



Dimmie Hendriks, Deltares

Perry de Louw, Deltares

Remco van Ek, Deltares

Effecten van drainage, onttrekkingen en klimaatverandering op basisafvoer in beken

Momenteel bestaat in Nederland nog geen standaardmethode voor het analyseren en kwantificeren van het effect van grondwater op het oppervlaktewater en de ecologische toestand van beken. Vanuit de KRW worden echter wel eisen gesteld aan de relatie tussen het grond- en oppervlaktewater: de kwantitatieve toestand van het grondwater mag niet beperkend zijn voor het realiseren van de milieudoelstellingen in oppervlaktewater. Daarnaast vormt klimaatverandering een belangrijke aanleiding om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen grond- en oppervlaktewater. Het frequenter optreden van hete, droge zomers kan namelijk nadelige gevolgen hebben voor het hele watersysteem. In dit artikel wordt een methode beschreven waarmee de effecten van menselijke ingrepen (zoals drainage en onttrekkingen) en klimaatverandering kunnen worden gekwantificeerd. Om de voorgestelde methoden te testen en het effect van ingrepen en klimaatverandering op de basisafvoer te inventariseren, is een pilotstudie uitgevoerd voor het stroomgebied van de Merkske. Daarnaast is een provinciebrede evaluatie uitgevoerd naar de effecten van beregening uit het grondwater op de basisafvoer in beken.

Vanuit de KRW worden eisen gesteld aan de chemische en ecologische toestand van oppervlaktewaterlichamen. Hierbij gaat de KRW er nadrukkelijk vanuit dat een goede toestand van het grondwater vereist is voor het behoud van een goede toestand van oppervlaktewaterlichamen en het behalen van de milieudoelstellingen. Vanuit de EU-werkgroep grondwater is aangegeven dat bij de kwantitatieve toestand van grondwaterlichamen ook de 'Environmental Flow Needs of Surface Waters' moeten worden bepaald¹⁾.

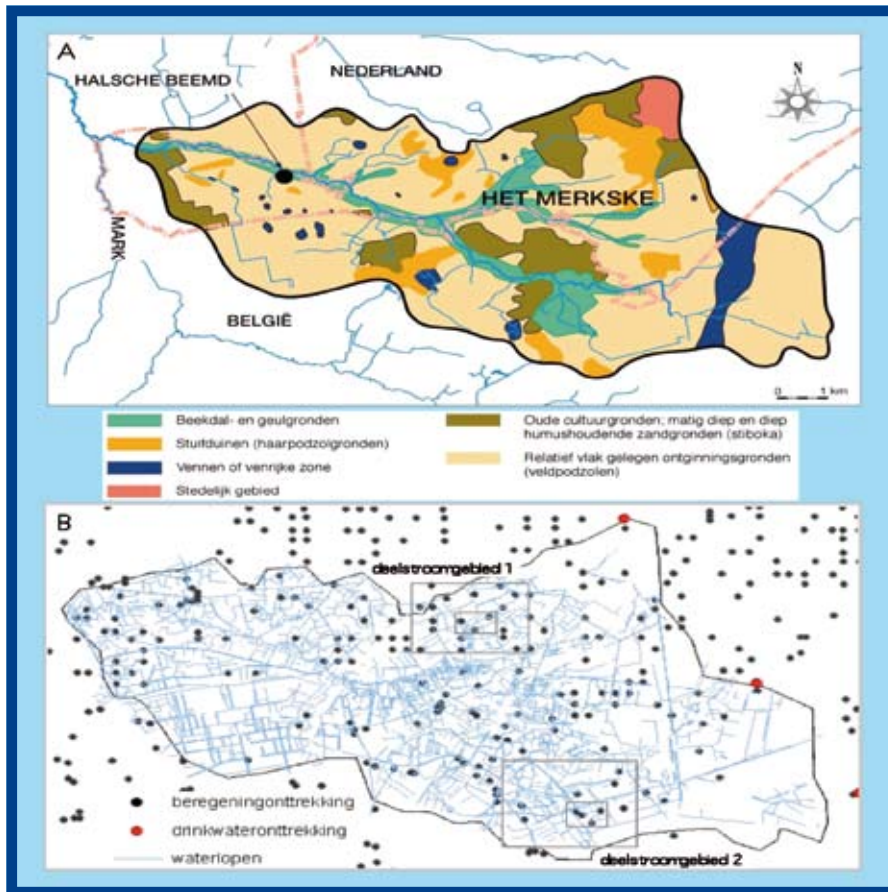
'Environmental Flow Needs' omvat de hele dynamiek van een oppervlaktewaterstelsel en is bepalend voor het behoud van natuurlijke biodiversiteit en de samenhang in aquatische ecosystemen²⁾. De basisafvoer is één van de componenten van de 'Environmental Flow Needs' van een riviersysteem en wordt onder natuurlijke omstandigheden voornamelijk bepaald door de toestand van het grondwater. De 'Environmental Flow Needs' van een riviersysteem zullen in

dit opzicht vooral in gevaar komen bij een afname van de watertoevoer vanuit het grondwaterlichaam (kwelstroom), waardoor de basisafvoer vermindert. Afname van de kwelstroom kan veroorzaakt worden door menselijke ingrepen (zoals onttrekkingen, drainage en normalisatie) en door klimaatverandering (verminderde neerslag of verhoogde verdamping).

De basisafvoer vormt een relatief kleine component van de totale jaarlijkse afvoer, maar is belangrijk voor het behouden van voldoende watervoerendheid en stroomsnelheid tijdens droge perioden. Gedurende het groeiseizoen is een goede watervoerendheid cruciaal voor aquatische flora en fauna. Daarnaast bestaat basisafvoer vaak uit relatief schoon grondwater vanwege de diepe oorsprong. Het versterken van de basisafvoer kan dan ook worden gezien als een kans voor het verbeteren van de ecologische en chemische toestand van oppervlaktewaterlichamen. Met het huidige klimaatscenario W+ is een afname van de

basisafvoer echter een reëel risico, zeker wanneer de droge, hete zomers leiden tot een grotere beregeningsbehoefte vanuit het grondwater. Vandaar dat het van belang is na te gaan hoe en in welke mate de basisafvoer beïnvloed kan worden door menselijk ingrijpen.

Het exact bepalen van de afname in basisafvoer als gevolg van ingrepen en toekomstige klimaatverandering is in veel gevallen niet mogelijk. Er zullen andere methoden moeten worden toegepast om tot een schatting te komen. Hoewel enkele lidstaten hieraan al enig werk hebben verricht^{3),4)}, is er nog geen algemeen geaccepteerde methode ontwikkeld. Door de EU-werkgroep grondwater wordt gesuggereerd om als significante drempelwaarde uit te gaan van maximaal 50 procent verlies aan basisafvoer als gevolg van menselijk ingrijpen in het grondwatersysteem. Voor deze drempelwaarde is echter geen onderbouwing aangegeven en ook de methodiek voor het bepalen van een drempelwaarde ontbreekt grotendeels. Daarnaast is nog



Afb. 1: Gebiedskenmerken van het stroomgebied van 't Merkske: (A) geomorfologie en hoofdwaterlopen en (B) het complete stelsel van waterlopen, grondwateronttrekkinglocaties (ten behoeve van beregening en drinkwater) en deelstroom- en subgebieden.

onduidelijk welke factoren gekoppeld aan de basisafvoer van invloed zijn op oppervlaktewaterlichamen en in welke mate.

Onderzoeksgebied

De hydrogeologie van Noord-Brabant kenmerkt zich door een dun freatisch pakket op een slecht doorlatende laag, met daaronder een watervoerend pakket. De basisafvoer wordt voor een groot deel gevormd door de kwelstroom uit het eerste watervoerend pakket. De snellere afvoer komt uit het ondiepe grondwater en oppervlakkige afstroming⁵⁾. De kwaliteit van het oppervlaktewater wordt sterk beïnvloed door meststoffen uit de landbouw⁶⁾. In grote delen van Noord-Brabant is een uitgebreid stelsel van tertiaire waterlopen voor drainage van landbouwgebieden aangelegd. Daarnaast wordt, naast grondwateronttrekking voor drinkwater en industrie, water onttrokken voor beregening tijdens droge zomerperioden^{7),8)}.

Het stroomgebied van 't Merkske ligt in het zuiden van Noord-Brabant op de grens met België en is een permanent langzaam stromende bovenloop op zand⁹⁾. De beekloop is voor Nederlandse begrippen relatief natuurlijk, al zijn sinds 1850 grote delen van het gebied ontgonnen. Tertiaire waterlopen zijn aangelegd en verschillende trajecten van de beekloop zijn genormaliseerd en gestuwd, waardoor zowel de infiltratie- als kwelgebieden in oppervlakte zijn afgenomen. Iets buiten het stroomgebied vinden drinkwateronttrekkingen

plaats en in het gebied wordt gedurende de zomerperiode op gemiddeld drie locaties per km² grondwater onttrokken voor beregening (zie afbeelding 1).

Methode

De methode voor het bepalen van de effecten van ingrepen en klimaatveranderingen op de toestand van het grondwater en basisafvoer van beken is nog sterk in ontwikkeling. Voor een optimale analyse zijn grondwaterstand- en afvoergegevens van voor en na de ingrepen nodig. Aangezien voor deze studie, zoals in veel gevallen, geen gegevens beschikbaar waren van de onverstoorte situatie, zijn de onverstoorte toestand van grondwater en beekafvoer gemodelleerd als de situatie zonder onttrekkingen, tertiaire waterlopen en drainage. Hierbij is gebruik gemaakt van een MODFLOW-grondwatermodel van het stroomgebied van 't Merkske⁸⁾.

Tijdens eerder onderzoek naar veranderingen in basisafvoer in Groot-Brittannië⁴⁾ werd het oppervlaktewatermodel Low Flows 2000 gebruikt¹⁰⁾. Dit model is gebaseerd op statistische karakteristieken van afvoerdata, waarbij de grondwatercomponent grotendeels een black-box is en veel aannames worden gedaan over de hydrogeologie. In tegenstelling tot dit oppervlaktewatermodel is een deterministisch grondwatermodel bij uitstek geschikt om effecten van veranderingen in het stroomgebied op het grondwater en oppervlaktewater ruimtelijk expliciet te voorspellen.

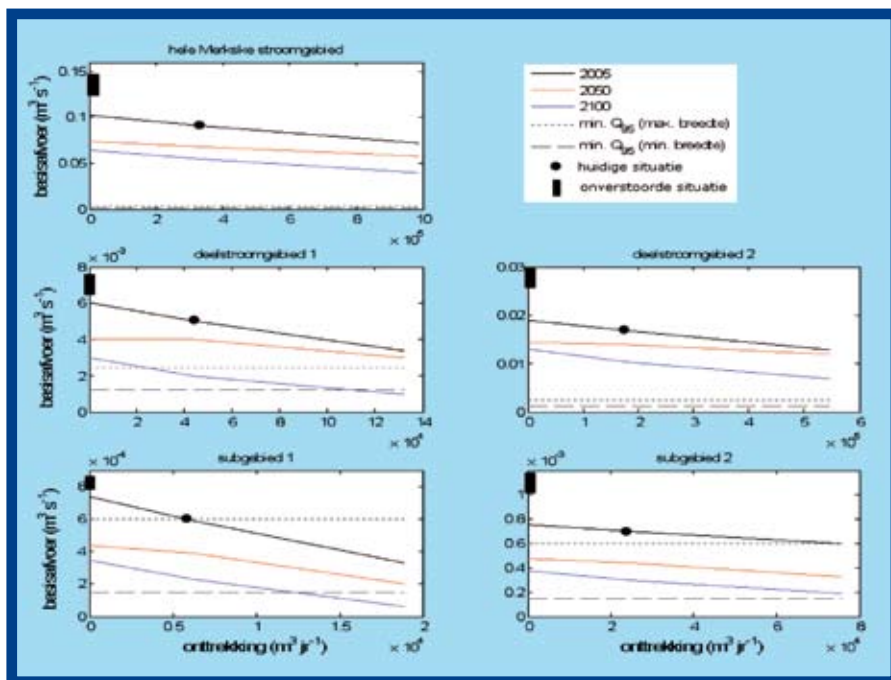
Grenswaarden voor de minimale basisafvoer met betrekking tot de ecologische doelstellingen zijn nog niet algemeen vastgesteld. Deze grenswaarden en het effect van bepaalde ingrepen zullen ook niet voor alle gebieden hetzelfde zijn. In deze pilotstudie zijn de ecologische drempelwaarden van de basisafvoer van 't Merkske afgestemd op de gebiedsspecifieke situatie aan de hand van de afleiding MEP/GEP voor waterlichamen binnen Waterschap Brabantse Delta¹¹⁾ en de HABITAT Ecological Toolbox. Door de minimale stroomsnelheid en waterdiepte uit deze studies te combineren met gegevens over de morfologie van de beek⁷⁾ is de minimaal toelaatbare basisafvoer bepaald voor primaire, secundaire en tertiaire waterlopen in het stroomgebied.

Voor 2005, een jaar waarin neerslag en verdamping representatief waren voor de periode 2004-2008, is de dagelijkse beekafvoer met het grondwatermodel gemodelleerd. Vervolgens werd de afvoer gemodelleerd voor de onverstoorte toestand, de huidige situatie en verschillende toekomstscenario's. De toekomstscenario's betroffen een toename van de onttrekkingen, veranderingen in het klimaat (W+-scenario voor 2050 en 2100) en combinaties van deze factoren. De basisafvoer van alle scenario's werd bepaald aan de hand van de Q95-waarde^{4),12)}. Dit is de gemiddelde beekafvoer tijdens de zevendaagse periode met de laagste beekafvoer van het betreffende jaar. Vervolgens werd de basisafvoer tijdens de onverstoorte toestand vergeleken met de huidige basisafvoer en met de toekomstscenario's. Uiteindelijk werd de basisafvoer van alle modelberekeningen vergeleken met de grenswaarden van de basisafvoer voor de primaire, secundaire en tertiaire waterlopen in het stroomgebied.

Resultaten casus het Merkske

De aanleg van tertiaire waterlopen ten behoeve van de ontwatering van de landbouwgronden heeft, volgens het model, geleid tot een toename van tien tot 20 procent van de totale jaarlijkse afvoer, terwijl de basisafvoer waarschijnlijk met 25 tot 35 procent is afgenomen (zie afbeelding 2). Tertiaire waterlopen veroorzaken een versnelde afvoer van neerslagwater, waardoor minder water naar het diepere watervoerende pakket infiltreert. Het gevolg is een lagere kweldruk en een verminderde uitstroom van grondwater in de beekdalen.

De huidige grondwateronttrekkingen veroorzaken volgens het model een verlaging van de basisafvoer van slechts tien procent, waarvan ongeveer de helft wordt veroorzaakt door beregeningen. In de zomerperiode wordt de basisafvoer het sterkste verlaagd, terwijl voldoende basisafvoer dan juist cruciaal is voor aquatische flora en fauna. In deelstroomgebieden met een hogere beregeningsdichtheid was de verlaging van de basisafvoer groter. Het vrij geringe effect van de onttrekkingen is het gevolg van een relatief lage beregeningsdichtheid en onttrekkingscapaciteit vergeleken met andere stroomgebieden



Afb. 2: Basisafvoer (Q_{95}) voor alle modelscenario's op drie verschillende schalen (hoofdstroom, deelstroomgebieden, subgebieden). Tevens grenzen van de minimale basisafvoer van beektype R4 (permanent, langzaam stromend) voor de variatie aan breedtes op de verschillende schalen.

in Noord-Brabant. Daarnaast viel de Q95-periode in 2005 halverwege de berekeningperiode en niet aan het einde wanneer het effect van de beregelingen op het grondwater maximaal is.

Klimaatverandering heeft potentieel een groot effect op de basisafvoer door een sterke vermindering van de grondwateraanvulling. De modelberekeningen wijzen uit dat, uitgaande van het W+-scenario, in 2050 de grondwateraanvulling met ongeveer tien procent afneemt ten opzichte van de huidige situatie en de basisafvoer met ongeveer elf procent. In 2100 neemt de grondwateraanvulling met ongeveer 25 procent af en de basisafvoer met 22 procent. Daarnaast is het waarschijnlijk dat de beregelingonttrekkingen toenemen vanwege een grotere irrigatiebehoefte, waardoor de toestand van het grondwater verder verslechtert en de basisafvoer verder afneemt.

Voor 't Merkske is de belangrijkste conclusie van deze studie dat, volgens de modelberekeningen, de basisafvoer van de hoofdbeek in de huidige situatie voldoende is om aan de ecologische eisen met betrekking tot basisafvoer te voldoen. Op kleinere schaal, in de secundaire en tertiaire waterlopen, ligt de huidige basisafvoer dicht bij de ecologische grenswaarden. In het geval van klimaatverandering en/of verhoogde onttrekkingscapaciteit bestaat het risico dat de basisafvoer verder afneemt, waardoor stroomsnelheid en waterdiepte ontoereikend zijn voor een goede ecologische toestand.

Resultaten studie beregelingen Noord-Brabant

Om aan te tonen dat beregening uit grondwater wel degelijk een grote invloed heeft op de afvoer van beken, worden de resultaten van de provinciebrede evaluatie hier kort besproken. Tijdens deze

studie, waarvoor het Waterdoelen-model is gebruikt⁷⁾, wordt voor alle bekende onttrekkinglocaties een totale hoeveelheid van 70 miljoen kubieke meter water onttrokken uit het eerste watervoerende pakket gedurende twee zomerperioden van respectievelijk 20 en 40 dagen. De effecten op de freatische grondwaterstand, stijghoogte en beekafvoer aan het eind van de beregeningperiode staan samengevat in de tabel. De beregeningonttrekkingen leiden volgens het model tot een enorme daling van de stijghoogte in West-Brabant. Stijghoogtemetingen van het primaire meetnet bevestigen dit. Deze sterke daling wordt veroorzaakt door de relatief hoge weerstand tussen het freatische en het eerste watervoerende pakket. Hierdoor verdwijnt voor bijna geheel West-Brabant de kwel in de beekdalen. Metingen in de Srijbeekse Beek bevestigen het wegvallen van de kwel als gevolg van beregelingen uit grondwater¹³⁾, met als gevolg sterke afname

van de beekafvoer. In de centrale slenk zijn de effecten op de stijghoogte door een geringe weerstand tussen het freatische en eerste watervoerende pakket minder groot. Het effect op de beekafvoer is echter voor beide gebieden ongeveer gelijk. Het onttrekken van grondwater moet immers ergens worden gecompenseerd, voor een deel door een daling van de freatische grondwaterstand (berging), maar het grootste deel door een verminderde oppervlaktewaterafvoer. De modelberekeningen laten zien dat aan het einde van de beregeningperiode een reductie van de beekafvoer optreedt van 22 tot 56 procent. Daarbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat de gesimuleerde 70 miljoen kubieke meter grondwateronttrekking ongeveer twee maal zoveel is als in een gemiddeld jaar wordt onttrokken.

Conclusies

Uit een vergelijking met grondwaterstanden afvoergegevens bleek dat het grondwatermodel zinvolle resultaten levert en gebruikt kan worden om de effecten van menselijke ingrepen en klimaatverandering op het grondwater en de basisafvoer te onderzoeken. Door gebruik te maken van een ruimtelijk hydrogeologisch model wordt voor de waterbeheerder inzichtelijk 'aan welke knoppen van het watersysteem gedraaid kan worden' om in te spelen op de negatieve gevolgen van klimaatverandering en bestaande ingrepen. De gebiedsspecifieke grenswaarden voor de basisafvoer zijn in deze studie voornamelijk bepaald aan de hand van de afleiding MEP/GEP¹¹⁾. Door deze informatie te combineren met gegevens over de beekmorfologie was het mogelijk om grenswaarden van de basisafvoer te schatten. Uit de studie blijkt dat de basisafvoer in het stroomgebied van 't Merkske waarschijnlijk met 35 tot 45 procent is verlaagd ten opzichte van de onverstoorde situatie. De aanleg van tertiaire waterlopen voor drainage van landbouwgebieden is verantwoordelijk voor 25 tot 35 procent van de vermindering in de basisafvoer. Onttrekkingen veroorzaken in het stroomgebied van 't Merkske een relatief kleine verlaging van de basisafvoer (tien procent), waarvan de helft wordt veroorzaakt door

Resultaten van de provinciebrede evaluatie van de effecten van beregening uit het grondwater op de toestand van het grondwater en de beekafvoer.

stroomgebied	daling stijghoogte (m)	daling grondwaterstand (m)	afname beekafvoer			
			(m ³ /d)	(%)	(miljoen m ³ /beregening-periode)	(mm / beregening-periode)
Brabantse Wal -						
Molenbeek	1,73	0,08	29.805	30	1,8	6
Mark	1,69	0,11	74.880	36	4,5	11
Donge	0,94	0,08	24.757	37	1,5	6
Zandleij	0,44	0,09	15.847	44	1,0	7
Beerze-Reusel	0,30	0,07	60.250	29	3,6	6
Dommel	0,30	0,07	103.579	22	6,2	8
Aa	0,31	0,07	260.055	56	15,6	18
Graafsche en						
Oeffeltsche Raam	0,13	0,09	77.349	53	4,6	13

beregeningsonttrekkingen. In de huidige situatie voldoet de basisafvoer van 't Merkske aan de ecologische eisen van het beektype (permanent, langzaam stromend). Als gevolg van voortschrijdende klimaatverandering en/of toenemende grondwateronttrekking zal de basisafvoer in grote delen van het stroomgebied van 't Merkske in de toekomst waarschijnlijk onvoldoende zijn¹⁴).

In andere stroomgebieden in Noord-Brabant, met een hogere beregeningsdichtheid, kan de vermindering van de beekafvoer door beregening uit het grondwater tijdens de zomer oplopen tot meer dan 50 procent. Verdere analyse naar de gebiedsspecifieke grenswaarden van de basisafvoer in de betreffende waterlopen zal moeten uitwijzen of de basisafvoer nog voldoet aan de lokale ecologische eisen.

Aanbevelingen

In dit artikel zijn de kwantitatieve aspecten van de relatie tussen grond- en oppervlaktewater in beken behandeld en is slechts een deel van de mogelijke ingrepen en klimaatverandering onderzocht voor één stroomgebied. Aangeraden wordt om op korte termijn ook de onderstaande punten te onderzoeken:

- het effect op basisafvoer van aanpassingen aan de waterlopen zelf, zoals stuwung, normalisatie en verdieping;
- de effecten van andere klimaatscenario's, toename van extremen en terugkoppelingen tussen klimaat, vegetatie en hydrologie;
- algemene relaties tussen de aan basisafvoer gerelateerde parameters (stroomsnelheid, waterpeil) en de ecologische toestand van waterlopen;
- de effecten van veranderingen in de basisafvoer op de chemische toestand van het oppervlaktewater;
- en het ontwikkelen van een quickscan-methode.

LITERATUUR

- 1) Blum A., H. Broers, J. Grath, H. Legrand, A. Martin, P. Quevauviller, A. Scheidleder, C. Tomlin en R. Ward (2009). Guidance Document no. 18: Guidance on groundwater status and trend assessment. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Technical Report 026.
- 2) Richter B., J. Baumgartner, R. Wigington en D. Braun (1997). How much water does a River need? *Freshwater Biology* 37, pag. 231-249.
- 3) Henriksen H., L. Trolborg, P. Nyegaard, A. Hojberg, T. Sonnenborg en J. Refsgaard (2007). Evaluation of the quantitative status of groundwater-surface water interaction at the national level. In: *Groundwater Science and Policy*, an internationale overview.
- 4) Ward R. en V. Fitzsimons (2008). A European framework for quantitative status. EU Groundwater Policy Developments conference. UNESCO.
- 5) Van der Velde Y., J. Rozemeijer, G. de Rooij, F. van Geer en H. Broers (2009). Field-scale measurements for separation of catchment discharge into flow route contributions. *Vadose Zone Journal*.
- 6) Verhagen F., H. Broers, A. Krikken, J. Rozemeijer, R. van Ek, M. van Vliet, B. van der Grift, R. Heerdink en R. Knobben (2007). Invloed van grondwater op oppervlaktewater. Regionale differentiatie in Noord-Brabant. TNO en Royal Haskoning.
- 7) De Louw P. en R. Stuurman (2000). Mogelijkheden voor watersysteemoptimalisatie door actief peilbeheer in het Merkske-stroomgebied. TNO. Rapport NITG 00-123-B.
- 8) Van der Velde Y. en P. de Louw (2006). Een hydrologische effectenstudie voor de uitwerking van de maatregelen in het ruilverkavelingsproject Zondereigen. TNO. Rapport 2006-U-R0013/B.
- 9) Van der Molen D. en R. Pot (2007). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA. Rapport 2007-32.
- 10) Young A., R. Grew en M. Holmes (2003). Low Flows 2000: a national water resources assessment and decision support tool. *Water Science Technology* nr. 10, pag. 119-126.
- 11) Samuels J. en R. van Nispen (2008). Afleiding MEP/ GEP voor waterlichamen binnen Waterschap Brabantse Delta, deelgebied Bovenmark.
- 12) Martin G., S. Kirk, S. Fletcher, J. Clews, M. Roberts, D. Daly en P. McConvey (2005). Criteria for WFD groundwater good 'quantitative status' and a framework for the assessment of groundwater abstractions. SNIFFER Project rapport WFD53.
- 13) De Louw P. (2000). Beregening uit grondwater beïnvloedt kwel. *Informatie - editie grondwater en bodem (TNO-NITG)*, nr. 6, pag. 1-4.
- 14) Hendriks D. en R. van Ek (2009). Naar een (KRW-) methodiek voor het bepalen van de kwantitatieve interactie tussen grondwater en oppervlaktewater. Case studie 't Merkske. *Deltares. Rapport 0906-0107*.

Waterschap Brabantse Delta en Nederland leeft met water.