomer	0,40/0,70	1,5/3,0
interceptie coëfficiënt (cm) ^{*)}	0,25	0,35
bewortelingsdiepte (cm)	20	60

*) volgens Von Hoyningen-Hune and Braden (Kroes et al., 2008)

De zogenaamde sink-term in het model beschrijft de verdampingsreductie onder natte en droge omstandigheden. Riet heeft interne luchtkanaaltjes, waardoor ook onder natte omstandigheden de wortels van zuurstof worden voorzien en de verdamping potentieel blijft verlopen. Onder droge omstandigheden neemt de verdampingsreductie toe dan wel de verdamping af tussen een drukhoogte³ van -320 cm en het fysieke verwelkingspunt van -16000 cm (Figuur 2.6). Ook van kale grond neemt de evaporatie af als de bovenlaag uitdroogt.

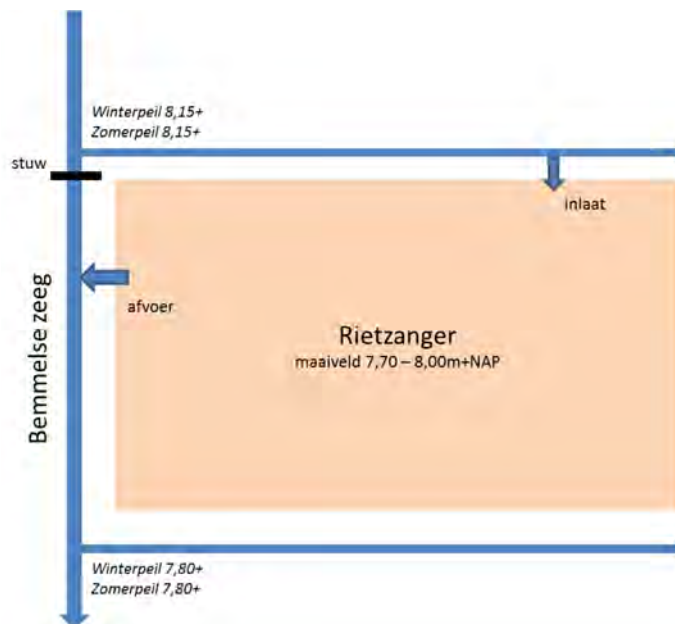


Figuur 2.6 Reductie van de potentiële transpiratie als functie van de drukhoogte.

Drainage en infiltratie

In Figuur 2.7 staat een schematische weergave van de waterhuishouding rond De Rietzanger. In het gebied zelf zijn geen greppels aangelegd voor de detailontwatering. Alleen de Bemmelse Zeeg ten oosten van De Rietzanger plus de zijtakken daarvan langs de noord- en zuidzijde van De Rietzanger zijn waterlopen die een drainerende of infiltrerende functie hebben. Enerzijds is de weerstand die de grondwaterstroming in het zandpakket ondervindt klein, maar anderzijds zijn ook de verschillen tussen de peilen binnen en buiten De Rietzanger klein. Per saldo zullen de drainage- en infiltratiefluxen daardoor beperkt zijn. Er vindt permanent infiltratie plaats vanuit de waterloop die ten zuiden van De Rietzanger loopt en waarin ook het inlaatpunt ligt. Vanuit de Bemmelse Zeeg (beneden de stuw) infiltreert water als de grondwaterstand in De Rietzanger wat dieper wegzakt. Bij hogere waterstanden draineert de Bemmelse Zeeg.

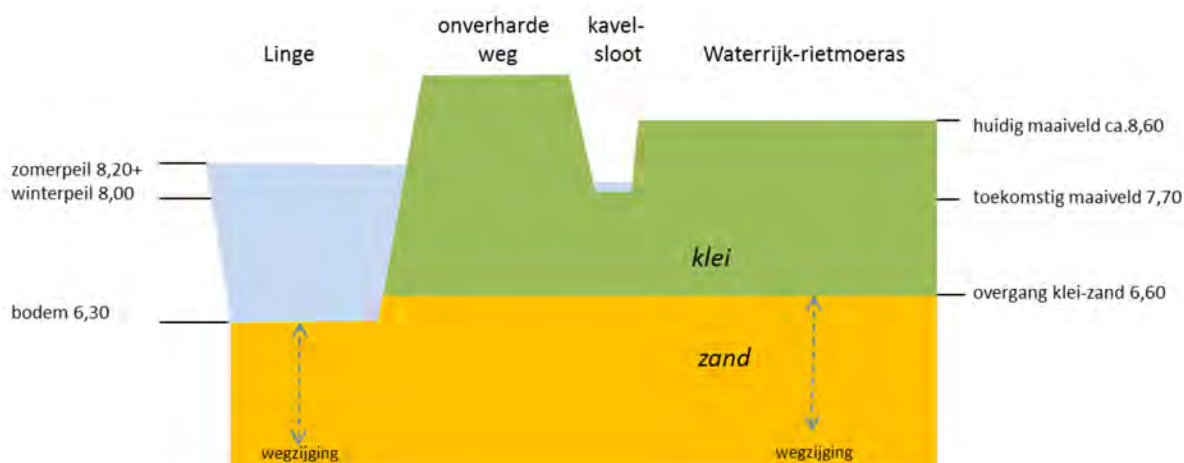
³ De zuigkracht die de wortels moeten ontwikkelen om vocht te kunnen onttrekken.



Figuur 2.7 Waterhuishouding in en rond De Rietzanger.

In Figuur 2.8 staat een dwarsdoorsnede door het zuiden van het rietmoeras in Het Waterrijk en de aangrenzende Linge. De Linge heeft een winter- en zomerpeil van respectievelijk 8,00 en 8,20 m+NAP. Dat is hoger dan het peil in het rietmoeras dat fluctueert van 7,50 tot 8,00 m+NAP. De bodem van de Linge reikt tot in de zandondergrond, maar uit veldbezoek en metingen in de pilot lijkt er geen noemenswaardige kwel vanuit de Linge op te treden (Bijlage 2). Mogelijk is de afdekkende kleilaag in het gebied daar debet aan, of anders een aangegroeide sliblaag in de Linge waardoor de intreeweerstand is toegenomen.

Her rietmoeras en de omringende peilvakken hebben normaliter genomen eenzelfde peil (7,70 m+NAP) dat via een schuif bij het afvoerpunt in De Huissense Zeeg bij de Linge wordt geregeld. Bij waterinlaat en in natte periode verandert dat. Voor de modelberekeningen is daar geen rekening mee gehouden.



Figuur 2.8 Schematische doorsnede door de Linge en het rietmoeras in Het Waterrijk.

De drainage- en infiltratieweerstanden die in eerste instantie voor De Rietzanger en het rietmoeras in Het Waterrijk zijn gebruikt, staan in Tabel 2.3. In MORIA wordt een drainageweerstand van 92 dagen voor de hele Betuwe gebruikt. Op lokaal niveau, waarop met SWAP wordt gerekend, kan de weerstand

hier sterk van afwijken. De weerstanden voor De Rietzanger en het rietmoeras in Tabel 2.3 zijn op grond van doorlatendheden, slootafstanden, waarden uit het NHI en expert judgement ingeschat. Deze zijn bij de kalibratie van de modellen enigszins bijgesteld. In Tabel 2.3 staan ook de verschillen tussen de peilen in de omringende waterlopen en de streefpeilen.

Tabel 2.3

Drainage-eigenschappen voor De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk.

	weerstand (dgn)		peilverschil	
	drainage	infiltratie	zomer	winter
Rietzanger				
Bemmelse zeeg + zijtak beneden de stuw	300	900	0,05	0,05
Bemmelse zeeg + zijtak boven de stuw	300	900	-0,20	-0,20
Waterrijk-rietmoeras				
Linge	500	1000	-0,50	-0,30/-0,50
Huissense zeeg	500	1000	0,00	0,00

Kwel en wegzijging

Kwel en wegzijging vinden via de onderrand van het SWAP-model plaats. De flux wordt berekend uit het verschil in stijghoogte van het diepe en het freatische grondwater en de weerstand van de tussenliggende bodemlaag. De zandbanen in de ondergrond kunnen met elkaar, maar ook met de grote rivieren en kleinere waterlopen als de Linge en de Bemmelse Zeeg, in verbinding staan. De kleilaag die volgens Tabel 2.1 op 4 m diepte bij zowel de Rietzager als het rietmoeras van Het Waterrijk voorkomt, zal dan ook niet stagnerend werken. In het model MORIA, waarin wordt gerekend met 18 bodemlagen, wordt deze laag daarom niet onderscheiden. Van de bovenste 3 lagen uit dat model staan de weerstanden en het doorlaatvermogen in Tabel 2.4. Het zijn globale gemiddelden. In De Rietzanger is na afgraving op verschillende plekken het kleidek verdwenen. De (gemiddelde) weerstand is daar klein. Voor de berekeningen is de weerstand op 75 dagen gesteld. Voor het rietmoeras in Het Waterrijk is een weerstand van de deklaag gebruikt die evenredig is met de resterende kleidikte: $1,5/2,5 \times 510 = 306$ dagen.

Tabel 2.4

Dikte, weerstand en doorlaatvermogen van de bovenste drie lagen in het MORIA-model.

soort laag	Rietzanger			Waterrijk-rietmoeras		
	diepte *) (m NAP)	c (etm)	kD (m ² /dag)	diepte (m NAP)	c (etm)	kD (m ² /dag)
deklaag	9,00 - 7,30	125	4,9	8,70 - 6,20	510	4,9
watervoerend	7,30 - 4,50	0,1	160	6,20 - 3,10	10	170
watervoerend	4,50 - -6,00	10	165	3,10 - -4,60	10	320

*) voor afgraven

De drijvende krachten achter de fluctuaties in stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond zijn het neerslagoverschot, de waterpeilen in de grote rivieren, en mogelijk de aanvoer vanuit de Veluwe en het Rijk van Nijmegen. Voor de SWAP-berekeningen voor het huidige klimaat kunnen de gemeten stijghoogtes in de ondiepe zandlaag gebruikt worden die in feite de resultante vormen van deze krachten. In de omgeving van De Rietzanger en het rietmoeras in Het Waterrijk staan

verschillende meetbuizen. Een aantal daarvan is gebruikt om via interpolatie de stijghoogtes in beide gebieden te berekenen (Bijlage 1 en 4).

Met klimaatscenario W+ zullen niet alleen de neerslag en verdamping wijzigen, maar ook het peil van de grote rivieren en daarmee de stijghoogte van het diepere grondwater. Aan de hand van bestaande meetgegevens van stijghoogtes en rivierpeilen en verwachte rivierpeilen die met een oppervlaktewatermodel zijn berekend, zijn eenvoudige verbanden afgeleid waarmee een schatting is gemaakt van de stijghoogte van het grondwater in 2050 bij klimaat W+ (Bijlage 4). Die zijn gebruikt voor de SWAP-berekeningen met klimaatscenario W+2050.⁴

2.2.1.3 Scenario's

De SWAP-berekeningen moeten tot de volgende resultaten leiden:

- Inzicht in de waterhuishouding van de rietmoerassen.
- Inzicht in de veranderingen die samenhangen met de ontwikkeling van de rietvegetatie.
- Inzicht in de gevolgen van klimaatverandering.

In Tabel 2.5 staan de doorgerekende scenario's. Om het aantal scenario-berekeningen te beperken, is het peilregime afgestemd op een rietvegetatie. Binnen de randvoorwaarden van het peilregime moet zo min mogelijk water worden ingelaten of afgevoerd, maar er kunnen wel afvoerpieken worden opgevangen. Er is geen streefpeil; binnen bepaalde randvoorwaarden mag het peil vrij fluctueren. Pas als de grondwaterstand beneden de 20 cm beneden maaiveld daalt, wordt er water ingelaten en als het water hoger dan 30 cm boven maaiveld staat, wordt het afgevoerd. Verder wordt er geen rekening gehouden met incidentele aanpassingen, bijvoorbeeld een tijdelijke peilverlaging of extra berging.

Tabel 2.5

Uitgangspunten van de scenario-berekeningen met SWAP.

	volgroeid	waterhuishouding		klimaat	
		afvoer	inlaat	huidig	W+ in 2050
scenario 1a	X			X	
scenario 1b	X	X		X	
scenario 1c	X	X	X	X	
scenario 2a	X				X
scenario 2b	X	X			X
scenario 2c	X	X	X		X

2.2.2 Het hydrologisch model MORIA

2.2.2.1 Beschrijving van het model

Voor de hydrologische berekeningen wordt gebruikgemaakt van een bestaand grondwatermodelinstrumentarium. Dat model, met de naam MORIA (Modellering Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel), is ontwikkeld voor het beheergebied van Waterschap Rivierenland (www.Deltares.nl) Het verschaft inzicht in het regionale grondwatersysteem en biedt de mogelijkheid om effecten in beeld te brengen van toekomstige ruimtelijke of klimatologische ontwikkelingen. MORIA is ontwikkeld in opdracht van Waterschap Rivierenland, de Provincie Gelderland en het Waterbedrijf Vitens door TNO (opgegaan in Deltares na 1 januari 2008), Alterra, TAUW en Royal HaskoningDHV (www.Deltares.nl; Moria, versie 2.2, 2014).

⁴ De SWAP-berekeningen voor W2050 zijn op een andere meetreeks gebaseerd dan de MORIA-berekeningen. De geconverteerde data voor SWAP maken een synchrone vergelijking van verdamping, uitdroging e.d. met de actuele situatie mogelijk. Ook volstaat de globaal berekende stijghoogte van het grondwater en het rivierpeil. Bij MORIA is gebruikgemaakt van gegevens van weerscenario's en berekende rivierpeilen die eerder waren berekend (www.Grontmij.nl).

Het modelinstrumentarium sluit aan bij de opzet van de andere modelinstrumenten in Limburg (IBRAHYM), Oost-Gelderland (AMIGO) en Noord-Nederland (MIPWA). Het modelinstrumentarium MORIA bestaat uit de toepassingsomgeving iMOD (Interactief MODeleren) en een modeldatabase. Het grondwatermodel van MORIA is ontwikkeld met MODFLOW voor de verzadigde grondwaterstroming. Het is gekoppeld aan het onverzadigde zonemodel SIMGRO-MetaSWAP. Zonder aanpassing van de modelinvoer is het mogelijk om het model op te schalen naar een grovere schaal of om een of meer deelmodellen uit te knippen. Hierdoor was het mogelijk om in te zoomen op de Overbetuwe en meer specifiek op Park Lingezegen met Het Waterrijk (Figuur 2.9).



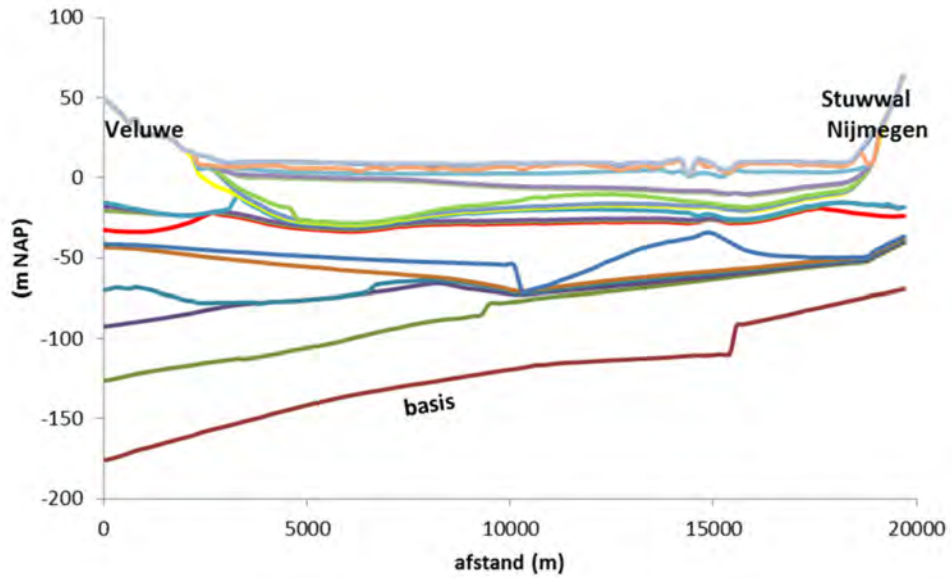
Figuur 2.9 Gebiedsbegrenzing van MORIA en het deelgebied Overbetuwe met Park Lingezegen.

Alle basisinformatie van het model is bijeengebracht in de modeldatabase voor de periode 1994-2004. De database heeft een hoge resolutie in de ruimte (25x25 m) en in de tijd (dag). Het grondwatermodel is verbeterd aan de hand van gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes middels stationaire en niet-stationaire ijking. De berekeningsresultaten van het geijkte model zijn tevens in de database opgeslagen voor direct gebruik. Voor de berekeningen is gebruikgemaakt van het geijkte model en gegevens uit de database. In de volgende paragraaf wordt daarom volstaan met een toelichting van de invoer en de aanpassingen die gemaakt zijn voor het deelgebied Overbetuwe.

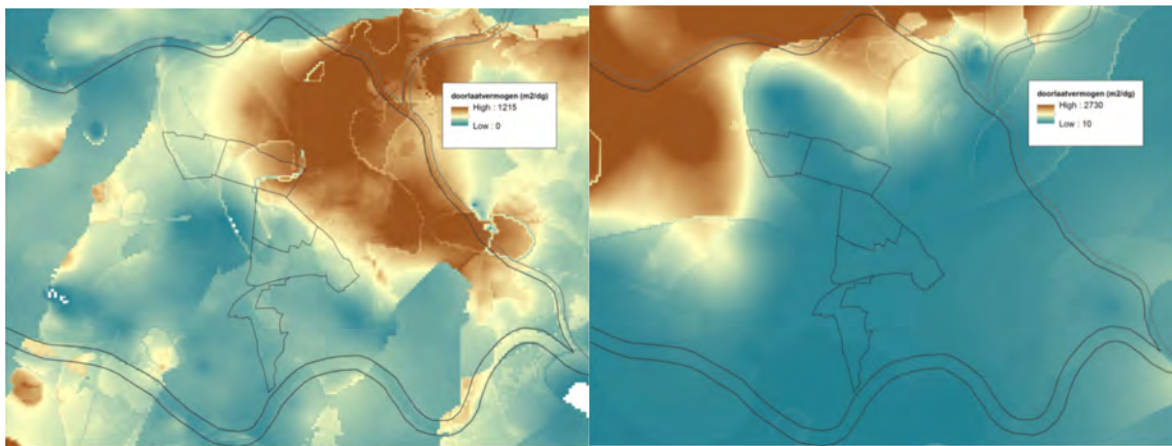
2.2.2.2 Modelinvoer

Geologie en geohydrologie

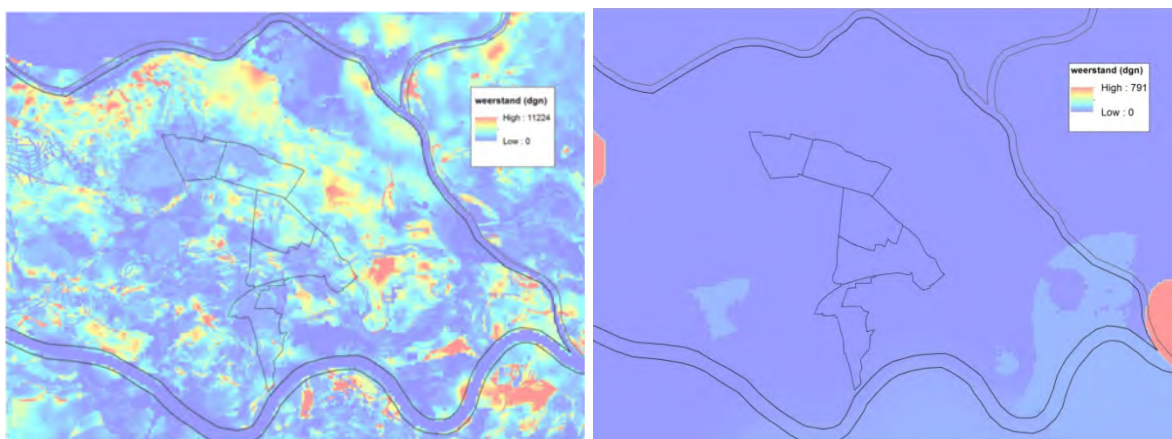
MORIA rekent met 18 watervoerende en weerstand biedende lagen. Figuur 2.10 laat een doorsnede zien van de Veluwe tot de stuwwal bij Nijmegen. Niet alle 18 lagen komen in het hele gebied voor. De hydrologische basis wordt gevormd door de Formatie van Breda, die in Park Lingezegen op een diepte van ongeveer 125 m ligt. In Figuur 2.11 staan voorbeelden van het doorlaatvermogen en in Figuur 2.12 van de weerstand van de deklaag en van laag 14. In de kaart met de weerstand van de deklaag is in grote lijnen de zanddiepte (Figuur 2.13) te herkennen.



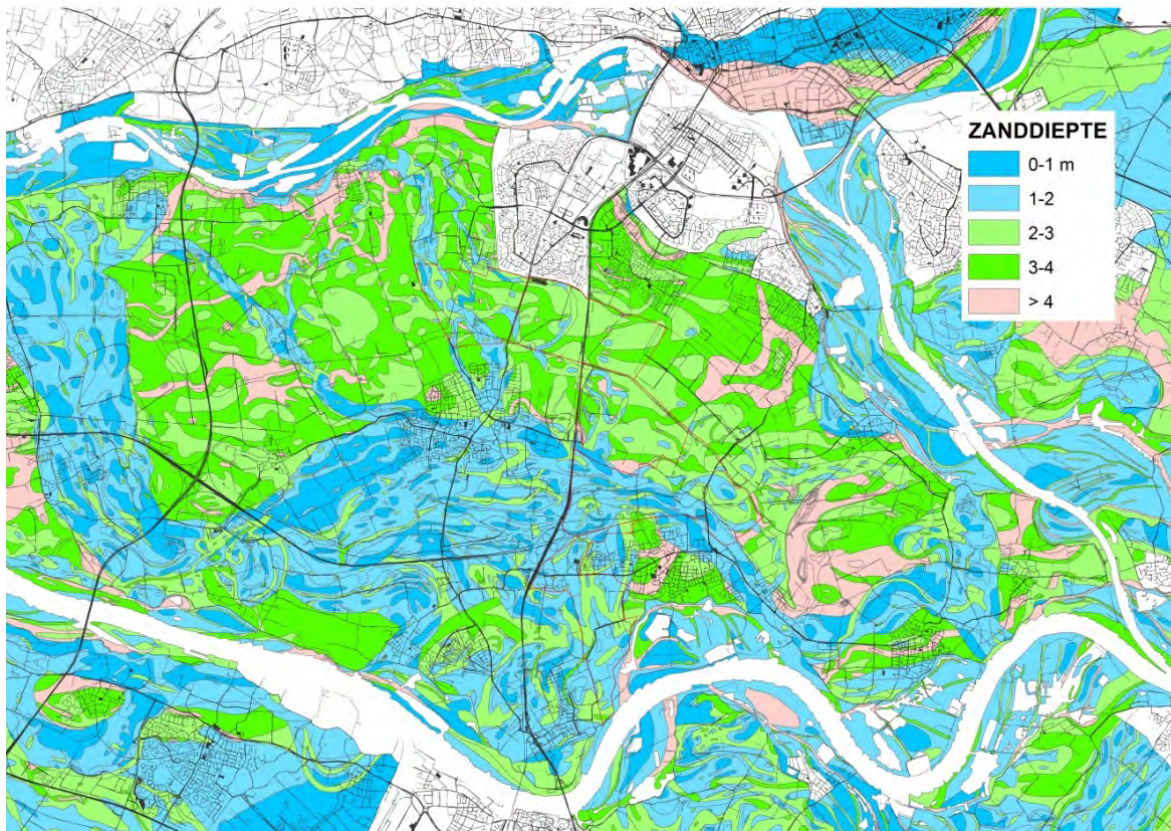
Figuur 2.10 Schematische doorsnede van de bodemlagen van de Veluwe tot Nijmegen.



Figuur 2.11 Voorbeelden van doorlaatvermogen (laag 4 en laag 14).

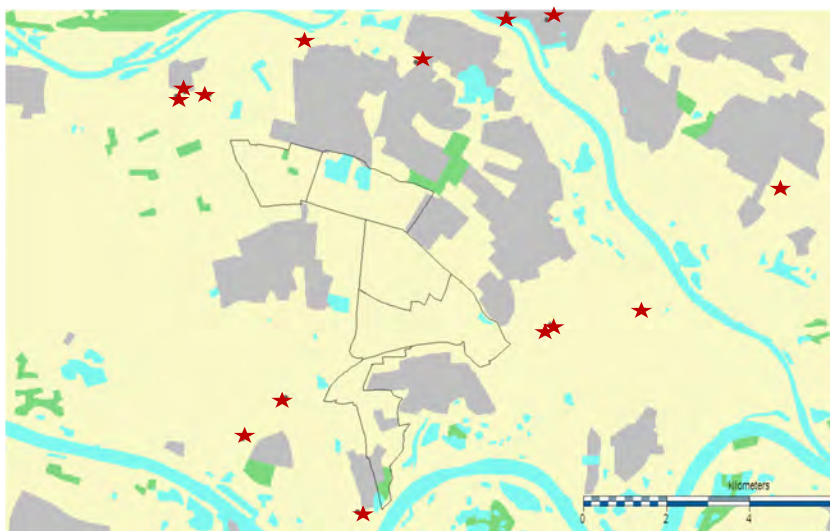


Figuur 2.12 Voorbeelden van weerstand biedende lagen (laag 1 en laag 14).



Figuur 2.13 Zanddiepte.

Op verschillende plekken wordt grondwater uit watervoerende lagen gewonnen (Figuur 2.14). Ten noordwesten van Park Lingezege ligt een grote winning bij Driel. Binnen de grenzen van Park Lingezege zijn geen grote winningen. Voor de scenarioberekeningen is verondersteld dat er in de toekomst geen wijzigingen in locaties en opbrengsten optreden.

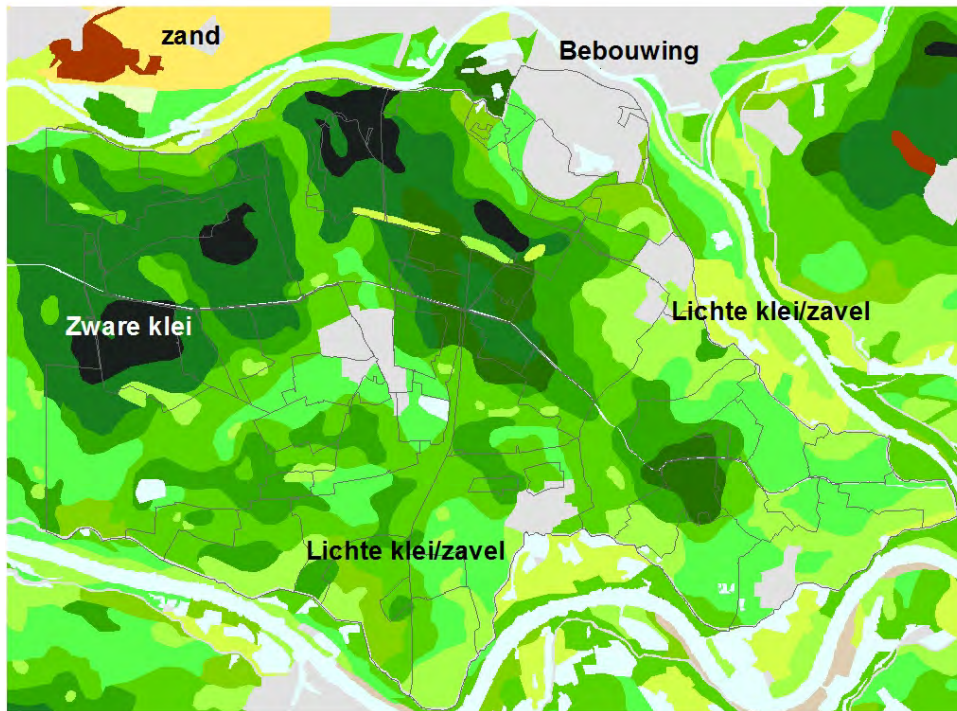


Figuur 2.14 Diepe grondwaterwinningen.

Bovengrond

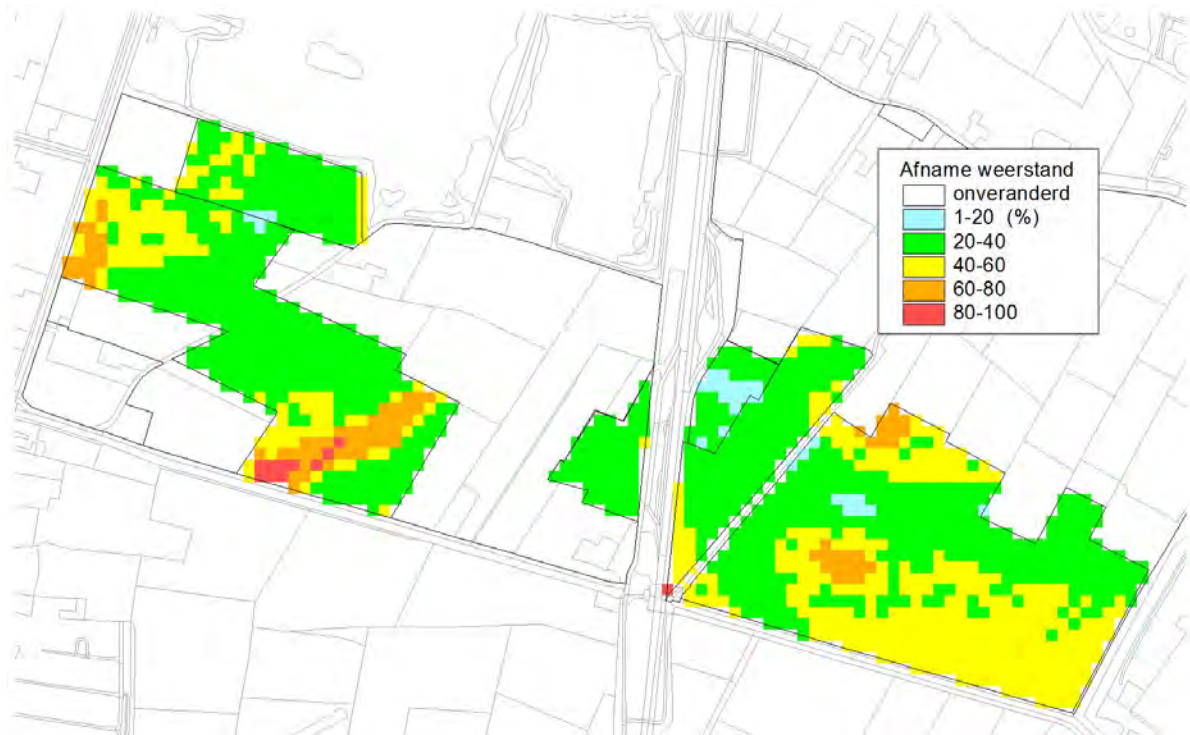
De dikte en de eigenschappen van de bovengrond zijn niet alleen van belang voor de weerstand en de het doorlaatvermogen, maar ook voor het vochtleverend vermogen, dat vervolgens weer cruciaal is voor de verdamping van de vegetatie. De bovengrond in de Overbetuwe bestaat grotendeels uit lichte

tot zware klei. De capillaire werking van lichte klei is normaliter beter en de doorlatendheid groter dan van zware klei. Een diepe grondwaterstand in een zware kleigrond zal daardoor eerder tot vochtstress voor de vegetatie leiden dan een vergelijkbare grondwaterstand in een lichte klei- of zavelgrond. De bodem die in het model wordt gebruikt, is ontleend aan de zogenaamde Bofek-kaart (versie 2012, Figuur 2.15). Deze kaart is gebaseerd op de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, waarin bodems op basis van overeenkomstige kenmerken zijn geclusterd in bodemfysische eenheden (Wösten *et al.*, 2012). Landelijk gezien zijn er 72 eenheden. In de Overbetuwe komen verschillende kleigronden voor, variërend van zavel en lichte klei tot zware klei. Het Waterrijk bestaat uit zware kleigronden.



Figuur 2.15 Bofek-bodemkaart.

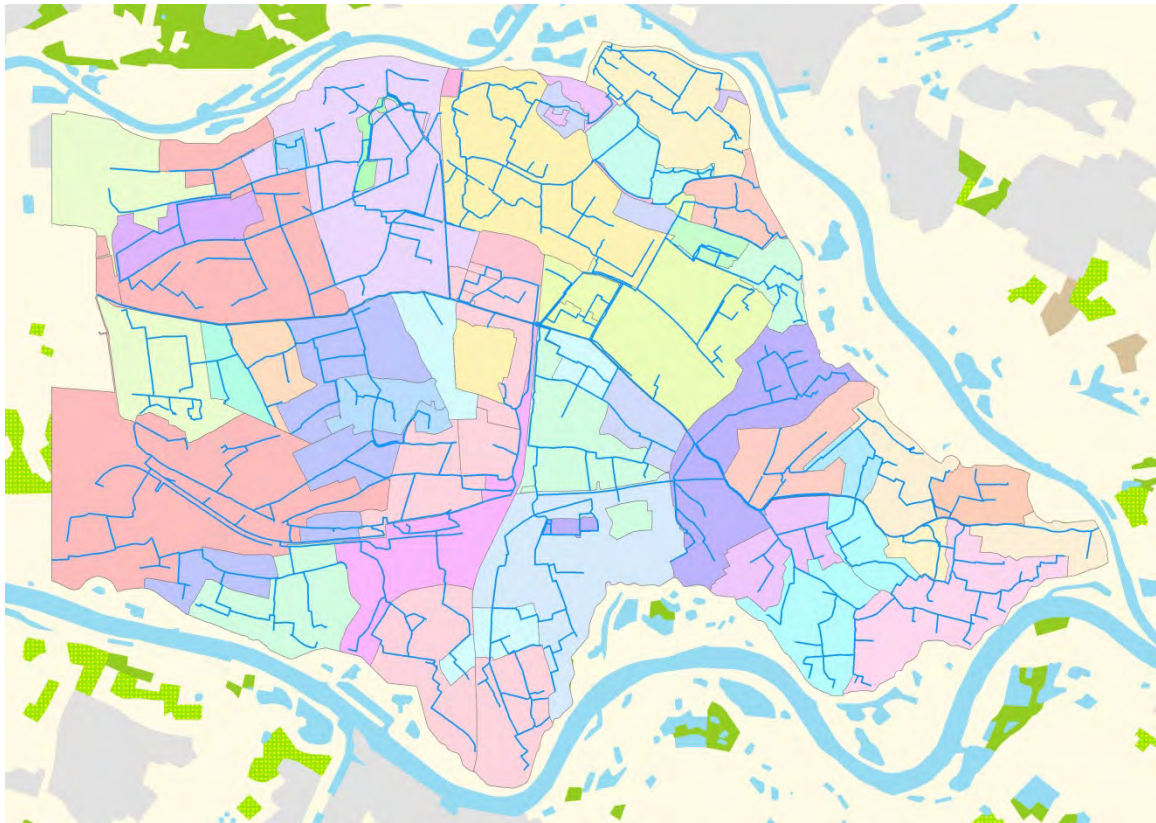
In Het Waterrijk zal de weerstand van de deklaag (Figuur 2.12, laag 1) afnemen op de plekken waar die wordt afgegraven. In Figuur 2.2 staat de nieuwe maaiveldhoogte en in Figuur 2.16 de afname van de weerstand in procenten. In het zuidoosten neemt de weerstand met bijna de helft af, tot ongeveer 150 dagen. Op plekken waar de deklaag al dun was, is de weerstand na afgraving tot minder dan 25 dagen gereduceerd.



Figuur 2.16 Afname van de weerstand van de deklaag (laag 1) door afgraving

Peilgebieden en waterlopen

Een belangrijke aanvulling op het oorspronkelijke model is de toevoeging van waterlopen. Oorspronkelijk zaten er in MORIA alleen de rivieren, maar met de toevoeging van middelgrote en grote watergangen kunnen de hoeveelheden worden gekwantificeerd die via het oppervlaktewatersysteem worden getransporteerd. In Figuur 2.17 staan de peilgebieden en waterlopen zoals die aan MORIA zijn toegevoegd. De peilvakkenkaart is recent (Waterschap Rivierenland, 2013). In een nabewerking zijn de toekomstige peilvakken van Het Waterrijk toegevoegd en zijn de peilvakken digitaal aansluitend gemaakt, waarmee voorkomen wordt dat er bij de berekeningen 'gaten' vallen. De peilvakken in de uiterwaarden zijn weggelaten, omdat ze uitsluitend onder de invloedssfeer van de grote rivieren vallen. Tot slot is het gebied 'geknipt' op het gebied waarvoor meer in detail gerekend is. Daardoor zijn er in het westen delen van peilvakken afgevallen.



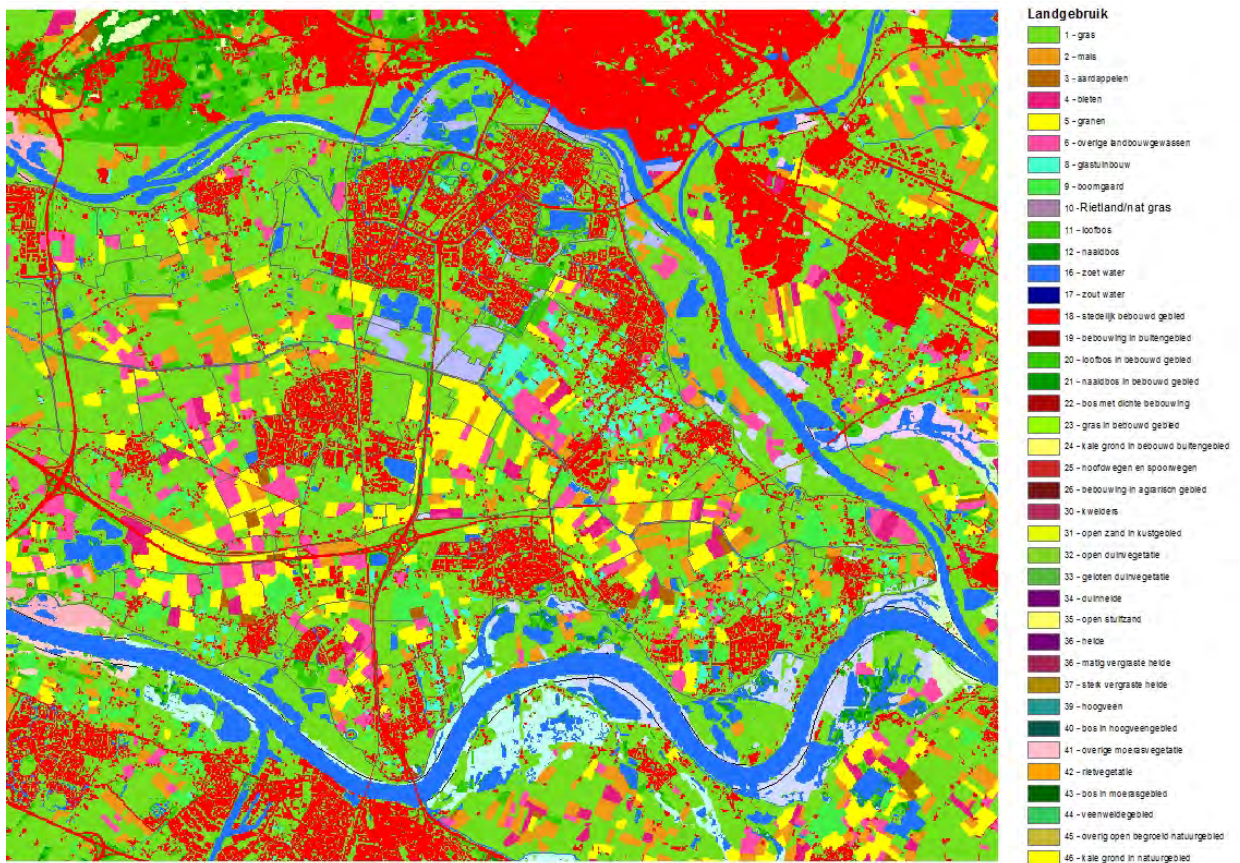
Figuur 2.17 Peilvakken en waterlopen.

Vrijwel alle peilvakken kunnen van water worden voorzien. De belangrijkste aanvoerroute loopt via de Linge, waar water uit het Pannerdens Kanaal kan worden ingelaten. In Figuur 2.17 ligt het inlaatpunt in het meest oostelijk gelegen peilvak. Het peil is daar 9,20 m+NAP. In het westen verlaat de Linge het modelgebied op een niveau van 6,80 m+NAP. Voor de watervoorziening van de peilvakken wordt vaak gebruikgemaakt van het peilverschil tussen de verschillende stuwpanden. Bovenstrooms van een stuw wordt dan water afgetapt om, via een omweg door het achterland, benedenstrooms van de stuw weer in de Linge uit te stromen. Het meeste water zal in het achterland als suppletiewater dienen. In natte tijden loopt de waterafvoer van de aangrenzende peilvakken vaak via dezelfde route. Op deze wijze is De Rietzanger aangesloten op de Bemmelse Zeeg en Het Waterrijk op de Huissense Zeeg.

In de meeste peilvakken is het winterpeil gelijk aan het zomerpeil. Ook in de Linge is dat bij een aantal stuwvakken het geval. Alleen de beide peilvakken waar Het Waterrijk aan grenst, hebben een zomerpeil dat 20 cm hoger is dan het winterpeil. In een aantal peilvakken in Het Waterrijk zelf worden grotere peilfluctuaties toegestaan. Zo krijgt het rietmoeras een streefpeil van 7,70 m+NAP, maar mag het peil oplopen tot 8,00 m en uitzakken tot 7,50 m. In twee aangrenzende peilvakken, die speciaal voor waterberging zijn ingericht, mag het peil zo nodig nog verder oplopen. In de praktijk varieert het werkelijke peil binnen een peilvak vaak rond het opgegeven streefpeil, zowel in de tijd als in de ruimte.

Landgebruik

Met de inrichting van Park Lingezegen wijzigt het landgebruik in delen van Het Waterrijk en in De Rietzanger in het rietmoeras van Het Waterrijk. De aanpassing van het landgebruik is vooral belangrijk voor de verdamping. Gewaseigenschappen als hoogte en dichtheid, maar ook worteldiepte, spelen daarbij een rol. Voor de verschillende gewassen zijn standaardwaarden gebruikt. Bij rietmoeras, waarvan in Het Waterrijk tientallen hectares wordt gerealiseerd, speelt mee dat onder erg natte omstandigheden gewasverdamping (transpiratie) mogelijk blijft, in tegenstelling tot de meeste andere gewassen waar de transpiratie onder dergelijke omstandigheden afneemt. Figuur 2.18 laat het landgebruik zien zoals dat in het model is gebruikt. Voor de gewaseigenschappen zijn standaardwaarden gebruikt.



Figuur 2.18 Landgebruik in de Overbetuwe na herinrichting van Het Waterrijk.

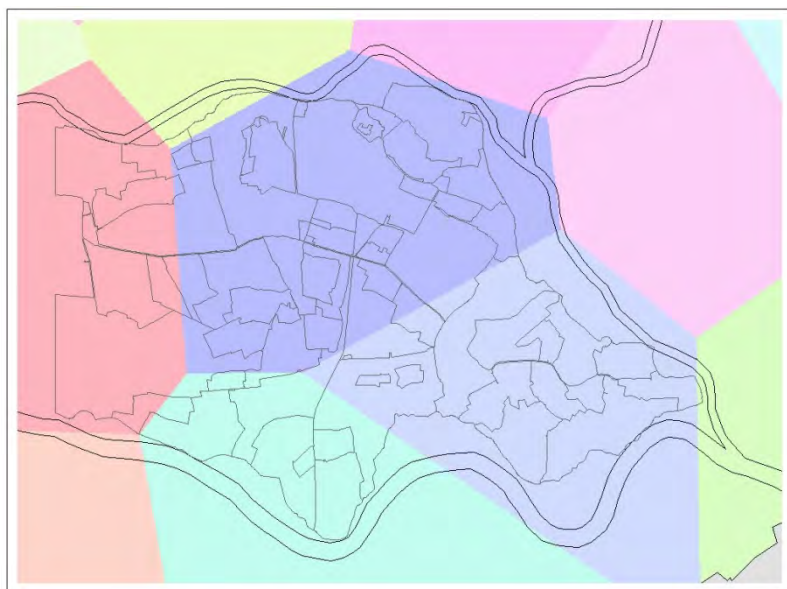
Neerslag en verdamping

Er worden drie verschillende perioden in beschouwing genomen. Voor elk van die perioden zijn gegevens over neerslag en verdamping nodig.

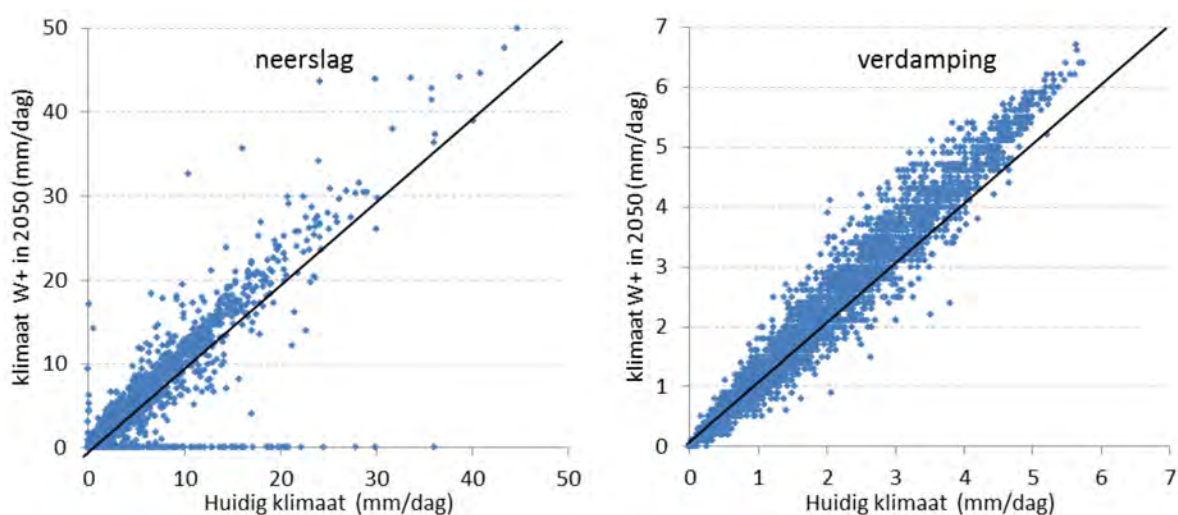
1. Meerdere jaren met het huidige klimaat.
2. Meerdere jaren met klimaat W+ in 2050.
3. Twee en vijftien dagen met weersverwachting.

Ad. 1 Voor de modelberekeningen zijn op dagbasis neerslag en verdamping van meerdere KNMI-meetstations gebruikt, zodat rekening wordt gehouden met regionale verschillen. In de Overbetuwe liggen vier neerslagstations die elk representatief zijn voor de omgeving (Figuur 2.19). Voor de periode 1994-2004 zitten de gegevens in de database van Deltares die bij het oorspronkelijke model hoort. Deze zijn aangevuld met recentere gegevens, die afkomstig zijn van het KNMI.

Ad. 2 Uit de bestaande meetreeksen kunnen neerslag en verdamping worden getransformeerd naar de toekomst, waarbij rekening wordt gehouden met de verandering van het klimaat (www.KNMI.nl). Voor de berekeningen met de klimaatscenario's zijn getransformeerde gegevens gebruikt van de periode waarmee voor het huidige klimaat is gerekend. Dat maakt het mogelijk om neerslag en verdamping (en de modelresultaten) met elkaar te vergelijken. In Figuur 2.20 staan neerslag en verdamping op dagbasis tegen elkaar uitgezet. Hoewel er meer zware buien vallen, zijn er ook meer dagen zonder neerslag. Per saldo neemt de hoeveelheid neerslag af en de verdamping toe. In de zomer zijn de veranderingen het grootst. Dan kan het neerslagtekort met 200 tot 300 mm toenemen. Het beeld sluit aan bij een verkenning van Witteveen en Bos (2011), waaruit blijkt dat de frequentie van voorkomen van deze droogtejaren in verschillende klimaatscenario's verschuift. Bij snelle klimaatverandering (W+) treedt op basis van het optredende vochttekort in de bodem een toename van het aantal droge jaren op (Tabel 2.6).



Figuur 2.19 Polygonen rond neerslagstations.



Figuur 2.20 Verschil in neerslag en verdamping op dagbasis tussen het huidige klimaat en klimaat W+ in 2050.

Tabel 2.6

Verschuiving van droogtejaren onder invloed van klimaatverandering.

Type droogtejaar	Frequentie bij huidig klimaat	Frequentie bij klimaatscenario W+ in 2050
gemiddeld droog jaar	eens per 2 jaar	vaker dan eens per 2 jaar
gematigd droog jaar	eens per 10 jaar	eens per 2 jaar
extreem droog jaar	eens per 90 jaar	eens per 10 jaar

Ad. 3 Door MeteoGroup worden 48-uurs en vijftiendaagse verwachtingen opgesteld voor neerslag en verdamping voor het gebied rond Het Waterrijk. Er worden voor 5 scenario's verwachtingen opgesteld: erg droog, droog, normaal, nat en erg nat (MeteoGroup, 2015, in prep.).

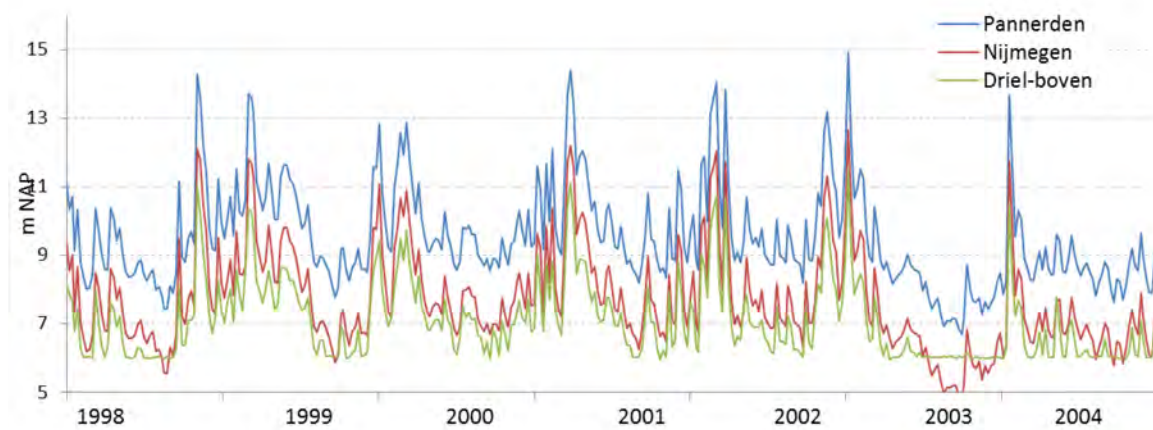
Voor de 48-uurs verwachting ligt de focus op waterberging. Er worden verschillende hoge-resolutiemodellen met een tijdsresolutie van één uur gebruikt. Voor deze verwachting wordt alleen

geaccumuleerde neerslag gebruikt. Voor de vijftiendaagse verwachting wordt als maat voor droogte het geaccumuleerde verschil 'neerslag-verdamping' gebruikt, waarbij de verdamping de door het KNMI gebruikte Makkink-verdamping is.

Rivierpeil en stijghoogte in de ondergrond

In Figuur 2.21 staat het peil van de grote rivieren op drie plekken rond de Overbetuwe voor de periode 1998-2005. Behalve in absolute hoogte is er weinig verschil. Alleen als de stuw bij Driel in droge perioden wordt gestreken, zakt het peil bovenstrooms niet beneden de 6 m+NAP.

Door de klimaatverandering verandert de afvoer en het peil van de Rijn. Ook economische ontwikkeling heeft hier invloed op. Door Deltares zijn waterstanden bij onder andere Arnhem en Nijmegen berekend voor toekomstige droogtejaren. In het kort komt het erop neer dat de Waal in een gemiddeld droog jaar in de zomer een 1-2 m lager peil heeft dan in het huidige klimaat. In een gematigd droog jaar ligt het peil 1 m lager en in een extreem droog jaar 0,75 m lager. Een 1 m lager peil bij Pannerden betekent dat het peil daar kan dalen tot 6 m+NAP, ongeveer het stuwpeil van de Rijn bij Driel. Tussen Pannerden en Driel zou de Neder-Rijn dan geen verval hebben.



Figuur 2.21 Rivierpeil rond de Overbetuwe.

Behalve neerslag en verdamping is het rivierpeil, en de daarmee samenhangende stijghoogte van het grondwater in de ondergrond, in feite de enige variabele modelinvoer. Andere zaken, zoals bodemopbouw en waterafvoer, liggen vast of worden door het model berekend.

De invoer van rivierpeil en stijghoogte moet aansluiten bij de neerslag en verdamping die voor de drie genoemde perioden worden doorgerekend:

1. Meerdere jaren met het huidige klimaat.
2. Meerdere jaren met klimaat W+ in 2050.
3. Twee en vijftien dagen met weersverwachting.

Omdat in het MORIA-model de invoer van vlakdekkende rivierstanden en stijghoogtes van het grondwater in de bodemlagen op een wijze zijn georganiseerd⁵ die niet aansluit bij de toekomstverwachtingen (2 en 3), wordt voor alle drie de perioden eenzelfde alternatief gehanteerd. Hierbij wordt de rivierstand in Lobith als uitgangspunt genomen. Dat kunnen de gemeten waarnemingen zijn (1), de rivierstanden die met de meteo voor W2050 met het NHI zijn berekend (2) of de rivierstanden voor twee dagen vooruit, die door Rijkswaterstaat (www.Rijkswaterstaat.nl) worden voorspeld (3). Voor (3) wordt de laatst voorspelde stand ook voor de dagen 3-15 gebruikt. Uit de oorspronkelijke database zijn de gebiedsdekkende bestanden van rivierpeilen en stijghoogtes

⁵ De rivierstanden zijn per significante wijziging gebiedsdekkend ingevoerd en de stijghoogtes om de 14 dagen, waarbij de waarde voor de tussenliggende dagen door interpolatie wordt verkregen.

geselecteerd bij standen van hele en halve meters in Lobith (8,0 m+, 8,5 m+, 9,0 m+NAP, etc.). Voor het hele traject tussen laag (7.0 m+NAP) en hoog (17.5 m+NAP) zijn de bestanden in een aparte database ondergebracht. De benodigde invoerbestanden bij een gemeten of voorspelde stand in Lobith op dag x worden door interpolatie uit de database verkregen.

Idealiter wordt voor de stijghoogtes niet de stand van de Rijn bij Lobith, maar de stijghoogte in Het Waterrijk gebruikt. In het proefveld dat in het rietmoeras Het Waterrijk is aangelegd, wordt de stijghoogte gemeten, maar er bestaat gerede twijfel of het waarnemingsfilter voldoende diep in de zandlaag staat om betrouwbare waarden te leveren. Vooralsnog wordt daarom gebruikgemaakt van de stand bij Lobith, omdat er een goed verband bestaat tussen het peil in de grote rivieren en de stijghoogte in de ondiepe zandlagen (bijlagen 1 en 4).

2.2.2.3 Scenario's

Naast gebiedsdekkende resultaten worden onder andere waterbalansen per peileenheid berekend. De peileenheden zijn daartoe genummerd (Figuur 2.22). Binnen de cirkel ligt Het Waterrijk. De nummers zijn eerder al in Figuur 2.2 gebruikt. Ten noorden van Het Waterrijk ligt Arnhem-Zuid (peileenheid 42) en ten zuiden de Linge (smalle peileenheid 3).



Figuur 2.22 Nummering van de peileenheden. Binnen de cirkel ligt Het Waterrijk.

Met MORIA zijn verschillende scenario's doorgerekend (Tabel 2.7). Bij alle scenario's wordt uitgegaan van de nieuwe inrichting van de peilvakken in Het Waterrijk die in H2, paragraaf 2.2.2 is toegelicht. In de actuele situatie wordt er bij scenario WH1a water afgevoerd bij het bereiken van de hoogst toegestane stand en water ingelaten als de laagste stand wordt onderschreden. Bij scenario WH1b is alleen waterafvoer mogelijk.

Voor klimaatverandering wordt uitgegaan van klimaatscenario W+ zoals zich dat volgens het KNMI (www.KNMI.nl) in 2050 voor zal doen. W+ is het extreemste scenario. In 2050 valt wat meer neerslag (vooral 's winters en in de zomer in de vorm van zware buien) en neemt de verdamping toe. De

verwachting is dat de watervraag toeneemt, maar dat de beschikbaarheid van water bij droogte juist afneemt. Bij het klimaatscenario zijn – op neerslag, verdamping en rivierstanden na – dezelfde scenario's als voor de actuele situatie doorgerekend. Bij WW1a wordt water afgevoerd bij het bereiken van de hoogst toegestane waterstand en water ingelaten als de laagst toegestane waterstand wordt overschreden. Bij scenario WW1b is alleen waterafvoer mogelijk.

Voor de vijftiendaagse weersverwachting zijn door MeteoGroup vijf weersscenario's geleverd: erg nat, nat, gemiddeld, droog en erg droog. Hiervan zijn de erg droge, erg natte en gemiddelde scenario's voor een wat natte en een drogere periode uit 2011 doorgerekend. Gekozen is voor een natte en droge periode, omdat de uitgangssituatie wat betreft waterstanden en bergingscapaciteit dan van elkaar verschillen. Het zijn geen extreme situaties, omdat ze bedoeld zijn om inzicht te krijgen in reële uitkomsten.

Tabel 2.7
Uitgangspunten van de scenarioberekeningen met MORIA.

	huidig klimaat			klimaat W+ in 2050	
	afvoer	inlaat		afvoer	inlaat
scenario WH1a	x	x	scenario WW1a	x	x
scenario WH1b	x		scenario WW1b	x	

3 Vochthuishouding in de rietmoerassen (SWAP)

Met het eendimensionale model SWAP zijn scenarioberekeningen voor de vochthuishouding uitgevoerd in de rietmoerassen De Rietzanger en Het Waterrijk (Figuur 2.5). In de periode die is doorgerekend (2002-2008), zit het droge jaar 2003. De resultaten van deze scenario's, die in Tabel 2.5 zijn weergegeven, worden afzonderlijk en per gebied besproken.

3.1 De Rietzanger

**Scenario 1A: Geen waterinlaat
Geen waterafvoer
Huidig klimaat**

In Tabel 3.1A staat de waterbalans voor de situatie dat riet recentelijk is aangeplant en in Tabel 3.1B voor een volgroeide rietvegetatie. Bij net aangeplant riet moet gedacht worden aan een niet gesloten rietvegetatie met een hoogte van enkele decimeters. Er zijn verschillen tussen een aantal balanstermen van beide tabellen. Bij net aangeplant riet is de bodemverdamping (daartoe worden de evaporatie en, als het water op het maaiveld staat, de openwaterverdamping gerekend) veel groter dan de gewasverdamping (de som van de transpiratie en interceptieverdamping). Bij een volgroeid rietmoeras is dat net andersom, dan domineert de gewasverdamping en is ook de totale verdamping (gewas- plus bodemverdamping) toegenomen. In Figuur 3.1 staat het cumulatieve verloop van de bodemverdamping en de totale verdamping voor de situatie met volgroeid riet. De actuele transpiratie is gelijk aan de potentiële verdamping. Er treedt geen reductie in de verdamping op door natte of droge omstandigheden.

Uit de waterbalans blijkt dat bij het ouder worden van de rietvegetatie de wegzijging van water naar de diepere ondergrond afneemt en dat de infiltratie vanuit de omringende sloten naar De Rietzanger juist wat toeneemt. Dat hangt samen met de grondwaterstand die door de grotere verdamping wat lager wordt. Figuur 3.2 laat zien dat die, bij scenario 1A, waarbij geen water wordt ingelaten, kan uitzakken tot 77 cm beneden maaiveld. Door de geringe bergingscapaciteit van de bodem reageert de grondwaterstand snel op neerslag. In de winter komt de waterstand tot een enkele decimeter boven maaiveld.

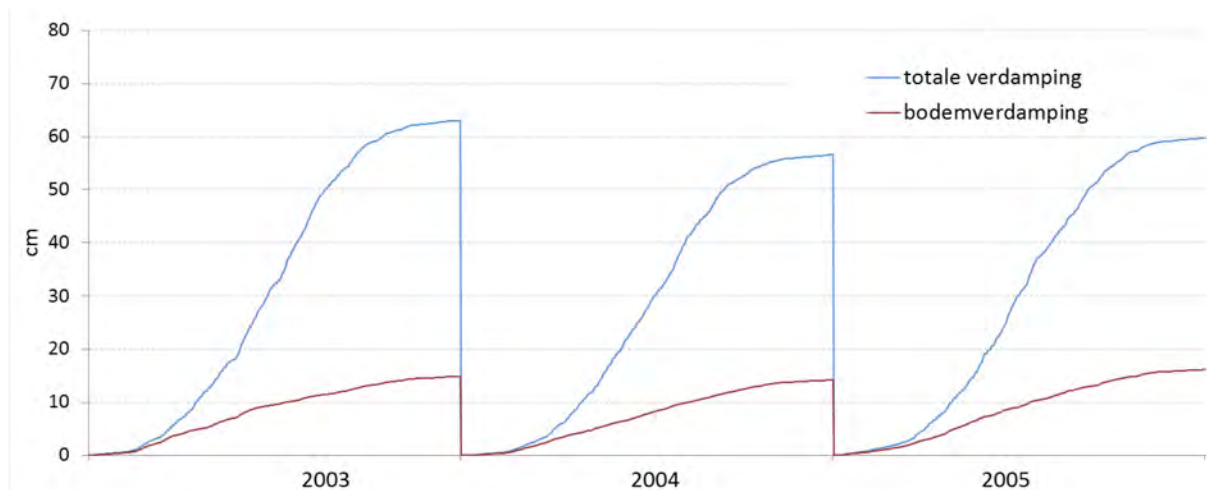
Tabel 3.1

Waterbalans voor scenario 1A: geen waterinlaat en geen waterafvoer. De getallen zijn in mm per zomer- en winterhalfjaar.

- a. Met een net aangeplante rietvegetatie.
- b. Met een volgroeide rietvegetatie.

a	gemiddeld 2002-2008		droge		gemiddeld 2002-2008		droge
	winter	zomer	zomer		winter	zomer	zomer
Neerslag	465	437	360	Gewasverdamping	18	127	150
Kwel (pos) en wegzijing (neg)	-354	-239	-258	Bodemverdamping	95	244	187
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	-39	-135	-199

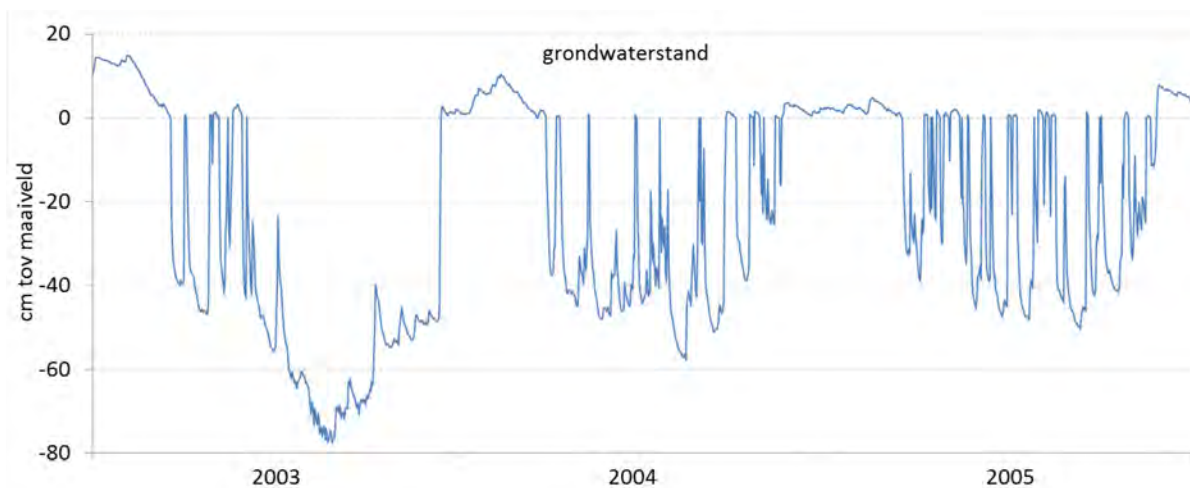
b	gemiddeld 2002-2008		droge		gemiddeld 2002-2008		droge
	winter	zomer	zomer		winter	zomer	zomer
Neerslag	465	437	360	Gewasverdamping	66	414	449
Kwel (pos) en wegzijing (neg)	-347	-128	-107	Bodemverdamping	52	102	92
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	-41	-164	-238



Figuur 3.1 De cumulatieve bodemverdamping en totale verdamping voor de jaren 2003-2005 voor scenario 1A.

In Figuur 3.3 staan de drainage en infiltratie en de kwel en wegzijing. Er vindt permanent infiltratie plaats vanuit de waterloop die ten zuiden van De Rietzanger loopt en waarin ook het inlaatpunt ligt. Vanuit de Bemmelse Zeeg (beneden de stuw) infiltreert water als de grondwaterstand dieper wegzakt dan 5 cm beneden maaiveld, zoals dat 's zomers vaak het geval is. Alleen bij erg hoge (grond)waterstanden in De Rietzanger, die meestal alleen 's winters optreden, is er sprake van een bescheiden drainage.

Op enkele korte perioden na overheerst een wegzijing naar de ondergrond. Onder invloed van de dynamiek in de freatische grondwaterstand en in de stijghoogte van het water in de ondergrond, is de variatie in de wegzijing groot. De wegzijing bedraagt geregeld meer dan 0,3 cm/dag. De perioden zonder wegzijing hangen samen met een hoge stijghoogte in de ondergrond, die weer samenhangt met een hoog rivierpeil.



Figuur 3.2 *Freatische grondwaterstand bij scenario 1A.*

2003 2004 2005

Figuur 3.3 *De netto som van kwel + wegzijging en van drainage + infiltratie bij scenario 1A.*

Scenario 1B: Geen waterinlaat
Waterafvoer bij 8,15 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Huidig klimaat

De waterstand blijft in de zeven jaren die zijn doorgerekend ruim onder de drempel van 30 cm waarboven water wordt afgevoerd. Dat de waterstand niet boven de drempel uitkomt, hangt samen met de grote wegzijging. De hoogste waterstand is +20 cm. Omdat er geen water wordt afgevoerd, zijn de uitkomsten voor dit scenario identiek aan die voor scenario 1A.

Scenario 1C: Waterinlaat bij 7,65 m+NAP (20 cm - maaiveld)
Waterafvoer bij 8,15 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Huidig klimaat

De aan- en afvoer lopen door tot aan de hydrologische randvoorwaarden is voldaan. Voor de wateraanvoer is verondersteld dat het inlaatwater gelijkmatig over het gebied verdeeld wordt. In Tabel 3.2 staan de resultaten voor kwel/wegzijging, drainage/infiltratie en aan- en afvoeren voor scenario 1C. Ter vergelijking zijn ook de getallen van scenario 1A en 1B opgenomen.

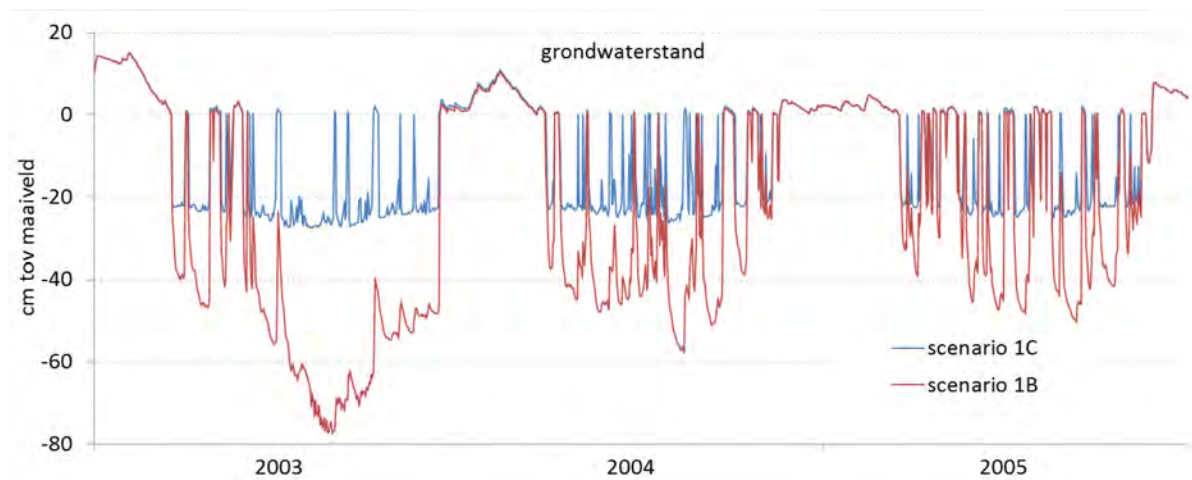
Doordat de grondwaterstand in dit scenario hoog blijft, halveert de infiltratie vanuit de omringende waterlopen naar De Rietzanger 's zomers en neemt de wegzijging met een factor 4, en in een droge zomer zelfs met een factor 5, toe. De hoeveelheid water die ingelaten moet worden, is daardoor ook zeer aanzienlijk. Als voorbeeld wordt in een droge zomer (2003) gemiddeld per dag 3,5 mm (629 mm: 183 dagen) ingelaten. Voor het hele gebied van 2,8 ha komt dat neer op bijna 100 m³/dag (1,2 l/s).

Figuur 3.4 laat zien dat de grondwaterstand iets onder de 20 cm beneden maaiveld kan zakken nadat de waterinlaat is begonnen. Als er neerslag valt, raakt het bodemprofiel snel verzadigd en komt de grondwaterstand boven maaiveld. In Figuur 3.5 staan de kwel/wegzijging en de drainage/infiltratie afgebeeld. De wegzijging neemt soms tot 0,7 cm/dag toe. In Figuur 3.5 is in de drainage/infiltratie ook de waterinlaat opgenomen. Daardoor treden er binnen korte tijd niet alleen grote verschillen in grondwaterstanden op, maar ook in drainage en infiltratie.

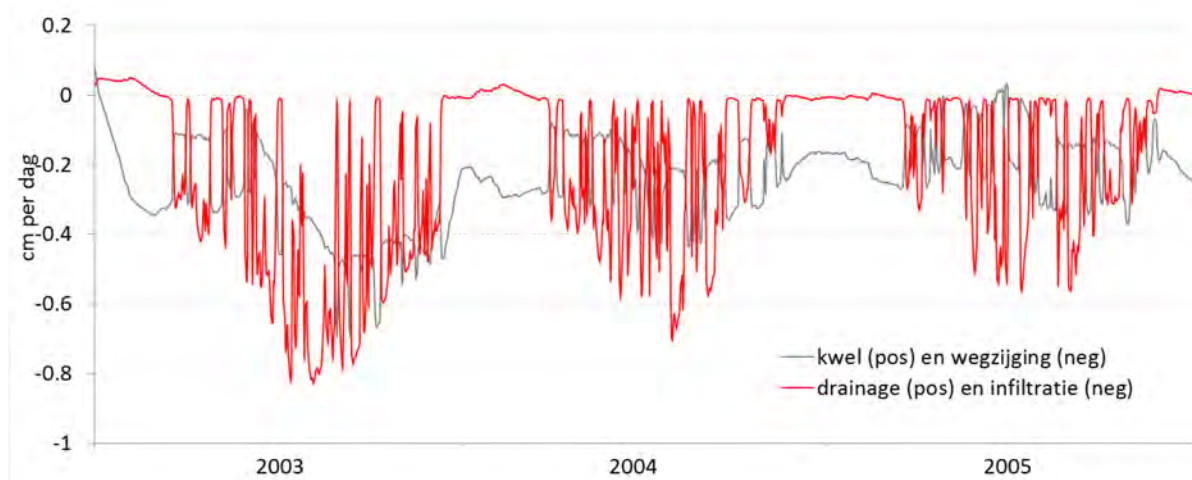
Tabel 3.2

Kwel/wegzijing, drainage/infiltratie en aan- en afvoeren.

Scenario	afvoer vanaf (cm tov maaiveld)	aanvoer vanaf	kwel (+)	drainage (+)	afvoer	aanvoer
			& wegz. (-)	& infiltratie(-)		
			----- (mm/periode) -----			
Winter						
1A			-347	-41	0	0
1B	30		-347	-41	0	0
1C	30	-20	-405	-25	0	-67
Zomer						
1A			-128	-164	0	0
1B	30		-128	-164	0	0
1C	30	-20	-386	-96	0	-341
Droge zomer						
1A			-107	-238	0	0
1B	30		-107	-238	0	0
1C	30	-20	-563	-120	0	-629



Figuur 3.4 *Freatische grondwaterstand bij scenario 1C.*



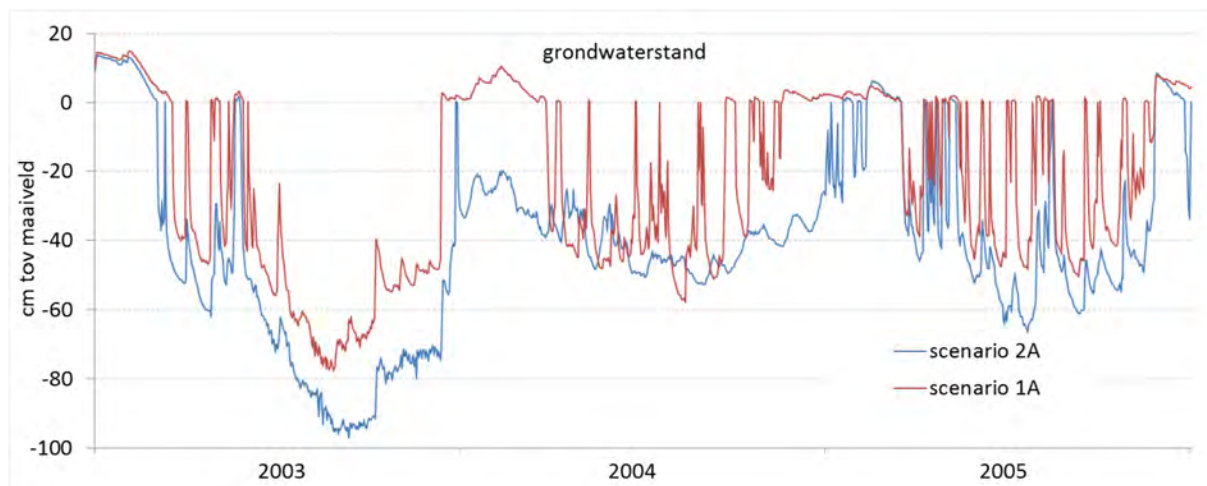
Figuur 3.5 De som van kwel + wegzijging en van drainage + infiltratie + waterinlaat bij scenario 1C.

**Scenario 2A: Geen waterinlaat
Geen waterafvoer
Klimaat W+ in 2050**

Tabel 3.3

Kwel/wegzijging, drainage/infiltratie en aan- en afvoeren voor scenario 2A.

	gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer		gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer
	winter	zomer			winter	zomer	
Neerslag	463	399	344	Gewasverdamping	68	470	506
Kwel (pos) en wegzijging (neg)	-379	-128	-192	Bodemverdamping	47	89	85
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	-94	-227	-125



Figuur 3.6 De grondwaterstand voor het huidige klimaat (scenario 1A) en klimaatscenario W+ in 2050 (scenario 2A)

In vergelijking met scenario 1A (met het huidige klimaat) neemt de neerslag met klimaat W+ in 2050 in de zomer wat af en de gewasverdamping toe (Tabel 3.3). Het neerslagtekort wordt ruim 80 mm groter.

In Figuur 3.6 staat de grondwaterstand voor W+2050 voor de drie jaren waarvoor neerslag en verdamping geconverteerd zijn uit de periode 2003-2005. Het eerste jaar is hier dus ook een erg droog jaar. Gemakshalve worden de oorspronkelijke jaaraanduidingen hier ook gebruikt. Zonder waterinlaat daalt de grondwaterstand in een droge zomer 20 cm dieper dan in het huidige klimaat (scenario 1A/2A in Figuur 3.6). In meer gemiddelde zomers reageert de grondwaterstand minder heftig op neerslag, omdat de bodem wat verder is uitgedroogd waardoor de bergingscapaciteit groter is. Het aantal dagen waarin dat het gebied onder water staat, neemt verder af en blijft beperkt tot enkele natte winterperiodes.

**Scenario 2B: Geen waterinlaat
Waterafvoer bij 8,15 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Klimaat W+ in 2050**

In het huidige klimaat werd de afvoerdrempel niet gehaald, maar door een andere neerslagverdeling wordt in dit W+-scenario de afvoerdrempel wel gehaald, al gebeurt dat slechts eenmaal gedurende een korte periode in de winter. Er komt dan een kleine hoeveelheid water (5 mm) tot afvoer. Voor het overige is dit scenario identiek aan dat van het W+-scenario zonder afvoer (scenario 2A).

**Scenario 2C: Waterinlaat bij 7,65 m+NAP (20 cm - maaiveld)
Waterafvoer bij 8,15 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Klimaat W+ in 2050**

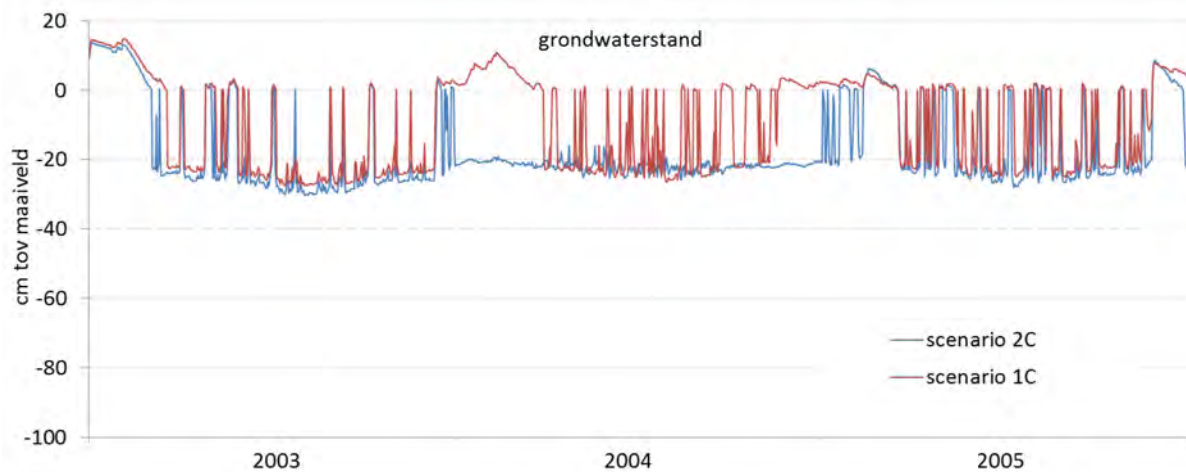
Om de grondwaterstand in De Rietzanger op peil te houden, zal met klimaat W+ in 2050 meer water moeten worden ingelaten dan in het huidige klimaat het geval is (Tabel 3.4). Een gedeelte wordt gebruikt om het grotere neerslagtekort op te vangen en een gedeelte om de grotere wegzijging te compenseren. In een gemiddelde winter is bijna 120 mm (179%) extra water nodig, in een gemiddelde zomer 254 mm (74%) en in een droge zomer 405 mm (64%). In een droge zomer wordt dan 21 m³/dag via infiltratie en 158 m³/dag door inlaat aan de Bemmelse Zeeg onttrokken, samen 6,5 mm/d of 2,1 l/s.

Tabel 3.4

Kwel/wegzijging, drainage/infiltratie en aan- en afvoeren voor scenario 1C en 2C.

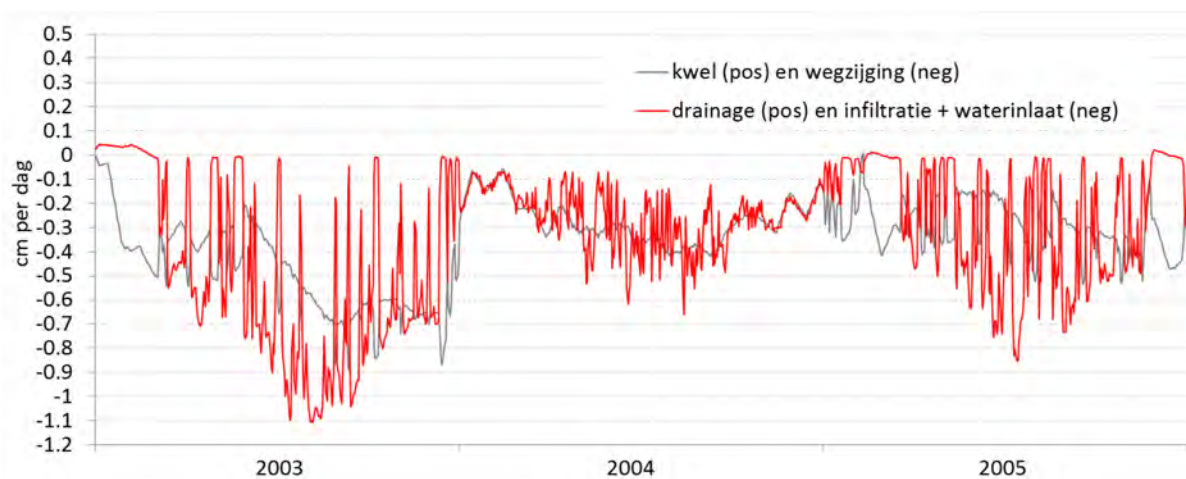
Scenario	afvoer vanaf (cm tov maaiveld)	aanvoer vanaf	kwel (+)	drainage (+)	afvoer	aanvoer
			& wegz. (-)	& infiltratie(-)		
----- (mm/periode) -----						
Winter						
1C	30	-20	-405	-25	0	-67
2C	30	-20	-556	-47	0	-187
Zomer						
1C	30	-20	-386	-96	0	-341
2C	30	-20	-565	-114	0	-595
Droge zomer						
1C	30	-20	-563	-120	0	-629
2C	30	-20	-906	-138	0	-1034

De grondwaterstand zakt met waterinlaat weinig dieper dan het inlaatsniveau. In Figuur 3.7 is dat verschil – bij een inlaatsniveau van -20 cm – maximaal 10 cm. Vergeleken met het huidige klimaat komt de grondwaterstand minder langdurig tot in het maaiveld.



Figuur 3.7 De grondwaterstand bij scenario 1C en 2C.

Figuur 3.8 laat zien dat de wegzijging 's zomers tot 5 mm/dag kan oplopen en in een droge zomer zelfs tot 7 mm/dag. De waterinlaat is navenant groot. In een droge zomer kan die, samen met de infiltratie, meer dan 1 cm per dag bedragen.



Figuur 3.8 De som van kwel + wegzijging en van drainage + infiltratie + waterinlaat bij scenario 2C.

3.2 Het Waterrijk

**Scenario 1A: Geen waterinlaat
Geen waterafvoer
Huidig klimaat**

Voor scenario 1A is de waterbalans van de situatie vlak na de aanplant van de rietvegetatie vergeleken met die in een situatie na een x-aantal jaren als het riet volgroeid is (Tabel 3.5). Voor beide situaties zijn kwel + wegzijging en drainage + infiltratie vrijwel gelijk aan elkaar. Dat geldt ook voor de som van de gewasverdamping (interceptie + transpiratie) en de bodemverdamping, maar daarin vindt wel een grote verschuiving plaats. De gewasverdamping is met een volgroeide rietvegetatie sterk toegenomen, wat ten koste is gegaan van de bodemverdamping. Onder bodemverdamping valt hier de evaporatie (de feitelijke bodemverdamping of evaporatie met een grondwaterstand beneden maaiveld) en de openwaterverdamping (die plaatsvindt bij een waterstand

boven maaiveld). Dit laatste is hier vrijwel permanent het geval, zoals Figuur 3.9 laat zien. De bodemverdamping/openwaterverdamping is daardoor met een volgroeid rietmoeras aanzienlijk, zo'n 30% van de totale verdamping.

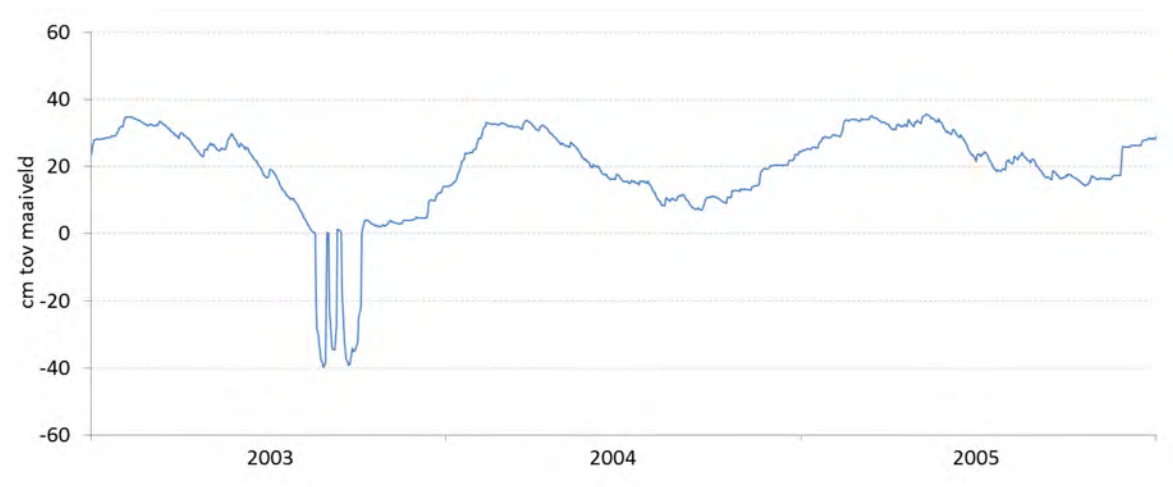
Tabel 3.5

Waterbalans voor scenario 1A: geen waterinlaat en geen waterafvoer. De getallen zijn in mm per zomer en winter.

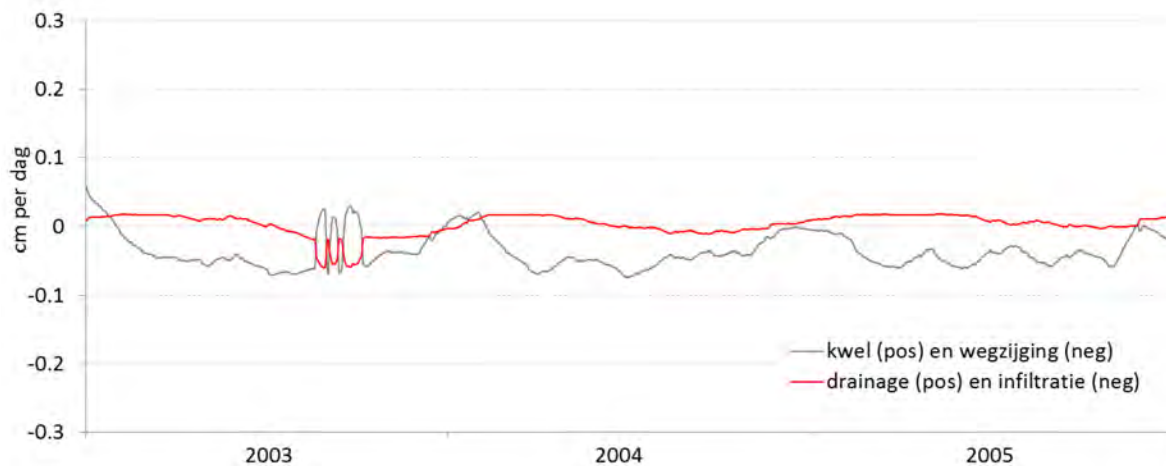
- Met een net aangeplante rietvegetatie.
- Met een volgroeide rietvegetatie.

a	gemiddeld 2002-2008		droge		gemiddeld 2002-2008		droge
	winter	zomer	zomer		winter	zomer	zomer
Neerslag	465	437	360	Gewasverdamping	11	60	70
Kwel (pos) en wegzijing (neg)	-61	-103	-85	Bodemverdamping	112	477	505
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	15	6	-13

b	gemiddeld 2002-2008		droge		gemiddeld 2002-2008		droge
	winter	zomer	zomer		winter	zomer	zomer
Neerslag	465	437	360	Gewasverdamping	61	387	423
Kwel (pos) en wegzijing (neg)	-61	-103	-79	Bodemverdamping	58	153	164
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	15	6	-15



Figuur 3.9 De grondwaterstand voor scenario 1A.



Figuur 3.10 De som van kwel en wegzijging en de som van drainage en infiltratie voor scenario 1A.

De (grond)waterstand in Figuur 3.9 is bijna permanent boven maaiveld. Alleen in de droge zomer komt die beneden maaiveld. Door de kleine bergingscapaciteit en de grote verdamping zakt de grondwaterstand dan snel weg, maar hij stijgt ook weer snel als er neerslag valt. Op de momenten dat de grondwaterstand wegzakt, treedt er kwel op en infiltreert er wat water vanuit de Linge, de Huissense Zeeg en de omringende peilvakken naar peilvak 70. Buiten deze periode varieert de (erg kleine post) drainage + infiltratie weinig. Dat komt doordat de peilen in de omgeving van het rietmoeras redelijk stabiel zijn. De variatie wordt vooral veroorzaakt door de dikte van de waterschijf op het maaiveld.

De kwel/wegzijging (Figuur 3.10) hangt samen met het verschil in stijghoogte van het grondwater in de bovenste zandlaag en de freatische grondwaterstand en de weerstand van het kleidek. Bij een hoge rivierstand en bij een lage grondwaterstand treedt er een bescheiden kwel op. Per saldo is er sprake van wegzijging, in een gemiddelde zomer van 0,6 mm/dag en in de winter met 0,3 mm/dag.

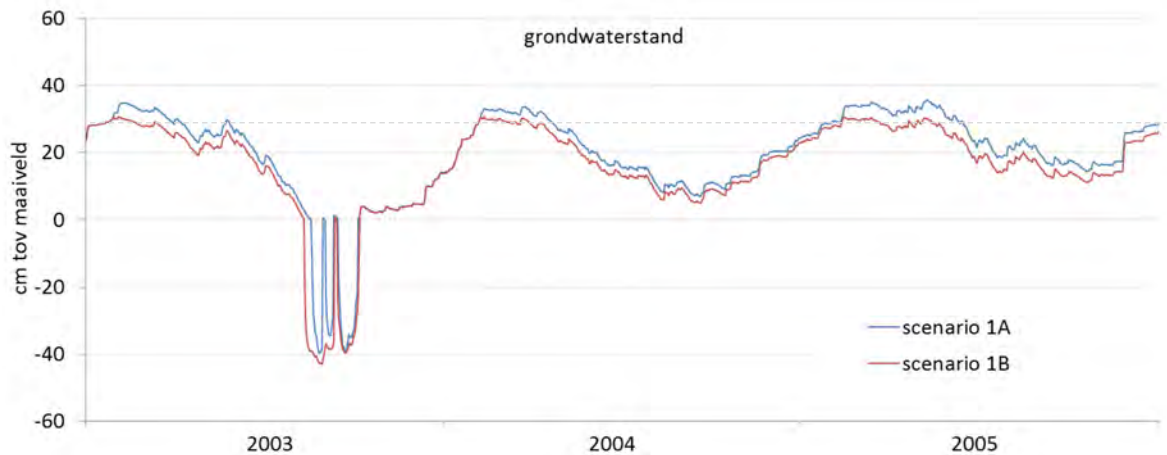
**Scenario 1B: Geen waterinlaat
Waterafvoer bij 8,00 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Huidig klimaat**

In Tabel 3.6 staat de waterbalans voor scenario 1B. In vergelijking met Tabel 3.5B verandert er weinig. Het meest opvallend is dat de wegzijging op jaarbasis met ongeveer 50 mm afneemt. Dat komt omdat door het aftoppen van waterstanden op een niveau van 8,00 m+NAP dan wel 30 cm boven maaiveld, de waterstanden wat lager zijn. Zoals Figuur 3.11 (scenario 1A) laat zien, komt de stand zonder afvoer wel langdurig, maar niet veel boven de 30 cm uit. Gemiddeld over de periode 2002-2008 is dat 155 dagen het geval, met een gemiddelde stand van +38 cm. Om de waterstand te handhaven op +30 cm, moet 88 mm worden afgevoerd.

Tabel 3.6

Waterbalans voor scenario 1B: geen waterinlaat en geen waterafvoer. De getallen zijn in mm per zomer en winter.

	gemiddeld 2002-2008		droge zomer		gemiddeld 2002-2008		droge zomer
	winter	zomer			winter	zomer	
Neerslag	465	437	360	Gewasverdamping	62	392	426
Kwel (pos) en wegzijging (neg)	-38	-71	-55	Bodemverdamping	58	152	160
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	7	-8	-27



Figuur 3.11 Vergelijking van de grondwaterstand van scenario 1A en 1B.

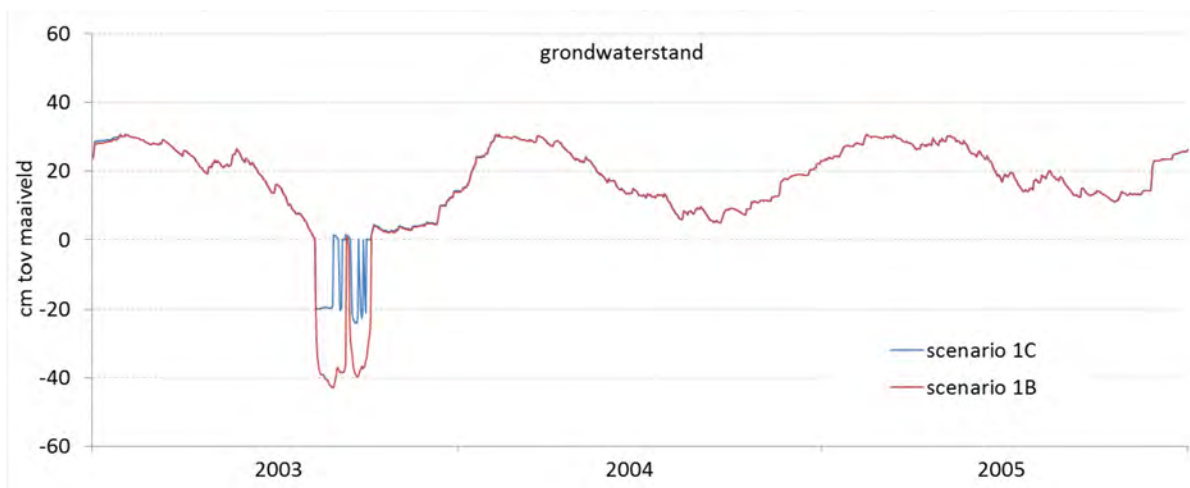
**Scenario 1C: Waterinlaat bij 7,50 m+NAP (20 cm - maaiveld)
Waterafvoer bij 8,00 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Huidig klimaat**

In Tabel 3.7 staat een samenvatting van de waterbalansen voor scenario 1A, 1B en 1C. De neerslag en verdamping zijn hierin weggelaten. De neerslag is uiteraard identiek en de verdamping, die in alle gevallen potentieel verloopt, verschilt hooguit een enkele millimeters. Overigens zijn ook de verschillen in de andere balanstermen betrekkelijk klein. Met scenario 1C is er nauwelijks waterinlaat nodig; in een gemiddelde zomer 16 mm en in een droge zomer 47 mm. Ten opzichte van scenario 1B neemt de wegzijging iets toe. Op de waterafvoer heeft waterinlaat geen effect.

Tabel 3.7

Enkele waterbalanstermen voor scenario 1A, 1B en 1C.

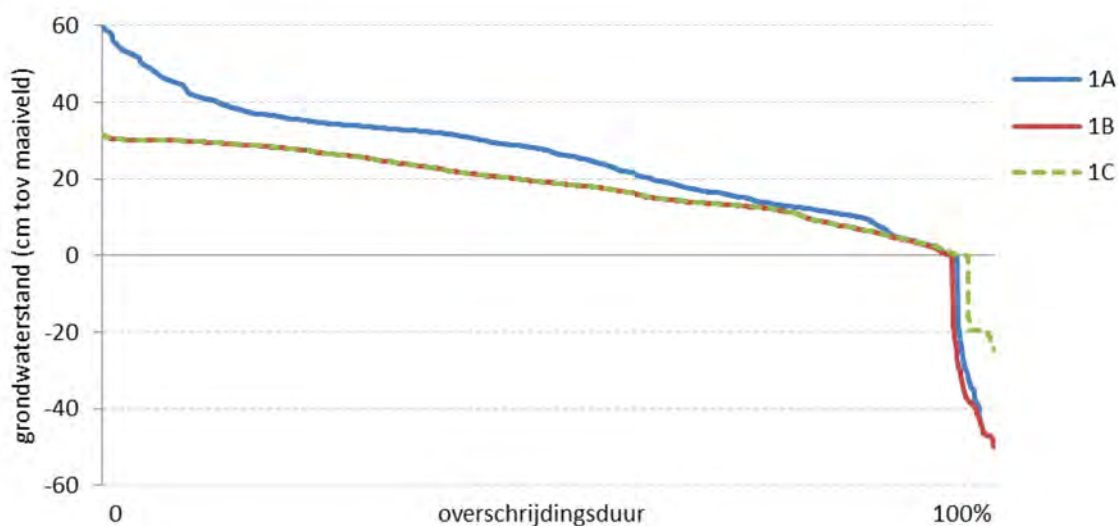
Scenario	afvoer vanaf (cm)	aanvoer vanaf (cm)	kwel (+)	drainage (+)	afvoer (+)	aanvoer (-)
			& wegz. (-)	& infiltratie(-)		
----- (mm/periode) -----						
Winter						
1A			-61	15		
1B	30		-38	7	88	
1C	30	-20	-41	8	89	-1
Zomer						
1A			-103	6		
1B	30		-71	-8	5	
1C	30	-20	-79	-5	5	-16
Droge zomer						
1A			-79	-15		
1B	30		-55	-27	0	
1C	30	-20	-82	-16	0	-47



Figuur 3.12 *Vergelijking van de grondwaterstanden van scenario 1B en 1C.*

Figuur 3.12 laat zien dat de grondwaterstand in het droge jaar 2003 door waterinlaat snel op het niveau van 20 cm beneden maaiveld wordt gebracht. Hierbij is ervan uitgegaan dat het ingelaten water efficiënt via het waterlopenstelsel over het rietmoeras verdeeld wordt. Buiten deze periode is het grondwaterstandverloop vrijwel identiek aan dat van scenario 1B, waarin geen water wordt ingelaten.

In Figuur 3.13 staat de overschrijdingsduur van het grondwater. Om de standen boven de 30 cm van scenario 1A af te toppen, moet er 88 mm worden afgevoerd en om de grondwaterstand niet dieper dan -20 cm te laten uitzakken, volstaat een aanvoer van 16 mm en 47 mm in een droge zomer.



Figuur 3.13 *De overschrijdingsduur van de grondwaterstanden van scenario 1A, 1B en 1C.*

**Scenario 2A: Geen waterinlaat
Geen waterafvoer
Klimaat W+ in 2050**

De verdamping met klimaat W+ in 2050 is 's zomers groter en er valt minder neerslag, waardoor het neerslagtekort met ongeveer 90 mm verder toeneemt. In de winter verandert er niet veel (vgl. Tabel 3.5B met Tabel 3.8). Niet alleen het neerslagoverschot, ook het peilregime van de grote rivieren verandert door klimaatverandering. Deze rivierstanden worden wat extremer, waardoor ook de

stijghoogte van het grondwater in het zandpakket onder het rietmoeras wat sterker fluctueert. De gevolgen voor de grondwaterstand voor scenario 2A staan in Figuur 3.14. In de winter wordt er nog steeds water op het maaiveld geborgen dat later in het jaar beschikbaar is voor wegzijging en verdamping. De dikte van de waterschijf op het maaiveld is meestal wel wat dunner, waardoor de buffervoorraad wat eerder 'op' is.

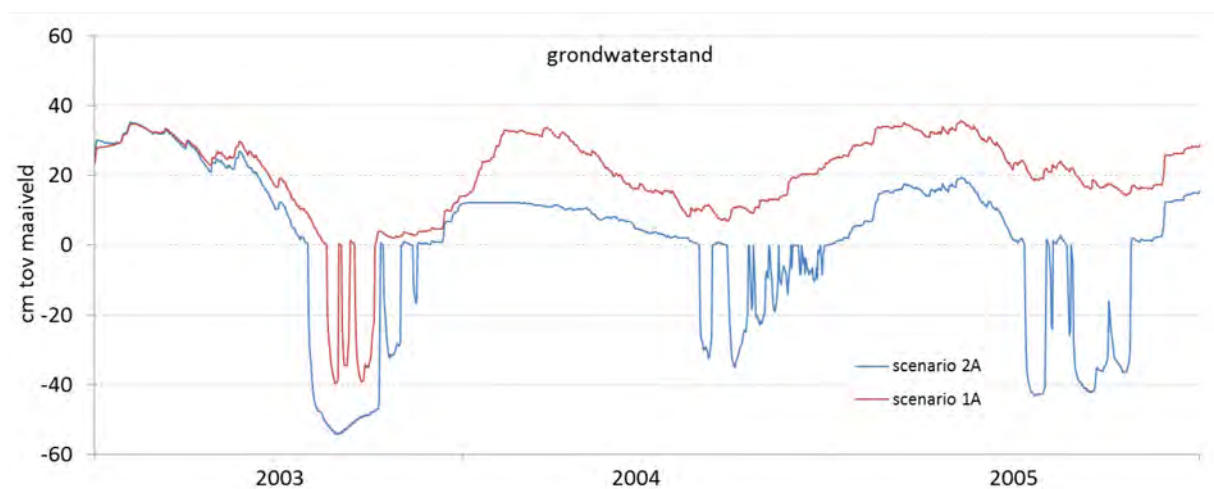
In Figuur 3.14 staat voor scenario 2A de grondwaterstand, waarvoor neerslag en verdamping geconverteerd zijn uit de periode 2003-2005. Het eerste jaar is hier dus ook een erg droog jaar. Gemakshalve worden de oorspronkelijke jaaraanduidingen hier ook gebruikt. In Figuur 3.14 is te zien dat in het droge jaar (2003) de periode waarin de grondwaterstand zich beneden maaiveld bevindt, aanzienlijk langer en de grondwaterstand 10 cm dieper is dan in het huidige klimaat (scenario 1A). Ook in de andere jaren daalt de grondwaterstand beneden maaiveld. Door de geringe bergingscapaciteit kan de waterstand snel fluctueren.

De kwel/wegzijging en de infiltratie/drainage (Figuur 3.15) zijn met minder dan 1 mm per dag niet opvallend groot of klein.

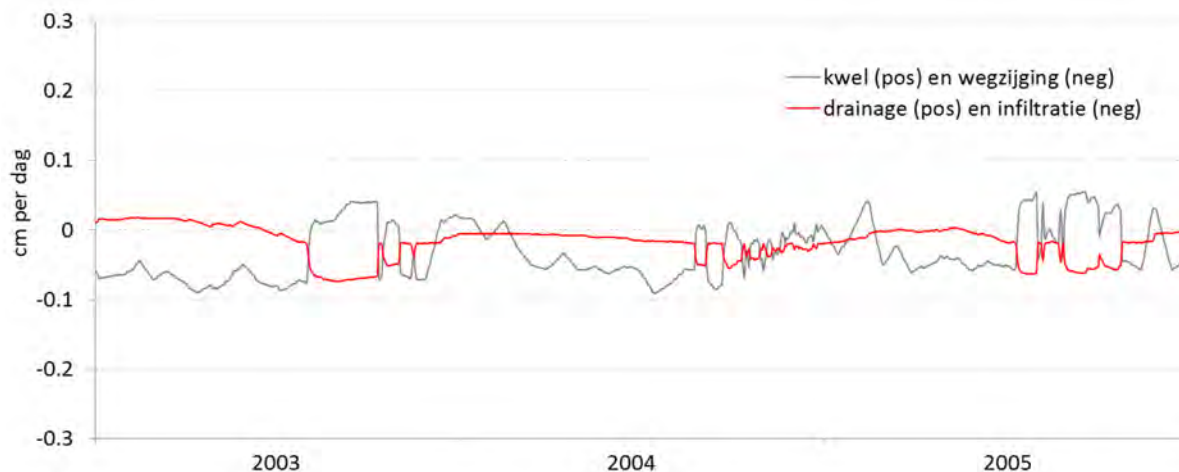
Tabel 3.8

Waterbalans voor scenario 2A. De getallen zijn in mm per zomer en winter.

	gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer		gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer
	winter	zomer			winter	zomer	
Neerslag	463	399	344	Interceptie	62	438	468
Kwel (pos) en wegzijging (neg)	-48	-88	-78	Evaporatie	57	163	166
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	-4	-14	1



Figuur 3.14 De grondwaterstand voor scenario 2A.



Figuur 3.15 De som van kwel en wegzijging en de som van drainage en infiltratie voor scenario 2A.

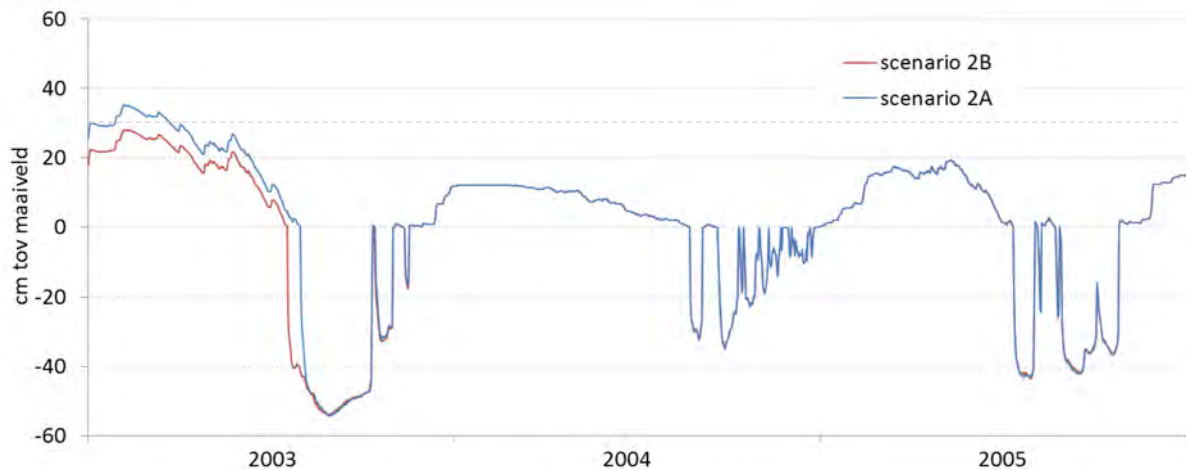
Scenario 2B: Geen waterinlaat
Waterafvoer bij 8,00 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Klimaat W+ in 2050

Tabel 3.9

Enkele waterbalanstermen voor scenario 2B. De getallen zijn in mm per zomer en winter.

	gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer		gemiddeld 7 jaar W2050		droge zomer
	winter	zomer			winter	zomer	
Neerslag	463	399	344	Interceptie	64	442	455
Kwel (pos) en wegzijging (neg)	-29	-52	-54	Evaporatie	57	159	158
				Drainage (pos) en infiltratie (neg)	-11	-30	-4

De verschillen ten opzichte van scenario 2A zijn vergelijkbaar met die tussen scenario 1A en 1B voor het huidige klimaat (Tabel 3.9). De neerslagverdeling is voor Klimaat W+ in 2050 in de winter wat anders, maar de waterlaag op het maaiveld fungeert als buffer, waardoor er gemiddeld genomen weinig verschil in (grond)waterstand is (Figuur 3.16). Ook hier is de waterstand voor scenario 2B soms wat lager, waardoor de wegzijging toch wat afneemt.



Figuur 3.16 De grondwaterstand voor scenario 2A

**Scenario 2C: Wateraanvoer bij 7,50 m+NAP (-20 cm + maaiveld)
Waterafvoer bij 8,00 m+NAP (30 cm + maaiveld)
Klimaat W+ in 2050**

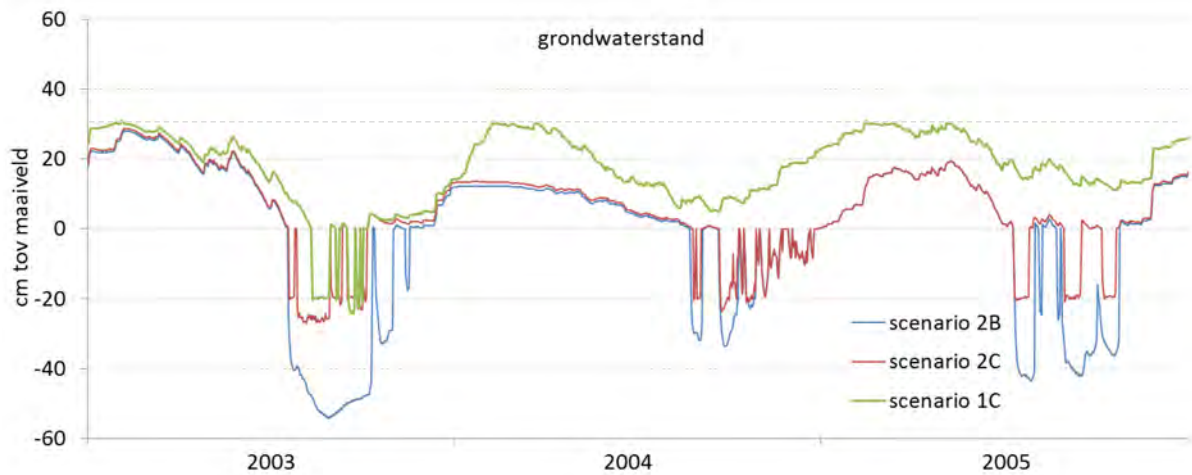
In Tabel 3.10 staat een eenvoudige waterbalans waarin neerslag en verdamping zijn weggelaten. Ter vergelijking zijn ook de getallen voor het voorgestelde peilregime in het rietmoeras voor het huidige klimaat (scenario 1C) opgenomen. Wat opvalt, is dat de winterse afvoer met klimaat W+ in 2050 met 10 mm toeneemt. De waterstanden zijn gemiddeld lager, maar de neerslagverdeling, die ongelijkmatiger is, maakt dat in een natte periode van 1 jaar (van de 7 jaren die zijn doorgerekend) een erg grote afvoer optreedt, maar in de andere jaren is dat niet het geval. In het huidige klimaat treedt in alle winters afvoer op, maar die is veel kleiner. De waterinlaat neemt 's zomers met 51 mm toe. In een droge zomer is de toename 108 mm. De totale inlaat komt daarmee uit op 155 mm. De hoeveelheden voor wegzijging en waterinlaat blijven in een gemiddeld jaar beperkt tot minder dan 1 mm/dag.

Tabel 3.10

Vergelijking van enkele waterbalanstermen van scenario 1C en 2 C.

Scenario	afvoer vanaf (cm)	aanvoer vanaf (cm)	kwel (+) drainage (+) & & wegz. (-) infiltratie(-)		afvoer (+)	aanvoer (-)
			(mm/periode)			
Winter						
1C	30	-20	-41	8	89	-1
2C	30	-20	-93	-29	99	-34
Zomer						
1C	30	-20	-79	-5	5	-16
2C	30	-20	-110	-23	20	-67
Droge zomer						
1C	30	-20	-82	-16	0	-47
2C	30	-20	-106	-31	0	-155

In Figuur 3.17 is te zien dat hoge waterstanden in de winter vaak minder hoog zijn dan in het huidige klimaat. De grondwaterstand zakt met klimaatscenario 2C iets dieper weg dan met scenario 1C.



Figuur 3.17 De grondwaterstand voor scenario 1C, 2B en 2A

3.3 Resumé

De Rietzanger

Uit de scenarioberekeningen voor De Rietzanger kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Er is sprake van een forse wegzijging. Alleen bij hoge rivierstanden of een lage grondwaterstand (als er geen water wordt ingelaten) kan er een bescheiden kwel optreden.
- Zonder wateraanvoer en -afvoer fluctueert de waterstand tussen de +20 en -77 cm in het huidige klimaat en tussen de +22 en -97 cm voor klimaat W+ in 2050.
- Zonder wateraanvoer en -afvoer en in het huidige klimaat daalt de grondwaterstand 183 dagen beneden maaiveld. Bij klimaat W+ gebeurt dat gedurende 247 dagen.
- In het huidige klimaat en bij klimaat W+ wordt geen water afgevoerd. De drempelwaarde van 30 cm boven maaiveld wordt niet bereikt.
- In het huidige klimaat moet 341 mm water in 140 dagen worden ingelaten en bij klimaatscenario W+ in 2050 595 mm in 207 dagen, omdat de grondwaterstand anders onder de drempelwaarde van 20 cm onder maaiveld zou komen.
- Met klimaat W+ neemt de jaarlijkse waterinlaat in een jaar met droge zomer in 2050 met 405 mm toe tot 1034 mm. Voor De Rietzanger komt 1034 mm neer op bijna 29.000 m³.
- De piekaanvoer bedraagt voor het huidige klimaat ruim 7 mm/dag en voor klimaat W+ 11 mm/dag⁶.

Het Waterrijk

Uit de scenarioberekeningen voor peilvak 70 van Het Waterrijk kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Per saldo is er over een jaar sprake van een geringe wegzijging. Alleen bij hoge rivierstanden of een lage grondwaterstand (als er geen water wordt ingelaten) treedt geregeld kwel op.
- Zonder wateraanvoer en -afvoer fluctueert de waterstand tussen de +60 en -50 cm t.o.v. maaiveld met het huidige klimaat en tussen de +54 en -59 cm met klimaat W+ in 2050.
- Zonder wateraanvoer en -afvoer daalt de grondwaterstand alleen in droge zomers beneden maaiveld. Bij klimaat W+ gebeurt dat vaker, maar ook nog niet ieder jaar.
- Met waterafvoer (als het waterpeil hoger komt dan 30 cm boven maaiveld) wordt in het huidige klimaat 88 mm in 155 dagen afgevoerd en bij klimaat W+ 99 mm in 73 dagen.
- Bij klimaat W+ komen er geregeld jaren voor waarin geen water wordt afgevoerd.
- Met wateraanvoer (als het de grondwaterstand onder de 20 cm beneden maaiveld zakt) wordt in het huidige klimaat 16 mm water in 14 dagen ingelaten en met klimaat W+ 67 mm in 38 dagen.

⁶ Dit is inclusief de hoeveelheid die vanuit de Bemmelse Zeeg via de ondergrond naar De Rietzanger stroomt. Zonder deze infiltratieflux is de hoeveelheid 10% kleiner.

- In het huidige klimaat hoeft in meer dan de helft van het aantal jaren geen water te worden ingelaten. Bij klimaat W+ gebeurt dat ieder jaar.
- In een erg droge zomer neemt de jaarlijkse waterinlaat bij klimaat W+ met 108 mm toe tot 155 mm. Voor heel peilvak 70 komt 155 mm neer op bijna 60.000 m³.
- De piekaanvoer bedraagt voor het huidige klimaat 3,7 mm/dag en voor klimaat W+ 4,3 mm/dag⁷.

Een onzekere factor is de dikte van de kleilaag die er na afgraving resteert. Het is goed denkbaar dat er op een paar plekken geen kleidek meer overblijft: in het westen van het rietmoeras en in het zuiden en oosten onder de nieuw te graven waterlopen. De wegzijging en kwel zullen daar dan toenemen en er zal meer inlaatwater nodig zijn. In een ongunstig geval kan dit tot een verdubbeling van de inlaat leiden⁸. Per saldo hoeft minder water te worden afgevoerd, maar de afvoer onder ongunstige omstandigheden neemt dan toe.

Riet en waterzuivering

In een overwegend plas-drassituatie maakt het voor de waterhuishouding in De Rietzanger en het rietmoeras Het Waterrijk weinig uit of het riet net is aangeplant of dat het rietmoeras volgroeid is. Wel verschuift de verdamping van evaporatie + openwaterverdamping naar interceptieverdamping en transpiratie.

Een volgroeide rietvegetatie heeft bij geen van de scenario's een zodanig vochttekort dat de gewasverdamping reduceert. Ook onder natte omstandigheden zal de verdamping niet reduceren.

Er is een proef uitgevoerd om het water dat in het rietmoeras van Het Waterrijk wordt ingelaten te zuiveren (www.richwaterworld.com). Dat gebeurt in een zogenaamde bio-cascade⁹. Het rietmoeras zelf kan eventueel ook effectief worden ingezet voor waterzuivering. Een van de voorwaarden is dan dat het rietmoeras langdurig of permanent onder water staat. In De Rietzanger is dat niet het geval en in het rietmoeras van Het Waterrijk vaak wel, maar in de zomer, als de omstandigheden voor waterzuivering het meest gunstig zijn, is ook daar de waterlaag dun of afwezig. Los van het te zuiveren water zal er water moeten worden ingelaten om het gewenste peil te handhaven. In het voorbeeld in Tabel 3.11 is uitgegaan van een 15 cm dikke waterlaag die de hele zomer in stand gehouden wordt. De verschillen tussen De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk zijn groot. In De Rietzanger moet voor eenzelfde oppervlakte tot 6 keer zoveel water worden ingelaten.

De waterinlaat in Tabel 3.11 is exclusief water dat gezuiverd moet worden. Die hoeveelheid hangt samen met de verblijftijd van het water voor zuivering in het rietmoeras. Met een verblijftijd van bijvoorbeeld twee weken wordt in een zomerhalfjaar 12 keer de totale hoeveelheid water die op het maaiveld staat vervangen. Bij een waterschijf van 15 cm betreft dat dus $12 \times 150 \text{ mm} = 1800 \text{ mm}$. Dit water komt weer beschikbaar voor andere toepassingen. Maar er is meer water nodig om de wegzijging die door de hogere waterstand toeneemt te compenseren. Het verschil tussen de 'nieuwe' en 'oude' inlaat in Tabel 3.11 is in feite de input om dat te kunnen realiseren. In De Rietzanger ligt het rendement van 1800 mm water dat gezuiverd weer beschikbaar komt op ongeveer 75%, ongeacht het type zomer of klimaat. In het rietmoeras van Het Waterrijk varieert het rendement tussen de 90 en 95%. De laagste waarde geldt voor een gemiddelde zomer met het huidige klimaat en de hoogste voor een droge zomer met klimaat W+.

⁷ Dit is inclusief de hoeveelheid die vanuit de omringende waterlopen via de ondergrond naar het rietmoeras stroomt. Zonder deze infiltratieflux is de hoeveelheid 10% kleiner.

⁸ Stel dat dit speelt in 25% van het gebied en daar neemt de weerstand van de deklaag af tot 1/5 (20%) van de oorspronkelijke weerstand. Bij gelijke waterstanden en stijghoogtes neemt de wegzijging dan met een factor 5 toe. In het hele gebied neemt dan de wegzijging met een factor $0,25 \times 5 + 0,75 \times 1 = 2,0$ toe.

⁹ Een geschakeld slotencomplex met verschillende waterplanten.

Tabel 3.11

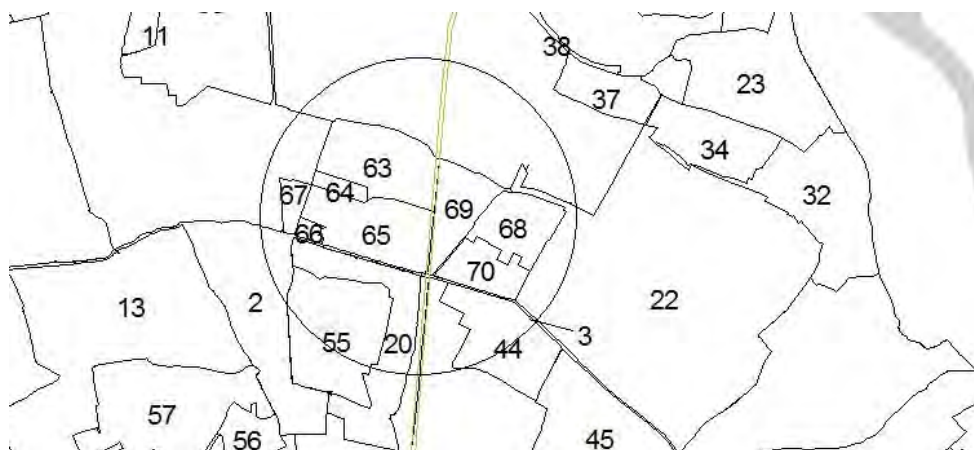
Benodigde hoeveelheid water om het waterpeil in de zomer op +15 cm te houden.

	huidig klimaat		klimaat W+ in 2050	
	gem. zomer	droge zomer	gem. zomer	droge zomer
	mm/zomer	mm/zomer	mm/zomer	mm/zomer
Rietzanger				
oorspronkelijke inlaat	341	629	595	1034
nieuwe inlaat	890	1213	1195	1645
comp. kwel/drainage *)	250	252	247	270
Waterrijk 5				
oorspronkelijke inlaat	16	47	67	155
nieuwe inlaat	96	232	224	374
comp. kwel/drainage *)	7	15	20	26

*) door een hogere waterstand neemt de wegzijging toe (dan wel de kwel) af en de infiltratie vanuit de omringendewaterlopen (dan wel de drainage) af.

4 De waterhuishouding in Het Waterrijk (MORIA)

Met het geïntegreerde driedimensionale model MORIA zijn scenarioberekeningen uitgevoerd voor de peilvakken in de Overbetuwe. Daarvan worden de resultaten van drie peilvakken in de oostelijke helft van Het Waterrijk en een in de westelijke helft besproken (Figuur 2.2 en 4.1). De berekeningen beslaan een aantal recente jaren met het huidige klimaat en een aantal jaren met klimaat W+ in 2050. De gebruikte modelversie met waterlopen en peilvakken wordt ook in een webapplicatie gebruikt waar met dagelijks opgestelde weersverwachtingen wordt gerekend. De mogelijkheden van de webapplicatie worden in paragraaf 4.3 beschreven.



Figuur 4.1 Peilvakken in Het Waterrijk die een bergingsfunctie hebben:

65: Waterrijk-West 68: Waterrijk-Oost
69: Puntzak 70: Rietmoeras

4.1 De waterhuishouding na inrichting van Het Waterrijk

De inrichting van Het Waterrijk is naar verwachting rond 2017 voltooid. Dan zijn delen van de nieuwe peilvakken afgegraven (Figuur 2.2) en is het nieuwe peilregiem operationeel (Figuur 2.3). In de praktijk zal worden ingegrepen als een peilvak te lang te droog of te nat is of als de weersverwachting en het peil in Rijn en Linge dat noodzakelijk maken. In paragraaf 4.3 wordt daarop teruggekomen. De scenario's in dit hoofdstuk zijn primair bedoeld om inzicht te krijgen in de waterhuishouding.

Voor het huidige klimaat zijn twee scenario's doorgerekend voor de periode 1990-1995.

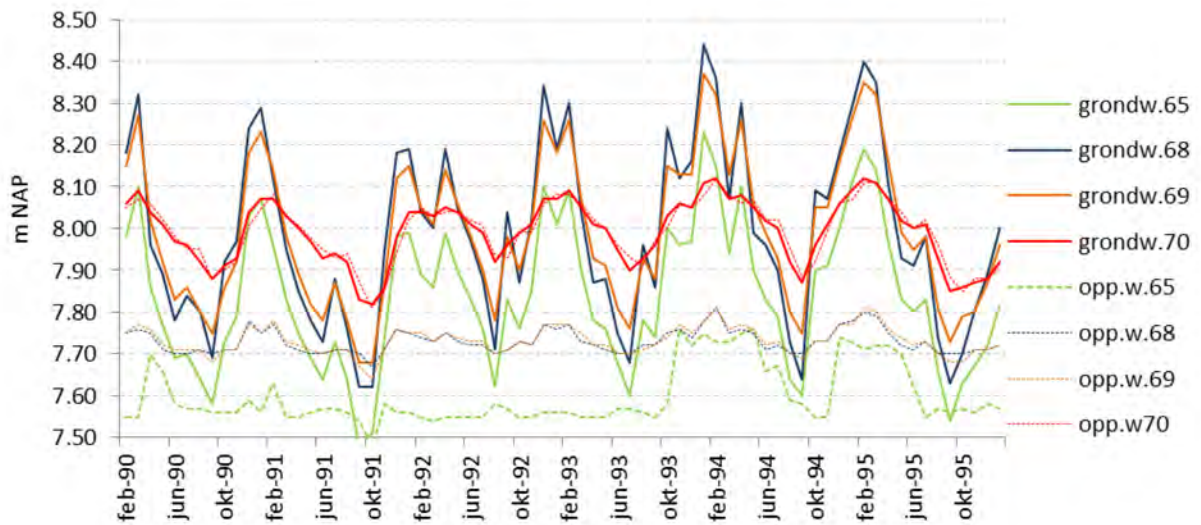
Bij scenario WH1a wordt er water afgevoerd bij het bereiken van de hoogst toegestane stand en water ingelaten als de laagste stand wordt overschreden.

Bij scenario WH1b is alleen waterafvoer mogelijk.

Het bleek dat er geen verschillen in resultaten waren tussen beide scenario's. Waterinlaat om het slootpeil het gewenste minimumniveau niet te laten onderschrijden, was niet nodig. Bij de bespreking van de resultaten wordt er daarom geen onderscheid gemaakt tussen beide scenario's. In Figuur 4.2 staat het verloop van de gemiddelde grondwaterstand en het oppervlaktewaterpeil. In gebied 65 zou bij scenario WH1a water ingelaten worden bij een oppervlaktewaterstand van 7,5+NAP, bij de gebieden 68 en 69 bij 7,6+NAP en bij gebied 70 bij stand 7,5+NAP.

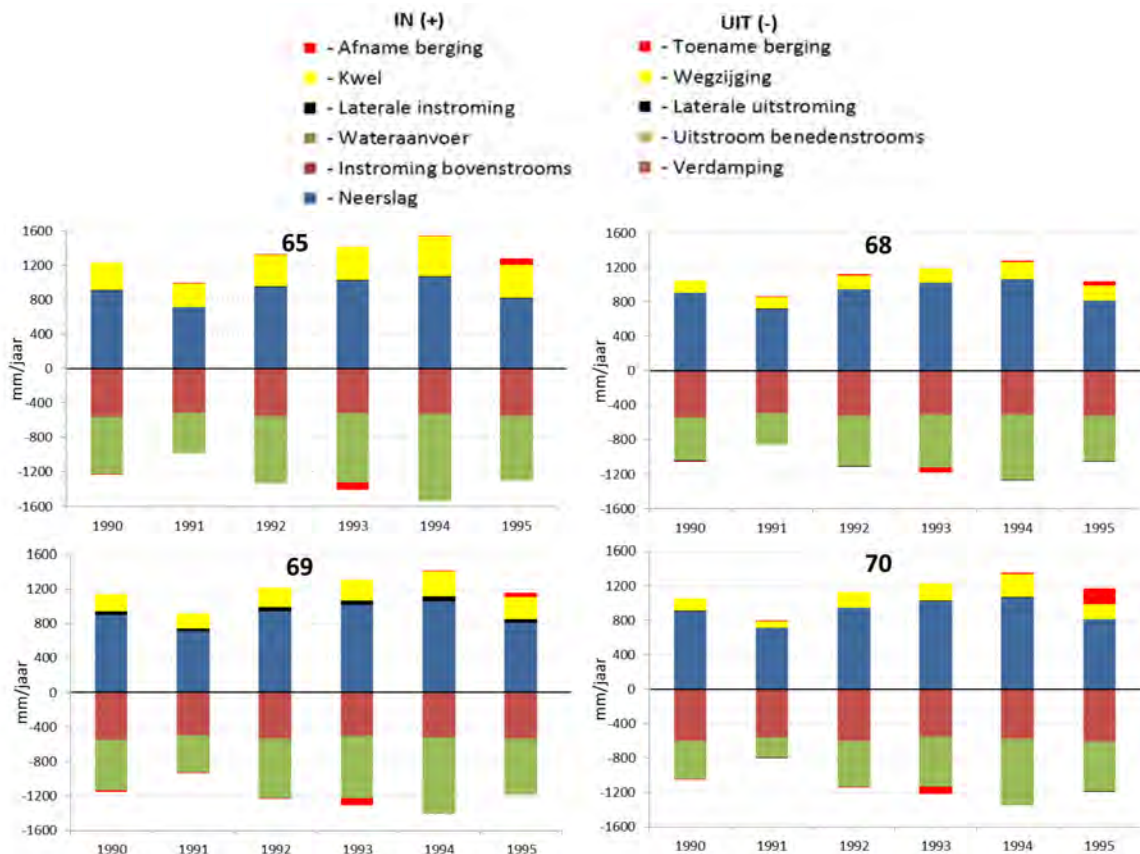
De hoogste oppervlaktewaterstand (65: 7,8+NAP; 68 en 69: 7,7+NAP; 70: 8,0+NAP) wordt, behalve bij gebied 65, tot 10 cm overschreden. Dat komt omdat de afvoer begint bij overschrijding van de drempelwaarde en de bergingscapaciteit toeneemt met de grootte van de overschrijding. Het gedempte en synchrone verloop van de het grond- en oppervlaktewaterpeil in het rietmoeras van

peilgebied 70 komt omdat de stand de hele periode boven maaiveld (7,7+NAP) is. Bij de andere peilvakken komt de waterstand niet boven maaiveld.



Figuur 4.2 Grondwater- en oppervlaktewaterstand in de peilvakken 65, 68, 69 en 70 in de periode 1990-1995, berekend voor de situatie na inrichting van Waterrijk (afgraven van de kleilaag).

In Figuur 4.3 staan de waterbalansen van de vier peilvakken per jaar. Per jaar verschillen de balansen van de peilvakken weinig van elkaar. De kwel is in gebied 65 het grootst en in gebied 70 de bergingsverandering. De bergingsverandering, die de belangrijkste randvoorwaarde is voor piek- en voorraadberging, is de som van de berging in de onverzadigde zone en in het oppervlaktewater. Wanneer het water boven het maaiveld komt, is de bergingsverandering gelijk aan de stijging of daling van de waterstand.



Figuur 4.3 Waterbalansen van de peilvakken 65, 68, 69 en 70 voor de jaren 1990-1995.

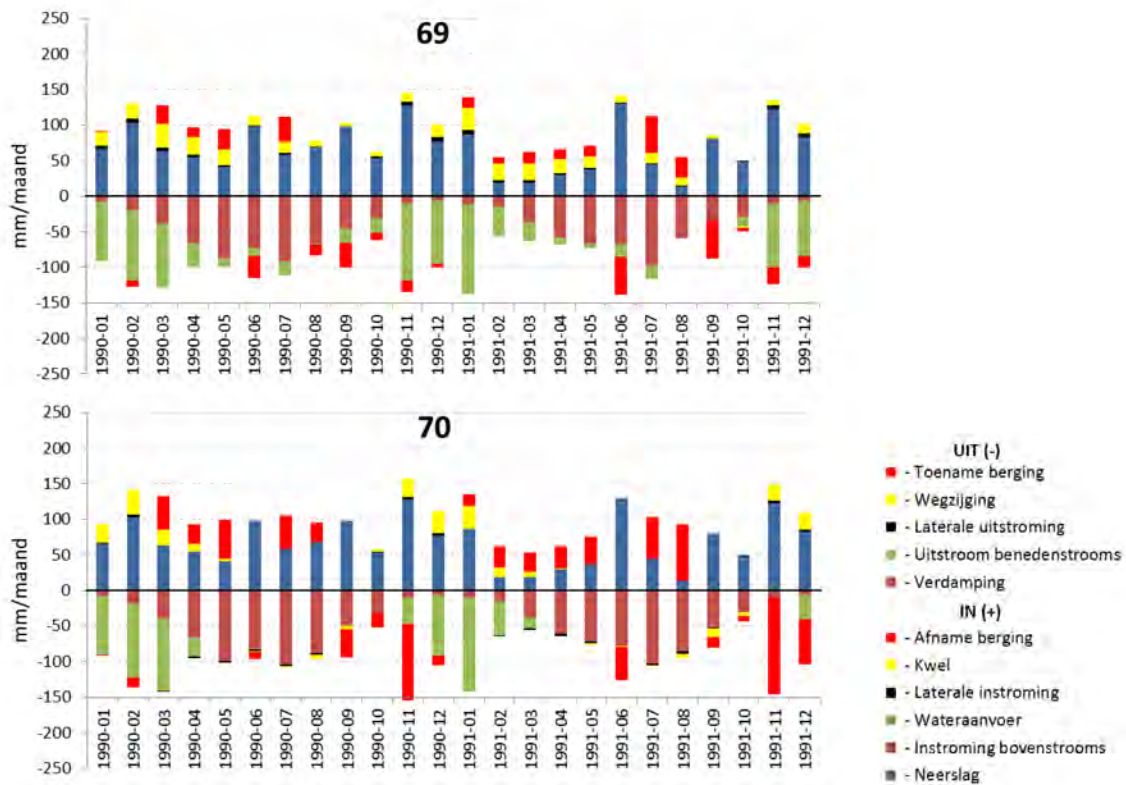
De samenvatting van de waterbalans in Tabel 4.1 laat zien dat er geen of weinig verschillen zijn tussen de peilgebieden. Over langere termijn compenseren positieve en negatieve bergingsveranderingen elkaar. Daardoor zijn gesommeerde verschillen over heel een jaar klein. Er zijn wel verschillen in kwel. Die hangen samen met de rivierstanden en de stijghoogte van het grondwater in de diepere watervoerende lagen. In de winterperiode zijn die hoog en in de zomer laag. In gebied 70 slaat de kwel dan om in wegzijing. Gemiddeld over een jaar is de kwel:

in gebied 65: 1,0 mm/dg in gebied 68: 0,45 mm/dg
in gebied 69: 0,6 mm/dg in gebied 70: 0,5 mm/dg

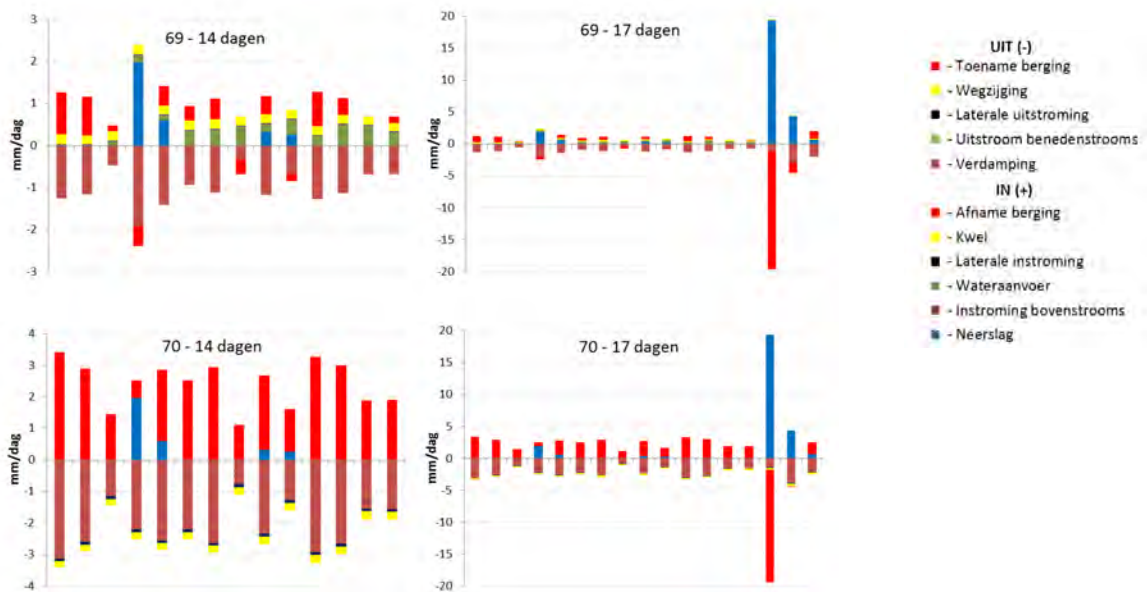
Tabel 4.1

Gemiddelde waterbalans per kwartaal van de peilvakken 65, 68, 69 en 70 over de periode 1990-1995

	65				68				69				70			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
In																
- Neerslag	217	201	232	259	217	201	232	259	217	201	232	259	217	201	232	259
- Instroming bovenstrooms	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Wateraanvoer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Laterale instroming	3	2	1	0	0	1	2	0	17	10	6	13	4	0	1	6
- Kwel	134	94	53	82	55	51	31	27	83	68	36	45	86	27	6	61
- Afname berging	37	39	6	0	30	30	4	0	31	33	5	0	48	71	50	0
Uit																
- Verdamping	60	220	208	47	61	212	198	48	60	214	201	46	60	235	242	48
- Uitstroom benedenstrooms	331	118	61	240	237	68	50	203	288	98	57	220	301	68	4	147
- Laterale uitstroming	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1	5	5	0
- Wegzijing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
- Toename berging	1	5	29	46	0	5	27	30	0	5	28	45	0	0	28	121
Balansfout (In - Uit)	-1	-7	-6	8	1	-2	-5	3	0	-5	-6	6	-7	-9	4	11



Figuur 4.4 Waterbalansen per maand voor de peilvakken 69 en 70 voor de jaren 1990 en 1991.



Figuur 4.5 Voorbeeld van waterbalansen per dag voor de gebieden 69 en 70 voor een droge periode van 14 dagen en uitbreiding met 3 dagen met veel neerslag.

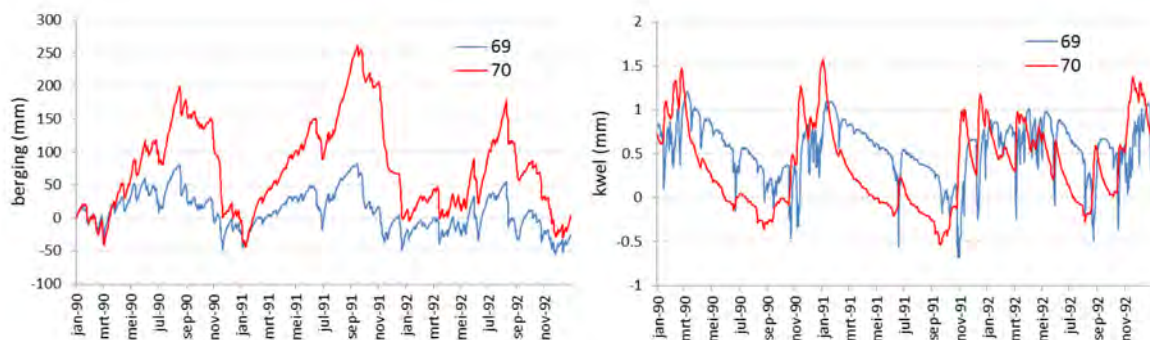
Naarmate de balansperiode korter wordt, zijn de verschillen tussen de peilvakken en tussen de perioden evidenter. In Figuur 4.4 staan de maandelijkse balansen van twee gebieden (de puntzak 69 en het rietmoeras 70) voor 1990 en 1991. De grotere verdamping in de zomer en de onregelmatige neerslagverdeling zijn in de gebieden 69 en 70 (nagenoeg) gelijk, maar de afvoer, kwel en berging verschillen meer van elkaar. In gebied 69 treedt permanent kwel op, terwijl in gebied 70 ook maanden

met wegzijging voorkomen. In gebied 70 komen ook meer maanden voor waar afvoer of aanvoer (nagenoeg) geheel wordt gecompenseerd door bergingsverandering (1991-08 en 1991-11).

In Figuur 4.5 staan dagelijkse waterbalansen voor de gebieden 69 en 70 voor een erg droge periode van 14 dagen en voor dezelfde periode, aangevuld met 3 dagen waarin veel neerslag is gevallen. Vergeleken met gebied 70 treedt in gebied 69 in deze periode kwel op, wordt water ingelaten en zijn verdamping en bergingsafname relatief klein. In de droge periode worden de verdamping en wegzijging gecompenseerd door een afname van de berging. De gestage afname van de berging wordt op dag 15 grotendeels gecompenseerd door een bui van bijna 20 mm.

Figuur 4.6 laat het verloop zien van de bergingsverandering en de kwel voor de gebieden 69 en 70 periode 1990-1992. Het blijkt dat er op dagbasis aanzienlijke verschillen kunnen optreden. Waar in gebied 69 de bergingsverandering beperkt blijft tot plus of min 50 mm, varieert dat in gebied 70 van plus 250 tot min 50. In gebied 69 varieert het slootpeil weinig, maar zakt de grondwaterstand wel relatief diep weg (Figuur 4.2). Door de kleinere bergingscapaciteit van de onverzadigde zone in gebied 69 reageert de grondwaterstand in gebied 69 heftiger op neerslag en verdamping dan in gebied 70 waar 10 mm neerslag een verhoging van het openwaterpeil met 1 cm tot gevolg heeft. Dit heeft zijn weerslag op de kwel. Uit Figuur 4.5 blijkt dat in gebied 69 ook wegzijging voor kan komen.

De uitkomsten van de berekeningen van de scenario's met en zonder wateraanvoer zijn aan elkaar gelijk, omdat er geen waterinlaat nodig was. Omdat er in de periode 1990-1995 geen extreem droog jaar voorkomt, is er voor beide scenario's een extra run gemaakt voor het jaar 2003, waarin na een nat voorjaar een erg droge zomer volgde. Verder zijn de afvoerrelaties aangepast, zodat een te hoog peil sneller wordt afgetopt. Het blijkt echter dat ook dan, als geen extra watervoorraad wordt opgebouwd, met weinig waterinlaat kan worden volstaan.



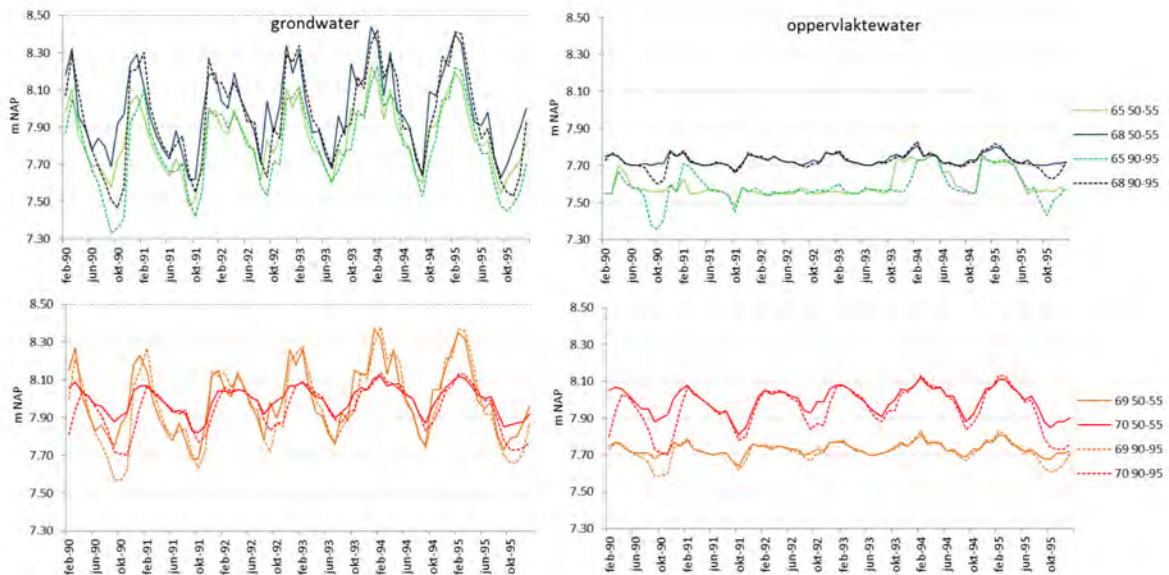
Figuur 4.6 Verloop van de bergingsverandering (links) en de kwel (rechts) in de peilvakken 69 en 70 van 1990-1992. Kwel=positief, wegzijging=negatief.

4.2 De waterhuishouding in 2050

Voor het klimaatscenario W+ in 2050 (hier aangeduid als W2050) zijn twee waterbeheersscenario's doorgerekend:

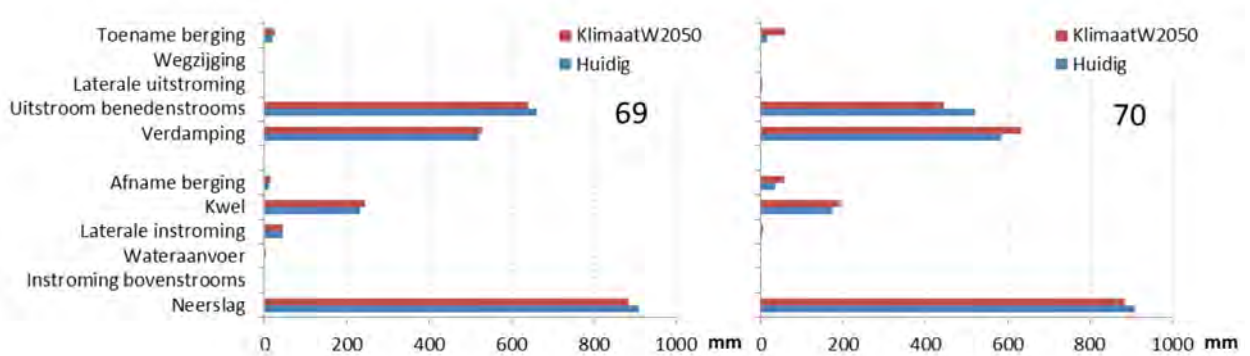
- Bij scenario WW1a wordt er water afgevoerd bij het bereiken van de hoogst toegestane stand en water ingelaten als de laagste stand wordt overschreden.
- Bij scenario WW1b is alleen waterafvoer mogelijk.

De meteodata voor beide klimaatscenario's zijn geconverteerd uit die van de periode 1990-1995 waarmee in paragraaf 4.1 is gerekend. De stand van de Rijn bij Lobith, die nodig is voor de extrapolatie van de rivierstanden en van stijghoogtes van het grondwater in de verschillende bodemlagen, is eerder met dezelfde meteodata berekend met het NHI (Bijlage 4).



Figuur 4.7 Vergelijking van de grond- en oppervlaktewaterstanden van de gebieden 65, 68, 69 en 70 met het huidige klimaat (90-95) en met klimaat W2050 (50-55).

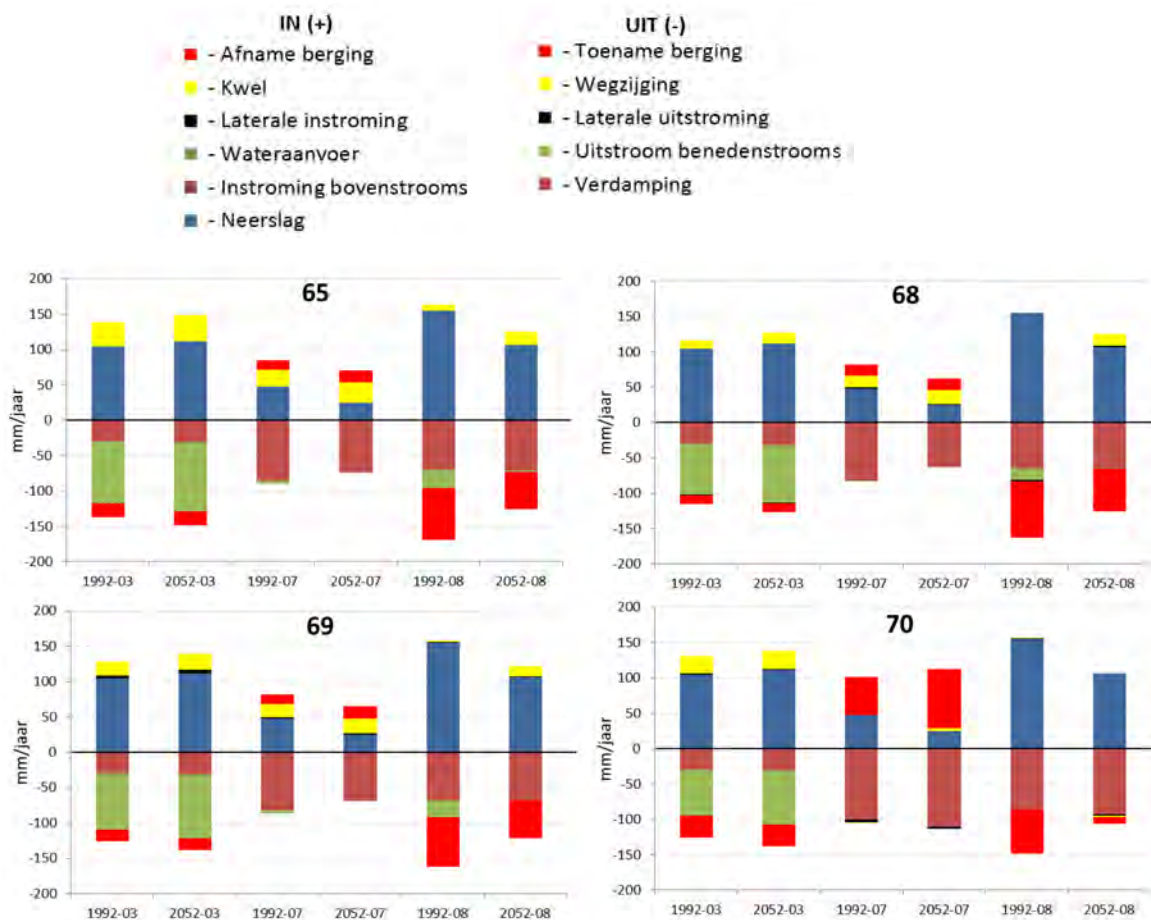
In Figuur 4.7 worden de grond- en oppervlaktewaterstanden van W2050 vergeleken met die van 1990-1995. Met W2050 zijn de grondwaterstanden soms wat hoger, maar vaak wat lager. Bij gebied 65 kan het verschil oplopen tot meer dan 2 dm. Maar meestal zijn de verschillen klein. Dat geldt helemaal voor het oppervlaktewater. Behalve in 1990, en incidenteel in andere jaren, zijn de standen in beide perioden nagenoeg gelijk aan elkaar. De laagste standen blijven met W2050 ook boven de inlaatdrempel. In de waterbalansen treden wel verschuivingen op. In Figuur 4.8 staan de balansen van de gebieden 69 en 70. De jaargemiddelde neerslag neemt wat af¹⁰, in tegenstelling tot de verdamping. Door de lagere grondwaterstanden neemt de kwel iets toe. Per saldo wordt er in gebied 69 3% en in gebied 70 14% minder water afgevoerd. Opvallend is ook dat de bergingsverandering met W2050 een grotere fluctuatie laat zien. De reden is dat er vergeleken met het huidige scenario zowel meer nattere als meer drogere perioden voorkomen. In gebied 70 zijn de verschillen groter dan in gebied 69, omdat de bergingscapaciteit groter is.



Figuur 4.8 Vergelijking van de gemiddelde waterbalansen in mm/jaar in het huidige klimaat en bij klimaat W2050.

¹⁰ In de zomer neemt de neerslag af, in de winter toe.

Afzonderlijke jaren en korte perioden laten grotere verschillen zien. In Figuur 4.9 zijn als voorbeeld de balansen van 3 maanden in 1992 en 2052 met elkaar vergeleken. De verschillen, waarvoor de neerslag en verdamping de basis vormen, hebben verschillen in de andere balanstermen tot gevolg. In maart 1992 en 2052 treedt er in de vier gebieden kwel op, is er nog weinig ruimte om water te bergen en is de afvoer substantieel. De verschillen tussen 1992 en 2052 zijn klein. In juli, met een geringe hoeveelheid neerslag, is de verdamping kleiner, maar wateraanvoer (waterinlaat) is op grond van het gehanteerde peilregiem in de gebieden 65, 68 en 69 nog niet nodig. In gebied 70 staat (1992 en in 2052) nog water op het maaiveld. De berging neemt fors af (er gaat water op aan de verdamping) en enkele millimeters stromen af naar de omgeving die een lagere grondwaterstand heeft. Een maand later, in augustus, is er vooral in 1995 veel neerslag gevallen. In de gebieden 65, 68 en 69 leidt dat tot een toename van de hoeveelheid water die geborgen is en een (kleine) afvoer. In gebied 70 wordt het surplus in 1992 wel, maar in 2052 niet geborgen. In augustus 2052 is de afvoer in alle gebieden nihil.



Figuur 4.9 Vergelijking van de gemiddelde waterbalansen van 3 maanden tussen het huidige klimaat (1992) en klimaat W2050 (2052).

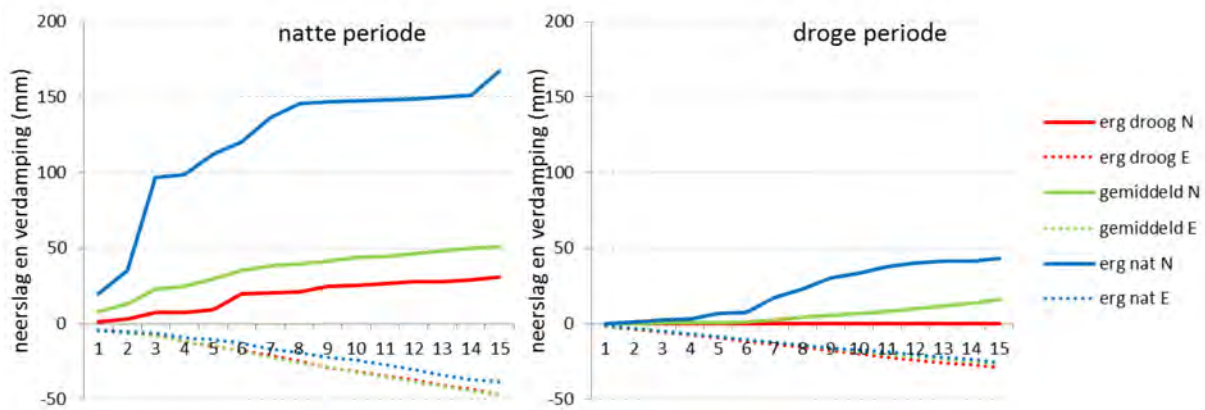
4.3 Anticiperen op weersverwachting

De webapplicatie die ontwikkeld is om te adviseren over (preventieve) ingrepen in de waterhuishouding bij een dreigend tekort of overschot aan water, maakt gebruik van weersverwachtingen die door MeteoGroup worden opgesteld. De weersverwachtingen worden gedaan voor twee dagen en voor vijftien dagen, waarbij gebruik wordt gemaakt van respectievelijk radarbeelden en ensemble- of pluimverwachtingen van modelberekeningen. Er worden voor vijf situaties verwachtingen gegeven: erg droog, droog, gemiddeld, nat en erg nat. De verschillen in

verwachtingen kunnen gebruikt worden om de bandbreedte dan wel onzekerheid bij de verwachtingen aan te geven. De verwachtingen zelf kunnen daar in principe ook voor gebruikt worden, maar dan kan alleen een schatting worden gegeven van de hoeveelheid water die op het maaiveld geborgen kan worden, en niet van de ruimte die nog in de onverzadigde zone beschikbaar is of de hoeveelheid die tussentijds wordt afgevoerd. Hetzelfde geldt voor voorraadberging. Daarom worden de uitkomsten van de berekeningen gebruikt die voor de vijf weersscenario's zijn gemaakt voor een relatief natte en een relatief droge periode die frequent voorkomen.

In de droge periode kon geen 'natte' verwachting uit de pluim worden gehaald en in de natte periode geen 'droge' verwachting, zodat elke serie uit vier verwachtingen bestaat. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een scenario waarin geen waterinlaat mogelijk is en voor een scenario waarin dat wel gebeurt. Voor de waterafvoer wordt het (toekomstige) peilregime gevolgd dat ook in paragraaf 4.1 en 4.2 is gebruikt.

In Figuur 4.10 staan de cumulatieve hoeveelheden neerslag (N) en verdamping (E) voor erg natte, erg droge en de gemiddelde verwachting. In de natte periode valt er volgens de gemiddelde verwachting 50 mm neerslag, maar de erg natte verwachting gaat uit van meer dan 150 mm. Ook volgens de erg droge verwachting valt er neerslag. In de droge periode is dat niet het geval. De erg natte verwachting komt dan tot bijna 50 mm in 15 dagen. Tussen de verwachtingen zijn de verschillen in verdamping klein. Bij de grootste hoeveelheden neerslag is de verdamping het kleinst. Tussen de droge en natte periode zijn er wel verschillen in verdamping, maar die hangen vooral samen met het seizoen.



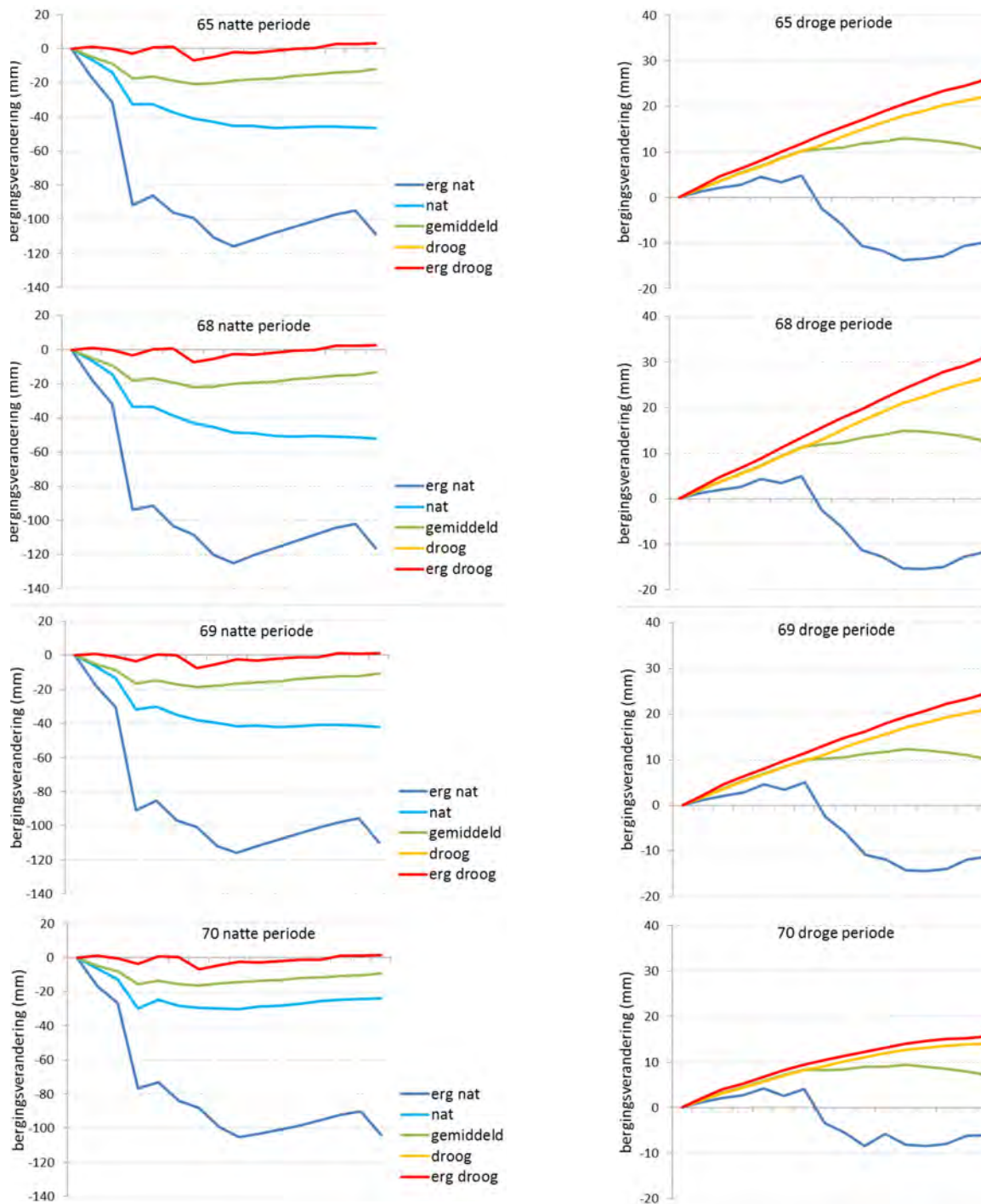
Figuur 4.10 Vijftiendaagse verwachting van neerslag (N) en verdamping (E) in een natte en in een droge periode voor een erg nat, erg droog en gemiddeld scenario.

De hoeveelheid neerslag en verdamping vertaalt zich in een verandering in grondwaterstand en berging. Afhankelijk van het feit of in het bodemprofiel wel of geen water in de onverzadigde zone kan worden geborgen, stijgt de (grond)waterstand veel of weinig (Tabel 4.2). De erg natte verwachting in een droge periode leidt daardoor tot een grotere stijging dan in de natte periode wanneer het water boven maaiveld komt te staan. De grotere daling bij de erg droge verwachting in de droge periode ten opzichte van de natte periode komt doordat het verschil in neerslagtekort (neerslag min verdamping) groter is. De verschillen tussen de gebieden onderling zijn het gevolg van verschillen in afvoerregime, kwel, grondwaterdiepte en dergelijke. De bergingsverandering, die in feite de som hiervan is, is een meer geschikte maat om aan te geven hoeveel water er daadwerkelijk is bijgekomen of verdwenen.

Tabel 4.2

Stijging (+) of daling (-) van de (grond)waterstand in 15 dagen in de 4 peilvakken in Het Waterrijk met de extreemste weersverwachtingen in een natte zomer- en een droge herfstperiode.

		65	68	69	70
Natte periode	erg droge voorspelling	-9	-6	-4	-24
	erg natte voorspelling	+18	+25	+15	+9
Droge periode	erg droge voorspelling	-1	-2	-6	-1
	erg natte voorspelling	+79	+78	+54	+53



Figuur 4.11 De bergingsverandering in 15 dagen in de 4 peilvakken in Het Waterrijk met de extreemste weersverwachtingen in een natte zomer- en een droge herfstperiode.

In Figuur 4.11 staat de bergingsverandering vanaf de eerste dag van de verwachting. Afgebeeld is de totale berging, zijnde de som van de berging in de onverzadigde zone en het oppervlaktewater. Ten opzichte van de totale bergingscapaciteit, zoals die berekend is in Bijlage 5, gaat het bij de gemiddelde verwachting om een kleine hoeveelheid, maar voor de natste verwachting in de natte periode gaat het evenwel om een aanzienlijk deel van de bergingscapaciteit (Tabel 4.3). In gebied 69 is nog 475 mm (583-108 mm) over van de maximale capaciteit, maar dat gebied is dan ook speciaal als bergingsgebied ontworpen voor een kassengebied en voor stedelijke bebouwing.

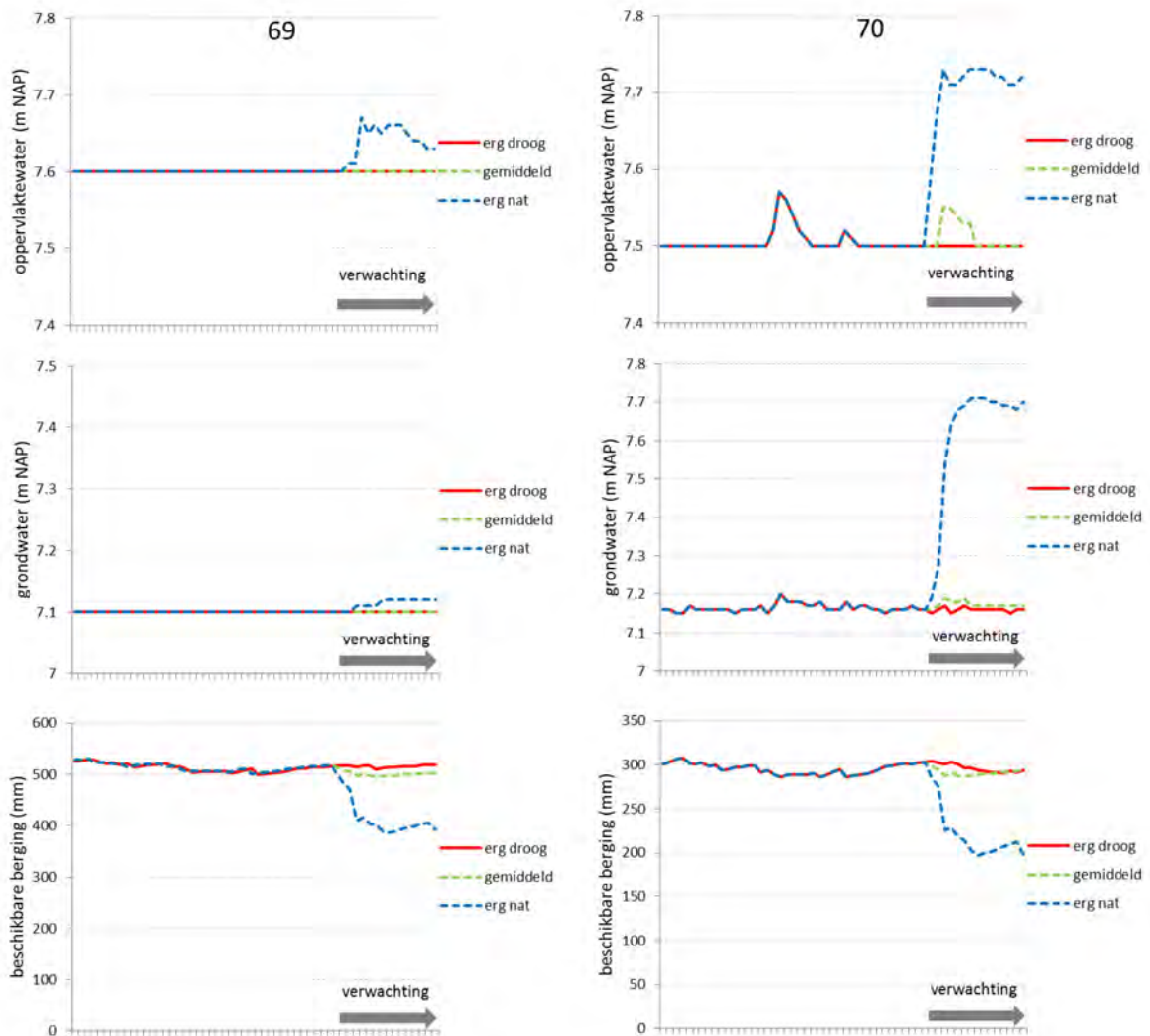
In de regel zal de maximale bergingscapaciteit niet vaak beschikbaar zijn, zeker niet in natte perioden. Figuur 4.12 laat de bergingsverandering voor gebied 69 en 70 zien zoals die voorafgaand aan de natte periode met de vijftiendaagse weersverwachting in de natte periode was. In tegenstelling tot de berekeningen voor de huidige periode (paragraaf 4.1) is hier een korte periode doorgerekend, waarbij gestart is met het laagst mogelijke openwaterpeil. De erg droge en gemiddelde verwachtingen hebben weinig gevolgen. Gebied 70 stond niet onder water, maar dat zou bij de erg natte verwachting wel gebeuren. De verschillen tussen erg nat en erg droog zijn in droge perioden vaak minder dan in natte perioden, maar door verandering van het klimaat, wanneer vaker in korte tijd een grote hoeveelheid neerslag kan vallen, neemt de kans op de noodzaak van piekberging in droge perioden toe. Door Meteogroup worden daarom voor de neerslagverwachting voor de eerste twee dagen radarbeelden gebruikt.

Op de webapplicatie volgt dan een advies (in prep.) om vooraf bergingscapaciteit vrij te maken om de neerslagpieken op te kunnen vangen. Daarbij wordt ook rekening gehouden met andere randvoorwaarden, bijvoorbeeld of het gebied al lang onder water staat of dat preventieve afvoer niet wordt toegestaan door de waterbeheerder.

Tabel 4.3

Overzicht van de maximale bergingscapaciteit in m³ en mm van de peilgebieden in Het Waterrijk en de bergingsverandering volgens de weersverwachting op dag 10.

	gebied			
	65	68	69	70
<i>maximale berging</i>				
berging onverzadigde zone (m ³)	14 000	32 000	43 000	10 000
<u>berging oppervlaktewater (m³)</u>	<u>55 000</u>	<u>135 000</u>	<u>196 000</u>	<u>110 000</u>
totaal (m ³)	69 000	167 000	239 000	120 000
totaal (mm)	117	321	583	322
<i>Verandering volgens voorspelling na 10 dagen (mm)</i>				
Natte periode				
droogste voorspelling	-1	-2	-2	-2
gemiddelde voorspelling	-17	-19	-16	-13
natste voorspelling	-108	-116	-108	-101
Droge periode				
droogste voorspelling	19	22	18	13
gemiddelde voorspelling	12	14	12	9
natste voorspelling	-11	-13	-12	-6



Figuur 4.12 Verandering van het oppervlaktewaterpeil, de grondwaterstand en de bergingsverandering in de gebieden 69 en 70 bij verschillende weersverwachtingen. De pijl met 'verwachting' beslaat een periode van 15 dagen.

Voor de nabewerking van de rekenresultaten wordt gebruikgemaakt van een speciale 'tool' die door Martin Mulder van Alterra is ontwikkeld. Daarmee kunnen waterbalansen, ruimtelijke beelden en variaties in de tijd worden gevisualiseerd. De tool is nog in ontwikkeling (www.richwaterworld.nl; in prep.).

4.4 Resumé

'Huidige' situatie

Als na de inrichting van Het Waterrijk het oppervlaktewaterpeil in de peilvakken mag fluctueren (hierbij wordt dan voorbijgegaan aan de randvoorwaarden voor de rietvegetatie en de waterzuivering met de biocascade) zal wel water worden afgevoerd, maar is (bij het huidig klimaat) aanvoer van water alleen in een langdurig droge periode nodig, en dan ook nog alleen in peilvakken waar de toegestane fluctuaties hooguit enkele decimeters is. In het rietmoeras, waar een peilfluctuaties van 50 cm is toegestaan, is in de winter en het voorjaar door neerslag en kwel normaliter voldoende water op het maaiveld opgeslagen om geen water te hoeven aanvoeren.

Kwel overheerst in de peilvakken, maar in de zomer, als het langdurig droog is en het rivierpeil laag, treedt ook steeds meer wegzijging op. Over de periode 1990-1995 zijn de grootste, gemiddelde en laagste hoeveelheden in millimeters per dag:

	Kwel(+)	gemiddeld	wegzijging(-)
Gebied 65	2,3	1,0	-0,7
Gebied 68	1,0	0,4	-0,8
Gebied 69	1,4	0,6	-0,7
Gebied 70	1,9	0,5	-0,4

De kwel/wegzijging is een gemiddelde. Gegeven de variatie in dikte van de afdekkende kleilaag¹¹ (op sommige plekken ontbreekt die zelfs na het afgraven van de bovengrond) zal de kwel/wegzijging in werkelijkheid van plek tot plek fors kunnen verschillen. Het is reëel om te veronderstellen dat de kwel zich vooral in delen van sloten manifesteert die tot in de zandbodem reiken, terwijl in de rest van het perceel dan nauwelijks of geen kwel optreedt.

Situatie in 2050

Gemiddeld neemt bij klimaat W+ in 2050 de neerslag, verdamping en kwel in bescheiden mate toe, de waterafvoer af en zijn de (grond)waterstanden lager. Echter, omdat de verdeling anders en de intensiteit van de neerslag extremer is, fluctueren kwel, waterstanden en afvoer meer. Er wordt een groter beroep gedaan op de buffercapaciteit. Maar juist dankzij die buffercapaciteit kan de grotere waterbehoefte worden opgevangen door een kleinere afvoer. Normaliter hoeft dan nog steeds geen water te worden ingelaten. Dit geldt echter alleen als het peil binnen de randvoorwaarden mag fluctueren. De rietvegetatie in het rietmoeras en de grasvegetatie in de peilvakken van Het Waterrijk komen dan langdurig onder water te staan. Wanneer dat niet wenselijk is, wat zeker voor de peilvakken 65 en 68 met grasvegetaties aannemelijk is aangezien die alleen voor piekberging bestemd zijn, zal wel meer water moeten worden af- en aangevoerd.

De geringe toename van kwel hangt samen met de grondwaterstanden die verder uitzakken dan de stijghoogte van het diepe grondwater, die onder invloed van lagere rivierstanden en een geringere infiltratie ook lager is.

Verwachting

Van de berekeningen van waterbalansen en waterstanden op basis van de weersverwachting (in samenhang met de verwachte rivierstand) zijn het vooral de natte scenario's die de grootste veranderingen laten zien. In vergelijking met een gemiddelde verwachting kan de hoeveelheid neerslag voor een erg natte verwachting vele malen hoger liggen dan gemiddeld.

Voor een advies over het bijsturen van de waterhuishouding met de webapplicatie kan het beste gebruik worden gemaakt van de bergingsverandering en de waterstand (grond- en/of oppervlaktewater). De waterstand levert als een eenvoudige randvoorwaarde voor natuur en andere functies direct een aansprekend inzicht. De bergingsverandering is voor piek- en voorraadberging waardevol, omdat het goed inzicht geeft in de hoeveelheid water die nog beschikbaar is of die nog geborgen kan worden.

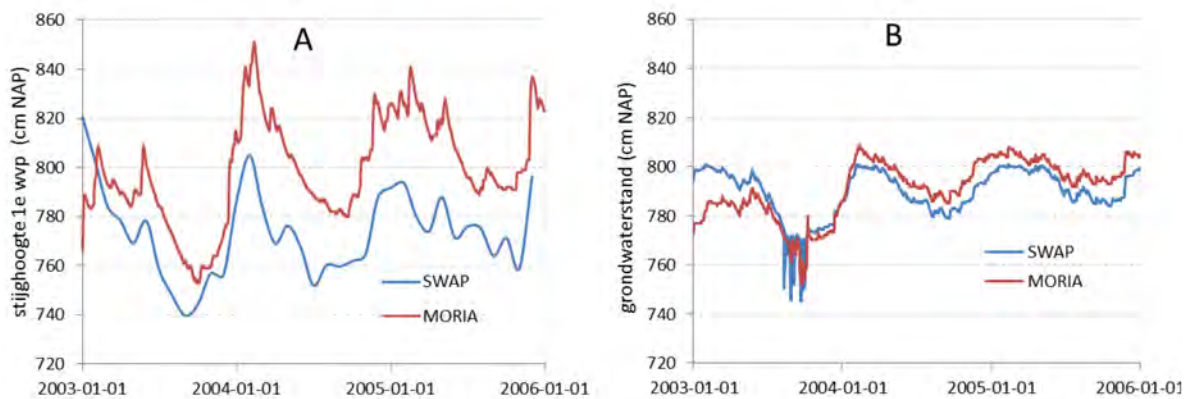
¹¹ In het model wordt met een gemiddelde weerstand van de kleilaag voor een rekencel van 50 x 50 m gerekend.

5 Discussie

SWAP versus MORIA

Voor de stijghoogte van het grondwater in de eerste watervoerende laag zijn voor de SWAP-berekeningen waarnemingen gebruikt van meetbuizen uit de omgeving van de gebieden De Rietzanger en Het Waterrijk. Voor de MORIA-berekeningen zijn de rivierstanden bij Lobith gebruikt. Met de relatie tussen rivierstand en de stijghoogte van het water in het eerste watervoerende pakket in de Betuwe zijn uit het NHI afkomstige gebiedsdekkende stijghoogtekaarten gelinkt aan het rivierpeil. Het gemiddelde verloop van de stijghoogte in het rietmoeras van Het Waterrijk dat hieruit voor de periode 2003-2006 op dagbasis is berekend, staat in Figuur 5.1A. Er staat ook de stijghoogte die in SWAP is gebruikt. Hoewel 2002 als 'inloopjaar' is gebruikt, laten de eerste maanden van 2003 nog een verschillend verloop zien. Daarna is het verloop meer synchroon, zij het dat de stijghoogte met MORIA 15-20 cm hoger is. Afgezien van dit verschil voldoet het gebruik van de rivierstand.

Voor de freatische (grond)waterstand¹² die met SWAP en MORIA is berekend, maakt het verschil in stijghoogte in het eerste watervoerende pakket na de eerste maanden van 2003 weinig uit (Figuur 5.1B). De met MORIA berekende waterstand is enkele centimeters hoger dan die met SWAP berekend is.



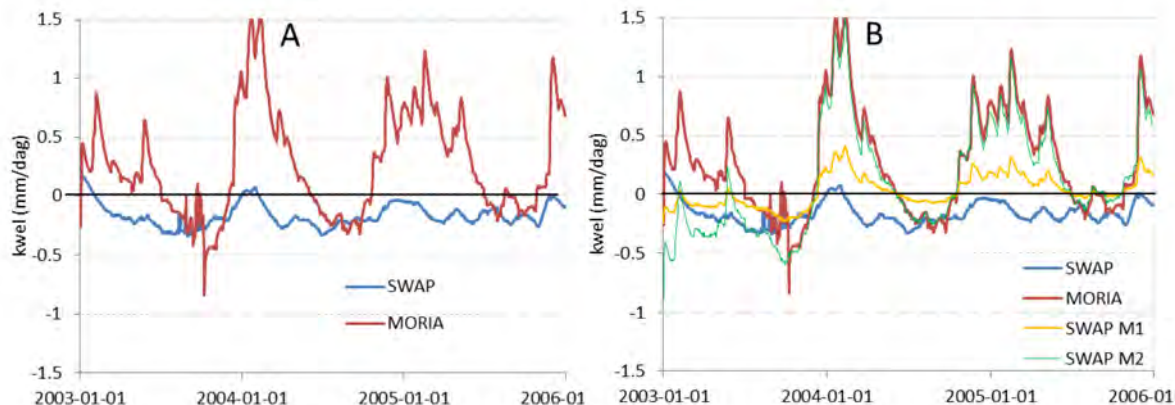
Figuur 5.1 Stijghoogte van het grondwater in de 1^e watervoerende laag zoals die in SWAP en in MORIA is gebruikt (A) en de berekende grondwaterstand (B).

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (h_2) en de grondwaterstand (h_1) zijn bepalend voor de grootte van de kwel. Uit het verschil tussen beide, gedeeld door de weerstand van de deklaag (c), wordt de kwel berekend: $(h_1 - h_2)/c$. Voor de weerstand is voor de SWAP-berekeningen een weerstand van 306 dagen gebruikt. Voor het rietmoeras, waar de weerstand ruimtelijk verschilt, is de weerstand uit het originele MORIA-model evenredig met de afgegraven dikte verminderd. Gemiddeld is de weerstand van het rietmoeras 306 dagen, maar er komen plekken voor waar die hoger of aanzienlijk lager is (en waar de kwel zich dan meer manifesteert). Voor de SWAP-berekeningen is 306 dagen aangehouden. MORIA rekent met de ruimtelijke verschillen (figuren 2.11 en 2.15). De berekende kwel met SWAP verschilt aanzienlijk met de kwel volgens MORIA (Figuur 5.2A). Niet alleen is de kwel met SWAP kleiner, maar ook is de fluctuatie veel minder groot. Als in SWAP de stijghoogte van MORIA uit Figuur 5.1A wordt gebruikt¹³, levert dat een verschil in kwel op van 0,2 mm/dag (Figuur 5.2B, SWAP M1). Het verschil in fluctuatie is het gevolg van de aanname in SWAP dat de

¹² Meestal staat er water op het maaiveld. Alleen in de zomer van het droge jaar 2003 zakt de waterstand volgens beide modellen beneden het maaiveld waarna die, door de kleinere berging, snel verder daalt.

¹³ Gemiddelde van het verschil in 2004 en 2005.

verticale hydraulische weerstand tussen de onderrand van het model en de grondwaterstand is meegenomen. Wanneer deze weerstand niet wordt gebruikt, valt de kwel na begin 2003 goeddeels samen met die in MORIA is berekend. Het verschil in kwel, 0,1 mm/dag (Figuur 5.2B, SWAP M2)¹⁴, is dan verrekend met de drainage.



Figuur 5.2 De met SWAP en MORIA berekende kwel (A) en twee aanvullende berekeningen met SWAP (B).

Het 3D-model MORIA reikt tot 200 m-NAP, waardoor de verticale hydraulische weerstand daar niet aan de orde is. Dat zou ervoor pleiten dat die weerstand in SWAP onderdrukt zou moeten worden. De proefveldmetingen die hierna besproken worden, geven meer inzicht of de verticale weerstand in SWAP wordt overschat dan wel in MORIA wordt onderschat.

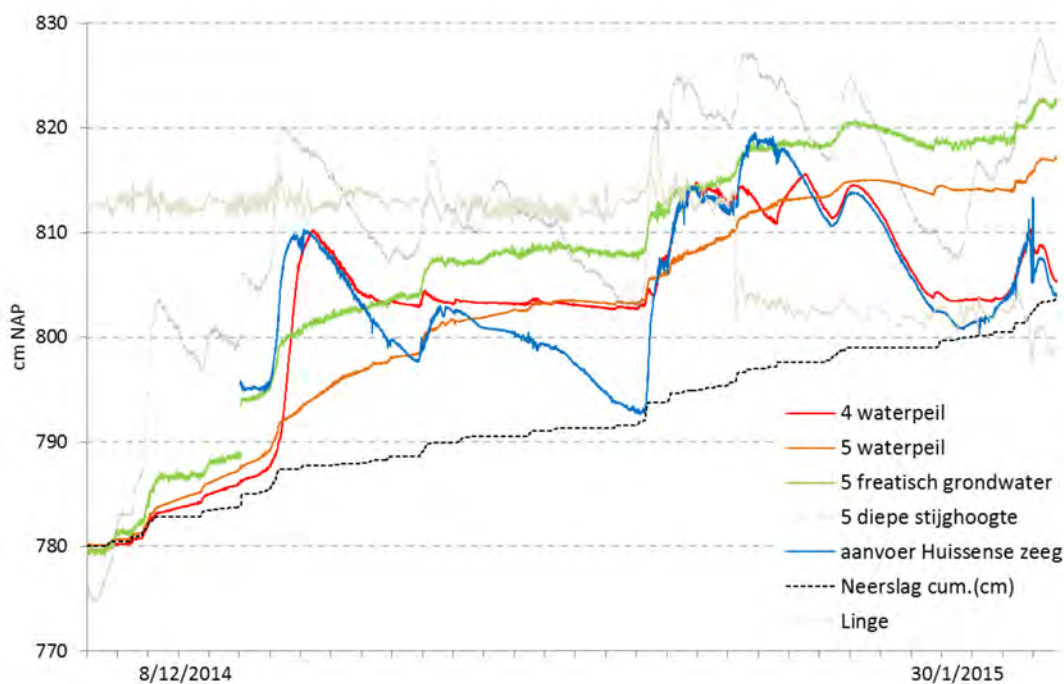
Proefveldmetingen versus MORIA

De metingen in het proefveld beslaan korte perioden van hooguit enkele maanden, omdat de meetreeksen hiaten vertoonden. Volgens de analyse van de metingen varieert de kwel, die als restterm uit de waterbalansen berekend is, tussen 2,8 en -1,1 mm/d (Bijlage 1). Dat is meer dan de modelmatig berekende kwel (Figuur 5.2). De discrepantie die geconstateerd is tussen lokaal gemeten neerslag (die slechts enkele perioden is waargenomen) en die van neerslagstation Arnhem, resulteert daardoor in een even groot verschil in kwel. Om een betere vergelijking te kunnen maken tussen de waarnemingen en berekende uitkomsten, is uit Bijlage 1 de meetreeks van 9 december 2014 tot 30 januari 2015 gekozen. In die periode was er nauwelijks verdamping. Bij aanvang was de waterstand in beide proefvelden (4 en 5) gelijk. De stand van 780 cm+NAP was 10 cm boven maaiveld. De afvoermogelijkheid naar buitenwater is op 9 december voor de rest van de periode afgesloten. Alle automatisch geregistreerde meetresultaten zijn afgebeeld in Figuur 5.3. De neerslag is daarbij cumulatief in centimeters weergegeven, met de 'start' op 9 december 2014 op een niveau van 780 cm, zodat een directe vergelijking met de diverse waterstanden mogelijk is. De resultaten geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- a. De stijghoogte van het diepe grondwater is gecorreleerd aan het peil in de Aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg. In Figuur 5.4 staan de standen die om middernacht zijn geregistreerd. De diepe stijghoogte varieerde van 803 tot 830 cm+NAP en was daarmee in die periode aan de hoge kant (vgl. Bijlage 1). Het peil in de Aanvoerleiding was ca. 10 cm lager. Dat houdt in dat de Aanvoerleiding sterk drainerend werkt op de stijghoogte in de zandondergrond. En omdat de diepe stijghoogte desondanks hoger is dan het waterpeil in beide proefvlakken treedt ook kwel naar het proefvlak op. (NB Er komen ook perioden voor waarin de stijghoogte lager is dan het peil in de Aanvoerleiding en infiltratie + wegzijging optreden.)

¹⁴ Gemiddelde van het verschil in 2004 en 2005 is groter, gemiddeld 0,2 mm/dag.

- b. In proefveld 5 was de neerslaghoeveelheid beduidend minder dan de stijging van het waterpeil. Omdat de verdamping in de winterperiode minimaal was, komt het verschil tussen de stijging van het peil en de hoeveelheid neerslag door kwel. Op 30 januari was in het proefveld het verschil opgelopen tot ruim 13 cm, wat neerkomt op een kwel van ruim 4 mm/d. Het gemiddelde verschil tussen de diepe stijghoogte en het waterpeil bedroeg een kleine 9,2 cm. Dat levert een weerstand van de deklaag op van 22 dagen. In H2, paragraaf 2.2.2 werd een weerstand van minder dan 25 dagen berekend voor alleen de delen waar de deklaag na afgraven van de bovenlaag dun is.
- c. In proefveld 4 komt de hoeveelheid neerslag op 30 januari, het einde van de periode, overeen met de stijging van het waterpeil, maar in de veertien dagen daarvoor zijn sterke wisselingen in het waterpeil opgetreden. Tussen 19 en 21 december is het waterpeil 157 mm gestegen zonder dat er neerslag is gevallen en aanvoer via de duiker mogelijk was. Dat betekent dat de aanvulling met bijna 80 mm/d via de zandondergrond moet zijn verlopen. Bij een niveau boven 803 cm+ volgt het de waterstand in de Aanvoerleiding¹⁵. Dat kan alleen als de drainageweerstand van de Aanvoerleiding en de weerstand van de afdekkende kleilaag in proefveld 4 minimaal zijn.
- d. Bij een lager peil in de Aanvoerleiding blijft het peil in het proefvlak rond de 803 cm+NAP steken. Opvallend is de afwijking op 13 januari 2015, toen het peil in de Aanvoerleiding nog steeds steeg het peil in proefveld 4 een paar dagen achtereen daalde, hetgeen samenviel met een verlaging van het Lingepeil met 10 cm.
- e. De freatische grondwaterstand kwam de eerste vijf dagen vrij goed overeen met het waterpeil in proefveld 5. Na een onderbreking was de freatische grondwaterstand 5 cm hoger, maar was het verloop wel identiek ($r^2=0,99$).¹⁶



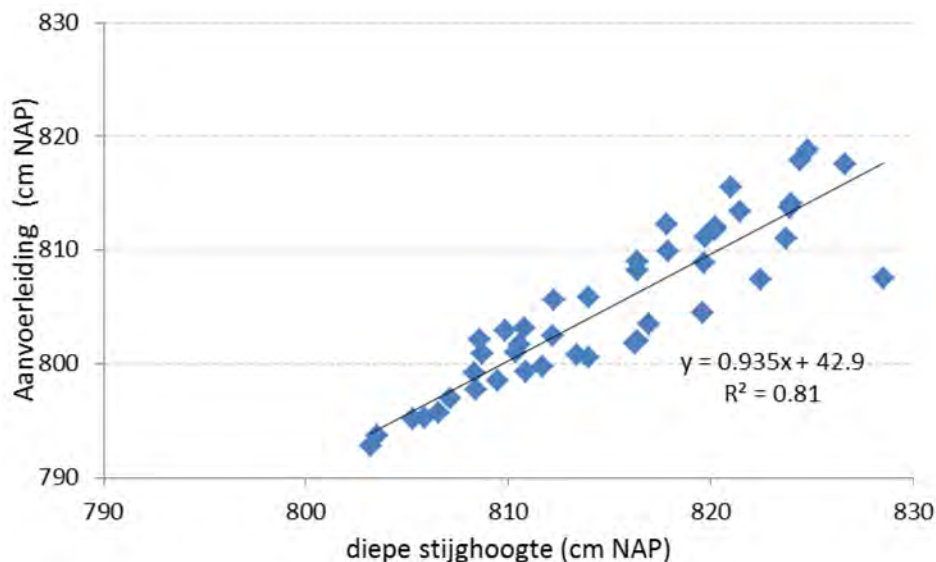
Figuur 5.3 Geregistreeerde waterstanden en neerslag in de proefvelden 4 en 5 van 8 december 2014 tot 30 januari 2015. Op 8 december is de open verbinding tussen de Aanvoerleiding en de proefvelden 4 en 5 afgesloten.

¹⁵ Het drempelniveau van 803 cm+ waarop een dalend peil terugvalt, zou kunnen samenhangen met een kortsluiting tussen het proefvlak en de Aanvoerleiding boven dit niveau, maar in latere perioden komen ook andere drempelniveaus voor. Het peil in de Aanvoerleiding volgt de diepe stijghoogte. Het meest waarschijnlijk is dat in deze periode de waarneming onjuist is geweest.

¹⁶ Afgezien van de conclusie in Bijlage 1 dat de filterstelling van de freatische buis onjuist is, is het raadzaam om ook de omrekening van de gegevens van de datalogger te controleren.

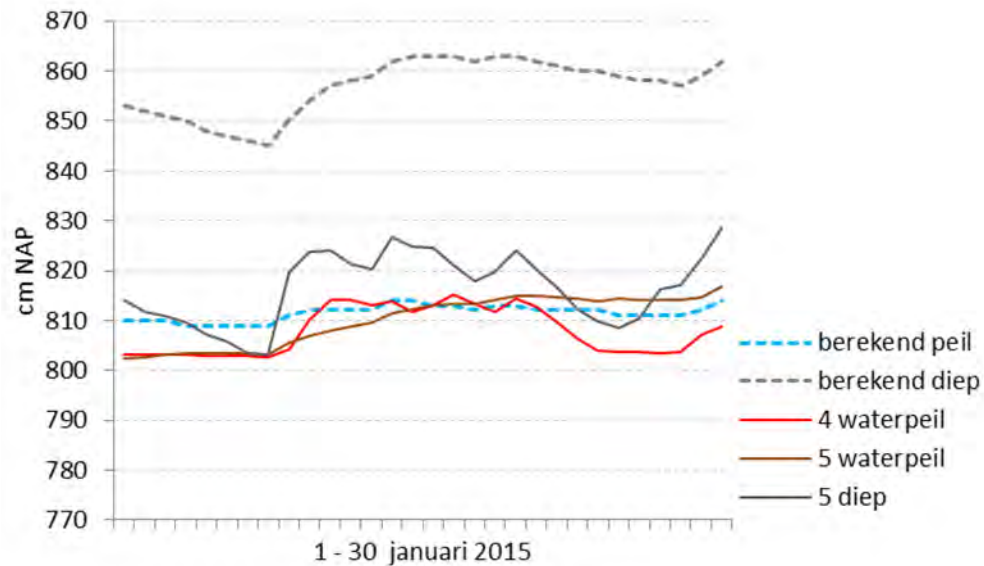
Voor de berekeningen die voor deze periode met MORIA zijn gedaan, zijn neerslaggegevens van het KNMI-station Arnhem gebruikt en voor de verdamping gegevens van station Herwijnen. Bij de berekening kon geen rekening worden gehouden met de uitgangssituatie op 8 december 2014 toen de open verbinding met het buitenwater werd afgesloten. Daarom zijn in Figuur 5.5 berekende en gemeten standen voor de laatste maand, januari 2015, met elkaar vergeleken. Aangenomen is dat de waterstanden in het proefveld toen gestabiliseerd waren. Het berekende waterpeil is, net als de gemeten peilen in de proefvelden 4 en 5, ook boven maaiveld. Hoewel het verloop wat vlakker is dan het peil in proefveld 5, komt het er wel goed mee overeen. In de schematisatie is verondersteld dat er in het hele gebied 70 een weerstand biedend kleidek aanwezig is. Op grond van Figuur 5.3 zou dat wel bij proefveld 5, maar niet bij proefveld 4 het geval zijn. De overeenkomst tussen het berekende peil en dat in proefveld 4 is beduidend minder goed.

Wat het meest opvalt in Figuur 5.5 is het grote verschil tussen de berekende diepe stijghoogte (die indirect is afgeleid uit de stand van de Rijn bij Lobith, zie H2, paragraaf 2.2.2 en de gemeten stijghoogte in de zandlaag onder het kleidek in proefveld 5. Het verschil bedraagt ongeveer 40 cm¹⁷. In grote lijnen is er overeenkomst in de dynamiek ($r^2=0,52$), maar het gemeten peil conformeert zich ook sterk aan het peil in de Aanvoerleiding van de Huissense zeeg (fig. 5.3). Gezien de gemeten stijghoogtes in de omgeving van Het Waterrijk is de berekende diepe stijghoogte niet opvallend hoog.



Figuur 5.4 Verband tussen de stijghoogte van het diepe grondwater en het peil in de Aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg.

¹⁷ In Figuur 5.1 werd een verschil van 20 cm geconstateerd.



Figuur 5.5 Gemeten en berekende waterstanden in de periode 1-30 januari 2015.

Op grond van de vergelijking van de metingen onderling en van de metingen met de berekende waterstanden kunnen de conclusies en opmerkingen in voorgaande hoofdstukken en in Bijlage 1 worden verfijnd. Door de variatie in de dikte van de afdekkende kleilaag en de heterogene opbouw van de ondergrond, komen er op korte afstand grote verschillen in hydrologie voor die niet in het MORIA-model gemodelleerd kunnen worden, maar evenmin afdoende via een uitgebreide inventarisatie in kaart gebracht kunnen worden. De verschillen in metingen tussen de proefvelden 4 en 5, de invloed van het polderpeil en de diepe stijghoogte in proefveld 5 laten zien dat de meetgegevens niet zonder een kritische analyse geschikt zijn om de modeluitkomsten aan te toetsen. Voor het model is een juiste inschatting belangrijk van weerstanden en doorlatendheden die representatieve gemiddelden zijn voor de peilvakken. Zeker voor het rietmoeras waar, na afgraving, op meerdere plekken de zandondergrond aan de oppervlakte zal komen, is dat op voorhand lastig in te schatten. Na de inrichting van Het Waterrijk kan dat per peileenheid verbeterd worden aan de hand van gerichte metingen van waterinlaat, neerslag en afvoer. Vooralsnog zijn de gebruikte weerstanden acceptabel.

Literatuur

Aelmans F.G., 1981.

Grondwaterkaart van Nederland. Kaartblad Arnhem 40 West. Delft, DGV-TNO.

Cohen K.M., E. Stouthamer, W.Z. Hoek. H.J.A. Berendsen en H.F.J. Kempen, 2009.

Zand in Banen – Zanddiepte kaarten van het Rivierengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel. Arnhem.

Deltares, 2008.

Grondwatermodellering Rivierenland. MORIA. Deltares/TNO rapport 2008-U-R0827/A.

Grootjans P., 1984.

De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland. Delft/Arnhem, DGV-TNO/Dienst Waterbeheer Provincie Gelderland.

<https://data.knmi.nl/portal/KNMI-DataCentre.html#>

Linden Wim van der, Wilbert Berendrecht, Gerrit Hendriksen, Ab Veldhuizen, Harry Massop. Arnout

Heuver, Willem Jan Zaadnoordijk, Vera Lagendijk, Rob de Groot en Jan van de Braak, 2008.

Grondwatermodellering Rivierenland. MORIA: Modelling Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel. Utrecht, Deltares/TNO-rapport 2008-U-R0827/A.

Kloosterman F.H., 1993.

De Landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelgebied Midden-Nederland.

Massop, H.Th.L., 2014.

Watersysteembeschrijving Overbetuwe. Alterra Wageningen UR, rapport 2531.

Walsum, P.E.V. van, 2013. SIMGRO V7.2.16. Input and output reference manual. Alterra Wageningen

UR, rapport 913.3.

WWW.Deltares.nl Runfile description iMODFLOW version v2.6

www.richwaterworld.com

Bijlage 1 Analyse van meetgegevens in en rond het proefveld

In deze Bijlage worden de metingen geanalyseerd van de proefvelden 4 en 5 die in het zuidoosten van Het Waterrijk zijn aangelegd (Figuur 2.4). De gegevens zijn verzameld in de periode 31 januari 2014-medio juli 2015. Daarnaast zijn waarnemingen van stijghoogtes van diep grondwater door TNO (www.dinoloket.nl) en rivierstanden (www.rijkswaterstaat.nl) opgevraagd.

De proefvelden staan via een duiker in verbinding met naastliggend oppervlaktewater. Via een opzetstuk op de duiker kan de aan- of afvoer naar het proefveld tot op zekere hoogte worden geregeld. De hoeveelheid uit-/instromend water wordt niet geregistreerd. Gedurende een deel van het jaar staat er water boven maaiveld dat een hoogte heeft van ongeveer 7,70 m+NAP. In de zomer kan de waterstand beneden maaiveld uitzakken. In de beide proefvelden worden de volgende hydrologische parameters gemeten:

Proefveld 4: oppervlaktewaterpeil
Proefveld 5: oppervlaktewaterpeil
grondwaterstand
diepe stijghoogte (onder de deklaag)
neerslag

Aanvullend op deze metingen worden de peilen in de aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg en de Linge waargenomen (Figuur 2.4). De gemeten data staan online: <http://groundwatercare.eijkkelkamp.com/login/?app=Waterrijk>

B1.1 Rivierstanden

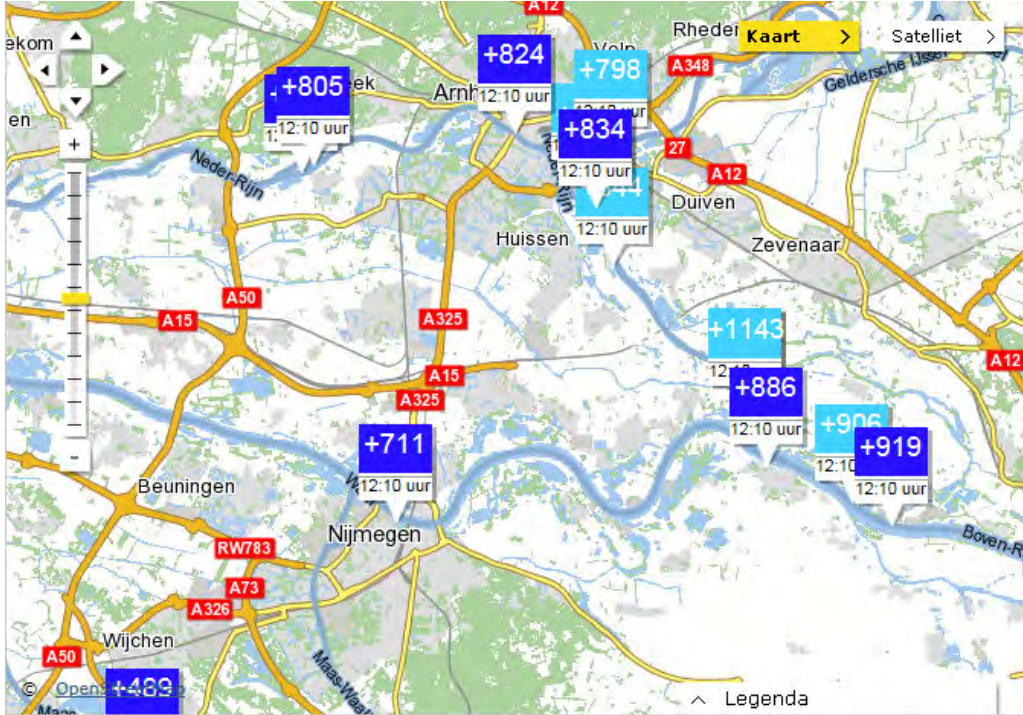
Voor het modelgebied van het MORIA-model en voor de proefvelden zijn de rivierstanden in Nederrijn, Waal en Linge en de polderpeilen in de Overbetuwe van belang. De Kop van de Betuwe is omgeven door de rivieren Waal, Pannerdens kanaal en Nederrijn. Deze rivieren snijden ter plaatse diep in de zandbodem en staan zo in contact met het bovenste watervoerende pakket. Op drie locaties worden oppervlaktewaterstanden gemeten die relevant zijn voor de Kop van de Betuwe: Pannerdense kop, IJsselkop en Nijmegen Haven. In Figuur B1.1 staan als voorbeeld de standen op 22-6-2015 12.10 uur. De Linge bestaat uit meerdere stuwpanden. Bij pand 1 kan water uit het Pannerdens kanaal worden ingelaten. Lingepand 4, direct ten oosten van de A325, grenst aan de oostelijke helft van Het Waterrijk met de proefvelden. Het heeft een (zomer)aanvoerpeil van 8,20 m + NAP en een (winter)afvoerpeil van 8,00 m+NAP. Het polderpeil in de oostelijke helft van Het Waterrijk bedraagt 7,70 m+NAP.

In Figuur B1.2 zijn de gemeten waterhoogtes van de rivieren, evenals de beschikbare metingen van het Lingepeil en de aanvoerleiding naar de Huissense zeeg, weergegeven. De standen worden meerdere keren per dag gemeten. Voor het samenstellen van Figuur B1.2 zijn de standen van 12.00 uur gebruikt. Voor zowel het Lingepeil als het peil in de aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg zijn in 2015 voor twee perioden waterpeilen beschikbaar.

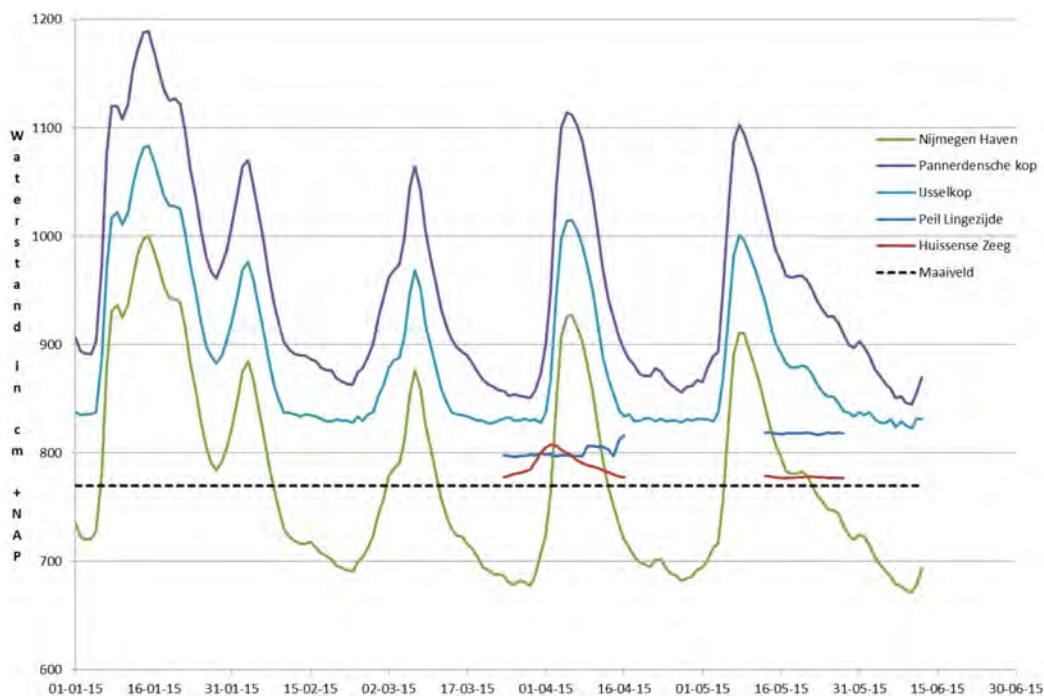
In Figuur B1.2 is het maaiveld in proefvelden aangegeven (7,70 m+NAP). Alleen de Waal bij Nijmegen daalt daar beneden. Gedurende de eerste helft van 2015 vertonen de waterstanden op drie meetpunten in de grote rivieren, met uitzondering van perioden met relatief laag water, hetzelfde verloop, alleen op verschillende niveaus. Bij meetpunt IJsselkop zien we bij relatief laagwater een afvlakking, nabij 8.30 m+NAP, op de momenten dat de andere twee meetpunten nog verder uitzakken. Mogelijk wordt deze afvlakking beïnvloed door de stuw te Driel.

Voor het meetpunt in de Linge zijn voor twee perioden waterstanden beschikbaar. Tot 14 april is de waterstand ca. 8,00 m+NAP. Rond half april is het zomerpeil ingesteld. De waterstand loopt op richting de 8,20 m+NAP. In de periode 13 mei tot en met 28 mei is de waterstand in de Linge ca. 8,18 m+NAP. Deze standen komen goed overeen met de nagestreefde peilen.

De aanvoerleiding naar de de Huissense Zeeg maakt deel uit van het poldersysteem. Het peil bedraagt aan het begin en het eind van de eerste meetperiode 7,78 m+NAP. In de tussenliggende periode loopt het peil op naar maximaal 8,07 m+NAP en is gedurende korte tijd zelfs hoger dan het peil in Lingepand 4. In de periode 13 mei tot en met 28 mei is de waterstand vrij constant, met een waarde van 7,77 m+NAP. Deze waterstanden zijn hoger dan de bodem van de beide meetbakken. De bodem van de Linge maakt naar alle waarschijnlijkheid contact met het watervoerende pakket. Voor de bodem van de Aanvoerleiding naar de Huissense Zeeg is dit minder duidelijk.



Figuur B1.1 Locaties waar rivierstanden worden waargenomen (<http://live.waterbase.nl/>).



Figuur B1.2 Oppervlaktewaterpeilen in de omgeving van Park Lingezegen.

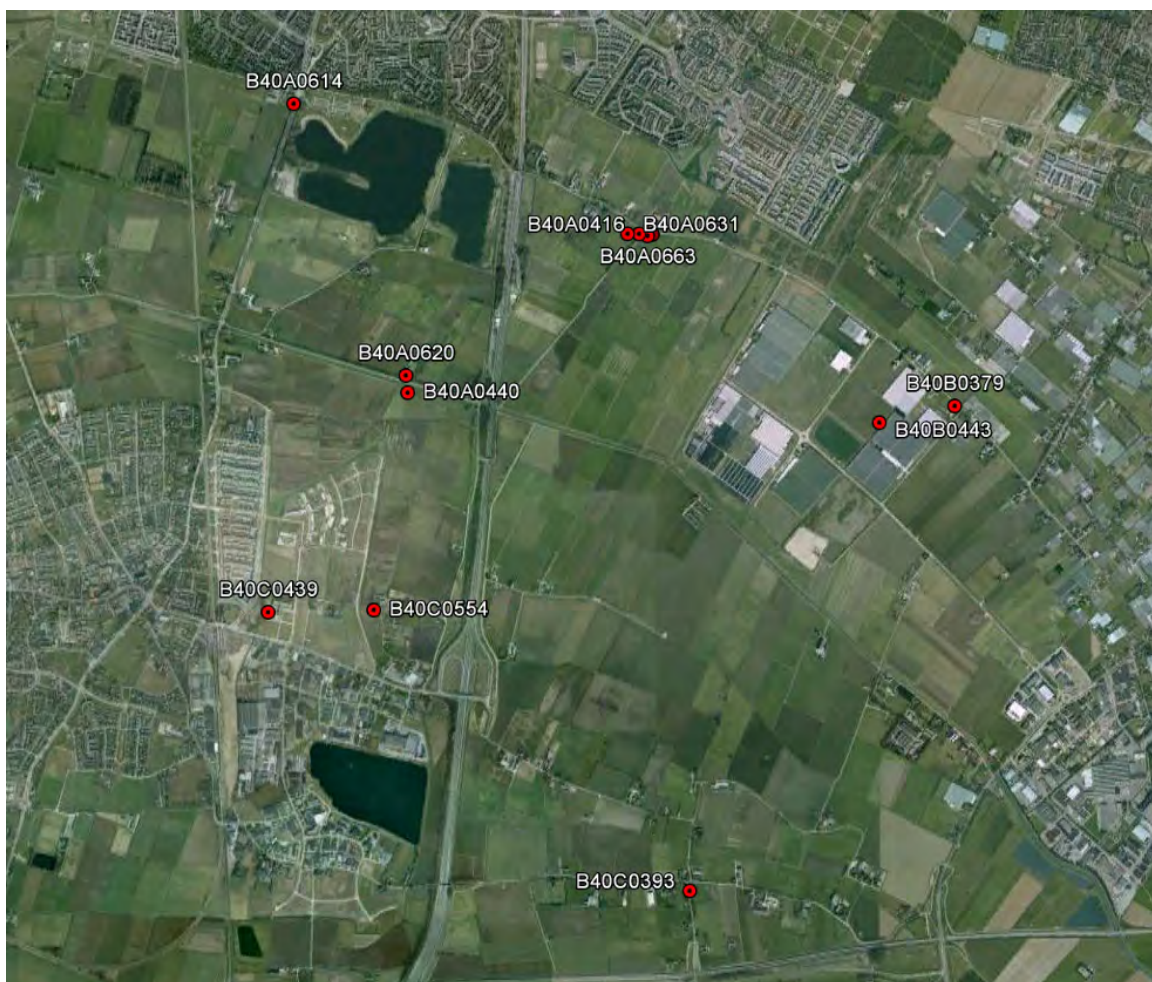
B1.2 Stijghoogte in de watervoerende laag

Het verschil tussen de stijghoogte van het grondwater in het bovenste watervoerende pakket en de freatische grondwaterstand bepaalt of er sprake is van kwel of van wegzijging. In de omgeving van Het Waterrijk bevinden zich enkele peilbuizen met meerdere filters op verschillende dieptes (Figuur B1.3). De metingen worden met een zekere vertraging gecontroleerd en ingevoerd in de database (DINO) van TNO-grondwater. De beschikbare meetreeksen eindigen meestal medio 2013. In Figuur B1.4 zijn de stijghoogtes in het eerste watervoerend pakket van 4 locaties over de periode 2010-medio 2013 weergegeven. De tijdsafhankelijke gegevens van de buizen staan in Tabel B1.1. Omdat de rivieren tot in de zandlaag reiken, bestaat er mogelijk een correlatie tussen de stijghoogte in het watervoerende pakket in de Overbetuwe en het waterpeil in de grote rivieren.

In zwart is in Figuur B1.4 het maaiveld ter plaatse van proefveld 4 en 5 weergegeven. De benedenstrooms gelegen Buis B40A0439-1 zakt in de zomer van 2010 nauwelijks onder het niveau van 7,70 +NAP. In de zomer van 2011 zakt de stijghoogte wel langere tijd onder de 7,70 m+NAP en in de winter komt die nauwelijks meer boven het niveau van 7,70 m+NAP. Ook gedurende bijna geheel 2012 is het niveau onder de 7,70 m+NAP gebleven.

Verder zien we een verschil in gemeten waterstand ontstaan tussen B40A0663 en B40A0439 (Figuur B1.5), aanvankelijk vallen de waarnemingen over elkaar. Vanaf begin 2011 gaan de gemeten waterstanden verschillen. De stijghoogte in B40A0663 blijft meestal boven het niveau van 7,70 m+NAP, terwijl B40A0439 om onverklaarbare reden duidelijk dieper uitzakt. Dit uit zich in een slechte correlatie tussen beide buizen. De correlatie tussen B40A0663 en B40B0379-1 en B40A0663 en B40B0443-1 is duidelijk hoger.

De stijghoogtes in de bovenstrooms gelegen buizen B40B0379-1 en B40B0443-1 blijven praktisch altijd boven het niveau van 7,70 m+NAP (Figuur B1.6). Aanvankelijk zien we een verschil in stijghoogte tussen B40B0379 en B40B0443. Vanaf begin 2011 is er nauwelijks meer sprake van een verschil in stijghoogte. Wat opvalt, is dat het stijghoogteverloop in de beschouwde periode kan worden opgesplitst in twee perioden, met een omslag omstreeks begin 2011. Er is vooralsnog geen verklaring voor het verschil.

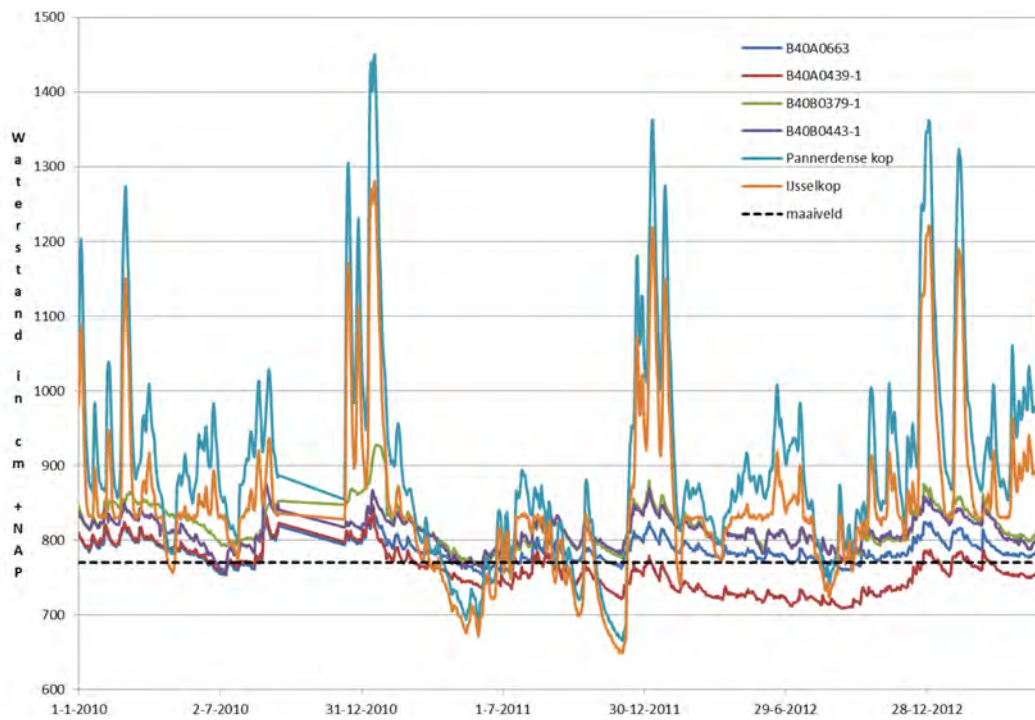


Figuur B1.3 Locatie diepe buizen.

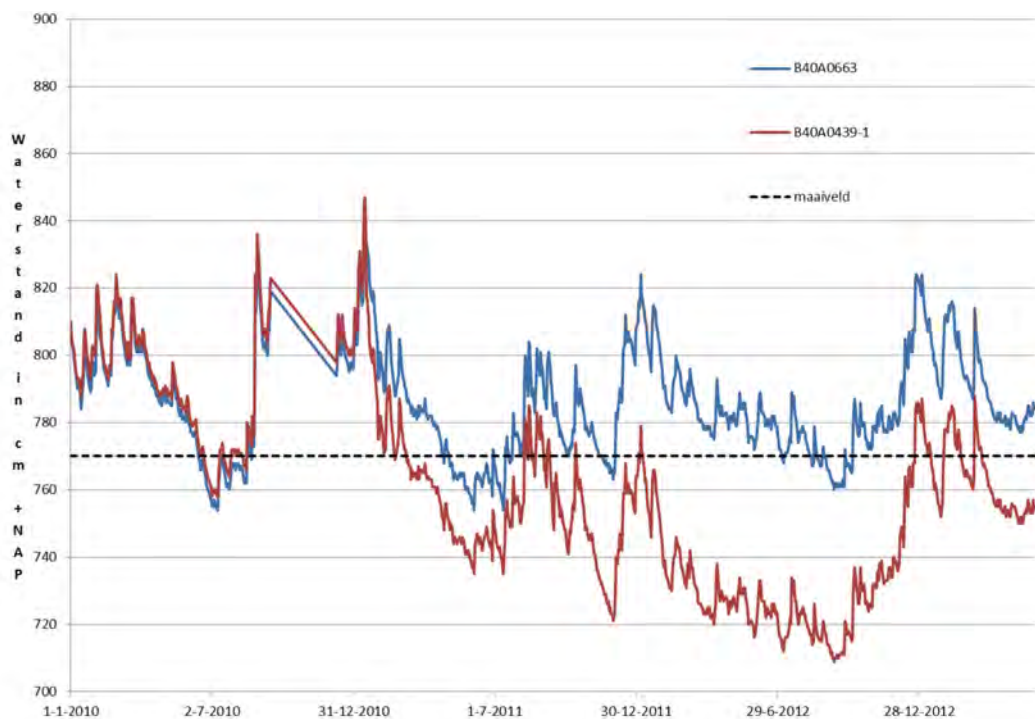
Tabel B1.1

Geselecteerde filters.

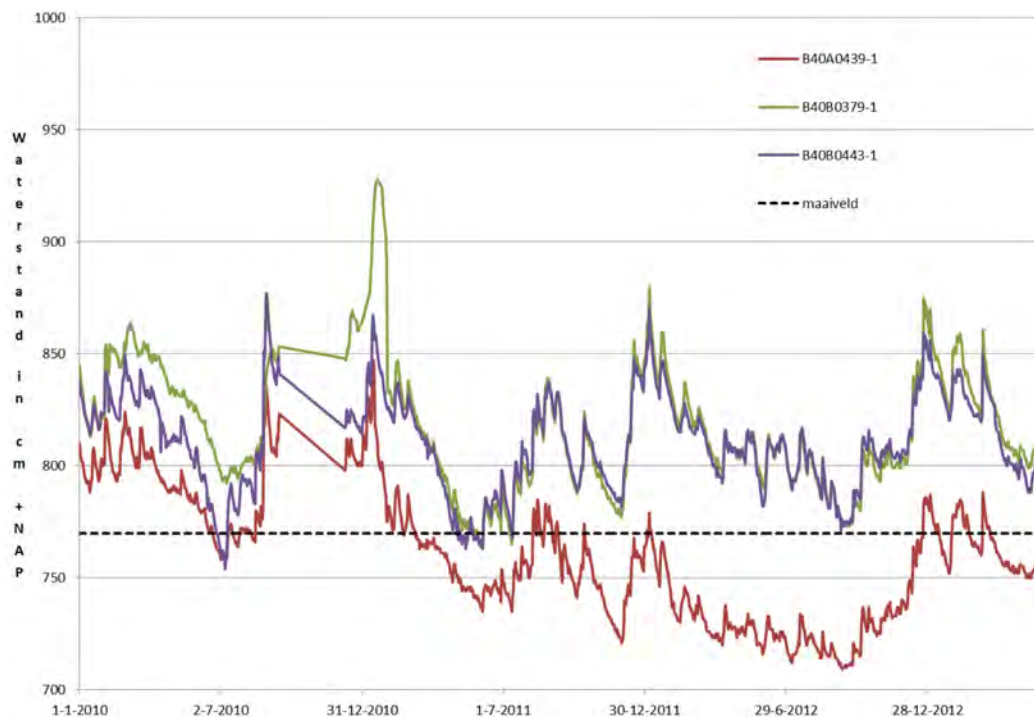
Locatie	Filter- nummer	Externe aanduiding	X-coördinaat	Y- coördinaat	Maai- veld	Meetpunt	Bovenkant filter		Onderkant filter		Afstand proefveld (m)
							----- cm t.o.v. NAP) -----				
B40A0663	1	40AL0416	189455	438730	871	934	634	534			1034
B40A0439	1	40AP0439	189481	438738	885	871	181	81			1040
B40B0379	1	40BP0379	191075	437850	941	1006	336	136			1532
B40B0443	1	40BP0443	190680	437760	889	966	376	276			1130



Figuur B1.4 Diepe stijghoogte in de omgeving van Waterrijk en waterstanden bij Pannerdense kop en IJsselkop.



Figuur B1.5 Gemeten stijghoogtes ten westen van Waterrijk op locatie B40A0663 en B40A0439.



Figuur B1.6 Gemeten stijghoogtes ten oosten van Waterrijk op locatie B40B0379 en B40B0443 en ten westen op locatie B40A0439.

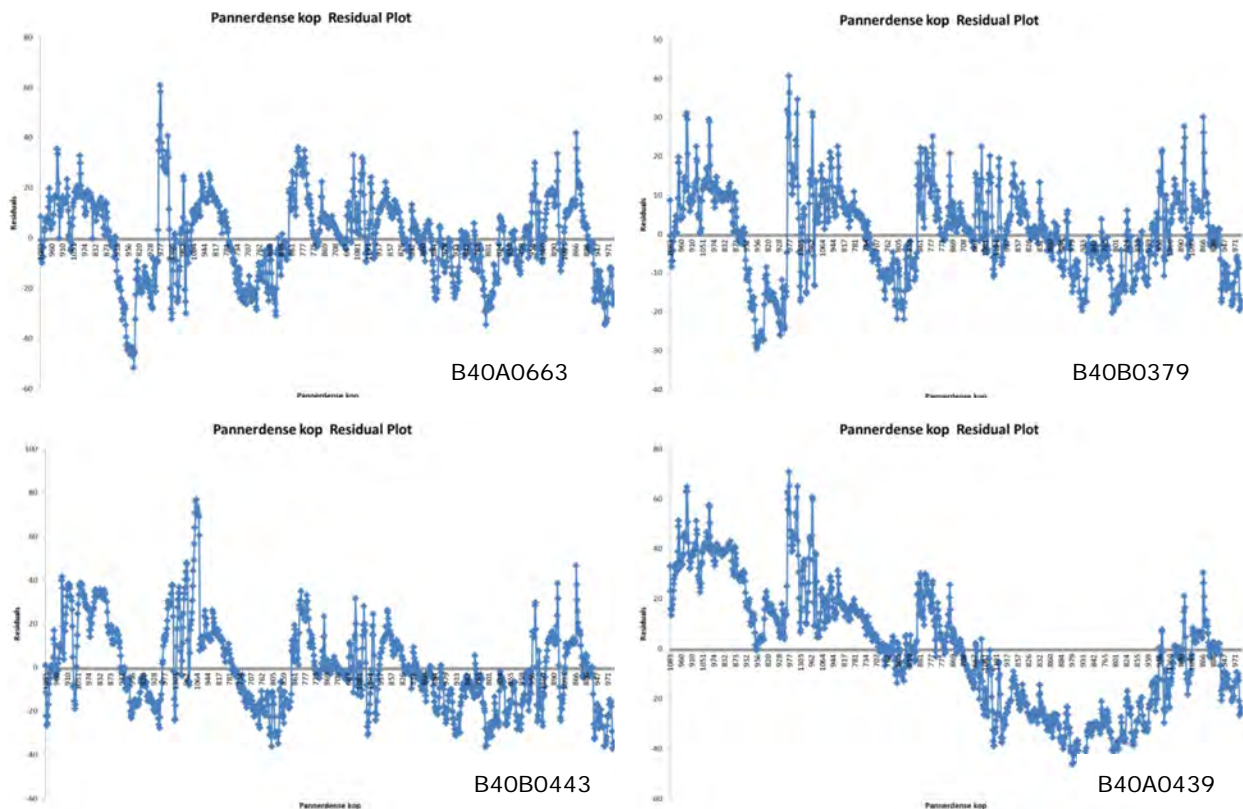
De locaties van de beide proefvelden zijn gelegen op ca. 1000 m van B40A0439-1 en ruim 1500 m van B40B0379-1. Als het huidige stijghoogteverloop zich in de range van de periode 2011-2013 manifesteert, komen er perioden voor waarin de stijghoogte beneden het maaiveldniveau van 7,70 m+NAP wegzakt en kunnen er perioden met kwel en wegzijging optreden.

Tabel B1.2

Correlatie tussen enkele diepe peilfilters en waterstanden in Pannerdens kanaal en IJsselkop.

	B40A0663	B40A0439-1	B40B0379-1	B40B0443-1	Pannerdens e kop	IJsselkop
B40A0663	1					
B40A0439-1	0.672	1				
B40B0379-1	0.914	0.740	1			
B40B0443-1	0.958	0.600	0.870	1		
Pannerdense kop	0.707	0.472	0.728	0.655	1	
IJsselkop	0.702	0.457	0.722	0.649	0.994	1

In Tabel B1.2 staan de correlaties tussen Pannerdense kop, de IJsselkop en de verschillende peilbuizen. De residuele afwijkingen tussen de voorspelde waterstand op basis van de Pannerdense kop en de gemeten waterstand zijn uitgezet in de tijd (Figuur B1.7). Voor B40A0663, B40B0379 en B40B0443 zien we een seizoeneffect, terwijl voor B40A0439 voor de residuele afwijkingen twee perioden zijn te onderscheiden. In de eerste periode vallen de afwijkingen positief uit en in de tweede periode negatief. Als het peil van de Pannerdense kop wordt gebruikt om de waterstand in buis B40B0379 te voorspellen, is de standard error 19,2 cm.



Figuur B1.7 Residuele afwijkingen tussen de voorspelde waterstand op basis van Pannerdensedijk en de gemeten waterstand in de tijd.

B1.3 Waterstanden in het proefgebied

In proefveld 4 en 5 worden de stijghoogtes van het grondwater in de watervoerende laag onder de afdekkende kleilaag gemeten, evenals grond- en oppervlaktewaterstanden. Gedurende een groot deel van het jaar staat in proefveld 4 en 5 water op het maaiveld. Om de hoogte van de waterstand te kunnen meten, is in beide proefvelden een oppervlaktewatermeetpunt ingericht. Daarnaast zijn in proefveld 5 twee filters geplaatst om zowel de freatische grondwaterstand als de stijghoogte in het watervoerend pakket te kunnen meten. In Tabel B1.3 staan de gegevens van de 4 meetpunten.

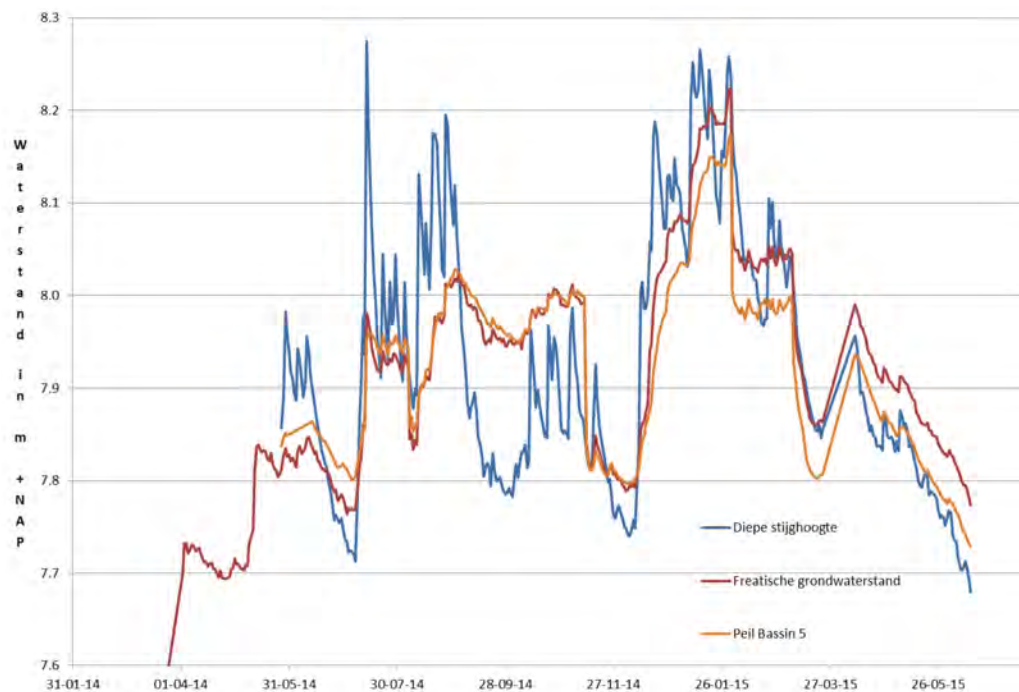
Tabel B1.3

Gegevens van de vier meetpunten in proefveld 4 en 5.

	Waterpeil proefveld 4	Freatisch peil proef-veld 5	Diepe stijghoogte proefveld 5	Waterpeil proefveld 5 (cm NAP)
Proefveldnummer	4	5	5	5
Maaiveld (m+NAP)	7,70 m+NAP	7,70 m+NAP	7,70 m+NAP	7,70 m+NAP
Bovenkant peilbuis (m+NAP)		8,47 m+NAP	8,39 m+NAP	
Filterlengte (m)		0,61 m *)	0,93 m *)	
Onderkant filter (m+NAP)		6,02 m+NAP	4,01 m+NAP	
Start metingen	3-7-2014	31-1-2014	27-5-2014	27-5-2014
Aantal metingen t/m 22-6-2015	331	449	375	362

*) gemeten lengte; volgens opgave van Eijkelkamp die de buizen geplaatst heeft, is de filterlengte 1 m.

De waterstanden worden met drukopnemers die in de meetbuizen hangen, geregistreerd. De eerste metingen dateren van 31 januari 2014. Voor deze analyse zijn de metingen verzameld tot en met 22 juni 2015. De meetperiode telt 508 meetdagen. De beschikbare waterstandreeksen zijn echter korter, omdat drukopnemers gedurende kortere of langere tijd zijn uitgevallen. In Figuur B1.8 zijn de metingen in proefveld 5 grafisch weergegeven.



Figuur B1.8 Gemeten diepe stijghoogte, freatische grondwaterstand en peil in proefveld 5.

Uit Figuur B1.8 blijkt dat de freatische grondwaterstand aanvankelijk dieper is dan het oppervlaktewaterpeil in proefveld 5. Begin 2015 zien we een omslag en ligt de freatische grondwaterstand duidelijk boven het peil in het proefveld. Verder verschilt de diepe stijghoogte duidelijk van het waterpeil in het proefveld. De diepe stijghoogte vertoont aanvankelijk een verloop met sterke pieken. Vanaf 2015 zijn de pieken minder groot. In natte situaties stijgt de diepe stijghoogte boven het peil in het proefveld (kwel), terwijl in drogere perioden de diepe stijghoogte vaak uitzakt tot onder het waterpeil in het proefveld (wegzijging).

Voor 331 van de 508 dagen waren voor alle vier meetlocaties waterstanden beschikbaar. De statistieken daarvan zijn weergegeven in Tabel B1.4. De gemiddelde hoogte voor de vier meetpunten varieert tussen 7,907 en 7,946 m+NAP. De mediaan voor beide oppervlaktewaterpeilen en de freatische grondwaterstand zijn praktisch gelijk aan elkaar, terwijl de diepe stijghoogte ca. 5 cm lager is. Als het referentieniveau correct is, duidt dit op een gemiddelde wegzijgingssituatie.

De fluctuatie in de waterstanden is voor freatische grondwaterstandbuis en het peil in proefveld 5 beide ca. 46 cm. Voor diepe stijghoogte is de fluctuatie groter, namelijk 62 cm. Het peil in proefveld 4 zit daar met 54 cm tussenin.

Tabel B1.4

Statistieken voor vier meetpunten in proefvelden 4 en 5 voor 331 dagen van de periode 31/1/2014 tot 22/6/2015.

	Diepe stijg- hoogte proefveld 5	Freatische grondwater- stand proefveld 5	Peil proefveld 4	Peil proefveld 5
Mean	7.931	7.946	7.907	7.922
Standard Error	0.008	0.006	0.007	0.006
Median	7.900	7.946	7.952	7.949
Standard Deviation	0.146	0.107	0.119	0.103
Range	0.616	0.464	0.542	0.457
Minimum	7.659	7.760	7.605	7.717
Maximum	8.275	8.224	8.147	8.174
Count	331	331	331	331
Confidence Level (95.0%)	0.016	0.012	0.013	0.011

Tabel B1.5

Correlatiecoëfficiënten tussen vier meetpunten in proefvelden 4 en 5 voor 331 dagen van de periode 31/1/2014 tot 22/6/2015.

	Grwpeil diepvak 5 (cm NAP)	Grwpeil freat vak 5 (cm NAP)	Peilvak 4- referentie	Peilvak 5 –meteo (cm NAP)
Grwpeil diepvak 5 (cm NAP)	1			
Grwpeil freat vak 5 (cm NAP)	0.819	1		
Peilvak 4- referentie	0.785	0.863	1	
Peilvak 5 – meteo (cm NAP)	0.782	0.959	0.936	1

De peilen in proefveld 4 en 5 hebben met 0,936 een hoge correlatie (Tabel B1.5). Ook heeft de freatische buis in proefveld 5 een hoge correlatie met de oppervlaktewaterpeilen in proefveld 4 en 5. De laagste correlatie wordt gevonden tussen de diepe stijghoogte en de waterpeilen in beide proefvelden.

Omdat de waterstand gedurende de meetperiode voortdurend boven maaiveld heeft gestaan, zou de freatische grondwaterstand gelijk moeten zijn aan het peil in proefveld 5 met een correlatie van tegen de 1. Volgens de filterstelling¹⁸ loopt het filter niet door tot aan het maaiveld. Daardoor is er een weerstand tussen de gemeten freatische grondwaterstand en het waterpeil in het proefveld. De gemeten freatische grondwaterstand komt in dit geval dus niet overeen met de werkelijke freatische grondwaterstand.

De residuen van de regressieberekening tussen enerzijds de freatische grondwaterstandsbuis in proefveld 5 en anderzijds het diepe grondwaterpeil en de peilen in proefveld 4 en 5, laten alle een sprong zien op 17 december 2014. De oorzaak van de sprong valt niet te achterhalen. Daarom is een nieuwe selectie gemaakt van de data voor het tijdvak 17-12-2014 tot en met 22-6-2015 en is dezelfde analyse uitgevoerd (Tabel B1.6 en B1.7). De fluctuatie van het waterpeil en de freatische grondwaterstand in proefveld 5 zijn ongeveer gelijk, maar bijna 10 cm geringer dan het peil in proefveld 4. Dat de fluctuatie in proefveld 4 groter is, komt doordat de waterstand daalt tot beneden het gemiddelde maaiveld van 7,70 m+NAP, namelijk tot 7,60 m+NAP. En omdat de bergingscoëfficiënt in de bodem geringer (enkele procenten) is dan boven maaiveld (100 procent) zal, zodra de bodem droogvalt, de grondwaterstand snel dalen. In proefveld 5 is op 22-6-2015 de waterstand nog niet gezakt tot beneden het niveau van 7,70 m NAP. De diepe grondwaterstand laat een grotere fluctuatie zien van ruim 60 cm. Het gemiddelde en de mediaan van zowel de grondwaterstand als de stijghoogte zijn hoger zijn dan het gemeten waterpeil in het proefveld. Dit duidt op een gemiddelde kwelsituatie. In de freatische grondwaterstandsbuis wordt een waterstand

¹⁸ Filterstelling freatische buizen 1.07- 1,68 m-mv
Filterstelling diepe buis 2.75- 3,68 m-mv

verwacht tussen de diepe stijghoogte en het waterpeil in het proefveld. We vinden echter een onverklaarbare waterstand die hoger is.

Tabel B1.6

Statistieken voor vier meetpunten in proefvelden 4 en 5 voor 171 dagen van de periode 17/12/2014 tot 22/6/2015.

	Grwpeil diepvak 5 (cm NAP)	Grwpeil freat vak 5 (cm NAP)	Peilvak 4-referentie	Peilvak 5 – meteo (cm NAP)
Mean	7.950	7.970	7.887	7.919
Standard Error	0.013	0.009	0.011	0.009
Median	7.942	7.956	7.858	7.911
Standard Deviation	0.166	0.124	0.145	0.123
Range	0.606	0.464	0.542	0.457
Minimum	7.659	7.760	7.605	7.717
Maximum	8.265	8.224	8.147	8.174
Count	171	171	171	171
Confidence Level (95.0%)	0.025	0.019	0.022	0.019

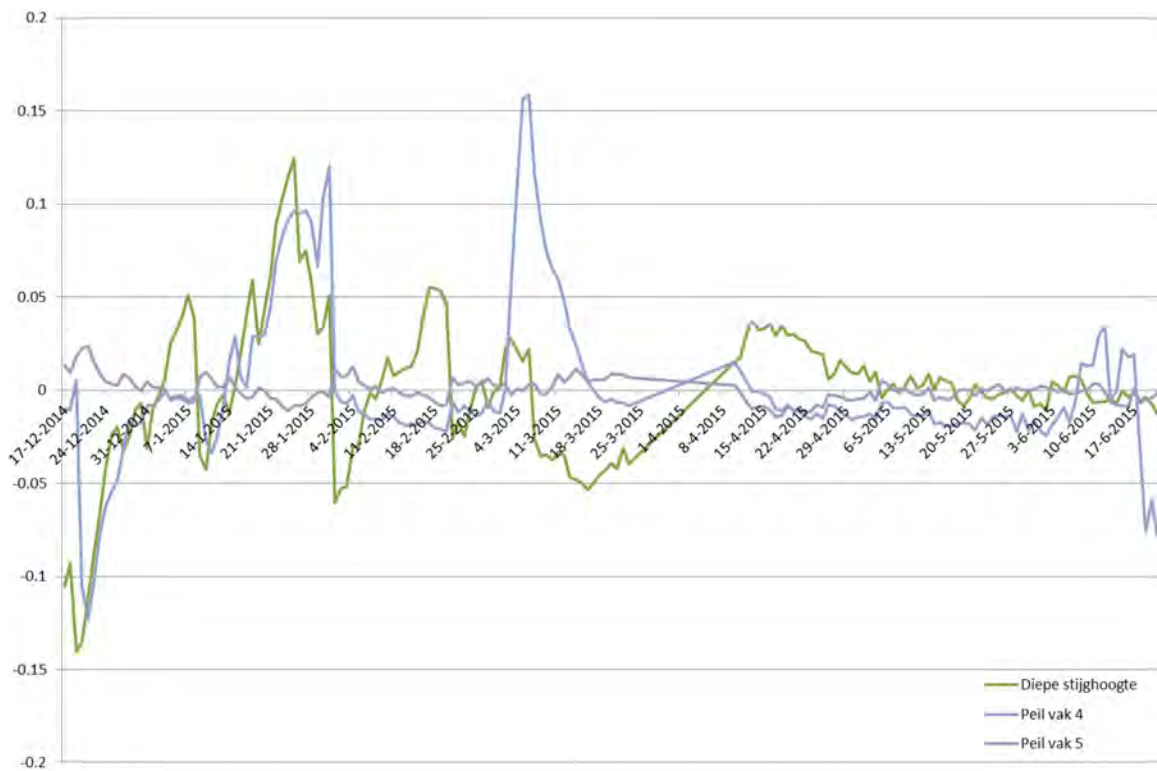
Tabel B1.7

Correlatiecoëfficiënten tussen de vier meetpunten in proefvelden 4 en 5 voor 171 dagen van de periode 17/12/2014 tot 22/6/2015.

	Grwpeil diepvak 5 (cm NAP)	Grwpeil freat vak 5 (cm NAP)	Peilvak 4-referentie	Peilvak 5 – meteo (cm NAP)
Grwpeil diepvak 5 (cmNAP)	1			
Grwpeil freat vak 5 (cmNAP)	0.951	1		
Peilvak 4- referentie	0.932	0.942	1	
Peilvak 5 – meteo (cmNAP)	0.936	0.999	0.936	1

De residuen van de voorspelde freatische grondwaterstand op basis van het peil in proefveld 5 zijn in deze periode vaak kleiner dan 1,5 cm (Figuur B1.9). De residuen van de voorspelde freatische grondwaterstand op basis van de diepe stijghoogte onder proefveld 5 zijn wat groter; deze kunnen oplopen tot ca. 13 cm, maar nemen duidelijk af in de tijd.

De residuen van de voorspelde freatische grondwaterstand op basis van het peil in proefveld 4 zijn overwegend gering, maar er zijn een paar momenten dat de verschillen oplopen tot ca. 15 cm. Er zijn uitschieters in de winterperiode die sterk overeenkomen met de diepe stijghoogte. De uitschieter begin maart is te verklaren door het leegpompen van proefveld 4. De uitschieter voor peilvak 4 in juni is te verklaren door het droogvallen van vak 4, waarbij de grondwaterstand sneller uitzakt door de geringere bergingscoëfficiënt van de grond.

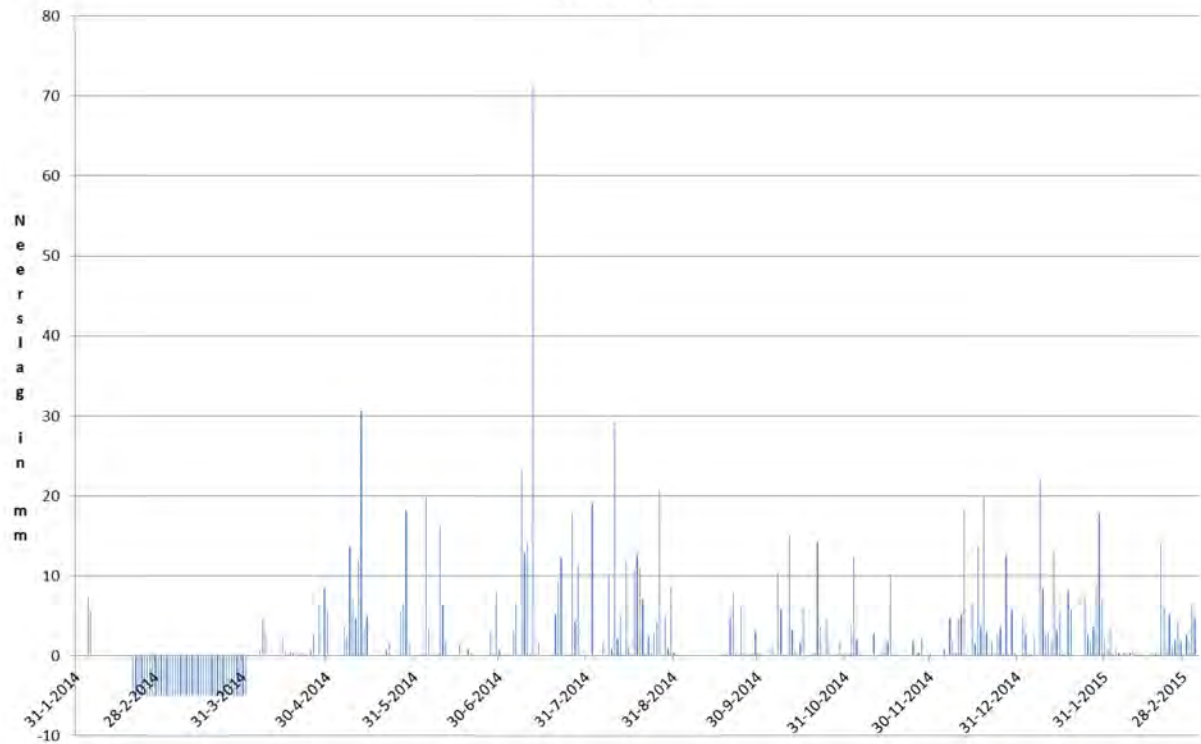


Figuur B1.9 Residuen van verschil tussen gemeten en berekende waterstand m.b.t. freatische grondwaterstand

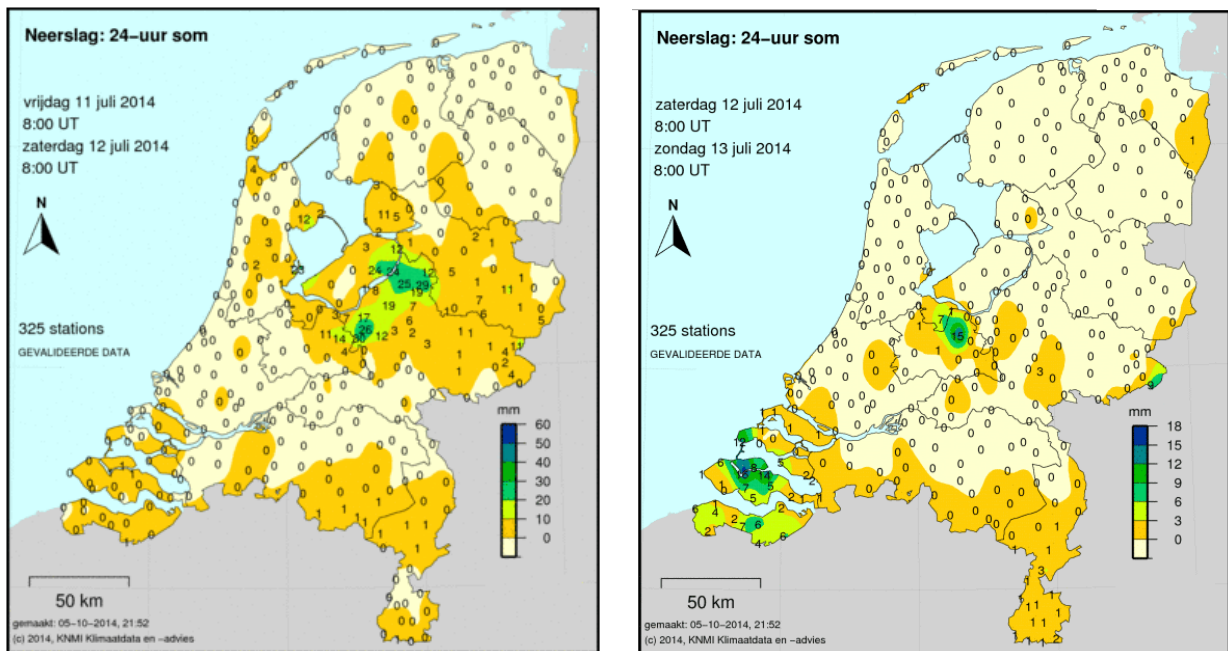
B1.4 Neerslag en verdamping

In proefveld 5 is een neerslagstation geplaatst. In Figuur B1.10 is gemeten neerslag weergegeven voor de periode 31-1-2014 t/m 5-3-2015. In de periode 19-2-2014 t/m 1-4-2014 zijn geen metingen gedaan. In de Figuur is dat aangegeven met een negatieve waarde (-5). Sinds 5-3-2015 ontbreken neerslaggegevens.

Waterrijk

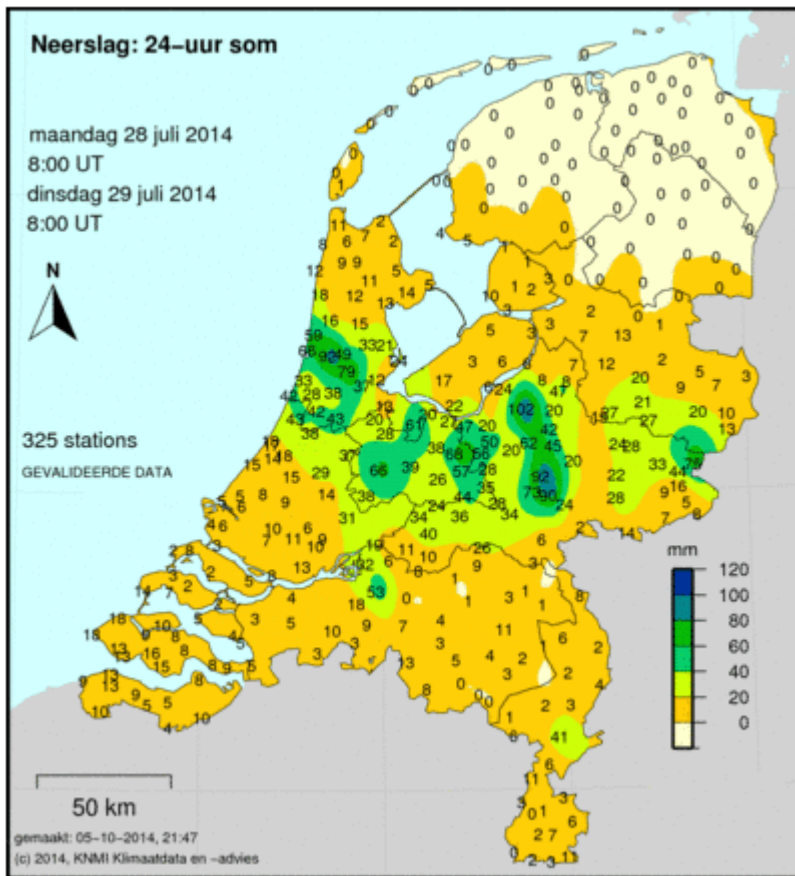


Figuur B1.10 Geregistreeerde neerslag in proefveld 5.

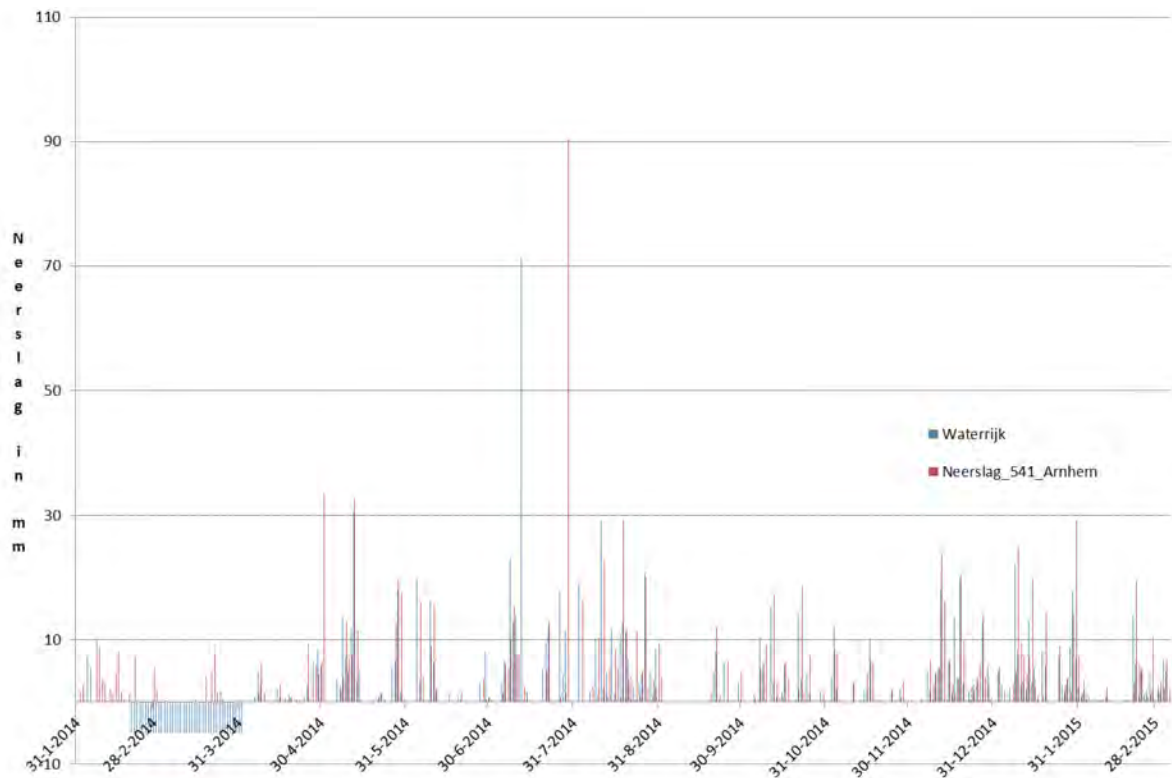


Figuur B1.11 Neerslagkaarten KNMI voor resp. 11 en 12 juli 2014.

In Figuur B1.9 valt de piek van 71,4 mm op 12 juli 2014 op. Deze piek zien we niet terug in de neerslagkaarten van het KNMI (Figuur B1.11). Bekend is dat op 28 juli Arnhem-Noord en omgeving te kampen heeft gehad met intensieve buien tot wel 120 mm (Figuur B1.12). Op 28 juli is 11,4 mm gemeten op het meetstation. Volgens de kaart neemt de neerslag snel af in zuidelijke richting, de gemeten waarde is plausibel.



Figuur B1.12 Neerslagkaart van Nederland voor 28 juli 2014.

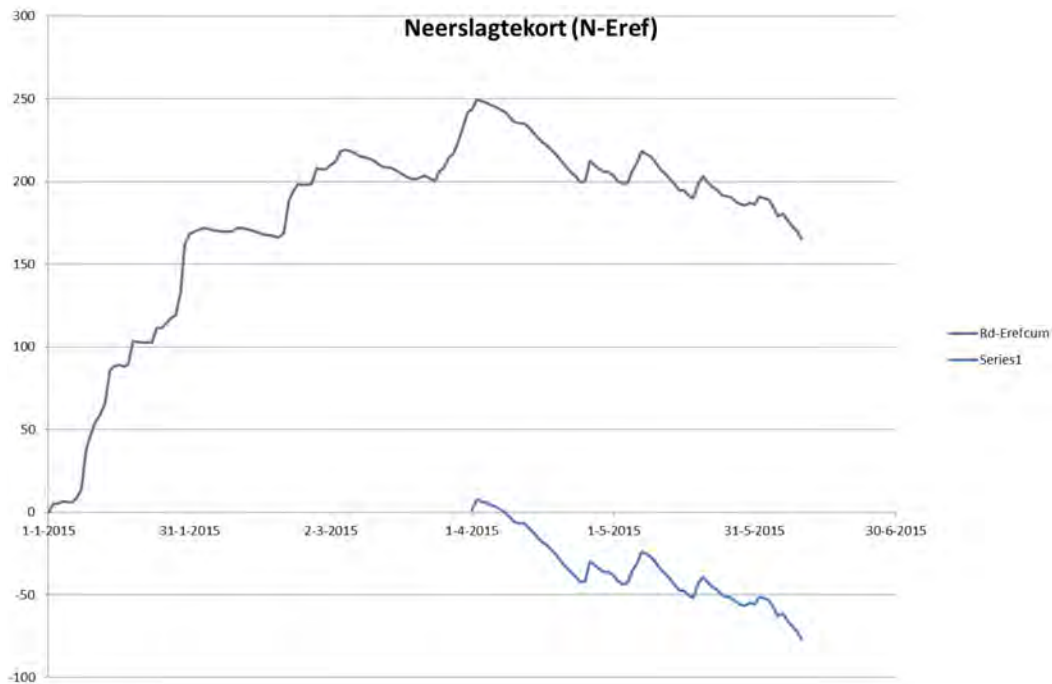


Figuur B1.13 Vergelijking gemeten neerslag op KNMI-station Arnhem en in proefveld 5 van Het Waterrijk.

Omdat de meetreeks incompleet is, zijn voor het opstellen van de waterbalans ook neerslaggegevens van neerslagstation Arnhem verzameld (Figuur B1.13).

De totale neerslag gemeten in het proefveld bedroeg over de periode 31 januari 2014 tot 5 maart 2015 1037,6 mm. Meteostation Arnhem (541) registreerde in dezelfde periode van 358 dagen 1205,8 mm, oftewel 16% meer. Dit komt overeen met een gemiddelde neerslag van resp. 2,9 en 3,4 mm/d. Beschouwen we de periode 1 augustus 2014 tot 5 maart 2015, een periode van 217 dagen waarin geen extreme verschillen voorkomen, dan is er 614,2 mm neerslag gemeten in het proefveld en 727,5 mm op meteostation Arnhem (541), een verschil van 18%.

Ter plaatse van de proefvelden wordt geen verdamping gemeten. De verdamping is ontleend aan KNMI-station Herwijnen. In Figuur B1.14 is het cumulatief neerslagtekort weergegeven op basis van de referentiegewasverdamping te Herwijnen en de neerslag te Arnhem vanaf resp. 1 januari en vanaf 1 april. In de periode 1 januari t/m 2 april 2015 is er sprake van een oplopend neerslagoverschot. Over deze periode is er een neerslagoverschot van 250 mm. Vanaf 2 april begint zich een neerslagtekort op te bouwen. Gerekend vanaf 1 april 2015 bedraagt het neerslagtekort op 10 juni 2015 76,7 mm. Vanaf het begin van de waarnemingen, 24 maart 2015, komen verschillende dagen en perioden voor waarop 2 mm/d of meer is gevallen (Tabel B1.8). Die worden als 'natte dagen' bestempeld.



Figuur B1.14 Ontwikkeling neerslagtekort vanaf 1-1-2015 en vanaf 1-4-2015.

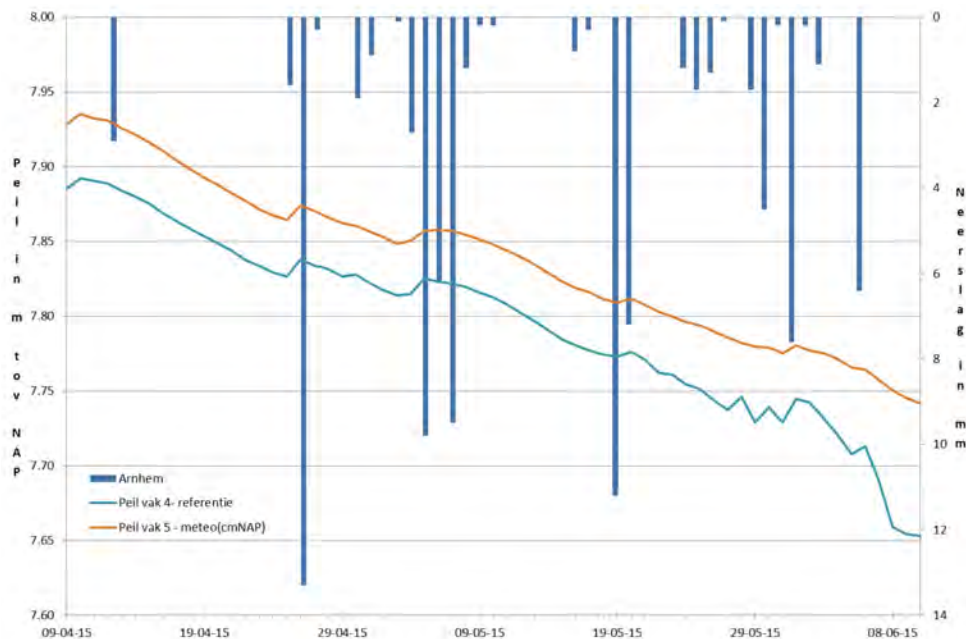
Tabel B1.8

Perioden/dagen met een neerslag van meer dan 2 mm/d in de periode 24/3/2015 tot 10/6/2015.

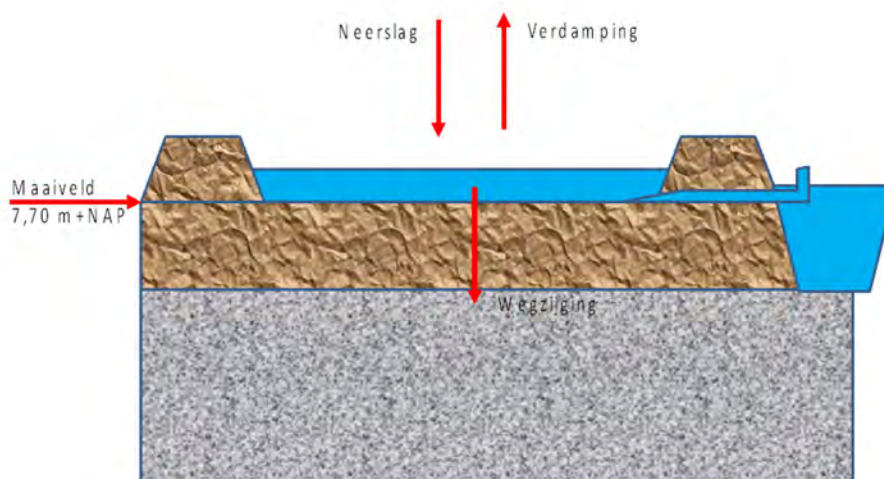
Periode	Neerslag (mm)	Dagen	Gemiddeld (mm/d)
25 maart t/m 2 april	58,5	9	6.5
12 april	2,9	1	2.9
26 april	13,3	1	13.3
4 mei t/m 7 mei	28,2	4	7.05
19 mei t/m 20 mei	18,4	2	9.2
30 mei	4,5	1	4.5
1 juni	7,6	1	7.6
6 juni	6,4	1	6.4
Totaal	139.8	20	6.99

B1.5 Waterbalans

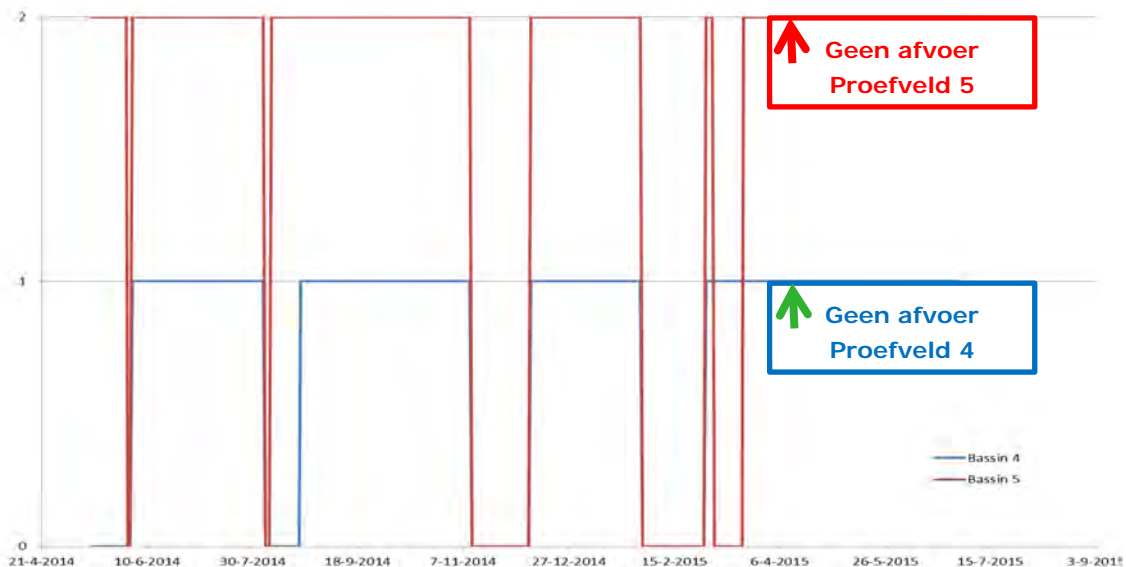
In Figuur B1.15 zijn voor de periode 9 april t/m 10 juni 2015 de neerslag voor station Arnhem en de peilen in proefvelden 4 en 5 uitgezet. Omdat het peil boven maaiveld staat zou, als er geen water verdampt of via de ondergrond toe- of wegstroomt, de stijging gelijk zijn aan de hoeveelheid neerslag. Voor het opstellen van een waterbalans dienen alle waterstromen en bergingsveranderingen bekend te zijn. Aan- of afvoer van oppervlaktewater wordt via een opzetstuk op de uitloop van de verbindingduiker geregeld, maar wordt niet gemeten (Figuur B1.16). Om een sluitende waterbalans op te kunnen stellen, zijn daarom perioden geselecteerd gedurende welke geen aan- of afvoer via de duiker heeft plaatsgevonden. In Figuur B1.17 is aangegeven op welke momenten dat gebeurde. Ter onderscheiding van beide proefvelden zijn twee kleuren toegepast.



Figuur B1.15 Neerslag en waterpeil in proefveld 4 en 5 tussen 9-4-2015 en 10-6-2015.



Figuur B1.16 Doorsnede proefveld met de relevante waterfluxen.



Figuur B1.17 Overzicht van de perioden waarin de afvoerduiker van proefveld 4 en 5 was afgesloten.

In de periode waarin geen afvoer kan plaatsvinden naar aangrenzend oppervlaktewater, ziet de waterbalans van een proefveld er als volgt uit:

$$\Delta B = N - E_o + K - W$$

Hierin is:

ΔB = Peilverandering in mm

N = Totale neerslag in mm

E_o = Totale openwaterverdamping in mm, gelijkgesteld aan $1,25 \cdot$ referentiegwasverdamping

K = Kwel in mm

W = Wegzijing in mm

De perioden waarover waterbalansen berekend kunnen worden zijn niet alleen beperkt door aan- en afvoer van oppervlaktewater (Figuur B1.17), maar ook door hiaten in de waterstandsreeksen. Voor proefveld 4 en 5 zijn de balansen voor de geselecteerde perioden weergegeven in respectievelijk Tabel B1.9 en B1.10. De gemeten neerslag in proefveld 5 en voor station Arnhem zijn beide opgenomen in de tabellen. Voor de referentiegwasverdamping zijn de resultaten van station Herwijnen gebruikt.

Tabel B1.9

Waterbalansenperioden in de meetperiode 2014-2015 voor proefveld 4

Datum begin	Datum eind	Aantal dagen	Peil begin	Peil eind	Toename berging	N^1	N^2	E_r	$E_o = 1,25 \cdot E_r$	Kwel
			m+NAP		mm					mm/d
3-7	4-8	32	7.82	7.96	138.8	183	212.6	105.1	131.4	2.7 ¹ 1.8 ²
22-8	18-9	27	8.01	7.98	-30.6	59.4	46.4	60.4	75.5	-0.5 ¹ -0.1 ²
26-9	10-11	45	7.97	7.98	15.9	110	96.6	44.1	55.1	-0.9 ¹ -0.6 ²
9-12	30-1	52	7.80	8.07	275.2	301	238.6	12.5	15.6	-0.2 ¹ 1.0 ²
10-4	10-6	61	7.89	7.65	-238.9	96.3		178.8	223.5	-1.8 ¹

¹ Gebaseerd op neerslagmetingen van station Arnhem

² Gebaseerd op neerslagmetingen in het proefveld

De periodelengte voor proefveld 4 in Tabel varieert tussen 21 en 61 dagen. Van deze zes perioden wordt in de eerste periode kwel berekend van 1,8 mm/d met de neerslaghoeveelheid die in het proefveld is gemeten en 2,7 mm/d met de neerslag van station Arnhem. Voor de overige perioden wordt wegzijging gevonden als neerslagstation Arnhem wordt gebruikt. Voor de periode 9/12 tot 30/1

is de wegzijging erg klein (0,2 mm/d). Met de gemeten neerslag in proefveld 5 wordt dan kwel berekend. Het grote verschil in neerslag tussen beide locaties is groot en heeft een groot effect op de berekende kwelwaarde.

Tabel B1.10

Waterbalansenperioden in de meetperiode 2014-2015 voor proefveld 5.

Datum begin	Datum eind	Aantal dagen	Peil begin m+NAP	Peil eind	Toename berging mm	N ¹	N ¹	E _r	E _o = 1,25*E _r	Kwel mm/d	
13-6	4-8	52	7.86	7.95	84.3	190.2	227.2	174.2	217.8	2.2 ¹	1.4 ²
8-8	10-11	94	7.85	8.00	146.6	293.7	265.2	150.6	188.3	0.4 ¹	0.7 ²
9-12	30-1	52	7.80	8.17	367.8	301	238.6	12.5	15.6	1.6 ¹	2.8 ²
10-4	10-6	61	7.94	7.74	-193.6	96.3		178.8	223.5	-1.1 ¹	

¹ Gebaseerd op neerslagmetingen van station Arnhem

² Gebaseerd op neerslagmetingen in het proefveld

In de Tabel B1.10 zijn voor proefveld 5 de waterbalansen weergegeven. Ook hier hebben de verschillen in neerslag gevolgen voor de berekende kwel. Van de 4 perioden zijn er 3 met kwel en 1 met wegzijging.

De kwel en wegzijging kunnen worden gebruikt om de hydraulische weerstand van de afdekkende kleilaag te berekenen. De weerstand, die een belangrijke parameter in het hydrologisch model MORIA is, wordt berekend uit het drukverschil tussen de freatische buis en de buis in het eerste watervoerende pakket die in proefveld 5 staan:

$$c = \frac{h_d - h_f}{K}$$

Hierin is:

c = weerstand kleilaag in d

h_d = diepe potentiaal in m+NAP

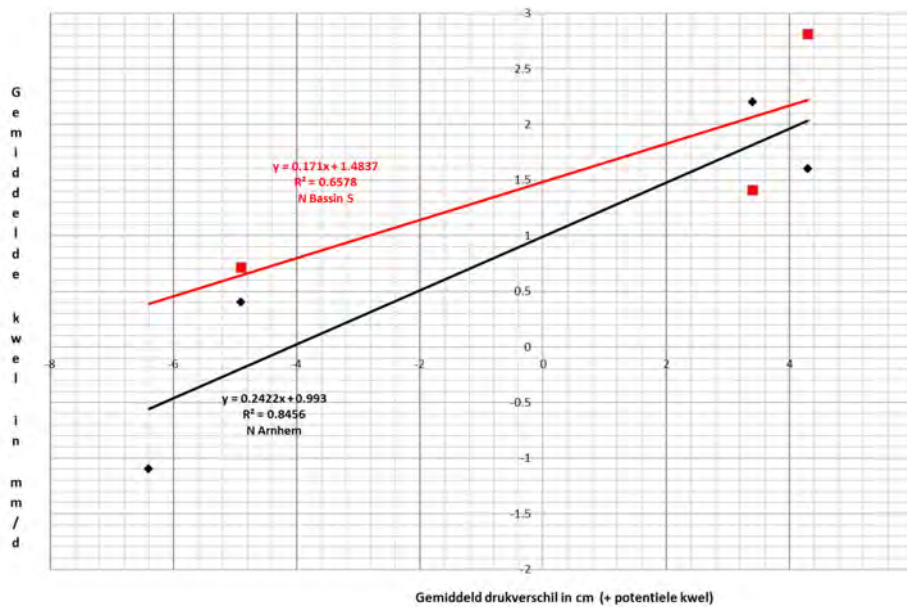
h_f = freatische grondwaterstand in m+NAP

In Tabel B1.11 staan de standen uit de balansperioden. In Figuur B1.18 is het gemiddelde drukverschil tussen de diepe potentiaal en de freatische buis uitgezet tegen de gemiddelde kwel die met de neerslag in het proefveld en van neerslagstation Arnhem is berekend. In Figuur B1.19 is in plaats van de freatische grondwaterstand het (oppervlakte)waterpeil gebruikt.

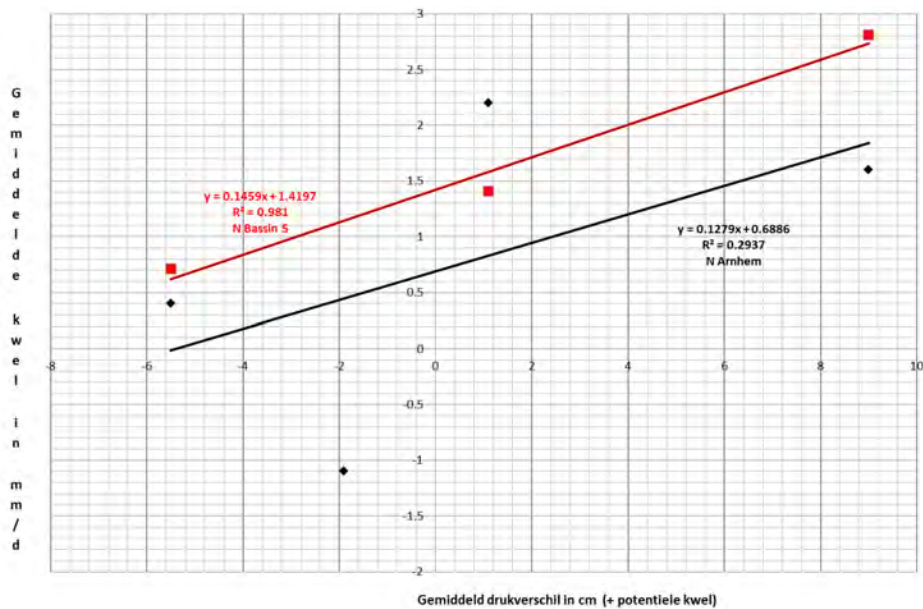
Tabel B1.11

Begin-, eind- en gemiddelde waterstand in freatisch en diepe peilbuis voor zeven waterbalansenperioden in 2014-2015 voor proefveld 5.

Datum begin	Datum eind	Aantal dagen	Freatische grondwaterstand			Diepe grondwaterstand		
			begin	eind	gem.	begin	eind	gem.
			m+NAP			m+NAP		
13-6	4-8	52	7.836	7.930	7.857	7.898	7.963	7.891
8-8	10-11	94	7.833	7.991	7.970	7.878	7.867	7.921
9-12	30-1	52	7.793	8.222	8.068	7.749	8.259	8.111
10-4	10-6	61	7.989	7.795	7.883	7.956	7.713	7.819



Figuur B1.18 Relatie tussen drukverschil diepe en freatische buis met kwel.



Figuur B1.19 Relatie tussen drukverschil diepe buis en peil met kwel.

De hoogste correlatie wordt gevonden als de kwel berekend met de neerslag in het proefveld wordt vergeleken met het drukverschil tussen de diepe potentiaal en het waterpeil in proefveld 5.

De regressielijnen gaan niet door de oorsprong (nul). Hiervoor zijn de volgende mogelijke oorzaken:

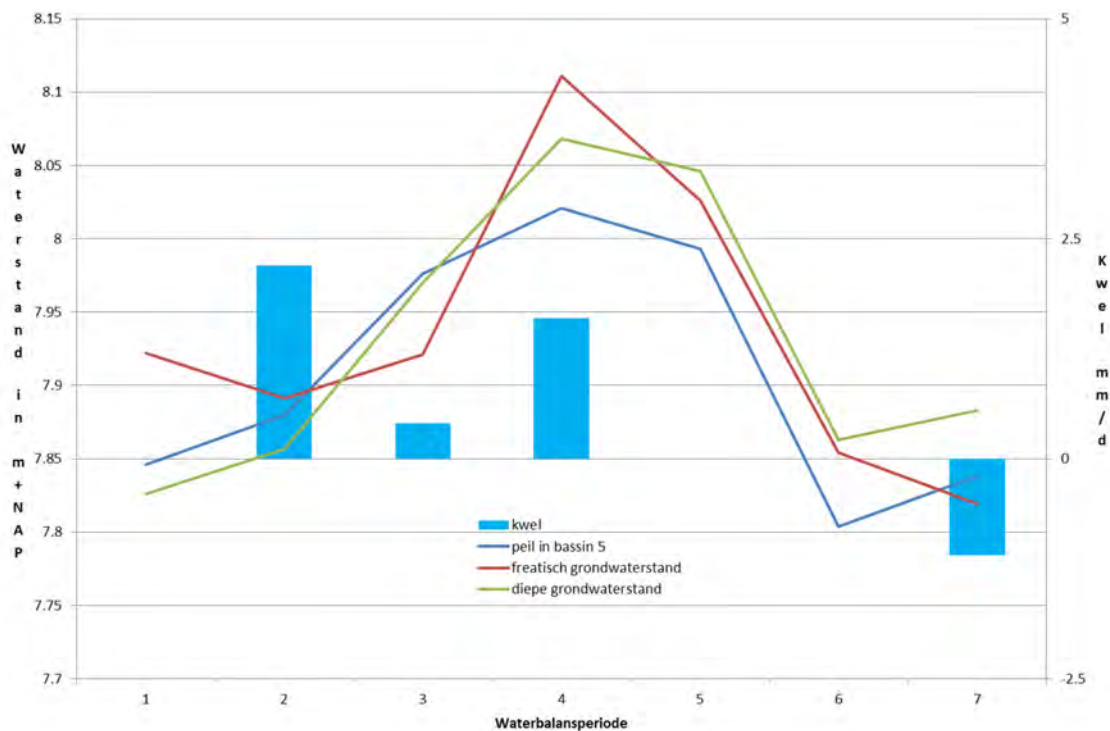
1. Freatische grondwaterstand is niet correct.
2. Diepe stijghoogte is niet correct.
3. De locatie is niet representatief voor de gemiddelde situatie.
4. Fout in de waterbalans.

Ad. 1 Het maaiveld in de proefvelden ligt op 7,70 m+NAP, gedurende de beschouwde periode heeft er altijd water boven maaiveld gestaan, dit betekent dat de grondwaterstand gelijk is aan de waterstand boven maaiveld, mits het filter doorloopt tot aan maaiveld. Om dit te beoordelen, zijn in Tabel B1.12 voor vier perioden de grondwaterstanden en stijghoogte vergeleken. Uit de Tabel blijkt dat de gemiddelde verschillen kunnen variëren van 0.023 tot -0.047. Omdat de freatische grondwaterstandsbuis beneden maaiveld is afgewerkt, wordt mogelijk niet de freatische grondwaterstand gemeten.

Tabel B1.12

Vergelijking freatisch grondwaterstand met waterpeil proefveld 5

Datum begin	Datum eind	Aantal dagen	Freatische grondwaterstand			Peil			Verschil
			begin	eind	gem.	begin	eind	gem.	
13-6	4-8-	52	7.836	7.930	7.857	7.864	7.953	7.880	0.023
8-8	10-11	94	7.833	7.991	7.970	7.861	7.999	7.976	0.006
9-12	30-1	52	7.793	8.222	8.068	7.802	8.156	8.021	-0.047
10-4	10-6	61	7.989	7.795	7.883	7.935	7.745	7.838	-0.045



Figuur B1.20 Berekende kwel waterbalans en gemiddelde waterpeilen. De perioden die uit Tabel B1.12 komen, zijn 2, 3, 4 en 7.

In Figuur B1.20 is de gemiddelde waterstand per periode uitgezet. In Figuur B1.20 zijn de perioden 1, 5 en 6 weggelaten, omdat deze betrekking hebben op een relatief korte periode van slechts 3 dagen. Uit Figuur B1.20 kunnen we afleiden dat in periode 2, 3 en 4 op basis van de waterbalans kwel als restterm is afgeleid, maar dat dit niet blijkt uit de peilverschillen tussen diepe filter en freatische grondwaterstand/peil. De gemiddelde freatische grondwaterstand verschilt in alle perioden van het gemiddelde peil in het proefveld. In de ene periode is de freatische grondwaterstand hoger dan het waterpeil en in de andere periode is het omgekeerde het geval. De diepe grondwaterstand volgt in grote lijnen het gemiddelde waterpeil. Aanvankelijk is de diepe stijghoogte lager dan het waterpeil (wegzijing?), maar vanaf periode 4 is de diepe stijghoogte hoger (kwel).

Ad. 2 Het filter van de diepe buis is dieper afgewerkt dan de freatische buis. Of er beneden de onderkant van het filter nog weerstand biedende lagen voorkomen, is niet bekend. Mogelijk is via een boring vast te stellen of het filter correct is gesteld.

Ad. 3 De filters worden als representatief gemiddelde voor het proefveld beschouwd. Voor het openwaterpeil in het proefveld is dit correct, maar de diepe stijghoogte verschilt mogelijk ook ruimtelijk onder het proefveld. Om dit vast te kunnen stellen, zouden op meerdere plaatsen diepe filters geplaatst moeten worden.

Ad. 4 De peilen en de neerslag zijn lokaal gemeten en daarmee representatief voor de locatie. Wel kunnen defecten aan de apparatuur leiden tot verkeerde waarden. De verdamping van een rietveld op

een bodem bedekt met een dunne laag water is lastiger te bepalen. Voor de waterbalans is aangenomen dat de verdamping gelijk is aan de openwaterverdamping.

B1.6 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

In de proefvelden komt afwisselend kwel en wegzijging voor

De berekende kwel-wegzijging voor een beperkt aantal balansperioden voor proefveld 4 varieerde van 2,7 mm/d (kwel) tot -1,8 mm/d (wegzijging) en voor proefveld 5 van 2,2 mm/d tot -1,1 mm/d. Deze waarden zijn afgeleid op basis van neerslagstation Arnhem. Met lokaal gemeten neerslag varieert de berekende kwel/wegzijging voor proefveld 4 van 1,8 mm/d tot -0,6 mm/d, en voor proefveld 5 van 2,8 mm/d en 0,7 mm/d.

Gedurende de meetperiode heeft bijna altijd water op maaiveld gestaan

In perioden waarin niet is ingegrepen in de wateraan- en afvoer stond er meestal (veel) water op het maaiveld. Voor het riet is het gewenst dat er perioden zijn waarin er water boven maaiveld staat. In de zomerperiode mogen de proefvelden droogvallen, zodat de grondwaterstand kan uitzakken. Door de hoge buitenwaterstanden was het vaak niet mogelijk om water via de duikers uit de beide proefvelden af te voeren.

Er zijn verschillen tussen lokale neerslagmetingen en een nabij gelegen KNMI-station

Er zijn structurele en incidentele verschillen geconstateerd in neerslaghoeveelheden tussen een lokaal meteostation en het KNMI-neerslagstation elders in Arnhem. Zo is zware neerslag, die in de zomer van 2014 in Arnhem voor overlast zorgde, aan Het Waterrijk voorbijgegaan. En omgekeerd is op 12 juli 2014 lokaal een extreme hoeveelheid van 71 mm gemeten die wel in een stijging van de waterstand, maar niet in de KNMI-neerslagkaarten wordt teruggevonden.

De freatische grondwaterstandbuis geeft niet altijd de freatische grondwaterstand weer

Voor situaties met water boven maaiveld is de freatische grondwaterstand gelijk aan het waterpeil in het proefveld. Uit vergelijking van de metingen blijkt dat dit niet het geval is. De oorzaak is de perforatie van het filter die niet doorloopt tot boven maaiveld.

De kwaliteit van de meetreeksen onvoldoende

Sinds het begin van de metingen zijn de verschillende drukopnemers gedurende kortere of langere tijd buiten bedrijf geweest. Door de hiaten in de meetreeksen en soms onverklaarbare uitkomsten is de toepasbaarheid om onder andere modeluitkomsten te toetsen, beperkt. Er kon geen betrouwbare weerstand (c-waarde) van de deklaag mee berekend worden.

Door telemetrie zijn de waterstanden goed te volgen

Een aantal van de voorgenomen metingen in de proefvelden wordt telemetrisch doorgegeven. De directe beschikbaarheid van vooral de waterstanden is een waardevol hulpmiddel voor het ingrijpen in de waterhuishouding.

Aanbevelingen

Freatische grondwaterstandsbuis herplaatsen

Het filter van de bestaande meetbuis is te diep gesteld waardoor, als er water op het maaiveld staat, de gemeten grondwaterstand niet overeenkomt met het waterpeil in het proefveld.

Waterpassen peilbuizen

De drukverschillen over de deklaag zijn niet altijd verklaarbaar. Mogelijk zijn de hoogtes van de peilbuizen of de omzetting van de drukhoogtes in de meetbuizen tot waterstanden (niet meer) correct.

Diepe filterstelling controleren

Bij het vaststellen van de weerstand van de deklaag is de stijghoogte van het grondwater in de watervoerende laag van belang. Het diepe filter staat direct onder het kleidek in een zandige laag. Mogelijk dat die laag niet optimaal in contact staat met de rest van het watervoerende pakket.

Meer diepe filters plaatsen

Door op meer plekken binnen de proefvelden diepe filters in het watervoerend pakket te plaatsen, is te bepalen of de oorspronkelijke diepe stijghoogte een representatief gemiddelde is voor beide proefvelden.

Bijlage 2 Veldbezoek aan De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk

De bovengrond in De Rietzanger

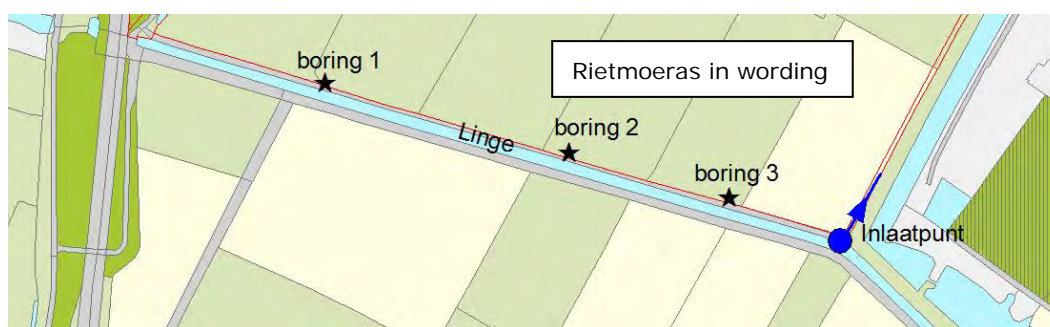
De zanddieptekaart (Figuur 2.12) geeft aan dat, voor afgraving, er 1-2 m klei aanwezig was in De Rietzanger. Na het afgraven van 1 m klei zou daar dan nog 0-1 m van resteren. Bij veldbezoek zijn verspreid over het gebied verschillende boringen gedaan die dat bevestigen. Bij een paar daarvan was geen klei meer aanwezig, bij andere ca. 20 cm en bij één 90 cm. Er kon geen gradiënt of zand- of kleibaan worden geconstateerd. Mogelijk dat dit met meer boringen wel het geval is.

Hydrologisch gezien hebben de nog aanwezige kleischollen een beperkte invloed. De wegzijging (De Rietzanger is overwegend een wegzijgingsgebied) zal door het dagzomende zand zijn toegenomen. Het geconstateerde verschil tussen de aan- en afvoer van water uit het gebied bevestigt dat de wegzijging aanzienlijk is.

De bovengrond in het rietmoeras van Het Waterrijk

In Het Waterrijk wordt een gedeelte ingericht als rietmoeras. Het peil in het gebied mag meer fluctueren rond het oude peil (7,50-8,00 m+NAP). Het maaiveld wordt afgegraven, tot ca. 7,70 m+NAP. Het winter- en zomerpeil in de Linge, die aan de zuidkant grenst, bedraagt respectievelijk 8,00+ en 8,20+ en is daarmee hoger dan het peil in het rietmoeras. Tijdens het veldbezoek, dat na een droge periode plaatsvond, was het peil zelfs 8,35+. Voordat het gebied werd afgegraven, is gekeken of er door het peilverschil met het (toekomstige) rietmoeras kwel optreedt in een strook langs de Linge. Dat leek niet het geval te zijn.

Op de plekken waar langs de onverharde weg die langs de Linge loopt een kavelsloot in het rietmoeras van Het Waterrijk ligt (dat was niet bij alle percelen het geval), waren geen kwelverschijnselen zichtbaar. Ook water- en overplanten duiden niet op een kwel. De ca. 70 cm diepe sloot stond in het oosten plaatselijk droog, wat niet het geval zou zijn als er kwel optrad.



Figuur B2.1 Boringen in het toekomstige rietmoeras van Het Waterrijk.

Mogelijk dat het afgraven van de bovenste ca. 80 cm invloed heeft op eventuele kwel vanuit de Linge. Op de zanddieptekaart (Figuur 2.12) staat voor het rietmoeras van Het Waterrijk een kleidikte van 2-3 m aangegeven, met plekken die plaatselijk dunner (1-2 m) en dikker (3-4 m) kunnen zijn. Op drie plekken langs de Linge (Figuur B2.1) was de dikte van de kleilaag ca. 2 m. De klei zelf is zwaar (>35% lutum) en slecht doorlatend. Pas bij het aanboren van de zandlaag liep het boorgat vol, maar het niveau werd niet hoger dan het polderpeil. Er was duidelijk geen communicerende verbinding met de Linge, die volgens een meting een waterdiepte heeft van ca. 2 m, en daarmee de zandlaag aansnijdt.

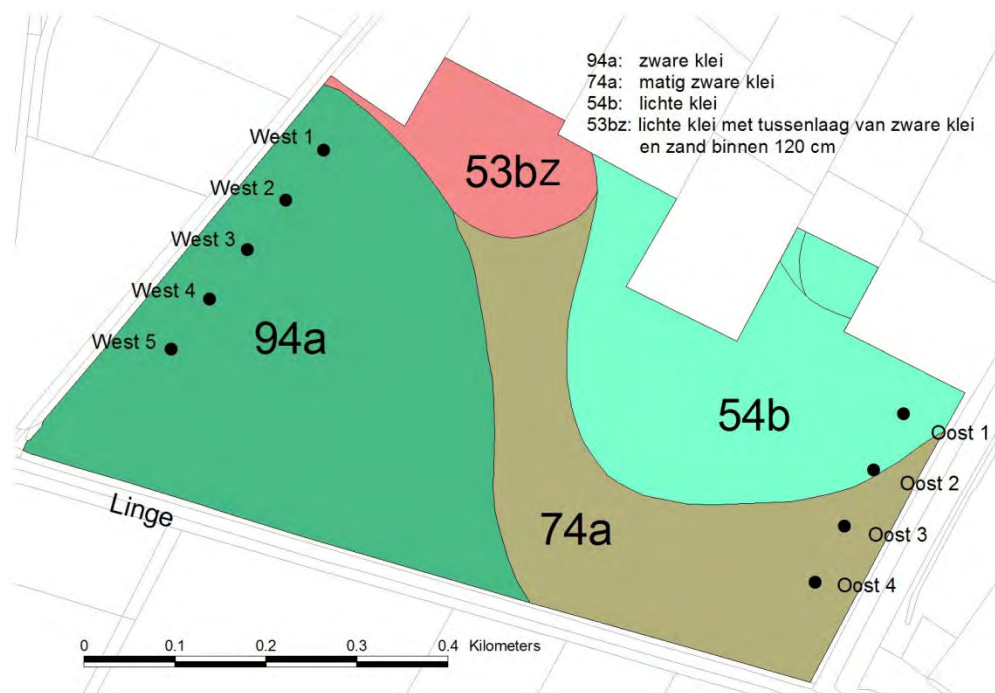
Op verschillende kwelkaarten (NHI, MORIA) staat het hele gebied als wegzijgingsgebied aangegeven. (In perioden met hoge rivierstanden kan kwel optreden.) De veldmetingen lijken dat te bevestigen. De laterale stroming vanuit de Linge naar het rietmoeras van Het Waterrijk lijkt nihil. Als dat al optreedt, zou dat via de zandondergrond gebeuren en niet door de kleibovengrond.

Bijlage 3 Opbouw en eigenschappen van de bovengrond in het rietmoeras

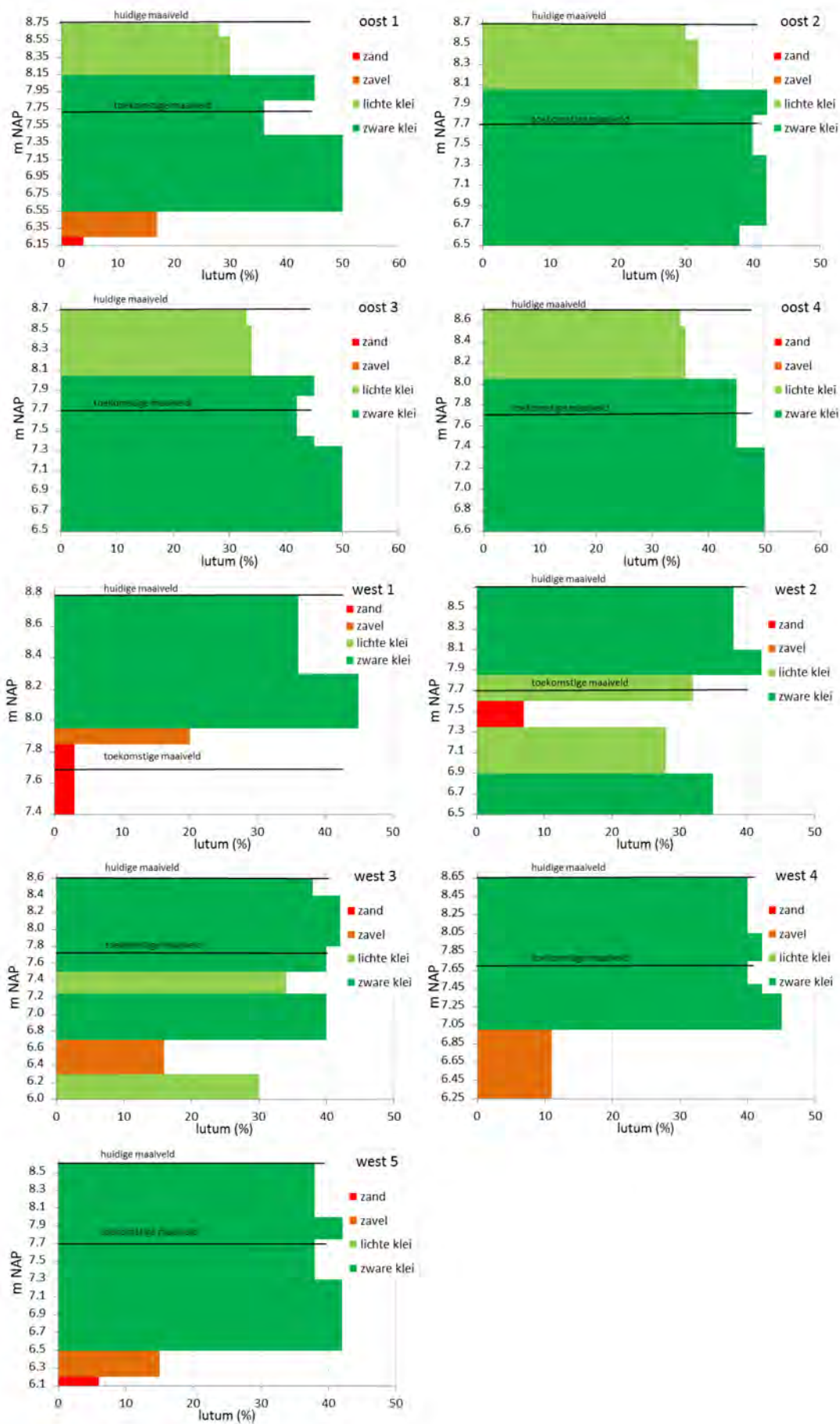
Het rietmoeras in Het Waterrijk krijgt een maaiveldhoogte van 7,70 m+NAP. Daarvoor moet ongeveer 80 cm klei worden afgegraven. Volgens een oude, gedetailleerde bodemkaart bestaat de westelijke helft van het gebied uit zeer zware klei en in de oostelijke helft uit matig zware tot lichte klei (Figuur B3.1). Het lutumgehalte van zeer zware klei is meer dan 50%. Voor de pilot kwamen in eerste instantie twee plekken in aanmerking. Op beide plekken zijn boringen verricht naar de dikte en samenstelling van de kleilaag. In Figuur B3.1 staan de boorlocaties aangegeven en in Figuur B3.2 de bodemprofielen.

Bodemopbouw

Aan de oostzijde van het gebied ligt een ongeveer 60 cm lichte kleilaag op zware klei. Met het afgraven tot 7,70 m+NAP verdwijnt de lichte kleilaag volledig. De zandondergrond ligt er op een diepte van minstens 2 m, zodat er na het afgraven meer dan 1 m zware klei overblijft. De westzijde kent een minder homogene bodemopbouw. In de meest noordelijke boring komt zand binnen 1 m diepte voor. Na afgraven van de bovengrond zal die dicht onder het maaiveld komen te liggen. Op de bodemkaart sluit dit aan bij vlak 53bz waar een zandopduiking voorkomt. Bij andere boringen aan de westzijde komen tussenlagen met zand, zavel of lichte klei voor, een beeld dat past bij de dynamiek van een vlechtend riviersysteem.



Figuur B3.1 Detail van de bodemkaart 1 : 10 000.



Figuur B3.2 Oorspronkelijke bodemopbouw op 4 plekken aan de oostzijde en 5 plekken aan de westzijde van het toekomstige rietmoeras. De bovengrond is/wordt afgegraven tot 7,70 m+NAP.

Bodemfysische eigenschappen

De fysische eigenschappen van de bodem zijn belangrijk voor onder andere de waterhuishouding en voor de vochtopname door de vegetatie. Na het aanleggen van het proefveld aan de oostzijde van Het Waterrijk is een bodemmonster van de 'nieuwe' bovengrond genomen waarvan bij Alterra de fysische eigenschappen zijn gemeten. De bemonsteringslocatie komt overeen met plek 'Oost 2' in Figuur B3.1. Het lutumgehalte is 40%. De eigenschappen die zijn gemeten, betreffen de verzadigde doorlatendheid, de relatie tussen drukhoogte en poriegehalte (h- θ -relatie, ook wel bekend als waterretentiekarakteristiek of pF-curve) en het verband tussen de onverzadigde doorlatendheid en de drukhoogte (k-h-relatie). De waterretentiekarakteristiek wordt beschreven met de volgende door Van Genuchten (1980) opgestelde empirische vergelijking:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + \alpha h)^{1-1/n}}$$

De doorlatendheidskarakteristiek wordt beschreven met de vergelijking (Van Genuchten, 1980):

$$K(h) = K_s \frac{((1 + \alpha h^n)^{1-1/n} - \alpha h^{n-1})^2}{(1 + \alpha h^n)^{(1-1/n)(1+2)}}$$

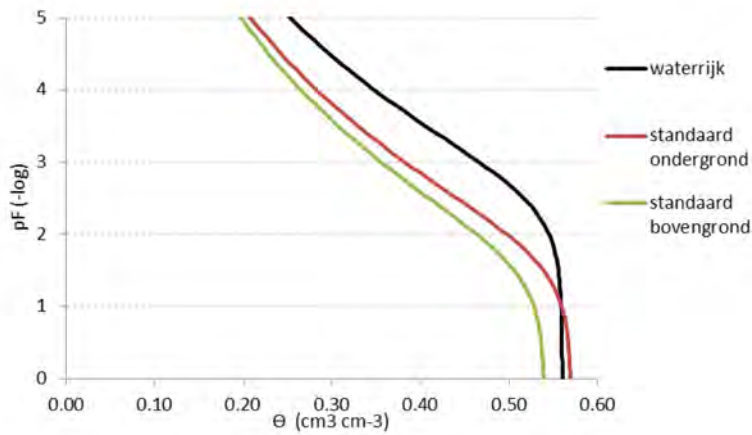
De bodemfysische eigenschappen staan als van Genuchten-parameters in Tabel B3.1. De gemeten duplo's voor de k-h- en h- θ -relaties verschillen weinig van elkaar, reden waarom ze hier zijn samengevoegd. De berekende verzadigde doorlatendheid (Ksat) bedraagt 0,09 cm/dag. Bij nagenoeg alle gronden met enige mate van structuur zijn de werkelijke (gemeten) Ksat-waarden hoger. Dat is ook hier het geval. Het verschil tussen de gemeten Ksat van de duplo's is groot (54,8 en 0,2 cm/d). De gemeten Ksat is die waarbij de grond volledig verzadigd is en waarbij dus alle macroporiën meedoen in de doorlatendheid. Mogelijk dat er macroporiën zijn, maar waarschijnlijker is dat door de grondbewerking bij het afgraven¹⁹ scheuren zijn ontstaan. De Ksat van 0,2 cm/d is het meest plausibel.

Tabel B3.1

Eigenschappen en kenmerken van zware klei.

	θ_{res} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{sat} (cm ³ cm ⁻³)	Ksat (cm d ⁻¹)	α (cm ⁻¹)	l (-)	m	n (-)	Ksat (gem.) (cm d ⁻¹)	organ. stof (%)
Waterrijk ondergrond	0.00	0.56	0.091	0.003	-8.000	0.122	1.139	0.2 en 54.8	
Standaard ondergrond	0.00	0.57	4.37	0.0194	-5.955		1.089		0 - 3
bovengrond	0.01	0.54	5.37	0.0239	-5.681		1.094		3 - 5

¹⁹ Er is bij het afgraven 'achterruit' gewerkt. D.w.z. dat de graafmachine niet op het afgegraven gedeelte heeft gereden. Door het afschrappen kunnen wel scheuren ontstaan, maar de bodem wordt in principe niet verdicht.

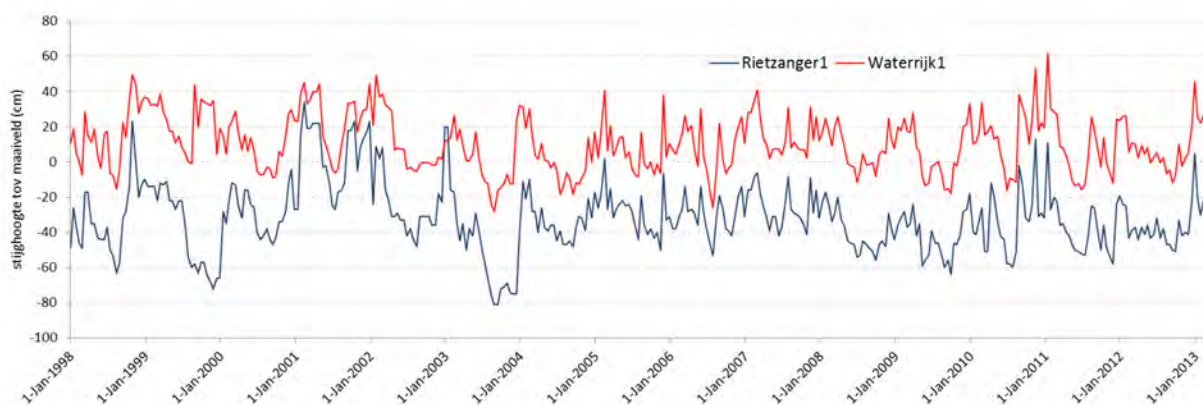


Figuur B3.3 Waterretentiekarakteristieken van kleigronden

In Tabel B3.1 staan ook de eigenschappen van een standaard boven- en ondergrond van zware klei (Wösten *et al.*, 2001). De verschillen tussen de gemeten eigenschappen en die van de standaardondergrond zijn zichtbaar in Figuur B3.3, waarin de waterretentiekarakteristieken zijn afgebeeld. Het poriënvolume van de drie gronden is vrijwel gelijk. De curves van de standaardonder- en -bovengrond verschillen ook weinig van elkaar, maar de curve voor Het Waterrijk wijkt wel af. Bij een drukhoogte van pF2-pF4 bevat deze meer vocht. De volcapillaire zone is groter, maar (bij diepere grondwaterstanden) is de capillaire nalevering kleiner.

Bijlage 4 De stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond met klimaat W+ in 2050

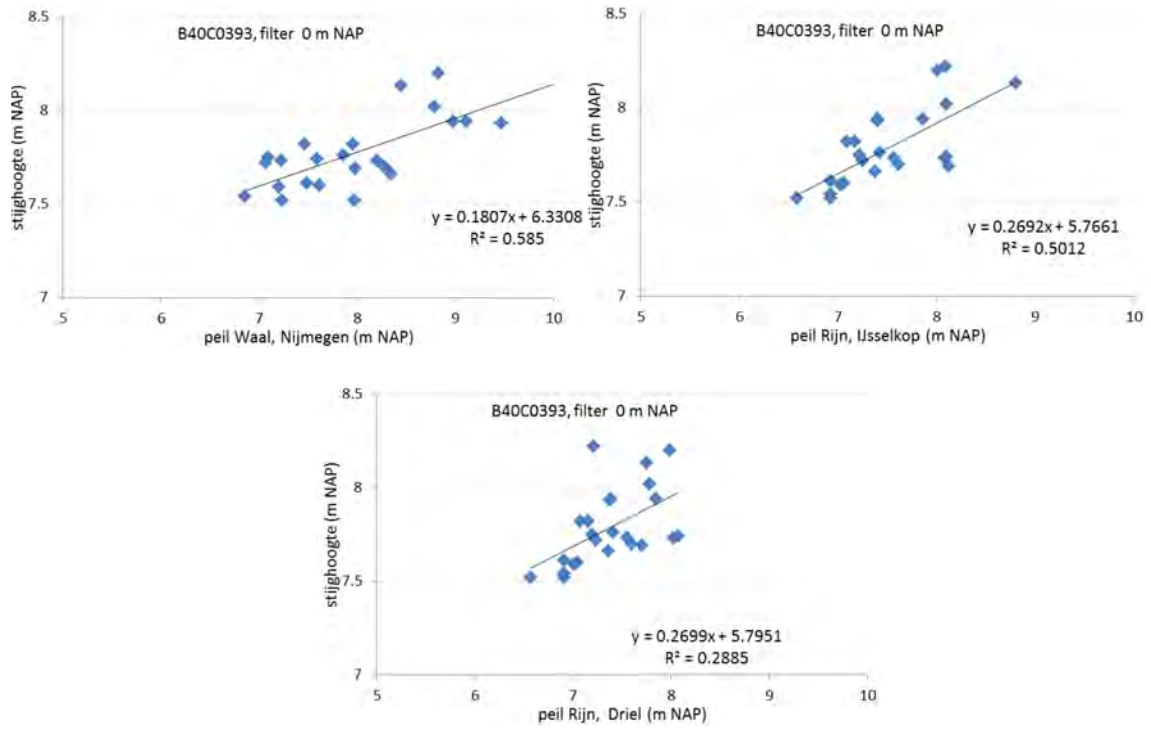
Met de gegevens van de meetbuizen in de omgeving (Bijlage 1) zijn voor het rietmoeras van De Rietzanger en Het Waterrijk tijd-stijghoogtelijnen van het diepe grondwater gemaakt (Figuur B 4.1) die gebaseerd zijn op de (gewogen) afstanden tot de dichtstbijzijnde meetpunten.



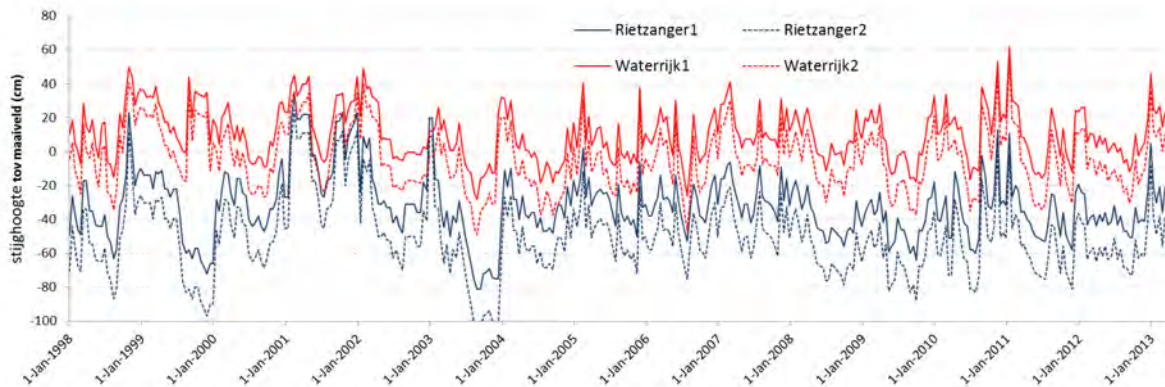
Figuur B4.1 Stijghoogte in de ondiepe zandondergrond van De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk voor het huidige klimaat (scenario 1a,b,c).

Om voor de berekeningen met klimaat W+ in het jaar 2050 over stijghoogtes te kunnen beschikken, is een aparte werkwijze gevolgd. Met een oppervlaktewatermodel (LSM), dat onderdeel is van het nationaal hydrologisch instrumentarium (NHI), zijn eerder berekeningen uitgevoerd voor het huidige klimaat (1975-2005) en voor klimaatscenario W+ in 2050. Voor W+ in 2050 zijn waarden voor neerslag en verdamping uit de reeks 1975-2005 geconverteerd (www.deltares.nl en www.knmi.nl). Uit de modeluitkomsten zijn rivierstanden geselecteerd uit 1976 plus geconverteerde 1976 (voor W+ in 2050) voor de Waal bij Nijmegen en de Rijn bij de IJsselkop en bij Driel (bovenstrooms van de stuw). Het jaar 1976 is gekozen, omdat een natte periode overgaat in een extreem droge periode. Met W+ worden de laagste peilen in 2050 lager. De hoogste standen verschillen weinig. Kortdurend zijn ze soms wat hoger.

Van buis B40C0393 is een goede meetreeks beschikbaar. Daarnaast staat deze buis op een centrale plek zonder storende invloeden vanuit de omgeving. Van dit meetpunt zijn de stijghoogtes in filter 1 (ca. 0 m NAP) van 1976 geselecteerd. De metingen zijn op of rond de 14^e en 28^e van iedere maand verricht. In Figuur B4.2 staat de correlatie van de stijghoogtes met de rivierstanden in de Waal en Rijn. Met deze verbanden en de berekende rivierstand in 2050 (voor het naar W+ geconverteerde jaar 1976) zijn de stijghoogtes voor W+ in 2050 berekend. De stijghoogtes nemen in De Rietzanger 2050 met een kleine 20 cm af en in het rietmoeras van Het Waterrijk met 15 cm. De hoogste standen veranderen weinig (Figuur B4.3).



Figuur B4.2 Verband tussen de veertiendaagse rivierstanden in 1976 op 3 verschillende plekken en de stijghoogtes van het grondwater in B40C0393.

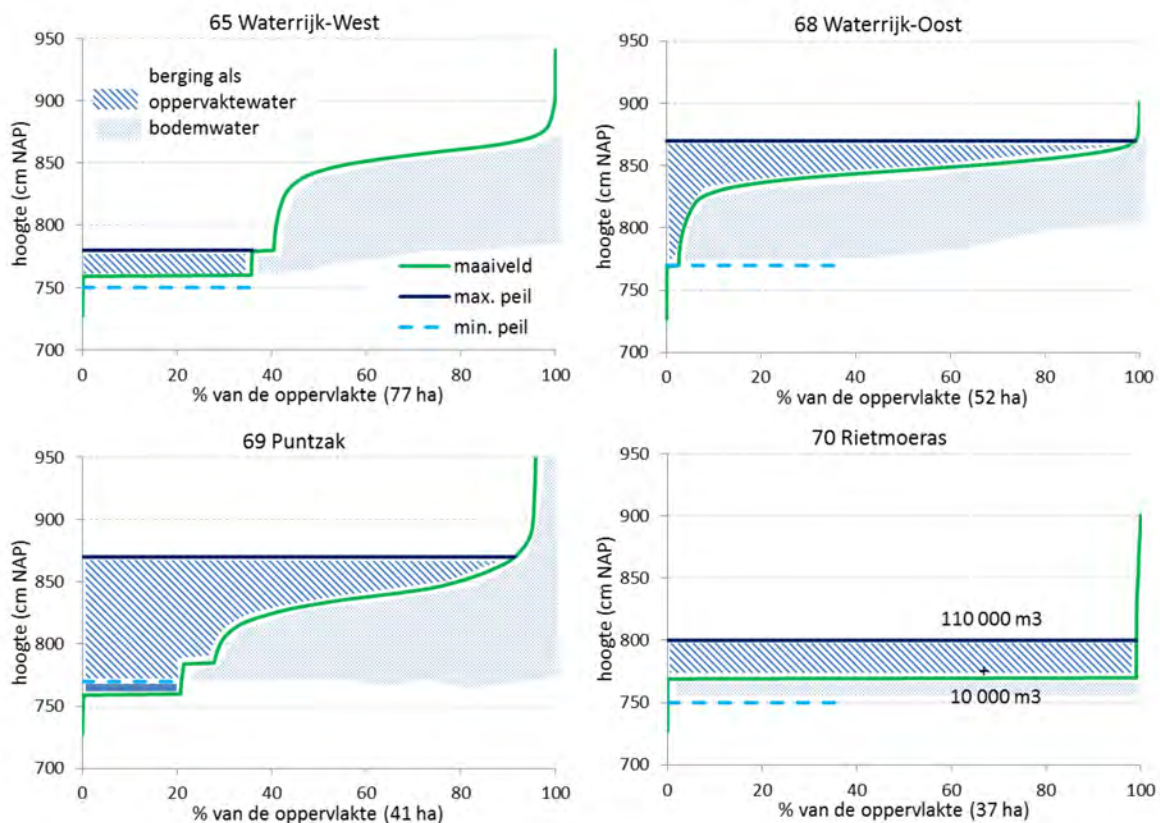


Figuur B4.3 Stijghoogte in de ondiepe zandondergrond van De Rietzanger en het rietmoeras van Het Waterrijk voor het huidige klimaat en klimaat W+ in 2050 (scenario 1 en 2).

Bijlage 5 De maximale bergingscapaciteit in de peilvakken van Het Waterrijk

Het MORIA-model wordt gebruikt in een webapplicatie dat aan de hand van vijftiendaagse weersverwachting advies geeft over het al dan niet preventief inlaten of afvoeren van water om optimaal gebruik te kunnen maken van de bergingscapaciteit van de peilvakken in Het Waterrijk. In dat kader wordt in paragraaf 4.3 ingegaan op neerslaghoeveelheden en bergingscapaciteit. De gebruikte omvang van de capaciteit wordt toegelicht met behulp van Figuur B5.1.

In MORIA is het hoogste en laagste peil van ieder peilvak en de hoogte van iedere rekencel van 50 x 50 m bekend. Door de hoogte van alle cellen in ieder peilvak te rangschikken en daarin de waterstanden aan te geven zoals in Figuur B5.1 is gedaan, kan worden berekend hoeveel water er op het maaiveld geborgen kan worden. De maximale bergingscapaciteit van de onverzadigde zone is niet alleen afhankelijk van het laagst toegestane oppervlaktewaterpeil, maar ook van de diepte van de grondwaterstand en de mate waarin de bodem is uitgedroogd. Daarvan is een schatting gemaakt door niet uit te gaan van een extreme situatie, maar van vaker terugkerende situaties met een uitgezakte grondwaterstand in een periode zonder neerslag. De hoeveelheden in Figuur B5.1 zijn in kubieke meters. In gebied 69, ook wel bekend als 'De Puntzak', kan het meeste water worden geborgen.



Figuur B5.1 De bergingscapaciteit in vier peilvakken.

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2667
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2667
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

