

Zicht op Achtergrondverlaging





Colofon

Titel

Zicht op achtergrondverlaging

Auteurs

Werkgroep Achtergrondverlaging van de Nederlandse Hydrologische Vereniging

Plaats en datum

Wageningen, mei 2017

Voorwoord

Grondwaterstanden fluctueren voortdurend, vooral onder invloed van neerslag en verdamping. Wanneer men tijdreeksen van de grondwaterstand gedegen analyseert, blijkt onder dit grillige patroon vaak een langjarige trend besloten. In studies wijst deze trend vaak op een structurele daling die groter is dan hydrologen met hun formules en computermodellen berekenen. Het verschil tussen meting en berekening wordt 'achtergrondverlaging' genoemd.

Het verschijnsel werd voor het eerst gesignaleerd door Harry Rolf, toen hij in het kader van het nationale onderzoek naar de verdroging van Nederland met tijdreeksanalyse de in peilbuizen gemeten grondwaterstand over de periode 1950-1986 analyseerde (Rolf, 1989). In het zandlandschap van Nederland, buiten de vermeende invloedssfeer van grondwaterwinningen, bleek de grondwaterstand gemiddeld een paar decimeter meer te zijn gedaald dan hij op grond van zijn berekeningen kon verklaren. Sindsdien zijn er meerdere onderzoekers geweest die zich over het fenomeen 'achtergrondverlaging' hebben gebogen.

De afgelopen drie jaren heeft het onderwerp meer dan ooit in de belangstelling gestaan in het blad *Stromingen* van de Nederlandse Hydrologische Vereniging. Vooral door toedoen van prof. Cees van den Akker, die met grote energie het blad vulde met verschillende tot repliek prikkelende bijdragen. Dat het onderwerp zoveel discussie oproept heeft ongetwijfeld te maken met het feit dat het zich leent voor speculaties: komt achtergrondverlaging voort uit in de tijd veranderende meetmethoden? is het een product van onjuiste modelberekeningen? hebben hydrologen misschien verklarende variabelen over het hoofd gezien? veroorzaken historische veranderingen in het landschap het fenomeen?

Gestimuleerd door deze discussie besloot de NHV een werkgroep 'achtergrondverlaging' in het leven te roepen, met als doel de verschillende verklaringen aan een kritische analyse te onderwerpen. Na een oproep op de website van de NHV en in *Stromingen*, startte op 6 mei 2014 de werkgroep. De samenstelling was:

- Jan van Bakel, voorzitter, namens het bestuur van de NHV;
- Cees van den Akker (tot medio 2016);
- Erik Querner;
- Gerrit Rot;
- Gerrit Schouten (vanaf medio 2015);
- Nicko Straathof;
- Wulf Vaarkamp;
- Jan-Philip Witte;
- Willem Jan Zaadnoordijk.

Alle leden verklaarden op persoonlijke titel aan de werkgroep deel te nemen.

Cees van den Akker kon zich niet verenigen met inhoud van het concept-rapport en trok zich medio 2016 terug uit de werkgroep. De op zijn bijdrage betrekking hebbende tekst en bijlagen zijn op zijn verzoek verwijderd. Daarna is een conceptversie gepubliceerd op de website van de NHV. Enkele leden hebben

gebruik gemaakt van de mogelijkheid om commentaar te leveren. Dit commentaar is zo goed mogelijk verwerkt.

Met dit rapport presenteert de werkgroep haar uiteindelijke bevindingen. Of daarmee het zicht op de achtergrondverlaging is verbeterd, laten we graag over aan het oordeel van de leden.

De leden van de werkgroep, Wageningen, mei 2017

Samenvatting

Sinds de jaren 1950 is er in Nederland een structurele daling van grondwaterstanden een stijghoogten opgetreden, ondanks dat de neerslag beduidend is toegenomen. In hydrologische studies bleek de gemeten verlaging vaak groter dan werd berekend. Voor het niet-verklaarde deel werd de term 'achtergrondverlaging' geïntroduceerd. Dit fenomeen leidde soms bij de vaststelling van landbouwschade door permanente grondwateronttrekkingen tot hevige discussies. Naar aanleiding daarvan werd door de Nederlandse Hydrologische Vereniging een werkgroep ingesteld.

In dit rapport presenteert de werkgroep de resultaten van haar onderzoek naar de oorzaken van achtergrondverlaging. Twee soorten oorzaak onderscheidt de werkgroep: fysische en procedurele.

Fysische oorzaken zijn veranderingen in het hydrologische systeem waarvan de effecten op de grondwaterstand in principe kunnen worden uitgerekend, zeker met de huidige software en rekenfaciliteiten. Denk aan verandering van landgebruik (met toename stedelijk gebied en toename gewasopbrengsten in de landbouw) en veranderingen in het waterbeheer (verbetering ontwatering en afwatering, toename beregening). Vaak worden deze oorzaken niet expliciet meegenomen in hydrologische studies, zodat hun gevolgen als achtergrondverlaging in de resultaten naar boven komen drijven. De effecten van elk van deze oorzaken variëren per gebied en per studie en zijn op basis van de bestaande literatuur niet precies te kwantificeren. Niettemin meent de werkgroep dat voor het vrij-afwaterende deel van Nederland enkele belangrijke oorzaken grof te kunnen kwantificeren: maatregelen ter verbetering van de ont- en afwatering hebben geleid tot een daling van de grondwaterstand van gemiddeld ca. 20 cm en eenzelfde daling kan worden toegeschreven aan de toegenomen verdamping door gestegen gewasopbrengsten en het dichtgroeien van natuurgebieden met bomen en struiken. Deze twee effecten mogen wegens het niet-lineaire karakter van het topsysteem overigens niet worden opgeteld. Plaatselijk of tijdelijk kunnen andere oorzaken belangrijker zijn, zoals het droogvallen van de Flevopolders, de aanleg van tunnels en de beregening uit grondwater gedurende droge zomerdagen.

Procedurele oorzaken hebben te maken met modelleer- en meetfouten, anders dan het negeren van fysische oorzaken. Ook administratieve oorzaken vallen hieronder, zoals het niet verrekenen van schade als gevolg van een verlaging van de grondwaterstand kleiner dan 5 cm. Een belangrijke procedurele oorzaak is het onvoldoende rekening houden met het niet-lineaire gedrag van het bovenste grondwater. Vooral doordat bij een dalende grondwaterstand steeds minder afwateringsmiddelen bijdragen aan de afvoer van grondwater, ontstaat dit gedrag. Het niet-lineaire gedrag leidt ertoe dat ingrepen in de juiste volgorde dienen te worden doorgerekend. De volgtijdelijkheid waarmee ingrepen hebben plaatsgevonden kan namelijk van invloed zijn op de bijdrage van iedere ingreep aan de totale verlaging.

Achtergrondverlaging is niet alleen een bron van onderzoek voor hydrologen, het is ook een verschijnsel dat grote maatschappelijke consequenties kan hebben, bijvoorbeeld voor de vaststelling van verdrogingschade aan landbouw en natuur.

De werkgroep komt daarom tot een aantal aanbevelingen, die moeten leiden tot meer zicht op achtergrondverlaging. Allereerst beveelt de werkgroep aan in het vervolg beter rekening te houden met de in dit rapport vermelde oorzaken, zoals polderpeilverlaging, gestegen gewasopbrengsten en met de consequenties van niet-lineariteit en volgtijdelijkheid. Daarnaast wordt aanbevolen om een aantal onderzoeken te starten. Een van de onderzoeken is het uitvoeren van een historisch-hydrologische analyse waarin alle fysische oorzaken van grondwaterstands­daling zo goed mogelijk worden meegenomen. Dit onderzoek dient zowel met een fysisch-deterministisch model, als met tijdreeksanalyse te gebeuren. Met dergelijke modellen kan ook geanalyseerd worden wat de gevolgen zijn van de volgtijdelijkheid waarmee ingrepen worden doorgerekend. Andere onderzoeken hebben betrekking op het vergaren van meer proceskennis, met name op het gebied van verdamping.

Vergroting van onze hydrologische kennis via dit onderzoek zal niet alleen bijdragen aan het zicht op achtergrondverlaging, en dus tot minder discussie over de vraag wie de veroorzaker is van door droogte veroorzaakte schade, maar ook tot hydrologisch inzicht dat breder toepasbaar is.

Inhoud

	Voorwoord	1
	Samenvatting	3
	Inhoud	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Historische studies naar achtergrondverlaging	7
1.3	Hydrologische aspecten van achtergrondverlaging	9
1.4	Maatschappelijk belang van achtergrondverlaging	10
1.5	Afbakening en opzet van deze studie	12
2	Fysische oorzaken van achtergrondverlaging	15
2.1	Inleiding	15
2.2	Berekening	15
2.3	Verbetering waterhuishouding en detailontwatering vrij-afwaterend Nederland	16
2.4	Peilbesluiten	20
2.5	Grootschalige ingrepen	21
2.6	Wijzigingen in landgebruik en stijging van gewasopbrengsten	23
2.7	Verandering van neerslag en referentieverdamping	29
2.8	Samenvatting	30
3	Procedurele oorzaken van achtergrondverlaging	31
3.1	Inleiding	31
3.2	Administratieve oorzaken	31
3.3	Onjuiste schematisering processen	32
3.4	Fouten die samenhang met het niet-lineaire karakter van het hydrologisch systeem	33
3.5	Onvoldoende rekening houden met traagheid grondwatersysteem	34
3.6	Onjuist toepassen tijdreeksanalyse	37
3.7	Samenvatting	38
4	Discussie	39
4.1	Evaluatie van deze studie	39
4.2	Conclusies	39
4.3	Aanbevelingen	41
	Referenties	45

Bijlagen

I.	Verslagen van gesprekken met medewerkers van Vitens en Brabant Water	i
II.	Toekomstige effecten door veranderingen in klimaat en grondgebruik	v

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De NHV heeft aan het verschijnsel Achtergrondverlaging op 22 november 2013 een middag gewijd, met als thema: 'De achtergrondverlaging op de voorgrond'. Voor het verslag wordt verwezen naar de NHV-site (www.nhv.nu/werkgroep-achtergrondverlaging) en het blad Stromingen (Van Bakel, 2013b). Een conclusie van deze middag was dat het zicht op de achtergrondverlaging nog allerm minst helder was. Ook werd de wens geuit dit complexe en zeer beleidsrelevante onderwerp inhoudelijk nader uit te diepen. Wat zijn de gedeelde (en ongedeelde) definities en feiten, wat kunnen de analytische en numerieke rekenmethoden ons leren en wat betekent dat voor een mogelijke actualisering van de methoden voor het bepalen van de effecten van ingrepen in de waterhuishouding?

Het NHV-bestuur heeft daartoe begin 2014 de werkgroep Achtergrondverlaging ingesteld. De resultaten die de werkgroep oplevert dienen het inzicht in de oorzaken van verandering van grondwaterstanden en stijghoogtes te vergroten, ook van veranderingen in de toekomst. Denk aan de gevolgen van klimaatverandering en veranderingen in landgebruik. Verder zijn deze inzichten relevant voor de beoordeling van de huidige waterhuishouding van Nederland, het ontwerpen van waterbeheermaatregelen en het beoordelen van de effecten van ingrepen.

De werkgroep heeft achtergrondverlaging gedefinieerd als:

dat deel van de uit waarnemingen afgeleide en over grotere gebieden en tijdschalen aanwezige verlaging van de grondwaterstand- en stijghoogte, dat niet kan worden verklaard op basis van de gebruikte kennis.

Daarbij kan die kennis (in breedste zin des woords, dus inclusief gegevens en modellen) zowel onjuist zijn toegepast, als onvolledig zijn geweest.

In principe is het mogelijk dat in een bepaald gebied ook een negatieve achtergrondverlaging wordt vastgesteld, dat wil zeggen een systematisch hogere gemeten grondwaterstand dan berekend, dus achtergrondverhoging. Omwille van de eenvoud spreken we in het vervolg van dit rapport echter telkens van 'achtergrondverlaging'.

Achtergrondverlaging heeft dus betrekking op historische analyses van grondwaterstanden en stijghoogten; de volgende paragraaf geeft een beknopt overzicht van zulke analyses. Daarna beschrijven we hoe structurele veranderingen behoren te worden vastgesteld (§ 1.3) ten behoeve van maatschappelijke vraagstukken (§ 1.4). We besluiten dit hoofdstuk met een afbakening en opzet van deze studie (§ 1.5).

1.2 Historische studies naar achtergrondverlaging

De afgelopen eeuw zijn grondwaterstanden en stijghoogten in vrijwel geheel Nederland structureel lager geworden. Al in een vroege fase werden oorzaken aangedragen voor de geconstateerde daling. Zo noemt de Tweede Nota Waterhuishouding uit 1984 onttrekkingen en de verbetering van ontwatering en afwatering (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1985). Rond deze tijd groeide het bewustzijn dat de daling ongewenste effecten had, bijvoorbeeld op de natuur. Naar

aanleiding hiervan analyseerde Rolf (1989) tijdreeksen van grondwaterstanden verdeeld over Nederland. Hij bepaalde de verandering door menselijke invloeden over de periode van 1950 tot 1986 door te corrigeren voor de effecten van neerslag en verdamping. Het jaar 1950 gebruikte hij als referentie wegens de beschikbare gegevens en omdat juist na die tijd veel is ingegrepen in de Nederlandse waterhuishouding. Hij concludeerde dat in grote gebieden buiten ruilverkavelingen en onttrekkingskegels van grondwaterwinningen een "diffuse, regionale" daling was opgetreden van ca. 20 centimeter. Hij noemde deze daling 'achtergrondverdroging' (in dit rapport aangeduid met de neutralere term 'achtergrondverlaging') en gaf als belangrijkste oorzaak de toename van waterhuishoudkundige ingrepen in de jaren rond 1960.

In de provincie Gelderland heeft in de periode 1988-1992 verdrogingsonderzoek plaats gevonden met als doel inzicht te krijgen in de omvang en oorzaken van de verdroging (Anonymous, 1993). De stijghoogteverandering in een groot aantal waarnemingspunten werden daarbij bepaald met cumulatieve som analyse (Kooiman, 1993). De effecten van bekende ingrepen (ingrepen in de landbouwwaterhuishouding, grondwateronttrekkingen) gedurende de periode 1950-1990 werden aldus gekwantificeerd.

Maas e.a. (1991) noemden een andere oorzaak: extra gewasverdamping samenhangend met de productietoename in de landbouw. Zij berekenden dat de bijbehorende grondwaterstands daling in de orde lag van de door Rolf (1989) bepaalde achtergrondverlaging. Van Bakel & De Wit (1995) onderzochten de evapotranspiratie van het gewas aardappelen bij de productiestijging van 40% die optrad tussen 1955 en 1987. Zij berekenden een toename van 43 tot 76 mm en ondersteunden deze waarden met waterbalansberekeningen voor de Noordoostpolder. Querner & Aarnink (1997) simuleerden scenario's waarin ze veranderingen over de 40 voorafgaande jaren individueel simuleerden voor drie gebieden in Nederland. Hierbij bleken veranderingen in ont- en afwatering beduidend meer invloed te hebben dan toename van grondwateronttrekkingen, verandering in verdamping door toegenomen gewasproductie, toename van beregening, en dan wijzigingen in bodemgebruik en verstedelijking.

Kremers & Van Geer (2000) onderzochten als vervolg op de analyse van Rolf (1989) de ontwikkeling een groter aantal meetreeksen voor de periode 1955-2000, die ze ook corrigeerden voor variatie in neerslag en verdamping. Zij gaven als voorzichtige conclusie dat voor het hele land "een behoorlijke daling in het begin van de onderzoeksperiode (1950 tot 1965) en vervolgens een stabilisatie op een lager niveau" is opgetreden. Ze constateerden die stabilisatie niet overal: "In de regio Noord Limburg / Oost Brabant is sprake van een steeds lager wordend periodegemiddelde, terwijl in midden Gelderland, met name in de laatste 20 jaar, een steeds hoger wordende periodegemiddelde is waar te nemen". Zij analyseerden niet de oorzaken van de gevonden veranderingen.

Ook Maas & Von Asmuth (2004) probeerden meer factoren te kwantificeren voor de opgetreden daling van de grondwaterstand in de provincie Limburg. Zij bestempelden de winning van grondwater voor de drinkwatervoorziening, ruilverkavelingen en grindwinning als hoofdoorzaken. Zij kwamen tot de conclusie dat deze de daling niet afdoende verklaren en noemden beregening, drainage en verandering van grondgebruik als mogelijke "achtergrondoorzaken".

Knotters & Jansen (2005) vergeleken de COLN-kaarten van rond 1950, Gt-kaarten (1960-1998) en de Gd-kaart uit het jaar 2000 en concludeerden op basis hiervan dat ook na 1989 de grondwaterstandsaling was doorgegaan op de hogere zandgebieden. Er werd niet gecorrigeerd voor verschillen in de weersgesteldheid. Daarbij hoort de aantekening dat de GHG van de Gd-kaart algemeen als te droog wordt aangemerkt. Ook werden de oorzaken niet nader geanalyseerd zodat de gevonden daling niet als achtergrondverlaging kan worden aangeduid.

Maas (2012) analyseerde verschillen in de berekende verlagingen rond de winning Terwisscha. Verlagingen bepaald met behulp van tijdreeksanalyse en verlagingen verkregen met gekalibreerde grondwatermodellen, bleken in zijn studie systematisch te verschillen. Dat verschil wist hij op te heffen door 30 cm (afbeelding 23 in Maas (2012)) van de waargenomen verlagingen toe te schrijven aan achtergrondverlaging (afbeelding 31 in Maas (2012)).

Het compendium voor de Leefomgeving (CBS e.a., 2016a, 2016b) stelt dat de daling van de ondiepe grondwaterstand van 20 tot 40 cm in grote delen van Hoog-Nederland is veroorzaakt door aanpassingen in de waterhuishouding voor de landbouw. De auteurs refereren daarvoor naar Kremers & Van Geer (2000), die echter geen uitspraken doen over de oorzaken van de geconstateerde daling.

1.3 Hydrologische aspecten van achtergrondverlaging

Grondwaterstanden en stijghoogten veranderen voortdurend onder invloed van het weer. Het weer heeft een natuurlijke variatie. Daarnaast zijn er invloeden die structurele veranderingen veroorzaken. Onze analyse heeft betrekking op de waargenomen structurele veranderingen.

Structurele veranderingen van grondwaterstanden en stijghoogtes zullen ook in de toekomst doorgaan. Denk aan de gevolgen van klimaatverandering en veranderingen in landgebruik. Deze veranderingen kunnen beter worden voorspeld naarmate we meer inzicht hebben in veranderingen die in het verleden hebben plaatsgevonden. Onze studie naar achtergrondverlaging kan daartoe bijdragen.

Ingrepen in de waterhuishouding van Nederland, zoals aanleg van buisdrainage en grondwateronttrekkingen, kunnen leiden tot een verandering van grondwaterstanden en stijghoogten en van de waterbalanstermen: berging, verdamping en afvoer. Sommige effecten zijn bedoeld, zoals verlaging van de grondwaterstand van landbouwpercelen in natte perioden. Andere zijn 'onbedoeld' of 'bijkomend effect', zoals de verlaging door grondwaterwinning van de grondwaterstand in landbouwpercelen tijdens het groeiseizoen.

Voor ingrepen in de waterhuishouding van enige omvang is de veroorzaker verplicht de gevolgen in beeld te brengen en de eventuele schade te vergoeden of te zorgen voor mitigerende maatregelen. Het optreden van de schade wordt gekoppeld aan de verandering van hydrologische variabelen, bijvoorbeeld de grondwaterstand en de kwel. Dit zijn de effectvariabelen. De relatie tussen ingreepvariabelen en effectvariabelen kan niet-lineair zijn. De belangrijkste drie oorzaken daarvan zijn:

- Ten eerste kan de drainageweerstand afhangen van de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld: naarmate de grondwaterstand daalt komen er steeds meer greppels en sloten droog te staan, waardoor de

drainageweerstand toeneemt. Hoe dieper de grondwaterstand ligt, des groter de grondwaterstands daling ten gevolge van 1 mm capillaire nalevering (en stijgt ten gevolge van 1 mm percolatie);

- De tweede oorzaak komt voor bij hoge grondwaterstanden. Dan is de freatische bergingscoëfficiënt afhankelijk van de hoogte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld;
- De derde oorzaak is dat bij diepe grondwaterstanden in het groeiseizoen de vegetatie een vochttekort kan gaan ondervinden, doordat de capillaire nalevering vanuit het grondwater onvoldoende is. De verdamping wordt dan gereduceerd en uiteindelijk kunnen planten verwelken en volledig afsterven, waardoor de verdamping nog verder afneemt.

Het niet-lineaire karakter leidt er bijvoorbeeld toe dat een twee maal zo grote grondwaterwinning niet leidt tot een twee maal zo grote schade aan landbouwgewassen omdat: (a) de relatie tussen grondwaterstand en afvoer niet-lineair is (Ernst, 1971) en (b) de reductie van de evapotranspiratie en gewasproductie niet-lineair afhangt van de grondwaterstand. Het niet-lineaire gedrag van het watersysteem heeft twee belangrijke implicaties. De eerste is dat het effect van een ingreep op de grondwaterstand afhangt van het traject waarover die verlaging plaatsvindt, en dus van de uitgangssituatie: het aanvankelijke grondwaterstandsniveau (de referentiegrondwaterstand). Ten tweede dat bij meerdere ingrepen in het watersysteem het afzonderlijke effect van een ingreep afhangt van de volgorde waarin de ingrepen plaatsvinden. Bij berekening van de gevolgen van meerdere ingrepen dient daarom met deze volgtijdelijkheid rekening te worden gehouden.

NB: het belang van uitgangssituatie en volgtijdelijkheid is niet beperkt tot ingrepen in strikte zin, maar is ook van belang indien structurele veranderingen in neerslag en actuele verdamping zijn opgetreden. Denk aan klimaatverandering en de toe- of afname van de actuele verdamping door verandering van landgebruik. Wij komen hier in § 2.6 op terug.

1.4 **Maatschappelijk belang van achtergrondverlaging**

Maatschappelijk is achtergrondverlaging met name van belang bij het identificeren en kwantificeren van de oorzaken van grondwaterstandsverlagingen die effecten hebben op de land- en bosbouw, de natuur en de bebouwde omgeving.

De wetgever heeft in de praktijk gesanctioneerde werkwijzen voorgeschreven om effecten van een ingreep te beoordelen. De aanpak bestaat globaal uit de volgende stappen:

1. De invloed van de ingreep op de effectvariabelen wordt voorspeld. Dit kan met bijvoorbeeld een regressiemodel of met een deterministisch, regionaal hydrologisch model.
2. Aan de hand van de voorspelde verandering van de effectvariabelen wordt besloten of de ingreep toelaatbaar is, en wat gedaan moet worden ten aanzien van eventuele schade. Hierbij kan ook monitoring van de effecten worden voorgeschreven.
3. Evaluatie en eventuele bijstelling van de ingreep aan de hand van de monitoringsresultaten.

In de huidige praktijk van bepaling van effecten van permanente grondwateronttrekkingen ten behoeve van vaststelling van schade aan de landbouw en de natuur worden voor de in de hiervoor genoemde stap 1 grofweg de volgende methoden toegepast (zie ook de verslagen van twee geïnterviewde personen in bijlage I):

- 1a. Met een niet-stationair, numeriek verzadigd regionaal grondwatermodel wordt een relatie gelegd tussen de verandering in ingreepvariabele (de grondwateronttrekking) en de verandering van effectvariabelen waaraan schade aan natuur, landbouw en bebouwing is te koppelen. Veel gebruikte effectvariabelen zijn de GHG, GVG, GLG en kwelflux, omdat er tools beschikbaar zijn die de verandering van deze variabelen vertalen in schades aan deze functies.
- 1b. Met een stationair, verzadigd, regionaal grondwatermodel wordt een ruimtelijk variabele relatie gelegd tussen de verandering van de ingreepvariabele en de tijdsgemiddelde grondwaterstand of stijghoogte als effectvariabele. Hiermee worden schades bepaald. Voor het overige is de werkwijze gelijk aan die onder punt 1a.
- 1c. Achteraf wordt met tijdreeksanalyse een statistische relatie gelegd tussen de ingreepvariabele en effectvariabele. De statistische relatie wordt getoetst op fysische plausibiliteit. Zo wordt verondersteld dat op grote afstand van de winning geen verlaging door de winning optreedt. De aldaar bepaalde statistische verlaging wordt als achtergrondverlaging beschouwd.
- 1d. Via bovenstaande methoden verkregen berekende effecten worden met elkaar vergeleken. De vergelijking kan leiden tot aanpassing van een gebruikt model. Als de op waarnemingen gebaseerde verlaging (uit 1c) belangrijk groter is dan de met het model berekende verlaging (tijdsafhankelijk (1a) of stationair (1b)) wordt een nader onderzoek uitgevoerd om een verklaring voor de afwijking te vinden. Als er geen verklaarbare oorzaak te benoemen is wordt het verschil veelal aangeduid als 'achtergrondverlaging'.

Wegens het niet-lineaire gedrag van het topsysteem is bij iedere ingreep de vraag aan de orde wat de uitgangssituatie was. In theorie is deze vraag te beantwoorden door met modellen de uitgangssituatie te simuleren, waarbij de randvoorwaarden (klimaat, modelranden) en sturende eigenschappen (relatie grondwateroppervlaktewater, relatie grondwaterstand en freatische berging, onverzadigde doorlatenheden, dikte wortelzone, gewasontwikkeling, geohydrologische eigenschappen, et cetera) zo goed mogelijk worden gespecificeerd.

De invloed van zogenaamde autonome ontwikkelingen die de uitgangssituatie veranderen, kunnen in de simulaties meegenomen worden. Zo is in diverse ruilverkavelingen bewust rekening gehouden met geplande waterwinningen en uitbreidingen van stedelijk gebied. Het begrip achtergrondverlaging komt in deze aanpak niet voor omdat alle relevant geachte invloeden expliciet zijn beschouwd. Als echter achteraf gemeten verlagingen worden geconstateerd die groter zijn dan de voorspelde effecten en voor het verschil geen verklaring is te geven, is er sprake van achtergrondverlaging.

Voor de schadevaststelling is het van belang te onderzoeken waardoor deze achtergrondverlaging is veroorzaakt: zijn er belangrijke veranderingen over het

hoofd gezien, zijn er misschien fouten gemaakt tijdens de modellering? Uit de gesprekken en bestudering van enige schaderapporten van de Technische Commissie Grondwaterbeheer (TCGB, thans ACSG: Adviescommissie Schade Grondwater) komt naar voren dat de verlaging van de grondwaterstand door andere oorzaken dan de grondwateronttrekking soms moeilijk is vast te stellen en dat de wijze waarop die doorwerkt in de schadebepaling niet altijd consistent en duidelijk is.

Een geconstateerde achtergrondverlaging kan worden gebruikt om een correctie van de effectbepaling uit te voeren. Daarbij is zowel de grootte van de achtergrondverlaging als de wijze waarop die in rekening wordt gebracht van invloed op de gehanteerde relatie tussen ingreepvariabele en effectvariabele. Uit de beschouwing over de niet-lineariteit volgt namelijk dat het vooraf of achteraf corrigeren voor de achtergrondverlaging niet tot dezelfde uitkomst hoeft te leiden. Kennis over wanneer de achtergrondverlaging is ingetreden, is dus van belang voor het vaststellen van de veroorzakers van de schade aan landbouw en natuur.

1.5 Afbakening en opzet van deze studie

Verandering van grondwaterstanden en stijghoogtes door menselijke ingrepen is al sinds de intrede van de mens aan de orde. Denk aan het maken van een verbinding tussen de Rijn en IJssel door de Romeinen, aan de aanleg van droogmakerijen, sprengen en kanalen, en aan de ontginning van heide-, laagveen- en hoogveengebieden.

In de zogenoemde COLN-periode (Visser, 1958), begin jaren negentienvijftig, is de grondwaterstandssituatie in met name de landbouwgebieden per provincie in rapporten en kaarten vastgelegd. De vrijwel landsdekkende beschrijving maakt deze periode geschikt als referentiesituatie. Ook om een andere reden is dit een voor de hand liggende keuze: in de jaren negentienvijftig tot -negentig zijn op grote schaal peilverlagingen in polders doorgevoerd, zijn ruilverkavelingen en waterbeheersingswerken uitgevoerd, zijn de permanente en seizoensgebonden grondwateronttrekkingen aanzienlijk toegenomen, is de productie in de landbouw verveelvoudigd en is het stedelijk gebied aanzienlijk uitgebreid. Bovendien is deze periode als referentie gebruikt in eerdere onderzoeken naar achtergrondverlaging (bijvoorbeeld Rolf (1989)).

De situatie aan het begin van de 21^e eeuw vergelijken we in deze studie daarom met deze referentiesituatie: het begin van de jaren negentienvijftig. Het gaat dus om de veranderingen in grondwaterstanden en stijghoogten gedurende ongeveer een halve eeuw. Verder ligt de nadruk van ons onderzoek op de hogere zandgronden van Nederland, omdat daar het verschijnsel achtergrondverlaging het vaakst is geconstateerd en ook het meest manifest is.

Achtergrondverlaging heeft betrekking op een structurele daling van de grondwaterstand of stijghoogte, waarvan de oorzaken niet, of niet voldoende, bekend zijn. In navolging van Maas & Von Asmuth (2004) noemen wij dit achtergrondondoorzaken. Wanneer de oorzaken van de daling bekend en goed gekwantificeerd zijn, scharen wij die onder de voorgrondondoorzaken. Grondwaterwinning of een peilverlaging behoort dus tot een voorgrondondoorzaak wanneer de door die ingreep veroorzaakte daling op een juiste manier is berekend.

In dit rapport gaan we uiteraard vooral op zoek naar de achtergrondoorzaken. Daarvan zijn er ruwweg twee categorieën. Ten eerste fysische oorzaken, dat wil zeggen verklaringen voor fysische veranderingen in het watersysteem die in effectstudies vaak over het hoofd worden gezien. Denk aan het negeren van veranderingen in landgebruik. Deze oorzaken behandelen we in Hoofdstuk 2. Ten tweede kan achtergrondverlaging een artefact zijn van modelleerfouten, verkeerde metingen of van de gevolgde administratieve procedure. Denk aan het niet juist schematiseren van het studiegebied in een hydrologisch model, of het systematisch anders meten van grondwaterstanden. Wij noemen dit de procedurele oorzaken van achtergrondverlaging, die in Hoofdstuk 3 aan de orde komen. Bij fysische oorzaken gaat het dus om systeemeigenschappen of -veranderingen die over het hoofd zijn gezien, bij procedurele oorzaken om fouten in de gehanteerde meet- of rekentechnieken.

We besluiten dit rapport met een discussie (Hoofdstuk 4) waarin we de bevindingen van ons onderzoek kritisch bespreken, conclusies trekken en aanbevelingen doen voor vervolgstudies en voor het omgaan met achtergrondverlaging in effectstudies.

2 Fysische oorzaken van achtergrondverlaging

2.1 Inleiding

De verlaging (soms verhoging) van grondwaterstanden en stijghoogten, die zich in Nederland heeft voorgedaan sinds de jaren vijftig, kan verdeeld worden in een verklaarde verlaging en een achtergrondverlaging. De verklaarde verlaging wordt veroorzaakt door expliciet beschouwde oorzaken: de voorgrondoorzaken. De achtergrondverlaging is de resterende verlaging. Wanneer alle mogelijke oorzaken worden beschouwd en we in staat zijn hun effecten nauwkeurig te kwantificeren, zou er geen achtergrondverlaging meer hoeven te zijn. Bij het beoordelen van effecten van een specifieke ingreep, worden in de praktijk echter niet alle oorzaken expliciet beschouwd, maar worden naast de ingreep vaak alleen neerslag en verdamping in rekening gebracht. Daarbij wordt dan het begrip achtergrondverlaging gebruikt om verlaging aan te duiden die niet toegerekend kan worden aan de ingreep. Een dergelijke aanpak is meer gevoelig voor systematische fouten dan een complete analyse met alle mogelijke factoren, omdat verschillende onderdelen los van elkaar bepaald worden en de onderlinge beïnvloeding door fouten en onnauwkeurigheden minder duidelijk is en in de praktijk vaak niet onderzocht wordt.

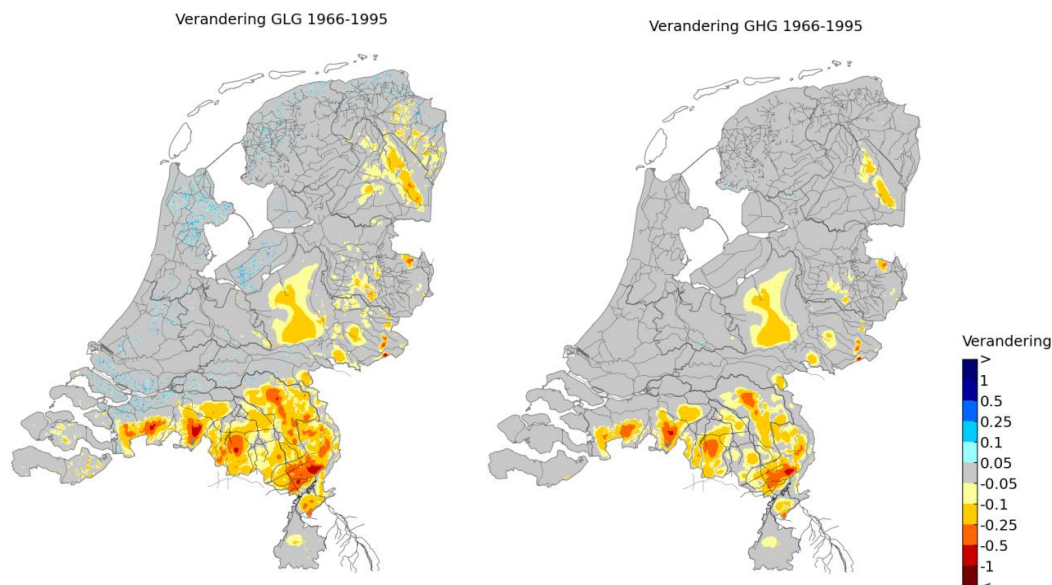
Sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw is er veel veranderd in Nederland met gevolgen voor de waterhuishouding. Deze veranderingen kunnen bijdragen aan de achtergrondverlaging wanneer hun invloed niet expliciet is beschouwd als voorgrondverlaging. Dit hoofdstuk somt de mogelijke achtergrundoorzaken op die door de werkgroep zijn geïdentificeerd.

2.2 Berekening

In effectstudies worden de effecten van berekening uit grondwater vaak niet meegenomen. Bovendien zijn cijfers over de hoeveelheid grondwater die wordt onttrokken voor dit doel, met grote onzekerheden omgeven.

Sinds het extreem droge jaar van 1976 is berekening sterk toegenomen, vooral in het zuidelijk zandgebied. Ten behoeve van het Deltaprogramma Zoetwater zijn met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) berekeningen uitgevoerd waaruit blijkt dat een verdubbeling van de huidige omvang van de berekening kan leiden tot een aanzienlijke daling van de grondwaterstand (Van Bakel e.a., 2015). Figuur 2-1 geeft een goed beeld van de met NHI berekende daling van de grondwaterstand (GHG en GLG). De gepresenteerde daling is grofweg gelijk te stellen aan de daling die de laatste vijftig jaar heeft plaats gevonden (aangenomen dat vijftig jaar geleden nauwelijks werd berekend uit grondwater). Vanwege de afhankelijkheid van de uitgangssituatie (nu droger dan vijftig jaar geleden) is dat een overschatting.

Berekening uit oppervlaktewater leidt (lokaal) juist tot een verhoging van de grondwateraanvulling omdat grofweg 40% van de beregende hoeveelheid water niet verdampt. Daardoor stijgen de grondwaterstanden ten opzichte van de situatie zonder berekening, tot uiting komend in een mindere daling in de loop van het beregeningsseizoen en een snellere stijging in het najaar. Per saldo resulteert dit vooral in een stijging van de GLG.



Figuur 2-1. Met NHI berekende verandering in GLG en GHG (m) als gevolg van verdubbeling van de huidige beregeningsomvang uit grondwater (ontleend aan Van Bakel e.a. (2015)).

Conclusies

- De daling van met name de GLG door beregening uit grondwater kan aanzienlijk zijn. Echter, de beregening varieert sterk binnen het jaar en van jaar tot jaar en was redelijk onbekend qua grootte. Ook van de locaties en dieptes van de filters van de onttrekkingspunten was (en is) weinig bekend. Bovendien is de verlaging afhankelijk van de uitgangstoestand en de grootte van de permanente onttrekkingen gedurende de beregeningsperiode vanwege het in § 1.3 genoemde niet-lineaire karakter van het watersysteem. Om die redenen zijn de effecten van beregening uit grondwater op grondwaterstanden en stijghoogten niet goed bekend en kan beregening één van de oorzaken zijn van de achtergrondverlaging in het vrij afwaterend deel van Nederland.
- In die delen van Nederland waar wordt beregend met oppervlaktewater (vooral waar wateraanvoer vanuit het hoofdsysteem mogelijk is) leidt beregening juist tot een verhoging van met name de GLG. Om dezelfde redenen als genoemd bij beregening uit grondwater wordt hier veelal niet of onvoldoende rekening mee gehouden en kan het een oorzaak zijn van achtergrondverhoging.
- Als beregening zowel uit grondwater als uit oppervlaktewater in hetzelfde gebied wordt toegepast kan niet zonder meer worden aangegeven of de grondwaterstand zal dalen of stijgen.

2.3 Verbetering waterhuishouding en detailontwatering vrij-afwaterend Nederland

Verbetering van de waterhuishouding ten behoeve van de landbouw is een veel genoemde oorzaak van achtergrondverlaging (bijvoorbeeld Rolf (1989) en Maas & Von Asmuth (2004)). Deze 'verbetering' werd in de jaren negentienvijftig tot en met negentig op grote schaal uitgevoerd in het kader van ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten (met technische ondersteuning van achtereenvolgens de Cultuurtechnische Dienst, de Landinrichtingsdienst en de Dienst Landelijk Gebied).

Bij deze projecten werden de (hoofd-) waterlopen verruimd en het waterpeil in de winter veelal verlaagd. De verbetering van het detailsysteem bestond onder andere uit het verdiepen van de perceelsslots (veelal in combinatie met het dempen van slots en greppels om perceelvergroting mogelijk te maken) en/of het aanleggen van buisdrainage. In de beginperiode lag hier vooral de nadruk op; vanaf de tachtiger jaren verschoof de aandacht naar beekherstel en waterconservering door de aanleg van stuwen.

Om zicht te krijgen op de effecten van ruilverkavelingen en andere agrohydrologische maatregelen hebben wij een (beperkt) literatuuronderzoek uitgevoerd (zie: www.debakelstroom.nl/kennisbank onder de rubriek: Werkgroep Achtergrondverlaging; URL: <http://www.debakelstroom.nl/wp-content/uploads/Effectenruilverkavelingen-10december-2014.docx>). De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- De effecten van de uitgevoerde ingrepen op de grondwaterstanden zijn niet systematisch gemonitord. De gemiddelde effecten op de grondwaterstanden zijn van te voren wel berekend; met name van de latere landinrichtingsprojecten zijn gebiedsdekkende hydrologische berekeningen gemaakt;
- De exacte datum van uitgevoerde werken is meestal niet bekend. Daardoor is op grond van grondwaterstandswaarnemingen moeilijk vast te stellen wat de effecten zijn geweest. De door o.a. Amstel e.a. (1989), Braat e.a. (1987), Braat e.a. (1989) en Knotters & Jansen (2005) vastgestelde opgetreden verandering in de grondwaterstand sinds de jaren vijftig (de zogenoemde COLN-periode; Visser (1958)) is een totale verandering en die dus niet is opgesplitst naar oorzaken, zoals ruilverkaveling, waterwinning en verstedelijking;
- Bij sommige beekverbeteringsprojecten is wel hydrologisch onderzoek gedaan. Door bijv. Bon (1963) is in het stroomgebied van de Lunterse Beek vastgesteld dat door een verdieping van de beken met ongeveer 50 à 60 cm de gemiddelde grondwaterstand met ongeveer 20 cm wordt verlaagd. De verdieping van de Reusel was eveneens aanzienlijk, tot wel 1 m (Van Walsum e.a., 2002);
- Door Van de Meer (Landinrichtingsdienst, 1988) zijn, op basis van jarenlange ervaring met de gevolgen van agrohydrologische ingrepen, de effecten geschat van de ruilverkavelingen in Noord-Brabant die werden uitgevoerd in de periode jaren vijftig tot ca. 1988. Volgens deze schatting is gemiddeld over alle ruilverkavelingsgebieden met minder dan 10% buisdrainage de GHG en GLG in landbouwgebieden gedaald met afgerond respectievelijk 25 cm en 10 cm (zie ook Tabel 7-1 in Witte e.a. (2015b));
- In het reeds aangehaalde Verdrogingsonderzoek in de provincie Gelderland (Anonymous, 1993) is afgeleid dat ingrepen in de landbouwwaterhuishouding vooral in Oost-Gelderland en het zandgebied van de Gelderse Vallei hebben geleid tot een verlaging van de gemiddelde grondwaterstand in de orde van 10 tot 40 cm. Maar er zijn ook gebieden waar geen invloed is vastgesteld.
- Er zijn veel resultaten van berekeningen met hydrologische modellen op regionale en perceelschaal beschikbaar, zoals:
 - Voor de provincie Drenthe is met NAGROM berekend dat de stijghoogte in het 1^e watervoerende pakket door waterhuishoudkundige maatregelen

ten behoeve van de landbouw tussen 1950 en 1990 is gedaald met 5 tot meer dan 50 cm en gemiddeld met zo'n 30 cm (Arnold & De Lange, 1990). Door de aanwezigheid van keileem in grote delen van het gebied kan de verlaging van de grondwaterstand hiervan afwijken;

- Door Querner e.a. (1994) is voor drie voorbeeldgebieden (Kromme-Rijng gebied in de provincie Utrecht, het Westerwoldegebied in de provincie Groningen en het gebied van de Poelsbeek en Bolscherbeek in Twente) o.a. het effect van verdieping van de ontwateringsbasis doorgerekend, met als resultaat een aanzienlijke doorwerking op de GHG (ca. 90%) en een duidelijke geringere doorwerking op de GLG (ca. 50%);
- Voor de Lage Raam (Noordoost-Brabant) is berekend dat het terugdraaien van de beekverbetering leidt tot een verhoging van de GHG met 10 tot 25 cm en geringere verhoging van de GLG (Luijendijk & Van Bakel, 1995);
- In het stroomgebied van de Stortelersbeek leidt een verhoging van de beekbodem tot 75 cm -mv tot een aanzienlijke verhoging van de GHG en GLG in de centrale delen van het stroomgebied maar er zijn ook grote delen waar geen verandering optreedt (Cirkel e.a., 2003);
- Uit berekeningen met SWAP (Van Bakel e.a., 2008) is af te leiden dat aanleg van buisdrainage leidt tot een forse daling van de GHG (ca. 40 cm) en een veel geringere daling van de GLG (ca. 10 cm);

Ondanks alle onzekerheden is in genoemd literatuuroverzicht een schatting gegeven van de totale verandering als gevolg van uitvoering van ruilverkavelingen en andere agrohydrologische maatregelen (Tabel 2-1). Daarbij moet worden benadrukt dat het om een gebiedsgemiddelde schatting gaat en dat verschillen zowel tussen als binnen regio's groot kunnen zijn.

Tabel 2-1. Gebiedsgemiddelde verandering van de GHG en GLG (+ is verhoging,- is verlaging) van een aantal waterhuishoudkundige maatregelen die in de periode 1955-1985 zijn uitgevoerd en geldig zijn voor het vrij afwaterend deel van Nederland in gebieden met meer dan 50% landbouw. De verandering van de GHG en GLG door aanleg van buisdrainage of peilbeheer (al of niet met wateraanvoer) geldt alleen voor het gebied waar de maatregel is uitgevoerd.

Aanleg buisdrainage	-40	-10	Uitgangssituatie: drainagebehoefstig (GHG < 40 cm-mv)
Verlaging slootbodem detailsysteem met 30 cm	-15	-5	
Normaliseren beken	-20	-10	Normaliseren: profielvergroting en rechter trekken
Peilbeheer (30 cm hoger zomerpeil)	0	5	Drains niet onder water
Peilbeheer (30 cm hoger zomerpeil met wateraanvoer)	5	15	

Deze verlagingen mogen in principe niet worden opgeteld, gelet op het al eerder beschreven (§ 1.3) niet-lineaire karakter van het bovenste grondwater. De waterhuishoudkundige werken zijn uitgevoerd in het vrij afwaterende deel van Nederland en in de polders met overwegend landbouwkundig grondgebruik. In beide gebieden is de capaciteit van de af- en aanvoer van water vergroot. In het niet-vrij afwaterende deel zijn de in de peilbesluiten vastgelegde peilen en trends in maaiveldhoogtes sterk bepalend voor de verandering in grondwaterstanden en stijghoogtes (§ 2.4). Dit in acht nemend en rekening houdend met arealen waarop de maatregelen betrekking hebben, hebben wij geschat wat de gebiedsgemiddelde verandering van de GHG en GLG is voor een drietal waterhuishoudkundige landbouwcategorieën (Tabel 2-2).

Het gemiddelde van de aldus geschatte GHG- en GLG-verandering, als zijnde een maat voor de bijdrage aan de achtergrondverlaging van de uitgevoerde waterhuishoudkundige werken in het vrij afwaterend deel van Nederland, is niet vergelijkbaar met de 20 cm achtergrondverdroging die in o.a. het rapport van Braat e.a. (1989) is genoemd. Deze had namelijk alleen betrekking op gebieden buiten ruilverkavelingen (de A1-werken).

Bij meer recent uitgevoerde landinrichtingsprojecten wordt, zoals gezegd, de nadruk gelegd op waterconservering en beekherstel. Voor zes landinrichtingsprojecten uitgevoerd in de provincie Noord-Brabant in de periode 1995-2010 en met een totale oppervlakte van ruim 37.000 ha, zijn de effecten berekend (G. Schouten, pers. med.). Samengevat zijn die: het areaal waar de GHG daalt en stijgt is ongeveer gelijk; de oppervlakte met stijging van GLG is vele malen groter dan oppervlakte waar de GLG daalt (resp. 17 en 0,5%).

Tabel 2-2. Schatting van de verandering van de GHG en GLG als gevolg van in de periode 1955-1985 uitgevoerde waterhuishoudkundige maatregelen (+ is verhoging, - is verlaging).

Type agrarisch gebied	Δ GHG (cm)	Δ GLG (cm)
Vrij afwaterend zonder stuwen	-20 tot -30	-10 tot -20
Vrij afwaterend met stuwen	-20 tot -40	-10 tot 5
Polders met peilbeheer en wateraanvoer	-20 tot -40	0 tot 10

Conclusies

- De in het vrij afwaterende deel van Nederland uitgevoerde waterhuishoudkundige werken in de periode 1955-1985 hebben gemiddeld tot een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstand geleid. De verschillen tussen deelgebieden en binnen de deelgebieden zijn echter groot. Na 1985 zijn in diverse (landinrichtings-) gebieden waterhuishoudkundige werken uitgevoerd die een kleiner effect hebben gehad of hebben geleid tot een verhoging van de grondwaterstand.
- De verandering van de grondwaterstand en stijghoogte als gevolg van deze ingrepen is goed berekenbaar, mits bekend is welke veranderingen in

hydraulische en hydrologische eigenschappen hiermee gepaard zijn gegaan en wat de uitgangssituatie was. Voor ingrepen in de (hoofd-) waterlopen is dat in veel gebieden goed bekend. Daarmee bestaat de mogelijkheid ze te 'promoveren' tot voorgrondoorzaken. Voor de werken in de percelen en kavelsloten is de kwantificering van de ingrepen veel moeilijker. In slechts enkele gebieden zijn bruikbare inventarisaties uitgevoerd, maar gelukkig wordt tegenwoordig de ligging van buisdrainage door waterschappen steeds meer verzameld.

2.4 Peilbesluiten

In het Holocene deel van Nederland is er al eeuwenlang sprake van een wisselwerking tussen polderpeilen en bodemdaling ten gevolge van veenoxidatie, klink en rijping. Lange tijd werden de peilen zo vastgesteld dat de polderpeilen de bodemdaling volgden om de drooglegging te handhaven. Met name na 1950, werden de polderpeilen nog extra verlaagd om de draagkracht van de grond te vergroten om agrarische landbewerking te vergemakkelijken. Het eeuwenlange spel van 'peil volgt maaiveldsdaling' heeft natuurlijk invloed gehad op het patroon van de (diepere) stijghoogte (uiteraard mede afhankelijk van de weerstand van de deklaag). Hierdoor is er sprake 'uitstraling' van dalingseffecten tot (ver) buiten de betreffende gebieden (zie bijvoorbeeld Van Loon e.a. (2009)).

Rienks e.a. (2004) geven voor veengebieden een vuistregel van 1 tot 2 mm oxidatie per jaar per 10 cm drooglegging. Dit betekent bij een drooglegging van 60 cm een bodemdaling van 0,3 tot 0,6 meter voor de periode 1950-2000. Ze halen metingen aan voor een veengebied nabij Leeuwarden, waar de bodemdaling minder was, maar nog altijd groter dan 15 cm tussen 1950 en 1994. Schokking (1993) geeft waarden van 3 tot 12 mm/jaar voor maaiveldsdaling voor veen met een kleidek van minder dan 2 meter in Friesland. Voor kleigebieden geeft de Raad voor het Landelijk Gebied een bodemdaling van enkele decimeters per eeuw (RLG, 1988). De Lange e.a. (2012) geven voor Flevoland bodemdalingen door rijping van de bodem variërend van 40 tot 160 cm. Bij de inpoldering is hierop geanticipeerd zodat de verlaging van de polderpeilen geringer is.

Het geleidelijk verlagen van de polderpeilen (peilaanpassing) houdt de bodemdaling op gang en vergroten van de drooglegging versterkt deze zelfs. Daarom is men vanaf ongeveer 2000 terughoudend geworden met het bijstellen van polderpeilen, met name in veenweidegebieden.

De bodemdaling doet ook verschillen in maaiveldhoogte ontstaan door variatie in bodemsamenstelling, drooglegging en lokaal ophogen. Deze regionale toename van het reliëf is bijvoorbeeld te zien in de Krimpenerwaard en rond Bodegraven (Terwan e.a., 2000) en Nieuwkoop. Als het polderpeil wordt afgestemd op de lagere delen, daalt de grondwaterstand in de hogere delen mee en ontstaat behoefte aan hoogwatervoorzieningen, waarmee lokaal een hogere oppervlakte- en grondwaterstand wordt gerealiseerd. Zoals verlaging van het polderpeil de grondwaterstand binnen het gebied doet dalen, zo heeft het ook invloed op de omgeving, waardoor grondwaterstanden dalen, kwel omslaat in infiltratie en wateraanvoer noodzakelijk wordt (bijvoorbeeld Nieuwkoopse Plassen met de polders Nieuwkoop en Zegveld, de Vinkeveense Plassen met polder Groot Mijdrecht en de Eilandspolder tussen de Beemster en de Schermer).

Het ICW heeft onderzoek in diverse veenweidegebieden gedaan. Wind (1985) en Schothorst (1982) beschrijven en verklaren waarom de grondwaterstanden na een peilverlaging minder dalen in cm dan de verlaging van het waterpeil. De daling van de gemiddelde grondwaterstand is circa 60% van het verlaagde waterpeil als er ondiepe grondwaterstanden voorkomen in de uitgangssituatie. Als in de uitgangssituatie al diepe grondwaterstanden voorkomen is de grondwaterstands daling vrijwel gelijk aan de waterpeilverlaging.

In van oorsprong natte kleipolders is de daling van de grondwaterstand na een polderpeilverlaging (=vergroting drooglegging met circa 0,5 m) veelal circa 30-50 cm. In de loop der jaren is tevens veel buisdrainage aangelegd. De oorspronkelijk grondwatertrap-klasse II en III is gewijzigd in overwegend klasse VI en deels IV.

Op waterstaatskaarten van de 19^e eeuw is zichtbaar dat er vele kleine polders aanwezig zijn terwijl op recente kaarten de peilvakken groter zijn. Het waterpeil kan bij vergroting van een peilvak zijn gedaald (of grotere daling dan volgens peilbesluit). Deze veranderingen van waterpeilen en grondwaterstanden in groter polders zijn alleen te achterhalen met historische kaarten.

Conclusies

- Directe informatie over de polderpeilverlagingen sinds 1950 is niet eenvoudig beschikbaar. Informatie over polderpeilen, peilvakken en peilbesluiten is beschikbaar op historische waterstaatskaarten en bij waterschappen.
- Op basis van de maaiveld daling zal deze minimaal 10 cm geweest zijn in kleigebieden, terwijl deze in veengebieden op zal zijn gelopen tot meer dan een halve meter. Daarnaast is ook de drooglegging verhoogd in van oorsprong natte polders waardoor de grondwaterstand is gedaald met 30-50 cm. Binnen de poldergebieden zijn de grondwaterstanden grotendeels (60 tot 90%) meegedaald met het polderpeil. De uitstraling naar aangrenzende, vrij afwaterende gebieden heeft ook daar voor verlaging van grondwaterstanden gezorgd, die afhankelijk van afstand, ondergrond en hydrologische randvoorwaarden kleiner is.

2.5 Grootschalige ingrepen

De aanleg van de afsluitdijk en de drooglegging van Flevoland hebben ook het grondwater rond het huidige IJsselmeer beïnvloed. Veenenbos (1951) maakt er melding van voor de kust van Noordwest-Overijssel: "In het weidegebied tussen Lemmer en Blokzijl, het kustgebied van de vroegere Zuiderzee, zijn sinds het droogleggen van de Noordoostpolder in 1941 ernstige verdrogingsverschijnselen in het grasland opgetreden". Voor Zuidelijk en Oostelijk Flevoland is de invloed op het oude land bepaald door Gehrels e.a. (1994). Zij schatten dat de inpoldering van Zuidelijk Flevoland een daling van de grondwaterstand heeft veroorzaakt die afneemt van ongeveer 1 meter nabij de kust van het randmeer tot 35 cm op 14 km landinwaarts. Ze berekenden dat deze laatste verlaging nog niet de stationaire invloed is en dat eindverlaging hier 50 cm zal zijn.

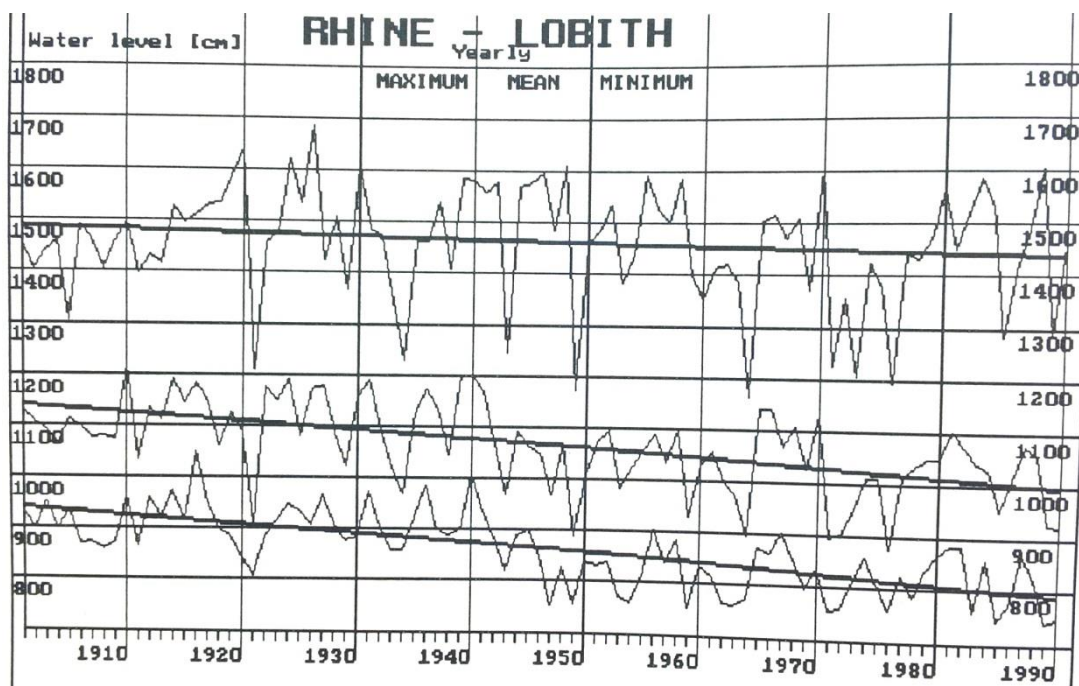
De Duitse bruinkoolwinnings nabij Aken vormen een andere grootschalige ingreep die een belangrijke doorwerking hebben op het Nederlandse (diepere) grondwatersysteem in Limburg en Noord-Brabant (zie bijv. Stuurman & Griffioen (2003)).

Uit een verkennend onderzoek van Van der Gaast and Van Bakel (1997) naar de effecten van droge en natte rijksinfrastructuur in Overijssel en Gelderland komt naar voren dat deze ingrepen een aanzienlijke verlaging van de grondwaterstanden tot gevolg kunnen hebben (tot enkele km's afstand).

Andere voorbeelden van projecten waarvoor de effecten op grondwaterstanden zijn berekend (maar niet altijd worden meegenomen bij andere studies):

- De Maaswerken (peilverhoging stuwen en verdiepen Maasbodern);
- De Deltawerken (voor 1955 eb en vloed, later constant waterpeil of gedempt getij);
- De Ruimte voor de rivier-projecten (uitdiepen, nevengeulen, verbreden winterbed, natuurontwikkeling);
- Veranderingen in dimensies en peilen van kanalen zoals de Zuid-Willemsvaart.

De autonome bodemerosie van de Rijntakken heeft de bodem van de Bovenrijn, de Waal (tot ongeveer Zaltbommel) en de IJssel (tot ongeveer Deventer) doen dalen met ongeveer een meter in de afgelopen eeuw (persoonlijke mededeling C. de Leeuw, werkzaam bij Rijkswaterstaat Oost-Nederland). Deze bodemerosie gaat nog steeds door. Omdat de genoemde riviertakken ongestuwd zijn, zijn de waterstanden ook ongeveer 1 m gedaald. Zie ook Figuur 2-2. Aangezien de rivieren een belangrijke drainagebasis vormen voor de wijde omgeving zal dit effect doorwerken op de grondwaterstanden.



Figuur 2-2. Verloop van de waterstanden (maximum, gemiddelde en minimum) bij Lobith van 1900-1990 (Keve, 1992).

Het is niet waarschijnlijk dat energiegerelateerde activiteiten grootschalige invloed op het grondwater hebben. Systemen voor Warmte-Koude-Opslag (WKO) hebben geen netto onttrekking en moeten op lange termijn energieneutraal zijn. Zodoende verandert de viscositeit van het grondwater niet op grote schaal verandert en is er ook geen doorwerking naar gradiënten. Ingrepen onder de geohydrologische basis, zoals warmtewinning uit grondwater en ingrepen die onder de Mijnbouwwet vallen, beïnvloeden de grondwaterstand ook niet direct. Er zijn hoogstens afgeleide effecten, zoals de peilaanpassingen van de Elektraboezem vanwege de maaiveld daling door de aardgaswinning in Groningen.

Conclusie

Grootschalige ingrepen kunnen goed worden gemodelleerd en als dat ook gebeurt dragen ze niet bij aan de achtergrondverlaging. De invloed is echter soms zo ver reikend en het duurt zo lang voor de verlagende werking is gestabiliseerd, dat ze makkelijk over het hoofd worden gezien en daarmee een oorzaak kunnen zijn van achtergrondverlaging.

2.6 Wijzigingen in landgebruik en stijging van gewasopbrengsten

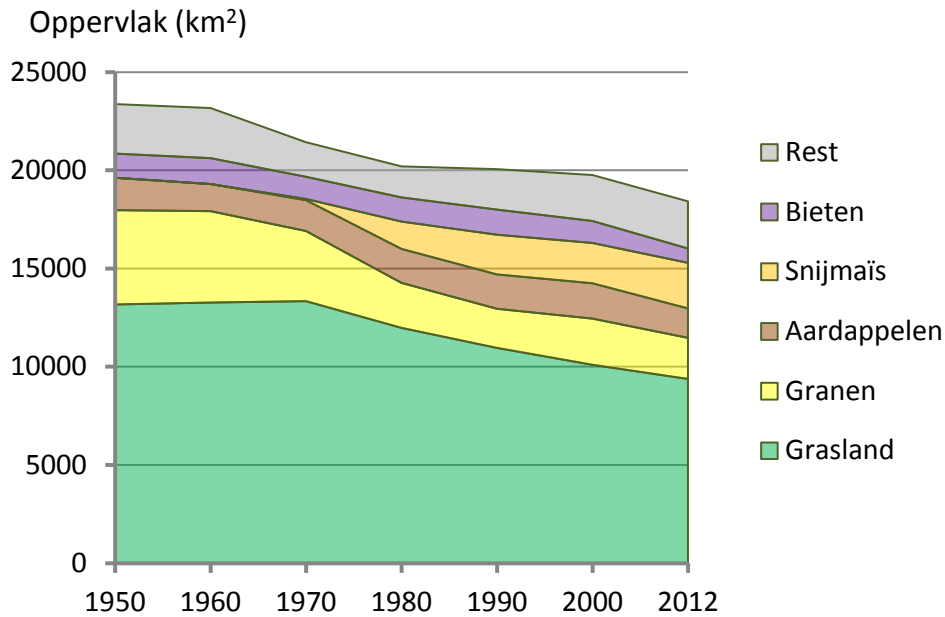
Wijzigingen in het landgebruik en gewasopbrengsten sinds 1950 kunnen gevolgen hebben gehad voor de grondwateraanvulling, en dus de grondwaterstand. We gaan hier in op veranderingen in de landbouw, het bebouwd gebied en de natuur.

Wijzigingen in landgebruik

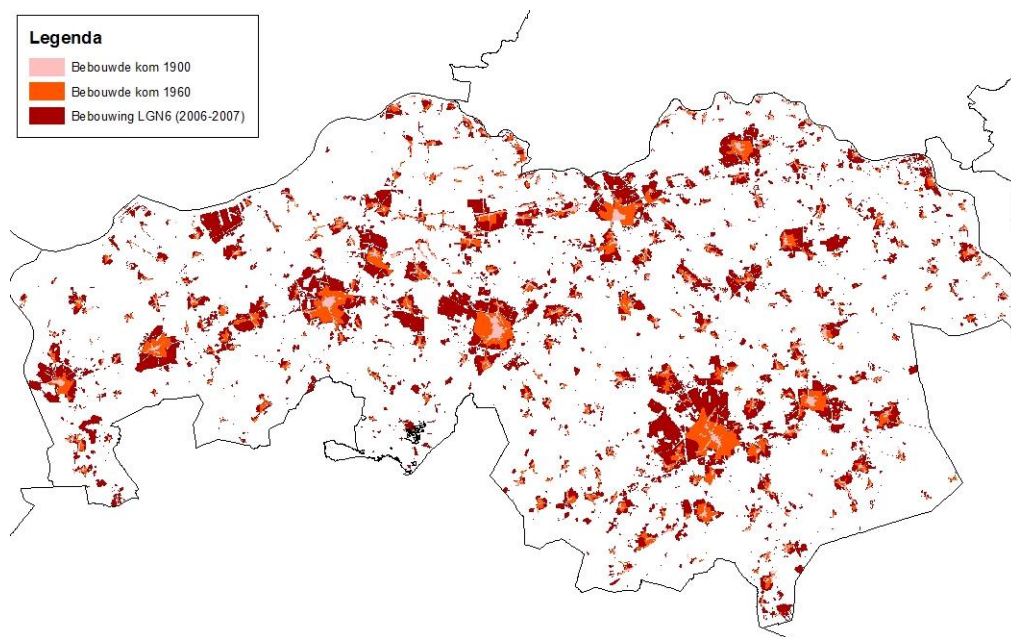
De toename van de bevolking van 10 miljoen in 1950 tot het huidige aantal van 17 miljoen inwoners en de toegenomen welvaart hebben ervoor gezorgd dat het areaal bebouwd gebied toenam ten koste van grond voor de agrarische productie ('cultuurgrond', Figuur 2-3). Vooral grasland en graan daalden in oppervlak, terwijl snijmaïs flink aan terrein won. In landbouwgebieden is de afname van het aandeel grasland vermoedelijk gunstig voor de jaarlijkse grondwateraanvulling, omdat akkerbouwgrond een deel van het jaar braak ligt en dan minder verdampt. Of de hogere aanvulling in de wintermaanden onder akkerbouw bijdraagt aan een hogere grondwaterstand valt echter te betwijfelen. In de eerste plaats omdat in de wintermaanden meer drainagemiddelen actief zijn, die het overtollige regenwater snel afvoeren. Op de tweede plaats omdat in de zomermaanden de verdamping van o.a. maïs, granen en aardappelen hoger is dan van grasland (zie de gewasfactoren in Feddes (1987)), zodat van de transitie dan juist een verdrogend effect uitgaat. Bovendien is sinds een aantal jaren bij maïs een nagewas verplicht en over de extra verdamping daarvan ten opzichte kale grond is weinig bekend.

Vermoedelijk van groter belang voor de daling van de grondwaterstand is de toename van het areaal bebouwd gebied ten koste van landbouwgrond. Ter illustratie toont Figuur 2-4 deze toename in de provincie Noord-Brabant. De toename kan tegengestelde effecten op de grondwateraanvulling hebben:

- In bebouwd gebied is de verdamping meestal lager dan in het landelijk gebied: potentiële verhoging van de aanvulling;
- In bebouwd gebied neemt infiltratie van neerslag naar het grondwater af doordat een groter deel van de neerslag direct via riool of oppervlaktewater wordt afgevoerd: potentiële verlaging van de aanvulling.



Figuur 2-3. Verandering van het areaal cultuurgrond in Nederland (gegevens: <http://statline.cbs.nl>).



Figuur 2-4. Verandering bebouwing van 1900-2006 in Noord-Brabant (Witte e.a. (2015b)).

Over de gevolgen van verstedelijking op de grondwateraanvulling is weinig bekend, vooral door een gebrek aan goede metingen van de verdamping. In Wageningen doet men hier sinds enige jaren onderzoek aan, met metingen in verschillende steden die zeer uiteenlopende resultaten laten zien (Jacobs e.a. (2015); mondelinge mededelingen dr. ir. C.M.J. Jacobs (WUR) en dr. R. Brolsman (Deltares)). Voor het Deltaprogramma Water naar het waterverbruik van steden voerden De Graaf e.a. (2013) een uitgebreide literatuurstudie uit. Deze auteurs

schatten de verdamping van een gemiddelde stad in Nederland, inclusief water en groen, op 66 % van de referentiegwasverdamping. De afvoer van afvalwater is ongeveer gelijk aan de aanvoer van drinkwater en industriewater naar de stad, terwijl volgens de auteurs ongeveer 25% van de neerslag via het riool wordt afgevoerd. We komen hiermee tot de volgende, zeer eenvoudige benadering voor de grondwateraanvulling in stedelijk gebied:

$$R = 0.75P - 0.66ET_{\text{ref}}$$

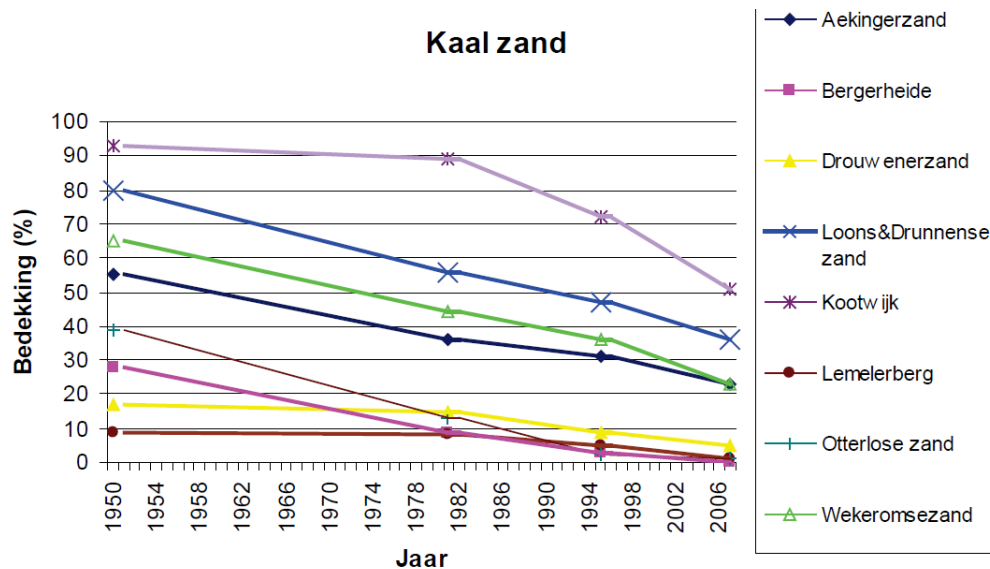
Waarin:

R = grondwateraanvulling (mm/d)
 P = neerslag (mm/d)
 ET_{ref} = referentiegwasverdamping volgens Makkink (mm/d)

Gaan we uit van een gemiddelde (1981-2010) neerslag van $P = 851$ mm/jr en een referentieverdamping van $E_{\text{ref}} = 559$ mm/jr (KNMI, 2014), dan komen we uit op een aanvulling van $R = 269$ mm/jr. Dat is ongeveer evenveel als het neerslagoverschot van $P - E_{\text{ref}} = 292$ mm/jr. Omdat de werkelijke verdamping in droge perioden dikwijls is gereduceerd, is deze aanvulling aan de lage kant: van bebouwd gebied gaat dus, wanneer we de vergelijking volgen, een verdrogend effect uit. Naast de verdroging door een verminderde grondwateraanvulling speelt natuurlijk de ontwatering van bebouwd gebied om gebouwen droog te houden een grote rol in de verlaging van de grondwaterstand. Bijvoorbeeld in Noord-Brabant is op circa 40% van de oppervlakte met nieuwe woonwijken in periode 1960-1985 een verlaging van 0,3-0,5 m opgetreden (Van Bakel e.a., 1995).

Tot slot de veranderingen die zijn opgetreden in natuurgebieden. Die gebieden zijn, mede onder invloed van de atmosferische stikstofdepositie en door het staken van beweiding en maaien, dichtgegroeid met grassen, bomen en struiken. Nijssen e.a. (2011) onderzochten de ontwikkeling van grote stuifzandengebieden in Nederland en constateerden dat het areaal daarvan daalde (Figuur 2-5).

In Noord-Brabant steeg het percentage bos in natuurterreinen van 1952 tot 2010 van 62 naar 85%, wat volledig ten koste ging van open natuurterrein (Witte e.a., 2015b). Ook in de afgelopen decennia zijn natuurgebieden in Nederland nog verder dichtgegroeid: van 1976 tot 2010 bleef het areaal natuurgebied in ons land nagenoeg gelijk (resp. 4740 en 4865 km²) maar binnen natuurgebieden steeg het percentage bos in diezelfde tijd van 65 naar 71% ten koste van open natuurterrein (<http://statline.cbs.nl>). Het is zeer aannemelijk dat deze veranderingen hebben geleid tot meer verdamping, en dus minder grondwateraanvulling, en tot een verlaging van de grondwaterstand (Witte e.a., 2012). Op grondwateronafhankelijke bodems is de verdamping van kaal zand en door mossen en korstmossen gedomineerde vegetaties namelijk zeer laag; afhankelijk van de samenstelling ca. 180-270 mm/jr (Voortman e.a., 2015).



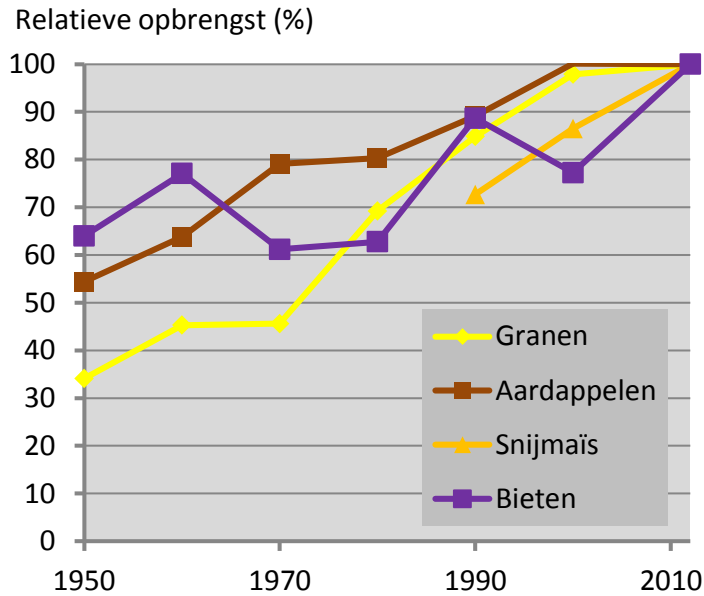
Figuur 2-5. Ontwikkeling van het areaal kaal zand in enkele grote stuifzandgebieden (uit: Nijssen e.a. (2011)).

Recente metingen bij Soestduinen (Voortman e.a., 2015) en op de Hoge Veluwe (Voortman e.a., 2016) lijken er op te wijzen dat een door Struikheide gedomineerde vegetatie ook vrij zuinig met water omgaat, met een verdamping van ca. 80% van de Makkink verdamping. Pijpenstrootje, een grassoort die dominant kan worden in heide, verdampt meer, met, afhankelijk van de bodemvochtcondities, waarden tot boven de Makkink verdamping (Jansen, 1986; Spijksma e.a., 1997). Opslag van struiken in heide leidt volgens Spijksma e.a. (1997) tot een verhoging van het verdampingsverlies; terwijl licht naaldbout (zoals Grove den), dat spontaan kan opslaan in heide en stuifzand, een door Dolman e.a. (2000) geschatte verdamping van 630 mm/jr heeft.

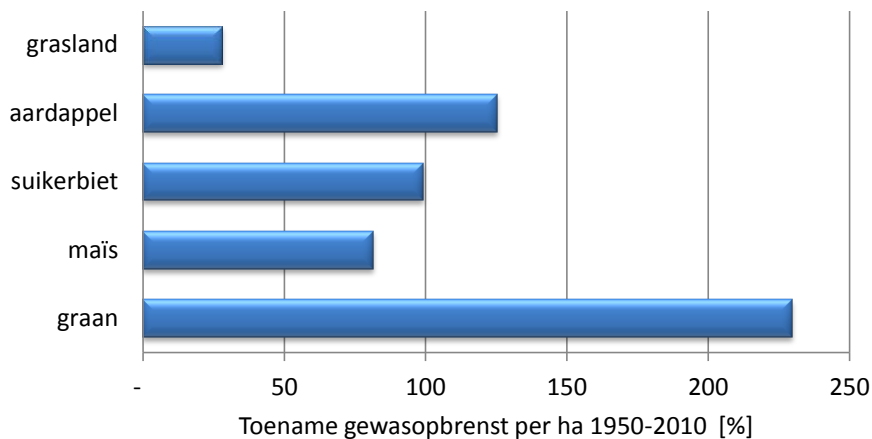
Toename van gewasopbrengsten

Voor hun fotosynthese nemen planten CO₂ op uit de atmosfeer op door diffusie via hun huidmondjes. Tijdens die CO₂-opname verdwijnt door diffusie waterdamp uit de bladholten achter de huidmondjes naar de atmosfeer: transpiratie. De hoeveelheid gewasproductie is dan ook lineair positief gecorreleerd aan de hoeveelheid transpiratie (De Wit, 1958). Op jaarbasis maakt transpiratie ongeveer 80% uit van de totale verdamping van grasland en akkerbouw.

In de landbouw zijn de gewasopbrengsten in de landbouw sinds de jaren negentienhonderdvijftig aanzienlijk gestegen (Figuur 2-6, Figuur 2-7). De veranderingen zijn in deze figuren relatief weergegeven. Voor heel Nederland ontbraken de cijfers over de ontwikkeling van gras (Figuur 2-6.), maar die waren wel beschikbaar voor de provincie Noord-Brabant (Figuur 2-7).



Figuur 2-6. Ontwikkeling van de opbrengst van enkele gewassen in Nederland per ha landbouwgrond, relatief ten opzichte van 2012 (gegevens: <http://www.statline.cbs.nl>).



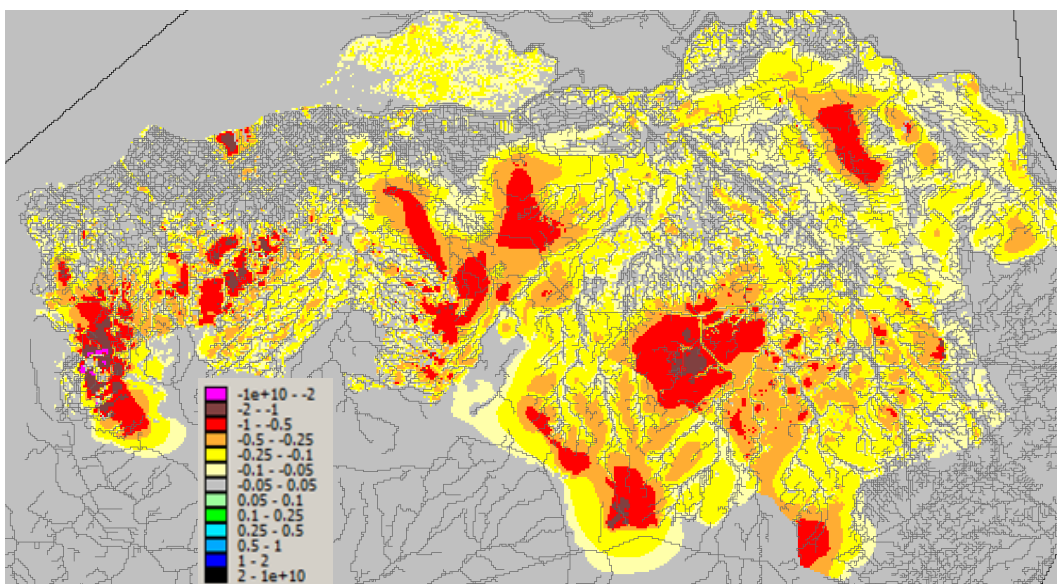
Figuur 2-7. Procentuele verandering in de opbrengst per hectare van 1950-2010 in Noord-Brabant (uit: Witte e.a. (2015b)).

Gegeven het lineaire verband tussen opbrengst en transpiratie is het meer dan aannemelijk dat deze stijging heeft geleid tot een hogere verdamping en dus een daling van respectievelijk de grondwateraanvulling en de grondwaterstand. Witte e.a. (2015a); Witte e.a. (2015b) beschrijven enkele studies waarin deze gevolgen zijn gekwantificeerd.

Van Leeuwen (1991) vond geen duidelijke dalende of stijgende trend in de 5-jarige voortschrijdende waarden van neerslag minus afvoer van het stroomgebied van de Oude IJssel in de periode 1955 tot 1990.

Gevolgen voor de grondwaterstand

Voor de provincie Noord-Brabant berekenden Witte e.a. (2015b) met het Brabant-model Brabant-model (Van der Wal e.a., 2012) de gevolgen voor de grondwaterstand van landgebruiksveranderingen en gestegen gewasopbrengsten. In het zandgebied van deze provincie kwamen ze uit op een daling van 23-33 cm, waarbij de eerste schatting mogelijk aan de lage kant is en de tweede zeker te hoog. Figuur 2-8 brengt de berekende verlaging van de eerste, conservatieve schatting in beeld. In de berekeningen daalde de GLG meer dan de GHG (resp. 30 en 18 cm in de conservatieve variant). Van belang is het dat in de berekende dalingen impliciet de effecten zijn meegenomen van een betere watervoorziening (die in § 2.2-2.4 werden beschreven). Deze verbeteringen (berekening, betere detailontwatering, peilverlaging) hadden immers ten doel de gewasopbrengsten te verhogen. Voor welk deel deze verbeteringen meewegen in de door Witte e.a. (2015b) vastgestelde daling van 23-33 cm, valt zonder nader onderzoek niet te zeggen.



Figuur 2-8. Berekende daling van de grondwaterstand (m) door verandering in landgebruik en stijging van gewasopbrengsten tussen 1950 en 2010 onder de conservatieve variant (uit: Witte e.a. (2015b)).

Conclusies

- Sinds 1950 zijn natuurgebieden meer bebost geraakt en ook is er meer verruiging opgetreden. Het gevolg is geweest dat de verdamping van natuurgebieden is toegenomen, wat heeft bijgedragen aan de daling van de grondwaterstand. Het ontbreekt echter aan cijfers om de daling betrouwbaar vast te stellen.
- Het areaal stedelijk gebied is sinds 1950 aanzienlijk toegenomen, vooral ten koste van landbouwgrond. Het is aannemelijk dat de grondwateraanvulling in stedelijk gebied lager is dan in landbouwgebied, zodat van stedelijke uitbreiding een grondwaterstandsverlagend effect uitgaat. Tevens is de grondwaterstand verlaagd in een deel van het stedelijke uitbreidingsgebied.

- Opbrengsten in de landbouw zijn sinds 1950 aanzienlijk gestegen, wat heeft geleid tot minder grondwateraanvulling en dus een daling van de grondwaterstand. Deze daling is voor een onbekend deel het gevolg van verbeteringen in de landbouwwaterhuishouding.
- Berekeningen wijzen erop dat voorgaande veranderingen in het zandlandschap een verlaging van de gemiddeld grondwaterstand hebben veroorzaakt van tenminste 20 cm. De laagste standen (GLG) zijn hierdoor meer gedaald dan de hoogste standen (GHG).

2.7 Verandering van neerslag en referentieverdamping

Het neerslagoverschot (of -tekort) heeft meestal grote invloed op de grondwaterstand en stijghoogte. Veranderingen in het neerslagoverschot worden in het algemeen als voorgrondverandering beschouwd. Bij de bepaling van achtergrondverlaging wordt dan ook meestal gecorrigeerd voor neerslag en potentiële verdamping (zie bijv. Rolf (1989) en Kremers & Van Geer (2000)). Achtergrondverlaging zou dus in principe onafhankelijk dienen te zijn van het klimaat. Het klimaat kan een rol spelen als de correctie niet goed wordt uitgevoerd. Zo hebben Knotters & Jansen (2005) absolute hoogten van grondwaterstanden vergeleken, waarbij de verschillen dus mede samen hangen met veranderingen in neerslag en verdamping.

In de periode 1951 tot 2009 is in de zomer in Nederland de gemiddelde neerslag met 33 mm toegenomen (Buishand e.a., 2011); dit is voor grasland circa 1 beregeningsgift. Deze neerslag zal direct door planten zijn benut (productie of groei). De toename is niet overal gelijk. Zo is de gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar langs de kust meer toegenomen, terwijl in het zuidoosten van het land iets minder neerslag viel. Waar de neerslag in het groeiseizoen is toegenomen kan de gewasproductie zijn gestegen met een relatief geringere daling van de zomergrondwaterstand.

In het winterhalfjaar in de periode 1951 tot 2009 is in Nederland de gemiddelde neerslag met 88 mm toegenomen (Buishand e.a., 2011). Dit zou een stijging van de grondwaterstand tot gevolg kunnen hebben gehad, maar waarschijnlijker is dat hierdoor de ontwatering is toegenomen. Echter, omdat deze eventuele verbetering van de ontwatering niet gekwantificeerd wordt, kan klimaatverandering een oorzaak zijn van achtergrondverhoging die de oorzaken van achtergrondverlaging kan verdoezelen.

Volgens het KNMI is de gemiddelde neerslag over het gehele jaar toegenomen van 774 mm in de periode 1951-1980 tot 851 mm in de periode 1981-2010 (KNMI, 2014).

De gemiddelde referentiegewasverdamping is volgens Bartholomeus e.a. (2015) weinig veranderd sinds 1950. Het 30-jarig gemiddelde van de Makkinkverdamping in De Bilt voor 1999 (1984-2013) was 3% hoger dan voor 1950 (1935-1964), terwijl de waarden tussen 1955 en 1988 lager waren dan voor 1950. Het 10-jaarsgemiddelde voor 2009 (2004-2013) was 3% hoger dan 1950 (1945-1954). De toename in de kustprovincies was veelal groter dan in het binnenland (Buishand e.a., 2011). Van den Hurk e.a. (2014) komen echter tot een grotere toename in de verdamping, doordat ze een langere meetperiode van gegevens uit De Bilt analyseerden: van 1958 t/m 2013. Op basis van lineaire regressie concluderen ze dat in die periode de

referentiegewasverdamping in het groeiseizoen (1 april – 30 september) is gestegen met circa 50 mm.

Conclusies

- Sinds 1950 is de gemiddelde neerslag op de meeste plaatsen in Nederland toegenomen, terwijl de referentieverdamping vrijwel gelijk is gebleven, dan wel met ca. 10% is gestegen.
- De stijging van de neerslag trad vooral op in de wintermaanden, terwijl de stijging van referentiegewasverdamping vooral in de zomermaanden optrad.
- De veranderingen in neerslag en verdamping kunnen, als er geen rekening mee wordt gehouden, een verkeerd beeld geven van achtergrondverlaging.

2.8 Samenvatting

Het onvoldoende of geen rekening houden met de volgende fysische veranderingen in het landschap, zal in veel studies een belangrijke verklaring zijn voor de waargenomen achtergrondverlaging sinds 1950:

- Berekening uit grondwater;
- Peilverlagingen: verbetering van de afwatering/afvoer en verbetering van de detailontwatering; aanpassing van polderpeilen voor vergroten drooglegging of volgen van maaiveldddaling;
- Grootschalige ingrepen, zoals aanleg van de Flevopolders, de bruinkoolwinning in Duitsland, de Deltawerken en de Ruimte voor de rivier-projecten;
- Toename van het areaal stedelijk gebied;
- Afname van de grondwateraanvulling door vergroting van de gewasopbrengsten en het dichtgroeien van natuurgebieden met bomen en struiken.

Grondwateronttrekkingen en de weersgesteldheid (neerslag en referentieverdamping) hebben een belangrijke invloed op de grondwaterstand, maar worden over het algemeen als voorgrondfactor gezien. Bij een berekening van langjarige effecten dient rekening te worden gehouden met de veranderingen van de neerslag en de referentiegewasverdamping als gevolg van klimaatverandering (zie ook de aanbevelingen in bijlage II).

3 Procedurele oorzaken van achtergrondverlaging

3.1 Inleiding

Door menselijk toedoen, anders dan het negeren van fysieke oorzaken (Hoofdstuk 2), kan ook achtergrondverlaging 'ontstaan'. De onderzoeker heeft dan niet de juiste procedure gevolgd, of de achtergrondverlaging is het gevolg van de voorgeschreven procedure zelf. We maken hier een onderscheid tussen administratieve oorzaken, die samenhangen met de wijze van meten (§ 3.2), het verkeerd schematiseren van hydrologische processen (§ 3.3), fouten die samenhangen met dynamische processen (§ 3.4 en § 3.5), en fouten die ontstaan bij tijdreeksanalyse (§ 3.6).

3.2 Administratieve oorzaken

Vaak wordt onderzoek naar mogelijke schade beperkt tot het gebied waarbinnen de stijghoogte van het freatisch grondwater (de grondwaterstand) met meer dan 5 cm beïnvloed wordt. Het verwaarlozen van stijghoogte-effecten buiten dit gebied wil niet zeggen dat ook aangenomen kan worden dat alle fluxveranderingen zich tot dit gebied beperken. Zo blijkt uit de MER Reallocatie grondwaterwinningen van Vierlingsbeek/Boxmeer naar Loosbroek en Veghel (Arcadis, 2009) dat voor de winning Loosbroek binnen het 5 cm verlagingsgebied 1,1 miljoen m³/jaar extra infiltreert naar het gepompt pakket, terwijl de onttrekking 3 miljoen m³/jaar is. Dus meer dan de helft van de winning is afkomstig van buiten het 5 cm-verlagingsgebied. Dit deel is afkomstig uit een zeer groot gebied. Bij effectberekeningen buiten het 5 cm-verlagingsgebied waarbij geen rekening wordt gehouden met de effecten van genoemde winning is de winning een oorzaak van achtergrondverlaging.

De door Van der Gaast (2012) genoemde numerieke verdroging valt ook in de categorie van administratieve oorzaken, waarbij metingen uit oudere ondiepere peilbuizen worden vergeleken met recentere metingen uit nieuwere, dieper geplaatste peilbuizen. Als er weerstandbiedende lagen zijn en er is sprake van wegzijging, dan meet men in de nieuwere en dieper geplaatste buis een lagere grondwaterstand dan voorheen (en omgekeerd: een hogere stand in kwelsituaties).

Het gebruik van karakteristieke grondwaterstanden (GHG, GLG, GVG) die tijdens de bestudeerde periode een andere definitie hebben gekregen, kan een systematisch verschil veroorzaken dat vervolgens in de container 'achtergrondverlaging' belandt. Zo kan de GVG gedefinieerd zijn als de gemiddelde grondwaterstand op 1 april, op het gemiddelde van de grondwaterstanden op 28 maart, 14 en 28 april, of kan hij worden afgeleid uit de GHG en GLG (Ritzema e.a., 2012). Daarnaast dienen GXG-waarden die met elkaar worden vergeleken te zijn ontleend aan dezelfde lange reeks van jaren (30 jaar om representatief te zijn voor het klimaat; Bartholomeus e.a. (2008)).

De karakterisering van grondwaterstanden met GLG en GHG heeft zijn oorsprong in hydromorfe profielkenmerken (Van der Sluijs, 1982; Van der Sluijs & De Gruijter, 1985; Van der Sluijs, 1990). Deze kenmerken bouwen zich op in een periode van jaren. Door de geleidelijke opbouw (en afbraak) van deze profielkenmerken kunnen

deze soms ook inzicht geven in veranderingen van de GLG of GHG. Tegenwoordig wordt dit minder toegepast en wordt vooral tijdreeksanalyse gebruikt om verandering van grondwaterstanden of stijghoogten te determineren, wat weer eigen voorwaarden en valkuilen heeft (§ 3.6).

Als de situatie vóór de ingreep is gekarakteriseerd met andere grootheden dan na de ingreep, geeft het verschil geen goed beeld van het effect van de ingreep. Dit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door een verschil in meetmethode of meetfrequentie of een verschil in bewerking van de metingen.

Onder administratieve oorzaken scharen we ten slotte ook fouten die voortkomen uit het gebruik van GXG-waarden die zijn ontleend aan verschillende temporele of ruimtelijke resoluties. Een meting van een grondwaterstand of stijghoogte is een puntwaarneming. Met een numeriek hydrologisch model berekende grondwaterstanden zijn representatief voor een ruimtelijke rekeneenheid (rastercel of element) van enige omvang. De standen zijn bovendien representatief voor het tijdsinterval waarmee het hydrologische model heeft gerekend, bijvoorbeeld 1 d of 15 d. In een modelberekening van de Deurnese Peel bleek de GLG op dagbasis overwegend 2 tot 5 cm droger/lager te zijn dan de GLG berekend op halfmaandelijke tijdstap; lokaal was het effect 5 tot 20 cm droger (Ebbens & Meeuwse, 2016).

Daardoor kunnen zowel de grootte als het dynamisch gedrag van de berekende grondwaterstanden en stijghoogten systematisch afwijken van de metingen.

3.3 Onjuiste schematisering processen

Met een dynamisch grondwatermodel dat expliciet rekening houdt met alle oorzaken en realistische (niet-lineaire) randvoorwaarden heeft, zijn de invloeden van verschillende oorzaken van grondwaterstandsfluctuaties eenduidig te scheiden. Op voorwaarde natuurlijk, dat alle gegevens om het model te voeden nauwkeurig genoeg bekend zijn. Zeker bij historische analyses, waar de analyse van achtergrondverlaging toe behoort, is dat zelden het geval. Niettemin dienen we hydrologische processen zo goed mogelijk te schematiseren. In de praktijk vertonen hydrologische modellen echter vaak tekortkomingen. De belangrijkste zijn:

- Een verkeerde modelschematisering is toegepast.
Voorbeeld: de lagenschematisering in een beperkt aantal watervoerende en weerstandbiedende lagen doet geen recht aan de complexe werkelijkheid. Een ander voorbeeld: de drainageweerstand van de drains is in het model onafhankelijk van de opbolling terwijl dat voor veel situaties verre van correct is (Van Bakel, 2013a);
- Het model is verkeerd afgeregeld.
Voorbeeld: een hydrologisch model is gevoed met een systematisch afwijkende grondwateraanvulling, maar daarvoor is 'gecorrigeerd' door te kalibreren op het doorlaatvermogen van het bovenste watervoerende pakket;
- Onvolledige modellering.
De opgave bij modellering is de belangrijkste hydrologische processen mee te nemen en de juiste schematisering toe te passen. Maar wat is belangrijk en wat is juist? De 'kunst' van het modelleren drukt uit dat er veel vrijheidsgraden zijn bij het modelleren, met kans op het missen van essentiële processen of het toepassen van een niet-adequate schematisering. Een sprekend voorbeeld is het

optreden van oppervlakkige afvoer bij hoge neerslagintensiteiten die niet optreedt bij een langere middellingsperiode voor de neerslag, omdat de intensiteit de infiltratiecapaciteit dan niet overschrijdt, waardoor de grondwataeraanvulling in het model groter is dan in werkelijkheid. Vanwege de niet-lineariteit heeft dit invloed op de achtergrondverlaging;

- Onjuiste begrenzing.
Een model is een ruimtelijke uitsnede. De randvoorwaarden die op de buitenrand worden toegepast moeten eventuele wisselwerking met het buitengebied weergeven. Door vaste stijghoogten op een te dichtbij gelegen rand te kiezen onderschat het model de invloed van een ingreep. Het opleggen van een fluxrandvoorwaarde tot een overschatting.

3.4 Fouten die samenhang met het niet-lineaire karakter van het hydrologisch systeem

Het grondwatersysteem wordt aan de bovenkant gevormd door een topsysteem dat zich meestal sterk niet-lineair gedraagt. Dit niet-lineaire karakter heeft twee belangrijke implicaties:

- De uitgangssituatie is van invloed op de relatie tussen ingreep en verandering van grondwaterstanden en stijghoogten;
- Het wel of niet rekening houden met in de tijd variabele randvoorwaarden heeft invloed op de relatie tussen ingreep en verandering van grondwaterstanden en stijghoogten.

Keuze uitgangssituatie

Het niet-lineaire karakter leidt tot de reeds getrokken conclusie dat bijvoorbeeld de invloed van permanente grondwaterwinningen op grondwaterstanden en stijghoogten afhankelijk is van de uitgangssituatie en van het seizoen. Bij toepassing van de juiste rekenmethode wordt de verlaging als gevolg van de ingreep correct vastgesteld en is deze geen oorzaak van achtergrondverlaging. Wanneer echter met een constante gemiddelde grondwataeraanvulling wordt gerekend, kan dat leiden tot een systematische over- of onderschatting van de berekende verlaging.

Zeker in het verleden, toen men nog niet beschikte over voldoende rekenkracht van computers, werden de gevolgen van grondwaterwinning met analytische formules bepaald waarbij de grondwataeraanvulling niet door de winning werd veranderd en werd er gerekend in superpositie. Met andere woorden: er werd geen rekening gehouden met het niet-lineaire karakter van het topsysteem. Door Van den Akker (2013) is een analytische rekenmethode gepresenteerd die het belang van de uitgangssituatie en het gebruik van een niet-lineaire topsysteemrelatie laat zien. Via de in het artikel gedefinieerde overdrachtsfactor is het mogelijk te bepalen in welke mate de verandering in stijghoogte wordt doorgegeven aan de grondwaterstand. In de werkgroep is veel discussie gevoerd over de beperkingen van de methode. De belangrijkste conclusie is dat de rekenmethode van Van den Akker niet-lineariteit toevoegt aan de formules van Dupuit en De Glee, maar dat hij de variatie in grondwataeraanvulling verwaarloost. Dit betekent dat de aldus berekende verlaging niet gelijk is aan de gemiddelde verlaging zoals volgt uit een tijdsafhankelijke berekening, waarbij de grondwataeraanvulling over het jaar fluctueert.

Van der Gaast (2013) stelt als reactie op het artikel van Van den Akker (2013) voor de formule van De Glee uit te breiden, door gebruik te maken van de

voedingsweerstand om daarmee de verlaging van de freatische grondwaterstanden te berekenen. Daarbij is voedingsweerstand gedefinieerd als de weerstand tegen stroming tussen de waterlopen en het watervoerend pakket. Dit alternatief voor de overdrachtsfactor is in het verleden reeds diverse malen toegepast.

Keuze randvoorwaarden

Een tijdgemiddelde grondwateraanvulling toegepast op een niet-lineaire relatie tussen grondwaterstand en afvoer, leidt tot een berekende verlaging als gevolg van een ingreep die ongelijk is aan de gemiddelde verlaging die wordt gevonden als een in de tijd variërende grondwateraanvulling wordt gebruikt. Het hangt van de karakteristieken van de tijdreeks af of er bij een tijdgemiddelde aanvulling sprake is van een over- of onderschatting van de verlaging, maar over het algemeen leidt de stationaire aanpak tot een onderschatting (de bij een gemiddeld neerslagoverschot behorende grondwaterstand is de drainageweerstand lager dan het gemiddelde van de drainageweerstanden die behoren bij een tijdsverloop van de grondwaterstand). In dat geval is een stationaire aanpak een mogelijke oorzaak van achtergrondverlaging.

De niet-lineaire relatie tussen grondwaterstand en freatische bergingscoëfficiënt heeft eveneens tot gevolg dat de berekende verlaging als gevolg van een ingreep bij het opleggen van een gemiddelde constante grondwateraanvulling als bovenrandvoorwaarde ongelijk is aan het gemiddelde van de verlagingen bij het opleggen van een in de tijd variërende grondwateraanvulling als randvoorwaarde.

Het verwaarlozen van de terugkoppeling tussen verlaging van de grondwaterstand en grondwateraanvulling resulteert meestal in een overschatting van de verlaging. Immers, een grondwaterstandsverlaging kan leiden tot meer gewasverdampingsreductie waardoor de grondwateraanvulling toeneemt en waardoor de daling van de grondwaterstand wordt gereduceerd. Het kan dus een oorzaak zijn van achtergrondverhoging. Het omgekeerde kan optreden bij vernatting van gebieden waardoor de berekende stijging van de grondwaterstand wordt overschat.

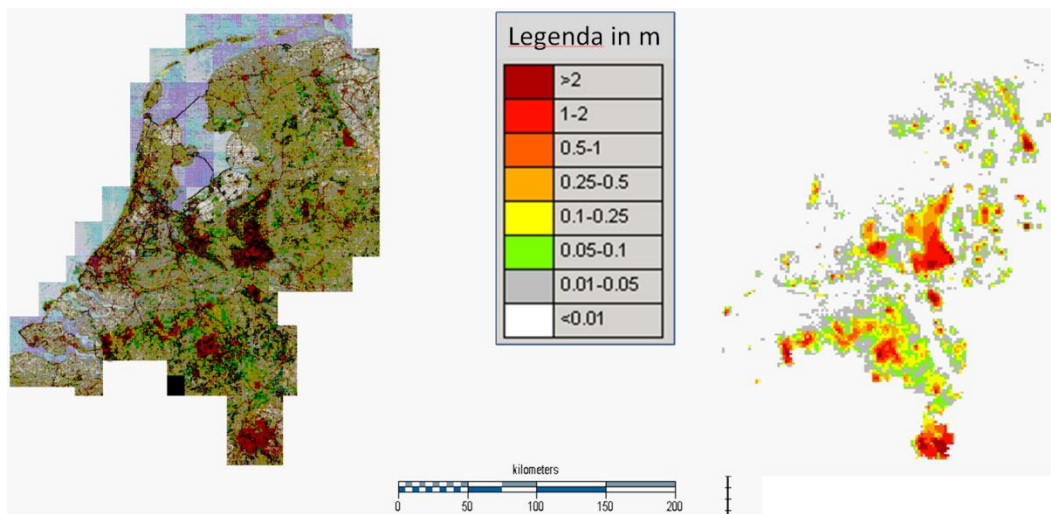
3.5 Onvoldoende rekening houden met traagheid grondwatersysteem

Achtergrondverlaging heeft betrekking op analyses die een lange tijdsperiode beslaan. In onze studie ligt de nadruk op een periode vanaf begin jaren negentien-vijftig tot het begin van de eenentwintigste eeuw. In die periode is er van alles veranderd. Het onvoldoende rekening houden met processen die in de tijd veranderen kan daarom een verklaring zijn voor gesignaleerde achtergrondverlaging.

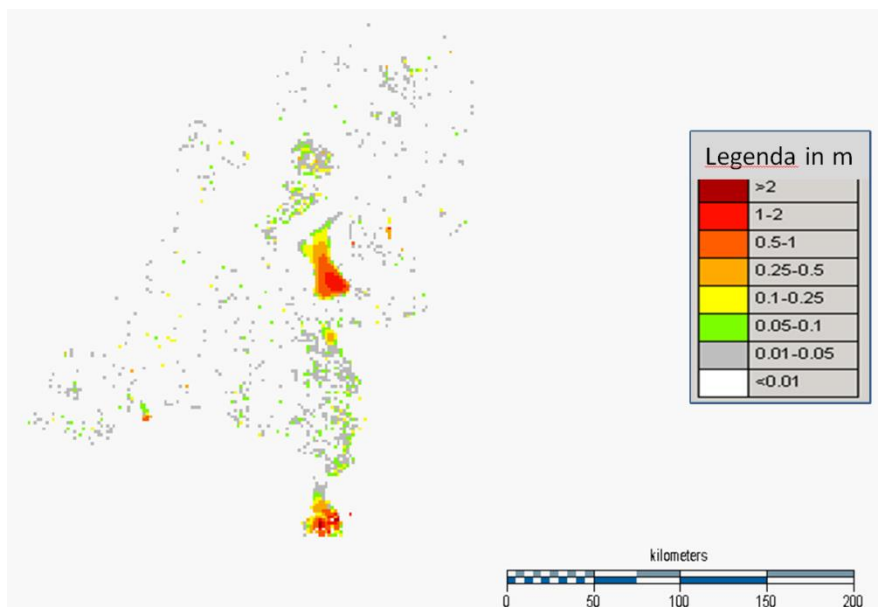
Vooraf grote systemen kunnen zeer traag reageren op ingrepen. Als daar onvoldoende rekening mee gehouden wordt, trekt men conclusies op basis van een model waarin het effect van de ingreep nog niet is uitgewerkt.

Het belang van de reactie van het grondwatersysteem voor berekende effecten wordt hier geïllustreerd aan de hand van resultaten met het landelijk grondwatermodel van het NHI (<http://www.nhi.nu>). Dit model heeft een niet-lineaire schematisering van de interactie tussen de grond- en oppervlaktewaterstand. Met het NHI zijn in 2013 berekeningen uitgevoerd om te onderzoeken in hoeverre de reactie van de grondwaterstand op grondwaterwinningen vertraagd is. Figuur 3-1 geeft de stationaire verlagingen.

In grote delen van de hoog Nederland komen stationaire verlagingen voor groter dan 1 cm. De 5 cm-verlagingscontouren rond individuele winningen raken elkaar in delen van Noord-Brabant, Zuid-Limburg en de stuwwallen. De stationaire situatie zonder winningen is gebruik als startsituatie voor een tijdsafhankelijke berekening met de meteorologie van de periode 1976-2001 waarin de winningen gelijk na aanvang van de berekening zijn aangezet. De verlaging door de winningen bouwt zich dus vanaf de start van de berekening op. Figuur 3-2 laat de toename van de verlaging van de grondwaterstand zien die nog optreedt als de winningen 5 jaar actief zijn. De figuur laat zien dat de eindverlaging binnen 10 jaar in het grootste gedeelte van Nederland bereikt is. Juist de notoir trage systemen van de Veluwe en Zuid-Limburg laten nog een toename van de verlaging groter dan 5 cm zien.



Figuur 3-1. Stationaire verlaging grondwaterstand door NHI-onttrekkingen.



Figuur 3-2. Toename verlaging grondwaterstand van 5 tot 25 jaar na start van de onttrekkingen.

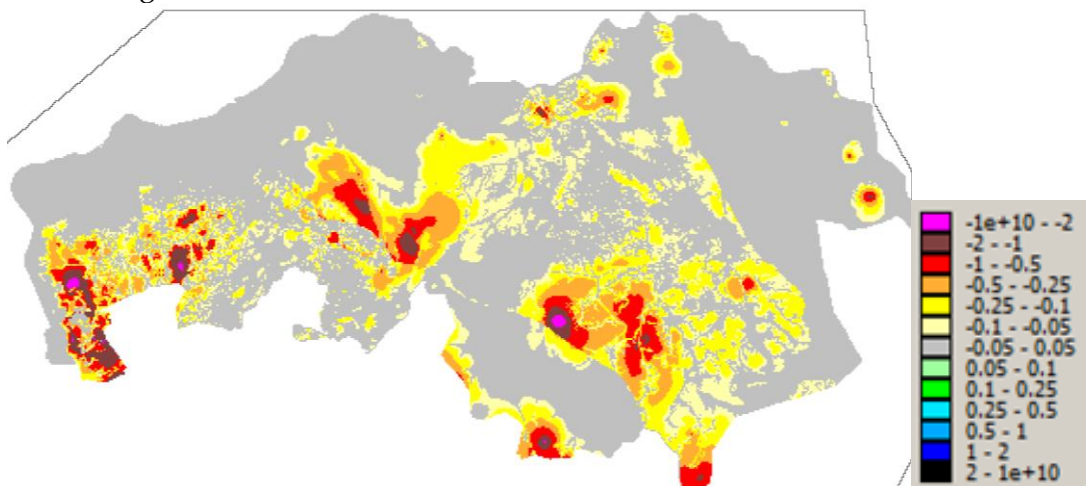
De keuze van de uitgangstoestand

Het belang van een juiste definitie van de uitgangstoestand van het watersysteem, illustreren we aan de hand van de resultaten met het Brabant-model (Van der Wal e.a., 2012; Van der Wal e.a., 2013). Ook dit model heeft een niet-lineaire schematisering van de interactie tussen de grond- en oppervlaktewaterstand.

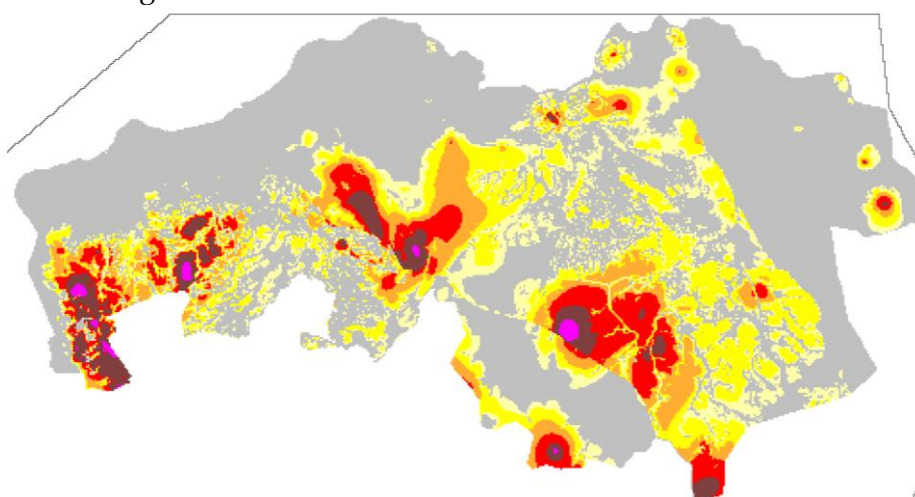
Met het Brabant-model zijn stationaire simulaties uitgevoerd om de gevolgen van grondwaterwinning te berekenen bij twee varianten van de grondwateraanvulling. Met elk van die varianten is een simulatie uitgevoerd, een met en een zonder grondwateronttrekkingen; het verschil levert dan de daling ten gevolge van die onttrekkingen. Figuur 3-3 presenteert het resultaat (Witte e.a., 2015b). Van boven naar beneden zijn gebruikt:

- Een grondwateraanvulling rond 1950 (hoog);
- De grondwateraanvulling voor het jaar 2010 (laag).

Aanvulling 1950



Aanvulling 2010



Figuur 3-3. Verlaging grondwaterstand door alle onttrekkingen in Noord-Brabant bij twee varianten van grondwateraanvullingen.

De schattingen van de grondwateraanvulling zijn afgeleid uit het landgebruik en de gewasopbrengsten, zowel voor 1950 als voor 2010 (Witte e.a., 2015b). Vooral uitbreiding van het stedelijk areaal en toename van de opbrengsten zorgen voor een afname van de grondwateraanvulling in de tussenliggende periode. Dat leidt volgens de simulaties tot een toename van de door de winningen veroorzaakte onttrekkingen. Figuur 3-3 laat zo duidelijk zien het voor het simulatieresultaat uitmaakt of je uitgaat van het landgebruik en de opbrengsten van 1950, of dat je 2010 als uitgangspunt van de berekeningen neemt. In het eerste geval bedraagt de mediane daling in het zandlandschap van de provincie 4 cm, in het tweede geval 7 cm, 75% meer. Bij schadebepalingen is het dus van belang vast te stellen wat de uitgangssituatie voor de ingreep was en in welke periode de schade is opgetreden. En door klimaatverandering kan de uitgangstoestand veranderen met gevolgen voor de effecten van de ingreep.

3.6 Onjuist toepassen tijdreeksanalyse

Eenvoudige vormen van tijdreeksanalyse, zoals voortschrijdende gemiddelden of jaargemiddelden, kunnen al inzicht verschaffen, maar meestal worden voor het bepalen van verlagingen meetreeksen van grondwaterstanden en stijghoogten geanalyseerd met tijdreeksmodellen. In een tijdreeksmodel wordt een waargenomen verloop van de grondwaterstand zo goed mogelijk benaderd als een respons op een of meerdere verklarende reeksen. De respons wordt daarbij bepaald aan de hand van een relatief eenvoudige responsfunctie.

Bij lineaire tijdreeksmodellen wordt elke responsfunctie met de betreffende verklarende reeks geconvolveerd en worden de aldus verkregen bijdragen van de verklarende variabelen gesuperponeerd.

In de praktijk worden niet-lineaire tijdreeksmodellen beperkt toegepast. De verklarende reeksen zijn hierbij vaak beperkt tot neerslag en verdamping.

Voor het bepalen van verlaging door een oorzaak zijn er twee mogelijke aanpakken:

- De ingreep opnemen als verklarende reeks in het tijdreeksmodel;
- De reeks splitsen in deel voor en deel na de ingreep en dan van elk deel een apart tijdreeksmodel maken.

Bij de eerste aanpak is in totaal een minder lange meetreeks nodig, maar zal een lineair tijdreeksmodel eerder afwijkingen veroorzaken. De relatie tussen elke verklarende reeks en de fluctuatie van de grondwaterstand of stijghoogte is dan statistisch bepaald op basis van de correlaties tussen verklarende reeksen en de meetreeks (met de responsfuncties als schakel). Dit betekent niet noodzakelijk een oorzakelijk verband tussen de verklarende variabele en de grondwaterstand. Om daar meer zekerheid over te krijgen moet de relatie fysisch onderbouwd worden. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van expertkennis en van fysisch expliciete grondwatermodellen. Ook vlakdekkende tijdreeksanalyse (Van Loon en Zaadnoordijk, 2015) kan hierbij een rol spelen, door de responsfuncties voor de tijdreeksmodellen van verschillende meetpunten fysisch consistent te maken.

Bij de tweede aanpak wordt met beide tijdreeksmodellen een simulatie uitgevoerd met dezelfde neerslag en verdamping als invoer. Vervolgens wordt het verschil bepaald van de gesimuleerde stijghoogten of GXG-waarden en dat verschil wordt dan toegekend aan de ingreep. Deze aanpak heeft minder snel last van niet-

lineariteit en houdt rekening met verandering van het systeem door de ingreep; bovendien kunnen met alleen neerslag en verdamping eenvoudiger niet-lineaire modellen gemaakt worden. Er moet wel langer gemeten zijn na de ingreep.

Bij deze tweede aanpak wordt de totale verlaging bepaald die samenvalt met de ingreep. Om de verlaging eenduidig toe te kennen aan de ingreep, mogen er met de ingreep niet gelijktijdig andere veranderingen in het watersysteem zijn opgetreden, waar in het tijdreeksmodel geen rekening mee is gehouden. Is dat toch het geval, dan bevat de geconstateerde verlaging een gedeelte 'achtergrondverlaging', dus een deel dat niet behoort te worden toegeschreven aan de ingreep zelf. Om dit probleem op te lossen is een veelal toegepaste werkwijze de achtergrondverlaging te ontlenen aan een meetpunt buiten het invloedgebied van de ingreep. De aanname hierbij is dat oorzaken van achtergrondverlaging ook binnen het invloedgebied aanwezig zijn en dezelfde uitwerking hebben op de grondwaterstand. Dit hoeft niet altijd het geval te zijn:

- Optellen van verlagingen veronderstelt een lineair systeem;
- De achtergrondoorzaken kunnen ruimtelijk variëren.

Door Van den Akker (2015) is overtuigend aangetoond dat deze werkwijze kan leiden tot een over- of onderschatting van de verlaging door de onttrekking. De werkwijze kan dan ook worden aangemerkt als een vrij grove benadering. Beter is het de oorzaken van achtergrondverlaging proberen te achterhalen en deze dan in een verbeterde modellering op te nemen. Uiteindelijk moet dat dan leiden tot een model dat verlagingen berekent die niet meer systematisch verschillen met de waarnemingen.

3.7 Samenvatting

De mogelijke procedurele oorzaken van achtergrondverlaging zijn in dit hoofdstuk op een rijtje gezet en nader geanalyseerd. Daarbij zijn de administratieve oorzaken onderscheiden van oorzaken die voortvloeien uit 'onvolkomen modellering'.

Uit de analyse blijkt dat procedurele oorzaken een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de achtergrondverlaging.

4 Discussie

4.1 Evaluatie van deze studie

De wens van de werkgroep om het zicht op de achtergrondverlaging zodanig te verbeteren dat het fenomeen kan worden gegradeerd tot een voetnoot in de hydrologische geschiedenis, is maar zeer ten dele uitgekomen. Als we geen procedurele fouten meer maken (Hoofdstuk 3) en de bekende fysische oorzaken van verlaging van de grondwaterstanden en stijghoogtes (Hoofdstuk 2) met de beschikbare moderne reken- en analysetools analyseren, hoeft er geen achtergrondverlaging meer te bestaan. De achtergrondoorzaken zijn dan gepromoveerd tot voorgrondoorzaken.

Deze ideale wereld bevat echter een aantal nooit volledig te realiseren premissen. Ten eerste verwachten wij niet dat de procedurele oorzaken van achtergrondverlaging volledig zullen worden opgelost. De obligate oproep om de regels van *Good Modeling Practice* te gebruiken is immers al te vrijblijvend gebleken. Maar al zouden alle hydrologen wel volgens de regels werken, dan nog blijven we zitten met moeilijk te kwantificeren fysische oorzaken of het ontbreken van de gedetailleerde of lokale informatie. Een deel van de in het verleden opgetreden veranderingen in de waterhuishouding is weliswaar bekend, maar nauwelijks goed te kwantificeren. Denk aan de aanpassingen in de kavelsloten of buisdrainage of aan de gestegen gewasopbrengsten. Het is daarom te begrijpen dat in de praktijk de neiging bestaat, en zal blijven bestaan, om de moeilijk kwantificeerbare oorzaken als achtergrondoorzaken te handhaven. Vaak is ook niet duidelijk wanneer een verandering in het waterhuishoudkundig systeem plaats vond. Gegeven het niet-lineaire karakter van het bovenste grondwater en het daarmee samenhangende probleem van volgtijdelijkheid, leidt dit ertoe dat de gevolgen van de verschillende oorzaken niet van elkaar kunnen worden gescheiden. Dat dit tot ongewenste resultaten leidt, met soms grote maatschappelijke consequenties, staat buiten kijf. Wij zullen daarom aanbevelen hier nader onderzoek aan te verrichten (§ 4.3).

Sommige aspecten zijn er in deze studie wat bekaaid afgekomen, zoals de gevolgen van grootschalige ingrepen (§ 2.5) en van stedelijke uitbreiding (§ 2.6). Wegens tijdgebrek hebben we ook minder aandacht kunnen besteden aan het peilbeheerste deel van Nederland. Daar staat tegenover dat de droogteschade aan landbouw- en natuur er minder prominent is en het bovenste grondwater zich minder sterk niet-lineair gedraagt omdat de waterlopen niet droogvallen. Een uitzondering hierop is de alom aanwezige buisdrainage op landbouwpercelen in het kleigebied, die zorgt voor een sterke niet-lineaire relatie tussen grondwaterstand en afvoerintensiteit omdat de drains meestal alleen in de winterperiode afvoeren en bovendien de afvoer naar de drains niet lineair afhangt van de opbolling (Van Bakel, 2013a).

4.2 Conclusies

De aanleiding voor het instellen van de werkgroep Achtergrondverlaging was een discussie over de wijze waarop droogteschade voor landbouwgronden wordt berekend. Het belang van achtergrondverlaging is echter breder, want het verschijnsel speelt ook mee bij de effectberekening en vergunningverlening van allerlei ingrepen en projecten, bij projectmonitoring, en bij het beoordelen van de gevolgen van klimaatverandering. Het is evident dat kennis van historische

ingrepen ook van groot belang is bij de kalibratie van grondwatermodellen met langjarige meetreeksen.

Voor wat betreft de fysische oorzaken kunnen we op basis van deze studie de volgende conclusies trekken:

1. De effecten van beregening uit grondwater op grondwaterstanden en stijghoogten zijn in principe goed te kwantificeren. Echter, de omvang van deze winningen fluctueert sterk en is bovendien veelal slecht bekend. Pas recent zijn betrouwbare effecten berekend. Daaruit blijkt dat beregening uit grondwater in delen van Nederland aanzienlijk kan bijdragen aan de achtergrondverlaging.
2. De peilbesluiten en daarmee gepaard gaande polderpeilverlagingen sinds 1950 zijn niet eenvoudig beschikbaar maar kunnen op grond van algemene kennis worden geschat op 10 cm in kleigebieden (m.u.v. de IJsselmeerpolders) tot 50 cm in veenweidegebieden in het westen van Nederland. Het maaiveld is ongeveer in die mate meegedaald, dus de vermindering van de grondwaterstandsdiepte is geringer.
3. Grootschalige ingrepen, zoals de aanleg van de IJsselmeerpolders en de bruinkoolwinningen in Duitsland, hebben een aanzienlijke invloed (gehad) op grondwaterstanden en stijghoogten in een wijde omgeving en de verlagende werking is soms nog niet gestabiliseerd. In niet alle studies is hiermee rekening gehouden en daarmee kunnen ze een oorzaak zijn van achtergrondverlaging.
4. Door de sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw gerealiseerde verbetering van de ont- en afwatering in het landelijk gebied van het vrij afwaterende deel van Nederland is de grondwaterstand structureel gedaald met gemiddeld 20 cm. De verschillen tussen en binnen regio's en tussen seizoenen zijn echter groot.
5. De afname van de grondwateraanvulling door toename van de verdamping (als gevolg van sterk toegenomen landbouwopbrengsten in de afgelopen vijftig jaar, maar ook door het dichtgroeien van natuurgebieden met bomen en struiken) kan een behoorlijke verlaging (van enkele decimeters) van de grondwaterstand tot gevolg hebben gehad. In de regel wordt hier geen rekening mee gehouden en daarmee is deze afname een belangrijke oorzaak van achtergrondverlaging.

En voor wat betreft de procedurele oorzaken zijn onze conclusies:

6. Door niet-lineariteit van het grondwatersysteem is (bij dezelfde uitgangssituatie) de totale verlaging door fysische oorzaken (zoals grondwaterwinning, cultuurtechnische ingrepen en verandering in landgebruik, zie Hoofdstuk 2) groter dan de som van de verlaging door individuele oorzaken.
7. Uit Conclusie 6 volgt dat de volgtijdelijkheid van belang is in het toekennen van verlagingen aan individuele oorzaken.
8. De reeds in de afgelopen vijftig jaar opgetreden klimaatverandering heeft geleid tot meer neerslag, wat een oorzaak kan zijn van achtergrondverhoging. In studies waar hier geen rekening mee is gehouden, kan deze de achtergrondverlaging hebben verdoezeld.
9. De effecten van permanente grondwaterwinningen op grondwaterstanden en stijghoogten zijn in de regel goed bekend en daarmee zijn deze winningen geen

oorzaak van achtergrondverlaging. Door het beperken van het verlagingsgebied van een grondwaterwinning tot een verlagingsgrens van 5 cm en het verwaarlozen van overlappende verlagingskegels, kan grondwaterwinning echter toch bijdragen aan de achtergrondverlaging.

10. Het doortrekken van buiten het invloedgebied van een winning vastgestelde achtergrondverlaging naar het verlagingsgebied kan leiden tot onjuiste vaststelling van de verlaging door de winning.

4.3 Aanbevelingen

De werkgroep komt met de volgende aanbevelingen voor hydrologen die onderzoek willen doen naar de effecten van historische ingrepen:

1. Vermijd achtergrondverlaging

Deze aanbeveling heeft verder geen nadere uitleg dan er nogmaals op te wijzen dat procedurele fouten (Hoofdstuk 3) kunnen worden voorkomen, en dat met enige inspanning fysische oorzaken (Hoofdstuk 2) gepromoveerd kunnen worden tot voorgrondoorzaken.

2. Besteed meer aandacht aan de volgtijdelijkheid

De effecten van een ingreep in het hydrologisch systeem hangen, vanwege niet-lineariteit, af van andere ingrepen. Daarom bevelen we voor ingreep-effectstudies aan deze afhankelijkheid expliciet in beeld te brengen door de ingrepen modelmatig in de tijd om te wisselen. Daarmee wordt de kwantificering van de oorzaken beter onderbouwd en het onderhandelingsproces over de oorzaken transparanter. De achtergrondoorzaken zijn per definitie moeilijker kwantificeerbaar, maar als ze als restpost zijn gekwantificeerd is het mogelijk de gevoeligheid van de effecten van de voorgrondfactoren voor de volgtijdelijkheid van de voor- en achtergrondfactoren te bepalen.

3. Gebruik Good Modeling Practice 2.0

Grondwatermodellereurs dienen meer kennis te nemen van de valkuilen van numeriek modelleren die ten grondslag kunnen liggen aan de procedurele oorzaken van achtergrondverlaging. Bovendien bevelen we aan modelresultaten te toetsen aan de uitkomsten van een analytisch model, c.q. aan een onbevooroordeelde ervaringsdeskundige (concullegiale toets).

Daarnaast meent de werkgroep dat de volgende onderzoeken gewenst zijn om meer zicht te krijgen op het verschijnsel achtergrondverlaging:

4. Voer historisch-hydrologische modelstudies uit

In de discussie is gesteld dat sommige oorzaken van achtergrondverlaging 'gedoemd' zijn achtergrondoorzaak te blijven omdat de kennis over de daarmee gepaard gaande hydrologische ingrepen onvoldoende is. Dat is onbevredigend.

De huidige generatie landelijke en regionale hydrologische modellen bieden mogelijkheden op landelijke en regionale schaal de invloed van bedoelde en onbedoelde ingrepen in de waterhuishouding op grondwaterstanden en stijghoogten en de onderlinge afhankelijkheid te kwantificeren, zeker als wordt geïnvesteerd in een goede ontsluiting van (geo)-hydrologische data, in het kader

van REGIS en basisregistraties (zoals de Basis Registratie Ondergrond, BRO). We zijn dus in staat allerlei historische te reconstrueren en toekomstige situaties samen te stellen onder de voorwaarde dat we ingrepen kunnen kwantificeren en in verandering in hydrologische eigenschappen en/of randvoorwaarden kunnen uitdrukken. Een modellering van de historische veranderingen vanaf bijvoorbeeld 1900 met het NHI wordt daarom aanbevolen. De kwantificering van de verandering in detailont- en -afwatering verdient daarbij extra aandacht, inclusief het effect van de aanleg van buisdrainage.

Met deze aanpak kunnen ook de veranderingen in afvoeren worden bepaald die hetzij direct (de openwaterstand als ontwateringsbasis) hetzij indirect (door terug- en voortschrijdende erosie en sedimentatie) de grondwaterstanden en stijghoogten hebben beïnvloed.

5. Voer een tijdreeksanalyse uit met meer historische verklarende variabelen

Voer parallel aan de werkzaamheden bij Aanbeveling 4, een tijdreeksanalyse uit van grondwaterstands- en stijghoogtemetingen sinds het begin van de waarnemingen tot heden, waarin ook antropogene invloeden als verklarende reeks worden gebruikt (en niet alleen worden verondersteld het residu te bepalen).

6. Onderzoek de relatie tussen toename gewasproductie en verdamping

Het verband tussen gewasverdamping en gewasproductie is theoretisch goed bekend (De Wit, 1958; Van Diepen e.a., 1989). We weten ook dat klimaatverandering en stijging van het CO₂-gehalte in de atmosfeer van invloed zijn op de verhouding tussen de drie verdampingstermen: transpiratie, interceptie en bodemverdamping (Kruijt e.a., 2008; Bartholomeus e.a., 2015). Met deze kennis kunnen we de gevolgen voor de verdamping van de toegenomen gewasproductie en van klimaatverandering beter bepalen. Gezien het belang van deze post op de regionale waterbalans bevelen wij nader onderzoek aan.

7. Kwantificeer beter de gevolgen van verbossing en verstedelijking

Doe onderzoek naar de gevolgen van het dichtgroeien van droge natuurgebieden met grassen, struiken en bomen. Droge natuurgebieden hebben vaak een traag reagerend grondwatersysteem en de veranderingen in landgebruik (staken beweiding door schapen, aanplant van naalddhout) vonden vooral voor WOII plaats. Daarom zouden veranderingen in zowel de 19^e als de 20^e eeuw in het onderzoek betrokken moeten worden.

De waterbalans in bebouwde gebieden is slechts globaal bekend, blijkt uit een recent uitgevoerde literatuurstudie door De Graaf e.a. (2013), terwijl verstedelijking mogelijk een zeer belangrijke oorzaak van grondwaterstands-daling is. Met name onderzoek naar de verdamping van stedelijk gebied, waarbij inbegrepen naar de interceptiecapaciteit van daken, bevelen wij van harte aan. Ook onderzoek naar (veranderingen van) de afvoer in de bebouwde omgeving is relevant.

8. Actualiseer de effecten van permanente ingrepen

Door de voortgeschreden kennis over de fysieke en procedurele oorzaken van achtergrondverlaging en de sterk verbeterde modellen en technieken zouden

procedurele oorzaken van achtergrondverlaging tot het verleden moeten behoren en is het omgaan met achtergrondverlaging bij de bepaling van de effecten van permanente ingrepen, zoals grondwaterwinningen, aan herziening toe. Daarbij moet het streven zijn de achtergrondverlaging niet meer als verklaring te gebruiken, maar de effecten van een ingreep te bepalen door met alle veranderingen in het landschap rekening te houden. Gezien het belang van een juiste volgtijdelijkheid dient men bij de berekening speciale aandacht te besteden aan de uitgangssituatie op het moment dat een ingreep of een verandering van de ingreep plaatsvond.

9. Neem kennis over autonome ontwikkelingen mee om de daardoor mogelijk optredende achtergrondverlaging te vermijden. In bijlage II is hiertoe een mogelijke werkwijze geformuleerd.

Referenties

- Amstel, A.R.v., L.C. Braat & A.C. Garritsen** (1989) Verdroging van natuur en landschap in Nederland : beschrijving en analyse; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Anonymous** (1993) *Verdroging in Gelderland. Hoofdrapport. De 3 O's: Omvang, Oorzaken en Oplossingsrichtingen*; Dienst Water en Milieu van de provincie Gelderland, Arnhem.
- Arcadis** (2009) MER reallocatie Grondwaterwinningen van Boxmeer en Vierlingsbeek naar Loosbroek en Veghel. In opdracht van Brabant Water.
- Arnold, G.E. & W.J. de Lange** (1990) Waterhuishoudkundige maatregelen naast onttrekkingen een belangrijke oorzaak van verdroging. *Landinrichting*, **30**.
- Bartholomeus, R.P., J.H. Stagge, L.M. Tallaksen & J.P.M. Witte** (2015) Sensitivity of potential evaporation estimates to 100 years of climate variability; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19: 997-1014.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom & R. Aerts** (2008) The need of data harmonization to derive robust empirical relationships between soil conditions and vegetation; *J. Veg. Science* 19: 799-808.
- Bon, J.** (1963) De invloed van een beekverbetering op de grondwaterstand en de afvoer in het stroomgebied van de Lunterse beek. ICW, Wageningen.
- Braat, L., K.L.G. Groen, A.R. van Amstel & A.C. Garritsen** (1989) Verdroging van natuur en landschap in Nederland het technisch rapport; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Braat, L.C., A. van Amstel, E. Nieuwhof, J. Runhaar & J. Vos** (1987) Verdroging in Nederland: probleemverkenning; Ministerie van Volkshuisvesting; Ministerie van Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Buishand, A., T. Brandsma, G. de Martino & H. Spreeuw** (2011) Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar; *H2O* 24: 31-33.
- CBS, PBL & WUR** (2016a) Compendium voor de leefomgeving, Grondwatersituatie, landelijk beeld, 1950-1990. CBS, PBL, Wageningen CBS, PBL, Wageningen, Den Haag PBL, Bilthoven, Wageningen, www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0281-Grondwaterstijghoogte.html?i=11-98.
- — — (2016b) Compendium voor de leefomgeving, Grondwaterstijghoogte, 1950-1999. CBS, PBL, Wageningen CBS, PBL, Wageningen, Den Haag PBL, Bilthoven, Wageningen, www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0281-Grondwaterstijghoogte.html?i=11-98.
- Cirkel, D.G., E.P. Querner, P.J.J.F. Torfs & H.A.J. van Lanen** (2003) Effecten van verdrogingsbestrijdende maatregelen en klimaatverandering op extreem hoge afvoeren. Alterra rapport 145, Wageningen.
- De Graaf, R.E., B. Roeffen, T. den Ouden & B. Souwer** (2013) Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden. DeltaSync BV.
- De Lange, G., J. Gunnink, Y. Houthuessen & R. Muntjewerff** (2012) Bodemdalingskaart Flevoland. Grontmij.
- De Wit, C.T.** (1958) Transpiration and crop yields; Pudoc, Wageningen.

- Dolman, H., E. Moors, J. Elbers, W. Snijders & P. Hamaker** (2000) Het waterverbruik van bossen in Nederland. Alterra, Wageningen.
- Ebbens, O.N. & H.D.C. Meeuwse** (2016) Verkenning hydrologische maatregelen Deurnse Peel en Leegveld. Witteveen+Bos.
- Ernst, L.F.** (1971) Analysis of groundwater flow to deep wells in areas with a non-linear function for the subsurface drainage; *J. Hydrol.* 14(2): 158-180.
- Ernst, L.F.** (1978) Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables: I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio; *J. Hydrol.* 39(1): 1-30.
- Feddes, R.A.** (1987) Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration; in: *Evaporation and weather*., 39, ed. J. C. Hooghart, 33-47. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague.
- Fitts, C.R.** (2002) Groundwater Science; Academic Press, San Diego CA, VS.
- Gehrels, J.C., F.C. van Geer & J.J. de Vries** (1994) Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones; *J. Hydrol.* 157: 105-138.
- Jacobs, C., J. Elbers, R. Broolsma, O. Hartogensis, E. Moors, M.T. Rodríguez-Carretero Márquez & B. van Hove** (2015) Assessment of evaporative water loss from Dutch cities; *Building and Environment* 83: 27-38.
- Jansen, P.C.** (1986) De potentiële verdamping van (half-) natuurlijke vegetaties; ICW, Wageningen.
- Keve, G.** (1992) *Revitalization of the Gelderse Poort floodplain area*. Afstudeerscriptie Landbouwwuniversiteit Wageningen, Wageningen.
- KNMI** (2014) KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. KNMI 34.
- Knotters, M. & P.C. Jansen** (2005) Honderd jaar verdroging in kaart; *Stromingen* 11(4): 19-32.
- Kooiman, J.W.** (1993) Verdroging in Gelderland. Methodiek Waterhuishoudkundig Onderzoek en resultaten. *H2O* 26: 254-258.
- Kremers, H.M. & F.C. Van Geer** (2000) Trendontwikkeling Grondwater 2000. Analyseperiode 1955-2000. TNO-NITG.
- Kruijt, B., J.P.M. Witte, C.M.J. Jacobs & T. Kroon** (2008) Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: A practical approach for the Netherlands; *J. Hydrol.* 349(3-4): 257-267.
- Landinrichtingsdienst** (1988) Indicatieve kwantificering van effecten van cultuurtechnische ingrepen in de periode 1955-1985 op freatische grondwaterstanden in het zandgebied van de provincie Noord-Brabant. Landinrichtingsdienst, Tilburg.
- Luijendijk, J. & P.J.T. van Bakel** (1995) Technisch deelrapport Lage Raam. Tauw Civiel en Bouw.
- Maas, C.** (2012) Valkuilen in de tijdreeksanalyse: het geval Terwisscha; *Stromingen* 18(2): 43-76.
- Maas, C., P.K. Baggelaar, G. van der Velde, M.H. Jalink & A.J.M. Jansen** (1991) Waterwinning en verdroging. KIWA N.V., Hoofdafdeling Speurwerk, Nieuwegein.
- Maas, C. & J.R. von Asmuth** (2004) Tijdreeksanalyse grondwaterstanden 1975-2002 Effectiviteit van het stand-still beleid van de Provincie Limburg. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat** (1985) De waterhuishouding van Nederland (tweede nota waterhuishouding 1984). 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij.
- Nijssen, N., M.J.P.M. Riksen, L. Sparrius, L. Kuiters, A. Kooiman, R.J. Bijlsma, P. Jungerius, A. van den Burg, H. van Dobben, R. Ketner-Oostra, C. van Swaay, C. van Turnhout & R. de Waal** (2011) Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden. OBN stuifzandonderzoek 2006-2010. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
- Querner, E.P. & W.H.B. Aarnink** (1997) Verandering van de grondwateraanvulling en grondwater-standen door ingrepen in de waterhuishouding; *H2O* 30(1): 23-25.
- Querner, E.P., W.H.B. Aarnink & C.C.P. van Mourik** (1994) Scenariostudie naar de verandering van grondwateraanvulling en grondwaterstanden tussen de jaren vijftig en tachtig. Ingrepen in de waterhuishouding doorgerekend in drie voorbeeldgebieden met het model SIMGRO. Staring Centrum.
- Rienks, W.A., A.L. Gerritsen, W.J.H. Meulenkamp, F.G.W.A. Ottburg, E.P.A.G. Schouwenberg, J.J.H. van den Akker & R.F.A. Hendriks** (2004) Veenweidegebied in Fryslân - de effecten van vier peilstrategieën. Alterra, Wageningen.
- Ritzema, H.P., G.B.M. Heuvelink, M. Heinen, P.W. Bogaart, F.J.E.v.d. Bolt, M.J.D. Hack-ten Broeke, T. Hoogland, M. Knotters, H.T.L. Massop & H.R.J. Vroon** (2012) Meten en interpreteren van grondwaterstanden: analyse van methodieken en nauwkeurigheid. Alterra, Wageningen.
- RLG** (1988) Overvloed en schaarste: water als geld - advies over de gevolgen van klimaat-verandering, zeespiegelrijzing en bodemdaling voor het landelijk gebied.
- Rolf, H.L.M.** (1989) Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: analyse periode 1950-1986. DGV-TNO.
- Schokking, F.** (1993) Maaiveldsdalingen in veenweidegebieden in de provincie Friesland. Rijks Geologische Dienst.
- Schothorst, C.J.** (1982) De gevolgen van waterwinning en ontwatering bij veengronden in de Groeve; I.C.W., Wageningen.
- Spieksma, J.F.M., A.J. Dolman & J.M. Schouwenaars** (1997) De verdamping van natuurterreinen; *Stromingen* 3(1): 5-16.
- Stuurman, R.J. & J. Griffioen** (2003) Systemgericht grondwaterbeheer. Technische Commissie Bodembescherming.
- Terwan, P., A. Guldmond & W. Menkveld** (2000) Water in Waterland - Feiten en meningen over waterpeilen en waterberging en voorstellen voor toekomstig beleid, Samenwerkingsverband Waterland.
- Van Bakel, J.** (2013a) Betekenis van Hooghoudt nog lang niet 'uitgehoudt'; *Stromingen* 19, no. 2.: 19(2): 53-62.
- — — (2013b) De achtergrondverlaging op de voorgrond - Verslag: NHV Najaarsbijeenkomst 2013; *Stromingen* 19(3&4): 141-146.
- Van Bakel, J., J. Huinink & W. Werkman** (2015) Hoe robuust is ons hydrologisch systeem (1)? Modelmatige verkenning van hydrologische effecten van klimaatverandering en toenemende grondwateronttrekking op het grondwatersysteem in 2050; *Stromingen* 24(4): 7-14.
- Van Bakel, P.J.T., A.J. de Braal & G.D. Geldof** (1995) Verstedelijking en verdroging; RIZA, Lelystad.

- Van Bakel, P.J.T. & P.A.J.W. de Wit** (1995) Zijn de toegenomen landbouwopbrengsten een der oorzaken van de verdroging in Nederland?; *H2O* 28(25): 770-773.
- Van Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel & I.G.A.M. Noij** (2008) Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra, Wageningen.
- Van den Akker, C.** (2013) Tussen Dupuit en De Glee – het ontstaan van toegevoegde stijghoogte verlaging; *Stromingen* 19(2): 5-23.
 – – – (2015) Is de balans zoek?; *Stromingen* 22(2): 7-12.
- Van den Hurk, B., P. Siegmund & A.K. Tank** (2014) *KNMI'14: Climate Change Scenarios for the 21st Century-a Netherlands Perspective*. KNMI, De Bilt.
- Van der Gaast, J.** (2012) Numerieke verdroging en schadeonderzoek voor grondwateronttrekkingen; *Stromingen* 18(1): 21-34.
 – – – (2013) Grondwaterwinningen nader beschouwd; *Stromingen* 19(3&4): 63-81.
- Van der Gaast, J.W.J. & P.J.T. van Bakel** (1997) *Verdroging door droge en natte rijksinfrastructuur in Overijssel en Gelderland. Een verkennende studie*, Staringcentrum, Wageningen, SC-DLO-rapport 500.
- Van der Sluijs, P.** (1982) De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop; *H2O* 15(3): 42-46.
 – – – (1990) Grondwatertrappen; in: *Bodemkunde van Nederland*, ed. W. P. Locher en H. d. Bakker. Malmberg, Den Bosch.
- Van der Sluijs, P. & J.J. de Gruijter** (1985) Water table classes: A method to describe seasonal fluctuation and duration of water tables on Dutch soil maps; *Agricultural Water Management* 10(2): 109-125.
- Van der Wal, B.J., J. Van Sijl & M.J. de Graaf** (2013) Kwaliteitsrapportage grondwatermodellen Noord-Brabant en Limburg. Royal Haskoning.
- Van der Wal, B.J., H. Vermue & J. van Sijl** (2012) Hydrogeologie West-Brabant - Regionaal grondwatermodel West-Brabant. Royal Haskoning.
- Van Diepen, C.A., J. Wolf, H. Van Keulen en C. Rappoldt** (1989) WOFOST: a simulation model of crop production; *Soil Use & Management* 5(1): 16-24.
- Van Loon, A. & W.J. Zaadnoordijk** (2015) Vlakdekkende tijdreeksanalyse: Een data-gedreven methode voor het projecteren van grondwaterstand reeksen. *Stromingen, jaargang 23, nummer 3*.
- Van Loon, A.H., P.P. Schot, J. Griffioen, M.F.P. Bierkens, & M.J. Wassen** (2009) Palaeo-hydrological reconstruction of a managed fen area in The Netherlands. *Journal of Hydrology* 378: 205-217.
- Van Leeuwen, P.E.R.M.** (1991) *Achtergrond"verdroging, signaal of ruis? Verdroging in Gelderland. Deelrapport 1*, Provincie Gelderland, Arnhem.
- Van Walsum, P.E.V., P.F.M. Verdonschot & J. Runhaar** (2002) Effects of climate and land-use change on lowland stream ecosystems. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change.
- Veenenbos, J.S.** (1951) Verdrogingsverschijnselen in het randgebied van de Noordoostpolder; *Boor en spade : verspreide bijdragen tot de kennis van de bodem van Nederland* 1951(4): 129-138.
- Visser, W.C.** (1958) De waterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Waterhuishouding van Nederland (COLN).
- Voortman, B., J.P.M. Witte, H. van Rheenen, F. Bosveld, J. Elbers, F. van der Bolt, J. Heijkers, J. Hoogendoorn, A. Bolman, T. Spek & M. Voogt** (2016)

- Resultaten van een nieuwe en handzame lysimeter; eerste stap naar een nationaal netwerk voor de werkelijke verdamping?; *Stromingen* 22(2): 49-63.
- Voortman, B.R., R.P. Bartholomeus, S.E.A.T.M. van der Zee, M.F.P. Bierkens & J.P.M. Witte** (2015) Quantifying energy and water fluxes in dry dune ecosystems of the Netherlands; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19(9): 3787-3805.
- Wind, G.P.** (1985) Slootpeilverlaging en grondwaterstands daling in veenweidegebieden. ICW.
- Witte, J.P.M., I. Leunk, D.G. Cirkel, H.F.M. Aarts & W.J. Zaadnoordijk** (2015a) Achtergrondverlaging en grondwateraanvulling in Noord-Brabant; *Stromingen* 24(2015): 53-65.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. van Ek, D.C.J. van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. van Bodegom, M.J. Wassen & S.E.A.T.M. van der Zee** (2012) An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(11): 3945-3957.
- Witte, J.P.M., W.J. Zaadnoordijk, D.G. Cirkel, I. Leunk & H.F.M. Aarts** (2015b) Grondwateraanvulling en achtergrondverlaging in de provincie Noord-Brabant. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

Bijlagen

I. Verslagen van gesprekken met medewerkers van Vitens en Brabant Water

Interview met Jan Hoogendoorn (beleidsmedewerker Vitens)

Datum interview: 13 augustus 2015

Opsteller: Jan van Bakel

Jan van B. legt eerst achtergrond uit waarom dit interview wordt gehouden:

- de werkgroep achtergrondverlaging (AV) is begonnen met eindrapport;
- hierin ook hoofdstuk over de huidige praktijk van vaststelling verlagingen als gevolg van drinkwaterwinningen;
- met als doel de feiten omtrent de omgang met het fenomeen Achtergrondverlaging door waterwinningsmaatschappijen in beeld te krijgen;
- en zo mogelijk dit fenomeen 'te laten verworden tot een voetnoot in de hydrologische geschiedenis'.

Hoe stelt Vitens de verlagingen vast?

1. Via veldwaarnemingen
2. Via grondwatermodellering (waarbij veldwaarnemingen worden gebruikt voor calibratie)
3. Pilot Overijssel om via tijdreeksanalyse de relevante data 'uit te melken' (zie ook artikelenreeks in Stromingen).

Van alle winningen heeft Vitens 15 'facetplaatjes' gemaakt (dus ook verlagingen) waarbij huidige situatie (met winningen aan op vergunningsdebiet en de winning uit en huidige hydrologie de uitgangssituatie is). Zijn bepaald met stationaire berekening (neerslagoverschot uit metaSWAP).

Voor Overijssel uitgebreidere producten: dus ook GXG met niet-stationair model. Biedt mogelijkheid effect van niet-stationair rekenen in beeld te brengen door vergelijking met de betreffende facetplaatjes. Staat overigens niet bij Vitens in de planning.

Niet stationair rekenen biedt ook de mogelijkheid om tijdreeksen van grondwaterstandsverlagingen vast te stellen die in principe een beter basis vormen voor bepaling effecten op landbouw en natuur. Echter, Vitens streeft naar zo eenvoudig mogelijke procedure dus vooral liever niet rekenen met tijdreeks van verlagingen. En liever niet discussie over uitgangssituatie (wie was er eerst).

Gebruikte modellen (voor bovenbeschreven producties) hebben de 'zegen' van waterschappen en provincies.

Begrenzing verlagingsgebied

Modellen worden ruim 'uitgezaagd' uit regionale modellen (plaatjes wordt getoond). André Blonk weet hier meer van.

Zo veel mogelijk aanvullende informatie zoals verlagingen die in het veld zijn vast te stellen (tijdreeksanalyseresultaten). Ook verlagingen in beeld brengen waarop schades zijn gebaseerd maar dat 'valt niet mee'. Dat wordt een 'speurtocht'. Daarom gaan de facetplaatjes niet naar buiten.

Constatering: de concepten en technische mogelijkheden lopen voor op de praktijk van vaststelling verlagingen waarop schadeberekeningen zijn gebaseerd. Uiteraard wordt de kwaliteit begrensd door de kennis van de parameters maar dat is een wat andere discussie. Daarmee kan ook 'zwakbodem' Achtergrondverlaging tot het verleden gaan behoren. Dat kan wel leiden tot veel 'gedoe' maar het is een taak van (wijze) bestuurders hier verstandig mee om te gaan.

Uit bovenbeschreven producties is ook afgeleid dat ca. 25% van de winning komt uit het gebied buiten de (stationair bepaalde) 5 cm verlagingscontour (bij afspraak begrenzing schadegebied). Hierbij is geen rekening gehouden met andere winningen in de buurt. Cumulatie kan zorgen meer dan 5 cm verlaging waar afzonderlijk de verlaging minder is dan 5 cm.

Afhankelijk van de definitie is verwaarlozen minder dan 5 cm verlaging door waterwinningen ook een oorzaak van de achtergrondverlaging waarbij cumulatie deze oorzaak kan versterken. Bij oude studies zijn effecten van nabij gelegen winningen niet meegenomen. Bij *state of the art* procedure worden winningen in de omgeving wel meegenomen terwijl de veronderstelling is dat dit in de huidige praktijk niet is meegenomen.

Interview met Jelle van Sijl (adviseur grondstof Brabant Water)

Datum interview: 19 oktober 2015

Opsteller: Jan van Bakel

Vraag 1: Hoe zijn of worden in het algemeen de verlaging van stijghoogtes en grondwaterstanden als gevolg van hun grondwaterwinningen, en waarop schaderegelingen voor de landbouw zijn gebaseerd, door Brabant Water vastgesteld?

De ACSG voert het hydrologisch- en schade-onderzoek uit. Daarmee is het dus de ACSG die vaststelt wat de referentie situatie is en welke verlagingen als gevolg van winning en als gevolg van andere factoren leiden tot mogelijke schade. Brabant Water heeft hierin een adviserende rol. Het staat de ACSG ook vrij om elders advies in te winnen. Dit advies kan bestaan uit een (tijdreeks)analyse van gemeten grondwaterstanden en stijghoogtes, bodem- en waterhuishoudkundige analyse en karteringen, regressie analyses, pompproeven en of numerieke of analytische (model)berekeningen. Brabant Water betreft in haar advies kennis en expertise van onderzoeksinstituten (KIWA/KWR) en/of externe adviesbureaus.

Vraag 2: Wordt bij de bepaling van effecten van (veranderingen van) winningen door Brabant Water rekening gehouden met de zogenoemde achtergrondverlaging en zo ja, hoe dan wel?

Bij het bepalen van de effecten van de winning ten opzichte van de referentie situatie wordt rekening gehouden met alle mogelijke factoren die van invloed kunnen zijn op de grondwaterstanden in een gebied. Daarbij horen ook effecten door bijvoorbeeld veranderingen in landgebruik, ruilverkaveling, klimaat en overige grondwateronttrekkingen (landbouw en industrie). Hiermee wordt dus een deel van de veronderstelde achtergrondverlaging meegenomen bij de effectbepaling. Het ontrafelen van de relatieve bijdrage van deze verschillende factoren aan het totaal effect gebeurt meestal door middel numerieke model analyses en/of langjarige tijdreeksanalyse.

Vraag 3: Bij het in rekening brengen van achtergrondverlaging speelt de volgtijdelijkheid (effect van een winning is afhankelijk van de uitgangssituatie) een rol. Hoe gaat Brabant Water hiermee om?

De 'volgtijdelijkheid' zit slechts voor een deel verwerkt in de bepalingen van effecten van de grondwaterwinningen van Brabant Water.

Ter verduidelijking en om verwarring te voorkomen: er wordt gesproken over de volgtijdelijkheid van veranderingen in het watersysteem. Daarmee wordt bedoeld: de volgorde in de tijd waarin veranderingen in het watersysteem plaatsvinden zijn mede bepalend voor de relatieve grootte van het effect van iedere afzonderlijke bijdragende factor aan het totale effect.

Het effect van de winning wordt uitgedrukt ten opzichte van de uitgangs- of referentiesituatie vóór aanvang van de winning. Hierbij wordt gezocht naar een referentiesituatie die het meest representatief of 'gemiddeld' is voor de voorgaande periode waarin er geen grondwaterwinning was. Hierbij wordt zoveel mogelijk getracht om reeds ingezette autonome trends te ontrafelen ter onderbouwing van het 'gemiddelde' beeld. Hierin zit dus een deel 'volgtijdelijkheid' verwerkt gedurende de periode voor aanvang winning. Bij het bepalen van het effect van een winning wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met autonome ontwikkelingen, voor zover deze met voldoende betrouwbaarheid kunnen worden bepaald. Hiermee wordt dus een deel van de veronderstelde achtergrondverlaging meegenomen bij de effectbepaling.

Vraag 4: Is er een verschil tussen de huidige werkwijze van bepaling effecten van (verandering) van grondwaterwinningen en die van enige decennia geleden?

Alhoewel de werkwijze nu in wezen niet veel verschilt van enkele decennia geleden, zijn er in de loop van de tijd wel nieuwe gegevens, methoden, tools, hardware en kennis bijgekomen voor het verwerken van data en bepalen/berekenen van effecten.

Vraag 5: Als het antwoord op vraag 4 bevestigend is, is er dan een analyse gemaakt van de effecten van de verschillende aanpak?

Brabant Water streeft ernaar om bij het bepalen van effecten van winningen te allen tijde rekening te houden met state-of-the art methoden en de meest actuele en gedetailleerde informatiebronnen. Een integrale reflectie wat betreft verschillen met voorgaande verouderde methoden is hierbij niet gebruikelijk.

Vraag 6: Is Brabant Water van mening dat meer kennis van de oorzaken van de achtergrondverlaging een goede zaak is en zo ja waarom?

Brabant Water is van mening dat meer kennis van de verschillende factoren die bijdragen aan de achtergrondverlaging noodzakelijk is voor een gedegen onderbouwing van hydrologische effectstudies en voor algeheel begrip en kennis van het hydrologisch systeem. Het Bedrijfstakingonderzoek van de Waterbedrijven (BTO) dat recent is uitgevoerd (Witte e.a., 2015b) is hier een goede aanzet toe.

II. Toekomstige effecten door veranderingen in klimaat en grondgebruik

Een aanbeveling in Hoofdstuk 4 is het vermijden van achtergrondverlaging door te letten op de fysische en procedurele oorzaken. Bij berekeningen van toekomstige effecten kan een achtergrondverlaging ook worden vermeden door het gebruiken van een autonome ontwikkeling.

Als een hydrologische berekening wordt gemaakt voor een periode van “20-50 jaar na nu” is het van belang om diverse toekomstige ontwikkelingen in beschouwing te nemen. Het formuleren van een zogenaamde toekomstige autonome ontwikkelingen en deze gebruiken als referentie voor de geplande ingreep is van belang om toekomstige achtergrondverlaging niet te laten optreden. Dit is met name van belang bij het berekenen van toekomstige effecten in niet-lineaire topsystemen.

In de autonome ontwikkeling kan de volgtijdelijkheid van ingrepen en ontwikkelingen transparant worden beschreven. Ook is het mogelijk om de volgtijdelijkheid of toekomstige ontwikkeling te variëren (scenario's) zodat een bandbreedte van berekende effecten ontstaat. Door een combinatie van historische en toekomstige ingrepen in een model te berekenen en te vergelijken met metingen of Gt-kaarten, ontstaan inzichten in de betrouwbaarheid van de berekeningen van de toekomstige effecten.

Relevante aspecten zijn bijvoorbeeld:

- Toename verhard oppervlak (zowel % verhard in bebouwd gebied als ook oppervlakte 'bebouwde kom' en bedrijfsterreinen).
- Toename en afname actuele gewasverdamping van bossen en natuurgebieden door diverse verschillende ingrepen zullen langjarige effecten optreden, bosvorming (naar loofbos of heide), plaggen en afgraven.
- Toename van actuele gewasverdamping, drainage en beregening door toename van de oppervlakte met intensieve landbouwkundig grondgebruik, maar ook een afname daar waar het landbouwkundig grondgebruik extensiveert
- Maaiveld daling en zeespiegelstijging is in laag Nederland van belang
- Toename van neerslag en verdamping (b.v. een zomer zoals in 2016 met veel regen en/of met lange droge periode) is met name relevant in Hoog-Nederland.

Naast ontwikkelingen of trends fysieke leefomgeving is minstens zo belangrijk welke maatregelen getroffen worden (klimaatadaptatie en mitigerende maatregelen). Een discussie over versnelde afvoer van water versus water lokaal bergen is naar aanleiding van de extreme neerslag in zomer 2016 begonnen. Toekomstige ingrepen kunnen vergelijkbaar zijn met historische ingrepen die achtergrondverlaging veroorzaakten.

Verkenningen van planbureau Leefomgeving en KNMI-klimaatscenario's zijn hulpmiddelen om toekomstige ontwikkelingen te kwantificeren.

Voor regionale studies is het van belang zoveel mogelijk regionale gegevens te gebruiken, want de trends van neerslag, verdamping, etc. kunnen in verschillende regio afwijken van de landelijke cijfers.

