



Gijsbert Cirkel, Kiwa Water Research

Eric van Griensven, Brabant Water

Eric Broers, Hydron Midden-Nederland, thans Grontmij

# Klimaatverandering en grondwaterwinning

**Studies naar klimaatverandering en waterbeheer zijn tot op heden veelal gericht op oppervlaktewatersystemen. De effecten van klimaatverandering op het grondwatersysteem en de drinkwatervoorziening werden tot voor kort weinig belicht. Voldoende beschikbaar grondwater van goede kwaliteit is van groot belang voor de Nederlandse natuur en landbouw, maar maatschappelijk gezien ook voor de drinkwatervoorziening. Om te kunnen anticiperen op mogelijke veranderingen moet meer inzicht ontstaan in de effecten van klimaatverandering op het grondwatersysteem en de drinkwatervoorziening.**

**H**et klimaat is een belangrijke beïnvloedende factor bij zowel de dynamiek van het grondwater als het drinkwaterverbruik. Veranderingen in het klimaat zijn dan ook aanleiding tot een groot aantal vragen met betrekking tot de productie van drinkwater uit grondwater. In hoeverre zullen bijvoorbeeld warmere en drogere zomers leiden tot een toename van de drinkwatervraag bij de consument en daarmee tot een toename van de onttrekking? Is de huidige productie- en distributiecapaciteit toereikend? Wat zijn de effecten van een veranderend klimaat op de dynamiek van het ondiepe grondwater? Neemt deze sterk toe met als gevolg zowel

vernatting als verdroging? Zal een toename van onttrekking in de zomer als gevolg van klimaatverandering een significante bijdrage leveren aan de verandering van de grondwaterdynamiek?

Om meer inzicht te krijgen in veranderingen van drinkwatervraag en grondwaterdynamiek heeft Kiwa Water Research in 2005 op initiatief van Hydron Midden-Nederland en Brabant Water een studie uitgevoerd om de effecten van klimaatverandering op zowel de drinkwatervraag als de grondwaterdynamiek in beeld te brengen<sup>1)</sup>. De studie is uitgevoerd met de in het uiterste zuidoosten van Noord-Brabant gelegen grondwater-

winning Budel als studieobject. In het kader van de studie zijn cijfers over het drinkwaterverbruik, meteorologische gegevens en grondwaterstandsreeksen geanalyseerd. Met behulp van statistische technieken en het programma Menyanthes<sup>2)</sup> zijn relaties gelegd tussen meteorologische condities en drinkwaterverbruik (en daarmee met onttrekking) enerzijds en tussen meteorologische condities, onttrekking en grondwaterstanden anderzijds.

Op basis van de 'oude'\* door het KNMI opgestelde klimaatscenario's voor 2050<sup>3)</sup> (zie tabel 1) en data van de meteostations Weert en Eindhoven zijn per scenario langjarige (voor de omgeving van Budel representa-

Tabel 1. KNMI-klimaatscenario's voor 2050<sup>\*3)</sup>

	'laag'	'midden'	'hoog'	'droog'
temperatuur				
jaar	+ 0.5°C	+ 1°C	+ 2°C	+ 2.3°C
zomer	+ 0.5°C	+ 1°C	+ 2°C	+ 3.1°C
winter	+ 0.5°C	+ 1°C	+ 2°C	+ 2.0°C
neerslag				
jaar	+ 1.5%	+ 3%	+ 6%	- 4%
zomer	+ 0.7%	+ 1.4%	+ 2.8%	- 20%
winter	+ 3%	+ 6%	+ 12%	+ 13%
verdamping				
jaar	+ 1.9%	+ 3.9%	+ 7.8%	+ 18%
zomer	+ 1.7%	+ 3.3%	+ 6.6%	+ 24%
winter	+ 2.8%	+ 5.6%	+ 11.2%	+ 8%

tieve) reeksen voor verdamping, neerslag en temperatuur gegenereerd.

Met de gevonden relatie tussen meteorologie en drinkwaterverbruik is per klimaatscenario uitgerekend hoe het waterverbruik zal veranderen. Aan de hand van het veranderde drinkwaterverbruik en de effecten van de klimaatscenario's op neerslag en verdamping zijn de effecten op de grondwaterdynamiek vastgesteld.

### Waterverbruik

Om de relatie tussen waterverbruik en meteorologische omstandigheden te bepalen zijn transfer-ruismodellen volgens de methode Box-Jenkins ontwikkeld voor het dagverbruik. Gekozen is voor een analyse op dagbasis, omdat op deze tijdschaal de meeste informatie beschikbaar is om de relatie te bepalen tussen meteorologie en waterverbruik. Als mogelijke invloedsfactoren zijn doordeweekse feestdagen en de meteorologische variabelen (zonuren, maximumtemperatuur, Makkink-verdamping en het potentieel neerslagoverschot) in de tijdreeksanalyse meegenomen. De vier meteorologische variabelen bleken wat betreft de verklaring van het dagverbruik slechts weinig voor elkaar onder te doen. Gezien de grote correlatie tussen de verschillende modellen is besloten het model met de maximumdagtemperatuur te gebruiken

voor het opstellen van de verbruiksscenario's. In afbeelding 1 is het gemeten en het berekende waterverbruik weergegeven.

Uit de modellering blijkt dat het waterverbruik in het voorzieningsgebied Budel per graad Celsius overschrijding van 17°C stijgt met 1,8 procent. Het 95% betrouwbaarheidsinterval van het geschatte effect bedraagt 1,57 - 1,99 procent. Op basis van de vier klimaatscenario's en de afgeleide relatie tussen temperatuur en drinkwaterverbruik zijn scenario's voor het waterverbruik opgesteld.

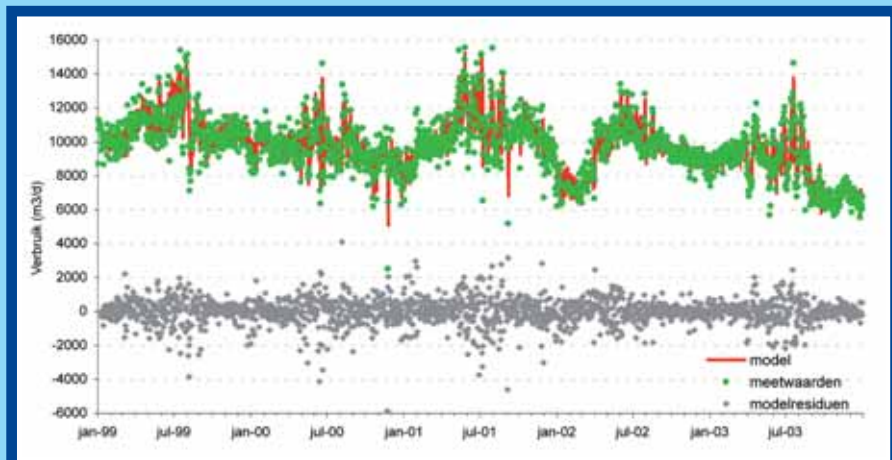
Voor het opstellen van de verbruiksscenario's zijn een temperatuurreeks met een lengte van 60 jaar (referentiereeks) en vier hiervan afgeleide voor klimaatverandering aangepaste reeksen gebruikt. Bij het opstellen van de scenario's is ervan uitgegaan dat de huidige relatie tussen meteorologie en waterverbruik kan worden geprojecteerd naar een toekomstig klimaat. In afbeelding 2 is de gemiddelde toename van het verbruik over het jaar voor de vier klimaatscenario's weergegeven.

Tot nu toe is de toename van het waterverbruik slechts in procenten weergegeven. Voor het bepalen van de effecten op de grondwaterstand en de productiecapaciteit zijn echter hoeveelheden nodig. Probleem

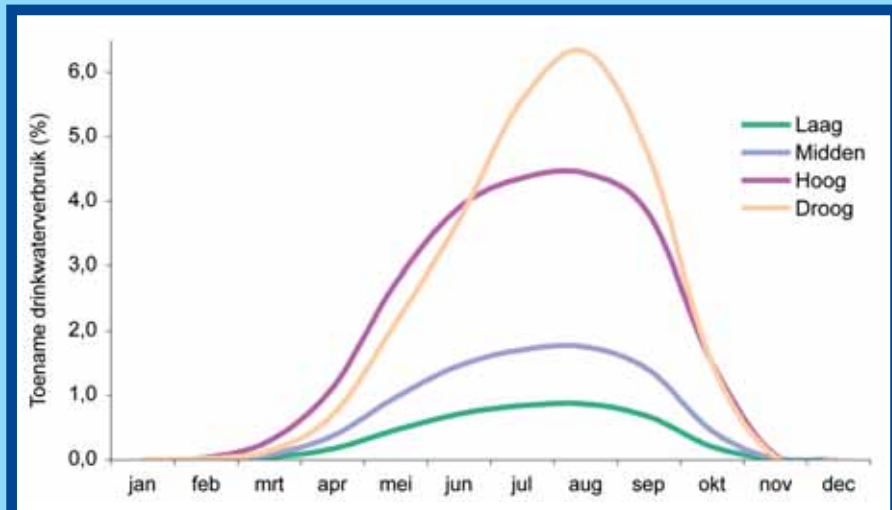
hierbij is dat de beschikbare huidige verbruikreeks relatief kort is (1983-2003), patroonveranderingen kent en tevens zeer grote trends vertoont. Besloten is om op basis van de statistische eigenschappen van het gemodelleerde laatste deel van de reeks (periode 1999-2003) een synthetische 'huidige' verbruikreeks te genereren. Door het percentage toename per dag (per scenario) toe te passen op de gegenereerde 'huidige' verbruikreeks kan per scenario een verbruikreeks in kubieke meters per dag worden opgesteld. Voor de productiecapaciteit zijn vooral de extremen in het waterverbruik van belang. Een veel gebruikte maat voor de extremen is de maximale dagafzet en de piekfactor. De maximale dagafzet is gedefinieerd als de hoogste dagsom in een bepaald jaar. De piekfactor is gedefinieerd als de maximale waarde van de dagafzet gedeeld door de gemiddelde dagafzet over een jaar. In tabel 2 zijn de maximale dagafzet en de maximale piekfactor en de relatieve toename ten opzichte van de huidige situatie per klimaatscenario weergegeven.

Uit de tabel blijkt dat de maximale dagafzet stijgt met 4,3 procent in het scenario 'hoog' en met zes procent in het scenario 'droog'. Voor alle scenario's geldt dat extreem hoog drinkwaterverbruik vaker voor zal komen. De herhalingsstijd van een waterverbruik

Afb. 1: Gemeten en gemodelleerd waterverbruik Budel in de jaren 1999 t/m 2003<sup>1)</sup>



Afb. 2: Prognose van de toename van het drinkwaterverbruik in het voorzieningsgebied Budel over het jaar per klimaatscenario



van 18.000 kubieke meter per dag neemt bijvoorbeeld af van 12,6 jaar in de 'huidige' situatie naar 5,3 jaar in het scenario 'droog'. De infrastructuur (zowel productie als distributie) moet dus berekend zijn op hogere maar vooral vaker optredende pieken in de watervraag.

**Grondwaterdynamiek**

Klimaatverandering beïnvloedt via veranderende neerslag, verdamping en via toename van het waterverbruik het grondwaterregime. Met behulp van het programma Menyanthes is voor 30 meetreeksen met zowel lineaire als niet-lineaire tijdreeksmodellen<sup>4)</sup> de relatie tussen de grondwaterstand en beïnvloedende factoren zoals neerslag, verdamping en onttrekking gemodelleerd. Met de opgestelde modellen zijn de vier klimaatscenario's doorgerekend. De uitkomsten van de berekeningen met de scenario's zijn vervolgens vergeleken met de huidige situatie.

Uit de berekeningen blijkt dat bij de scenario's 'laag', 'midden' en 'hoog' de grondwaterstanden in de winter en voorjaar zullen stijgen en in de zomer en najaar dalen ten opzichte van de huidige grondwaterstanden. De gemiddelde dalingen en stijgingen bevinden zich in de range van 0 tot 12,5 cm. In afzonderlijke perioden kunnen sterkere dalingen en stijgingen optreden (tot 20 cm

in het scenario 'hoog'). Het scenario 'droog' heeft een zeer grote impact op het grondwatersysteem. Bij dit scenario bedraagt de gemiddelde daling ten opzichte van de huidige situatie in de zomer 25 tot 50 cm afhankelijk van de ligging van de peilbuis in het hydrologisch systeem. In afzonderlijke perioden kunnen de extra dalingen in de zomer oplopen tot 60 à 80 cm. In het scenario 'droog' vindt in de winter een met het scenario 'hoog' vergelijkbare toename van de neerslag plaats. Waar dit in het scenario 'hoog' nog resulteert in stijgingen van de grondwaterstand, kan in het scenario 'droog' de extra neerslag de sterke zomerdroogte onvoldoende compenseren. Er treedt dus een permanente verlaging van de grondwaterstand op in het droge scenario. Extreem lage grondwaterstanden zullen bij alle scenario's vaker voor komen. Als een extreem lage grondwaterstand in de huidige situatie gemiddeld elke 15 jaar een keer optreedt, zal dit in het scenario 'hoog' gemiddeld elke elf jaar optreden en in het scenario 'droog' gemiddeld elke drie jaar.

**Kooldioxide-effect**

In H<sub>2</sub>O nr. 5 van dit jaar is door Witte et al<sup>5)</sup> inzichtelijk gemaakt dat de stijging van de concentratie kooldioxide in de atmosfeer naast temperatuurstijging ook een reductie van de transpiratie van planten tot gevolg

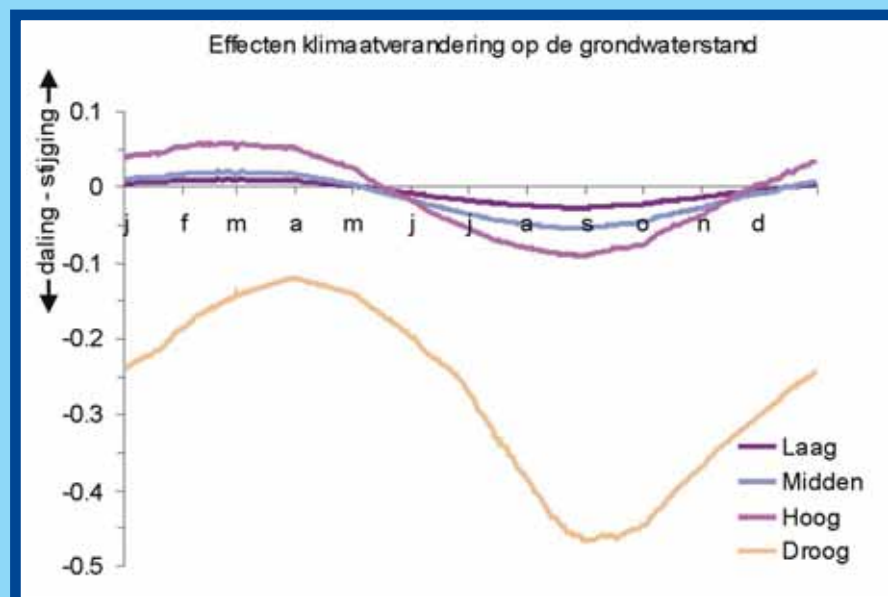
zal hebben. De verdamping zal hierdoor naar beneden bijgesteld moeten worden, waardoor Nederland minder droog wordt dan op grond van alleen temperatuurstijging werd verwacht. Als we peilbuis B57E0064\_1 (zie afbeelding 3) als voorbeeld nemen, blijkt dat het effect van de temperatuurstijging op de grondwaterstand in de zomerperiode bij de scenario's 'laag' en 'midden' volledig teniet wordt gedaan door de verdampingsreductie als gevolg van de toename van de concentratie kooldioxide. Bij het scenario 'hoog' wordt de maximale extra daling van de grondwaterstand in de zomerperiode gereduceerd tot gemiddeld drie centimeter bij een gemiddeld kooldioxide-effect. Zonder de correctie van de verdamping met dit effect bedroeg deze daling negen centimeter. Het scenario 'droog' laat de sterkste dalingen van de grondwaterstand zien. Bij peilbuis B57E0064\_1 bedraagt de gemiddelde daling (temperatuureffect) van het grondwaterregime in de zomer maximaal 45 cm. Als rekening wordt gehouden met een gemiddeld effect op de kooldioxideconcentratie neemt deze daling af naar 35 cm (bandbreedte 30-42 cm).

**Effect van de toenemende onttrekking**

In het voorafgaande is het totale effect van klimaatverandering op de grondwaterdy-

scenario:	maximale dagafzet (m <sup>3</sup> /d)	piekfactor (-)	toename maximale dagafzet (%)	toename piekfactor (%)	herhalingsstijd 18.000 m <sup>3</sup> /d (jaar)
'huidig'	18.456	1.90	-	-	12.6
'laag'	18.589	1.91	0.7	0.5	10.8
'midden'	18.755	1.92	1.6	1.1	9.2
'hoog'	19.253	1.95	4.3	2.6	5.8
'droog'	19.559	1.97	6.0	3.7	5.3

Tabel 2. Effecten van klimaatverandering op de productiecapaciteit



Afb. 3: Gemiddelde verandering (in meters) van het grondwaterregime voor de vier klimaatscenario's op de op een halve kilometer van de winning gelegen peilbuis B57E0064\_1

namiek gepresenteerd. Belangrijk voor de drinkwatersector is tevens het afzonderlijke effect van extra onttrekking als gevolg van door klimaatverandering toenemende drinkwatervraag. Deze vraag leidt tot een extra daling afhankelijk van de ligging van de peilbuis in het effectgebied van de winning Budel. In het hart van de winning wordt bij het scenario 'hoog' de maximale daling door klimaatverandering voor ongeveer de helft veroorzaakt door de toegenomen drinkwateronttrekking. Bij het scenario 'droog' bedraagt het klimaateffect via extra onttrekking slechts ongeveer 15 procent van de maximale daling in het hart van de winning. Het effect van de door klimaatverandering toegenomen drinkwatervraag op de grondwaterstand is een zeer lokaal fenomeen en neemt snel af met de afstand tot het pompstation. Op ongeveer één kilometer van het puttenveld is het aandeel van de extra onttrekking in het totale klimaateffect al gedaald naar ongeveer 18 procent in het scenario 'hoog' en naar drie procent in het scenario 'droog'. Op 2,5 kilometer van het pompstation is de invloed van de extra onttrekking op de maximale daling niet meer significant aantoonbaar. In afbeelding 4 is de bijdrage van de extra onttrekking aan het totale klimaateffect (scenario 'droog') voor peilbuis B57E0064\_1 weergegeven.

### In perspectief

Doel van het onderzoek was een nadere aanduiding van de noodzaak tot actie om de klimaatscenario's door te vertalen naar consequenties voor de drinkwatervoorziening. Daarbij is primair gekeken naar de kwantitatieve effecten op de watervraag en de grondwaterdynamiek, vanuit de bestaande relaties tussen temperatuur en waterverbruik. Op deze wijze is een extrapolatie gemaakt voor vier klimaatscenario's. Binnen dit onderzoek is geen doorvertaling meegenomen van verschuivingen in maatschappelijke patronen als gevolg van de klimaatverandering (bijvoorbeeld bevol-

kingsmigratie, afname/groei (intensieve) landbouw, industrie en recreatie). Verder onderzoek naar de gevolgen van klimaatverandering voor de watervoorziening dient dan ook bij voorkeur vanuit een integrale benadering van de maatschappelijke impact plaats te vinden.

### Conclusies en aanbevelingen

Het veranderen van de watervraag als gevolg van klimaatverandering heeft direct invloed op beleidsbeslissingen op de middellange en lange termijn van de drinkwaterbedrijven. Deze studie indiceert dat klimaatverandering zowel de totale watervraag als het piekverbruik significant beïnvloedt. In beslissingen over waterverdeling, renovatie/nieuwbouw van productie- en distributiemiddelen en het omgaan met vergunningsruimte moet dan ook de invloed van klimaatverandering op het waterverbruik in het betreffende voorzieningsgebied worden meegenomen. Een mogelijke vorm van anticiperen zou het vergroten van de flexibiliteit van de drinkwatervoorziening bij piekverbruik kunnen zijn. Afhankelijk van welk van de onderzochte scenario's werkelijkheid wordt, zal klimaatverandering beperkte tot grote gevolgen hebben voor de grondwaterdynamiek. Hierbij dient ook rekening te worden gehouden dat in extreem droge perioden ook andere functies (bijvoorbeeld de landbouw) een extra beslag willen leggen op het beschikbare water. Veiligstellen van het beschikbare grondwater rond grondwaterwinningen is hiermee in de breedste zin een belangrijk thema binnen onderzoek op het gebied van waterbeheer. Naast de kwantiteit zal een toenemende dynamiek ook gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit. Droge perioden kunnen de chemische samenstelling van het bovenste grondwater beïnvloeden door onder meer indikking en (versnelde) oxidatie van organische stof en pyriet, wat kan leiden tot verhoogde concentraties van respectievelijk nitraat en sulfaat in het grondwater

en hiermee gepaard gaande verzuring. Gezien de gevolgen hiervan voor ecologie en drinkwaterkwaliteit vormt dit een belangrijk thema voor vervolgonderzoek. Al met al is duidelijk dat een veranderend klimaat belangrijke gevolgen kan hebben op de winning van grondwater ten behoeve van drinkwater.

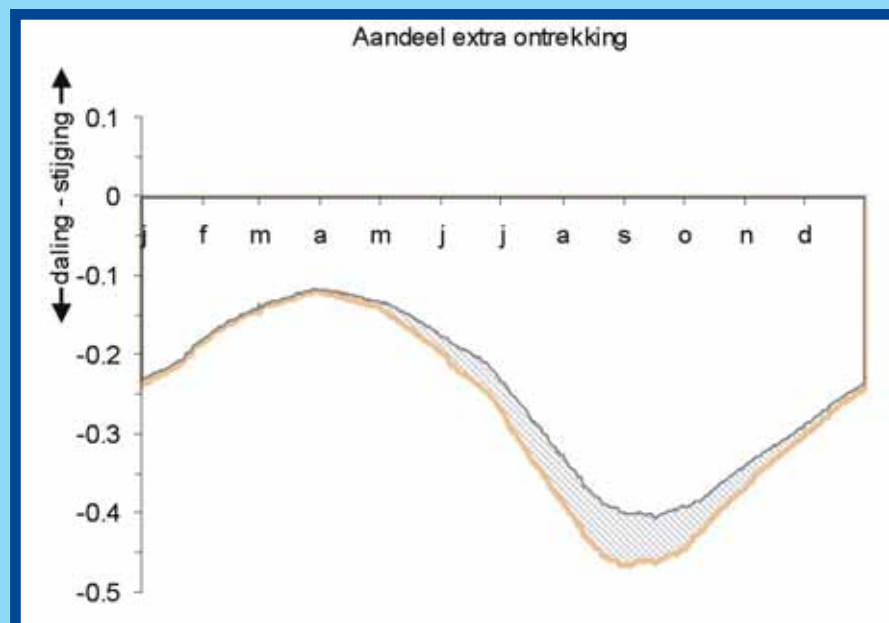
In het kader van het bedrijfstakonderzoek voor de waterleidingbedrijven, Delft Cluster en Europese onderzoeksprojecten zal Kiwa Water Research de komende jaren naast de effecten op de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater ook de effecten op onder meer ecologie en oppervlaktewaterkwaliteit nader gaan bestuderen.

### Noten

- \* Op 30 mei 2006 heeft het KNMI vier nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd die ten tijde van deze studie nog niet beschikbaar waren. In vervolgonderzoek zal wel van deze nieuwe scenario's gebruik worden gemaakt. De in deze studie gebruikte scenario's 'midden', 'hoog' en 'droog' zijn in grote lijnen vergelijkbaar met respectievelijk de nieuwe scenario's G, W en W+.

### Literatuur

- 1) Cirkel D., P. Baggelaar en A. Doomen (2005). Klimaatverandering en drinkwaterproductie Kiwa Water Research. KWR 05.030.
- 2) Von Asmuth J., C. Maas en M. Knotters (2006). Menyanthes Manual version 1.5 (alpha). Kiwa Water Research.
- 3) Beersma J., T. Buisland en H. Buiteveld (2004). Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II.
- 4) Von Asmuth J. en M. Knotters (2004). Characterising groundwater dynamics based on a system identification approach. Journal of Hydrology nr. 296, 1-4, pag. 118-134.
- 5) Witte J-P., B. Kruijt, T. Kroon en K. Maas (2006). Verdamping planten vermindert door toename atmosferische kooldioxide. H<sub>2</sub>O nr. 5, pag. 27-29.



**Afb. 4: Bijdrage van de door klimaatverandering toegenomen onttrekking (grijze arcering) aan de langjarig gemiddelde verandering van het grondwaterregime voor het scenario 'droog' op een halve kilometer van de winning gelegen peilbuis B57E0064\_1**