



BTO 2017.022 | April 2017

BTO rapport

**Functiecombinatie
waterwinning en
natuur: verkenning in
drie landschapstypen**

BTO

**Functiecombinatie waterwinning en natuur:
verkenning in drie landschapstypen**

BTO 2017.022 | April 2017

Opdrachtnummer
400.554

Projectmanager
Klaasjan Raat

Opdrachtgever
BTO - Thematisch onderzoek - Duurzame bronnen
en watersystemen

Kwaliteitsborger
Prof. dr. ir. Jan-Philip Witte

Auteurs
Drs. Annemieke van Doorn en drs. Mark Jalink

Verzonden aan
Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en
is openbaar.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie
Drs. M.H. Jalink
T 030-6069586
E mark.jalink@kwrwater.nl

Keywords

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



*Watercycle
Research
Institute*

BTO 2017.022 | April 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie
Drs. M.H. Jalink
T 030-6069586
E mark.jalink@kwrwater.nl

Keywords

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2017.022 | April 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

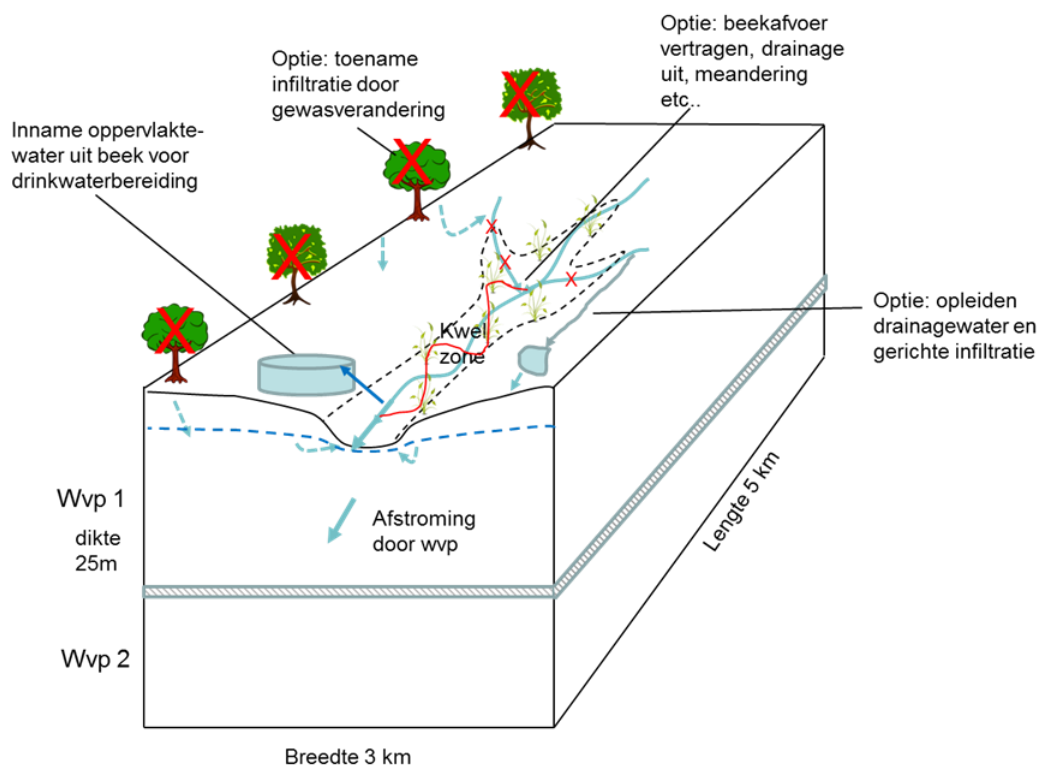
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Funciecombinatie biedt kansen voor natuur en waterwinning op de zandgronden: verkenning

Auteurs Drs. A. van Doorn en drs. M.H. Jalink

Natuurgebieden zijn een bron van schoon water en winningen op hun beurt bieden strategische bescherming voor natuur. De twee bijten elkaar soms ook, met name in relatie tot verdroging van waterafhankelijke natuur. Voor theoretische stroomgebieden in drie landschapstypen (dekzand-, stuwwallen en hoogveenlandschap) is verkend hoe water uit natuurgebieden kan worden ingezet voor drinkwatervoorziening, zonder negatieve effecten op die natuur. Op basis van kentallen over neerslag, verdamping van verschillende vegetatietypen, verblijftijd en dynamiek is een schatting gemaakt van de mogelijkheden voor het winnen van drinkwater. Vervolgens is beschreven hoe (een deel van) dit water gewonnen kan worden zonder aantasting van de grondwaterhuishouding in het natuurgebied. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld winning van beekwater aan het eind van het gebied, grondwaterwinning in aangrenzend landbouwgebied met 'teveel' kwel of inzet van beekwater in een infiltratie en terugwinsysteem. Voor dekzand- en stuwwallandschappen zijn enkele kansrijke varianten naar voren gekomen, hoogvenen lijken minder kansrijk vanwege de grote hydrologische gevoeligheid van deze ecosystemen. Grote uitdaging is het overbruggen van perioden met een watertekort. Daarvoor is een vorm van berging van eerdere wateroverschotten of suppletie met infiltratiewater een oplossing, om jaarrond voldoende water te kunnen leveren.



Voorbeeld van oppervlaktewaterwinning uit een beek in dekzandgebied met enkele aanvullende maatregelen

Belang: Creatie van meerwaarde voor drinkwatervoorziening en natuur

Goed beschermde bronnen voor de drinkwatervoorziening zijn schaars in het steeds drukkere Nederland. Combinatie van waterwinning en natuur kan strategische voordelen voor beide hebben. Als winning van 'natuurwater' kan zonder verdroging van natuur biedt dit een schone, duurzame bron. Ook natuurbeheerders zien kansrijke opties.

Aanpak: Theoretische verkenning van mogelijke inrichting in drie landschapstypen.

Voor fictieve situaties met alleen natuur en waterwinning zijn waterbalansen opgesteld en mogelijkheden geschetst het wateroverschot te winnen aan het eind van het systeem of eventuele verdrogingseffecten te mitigeren. Deze zijn uitgewerkt voor boven- en middenloop in dekzandgebied, stuwwallen en hoogveengebied.

Resultaten: dekzand- en stuwwallandschap biedt kansen, berging nodig voor in droge perioden

In dekzandlandschap stroomt het grootste deel van het neerslagoverschot ondiep af naar de beek. Hierbij is sprake van een relatief hoge dynamiek, waardoor er behoefte is aan een alternatieve bron of berging van wateroverschotten voor droge perioden. In de middenloop komt daar nog regionaal kwelwater bij, maar ook deze stroom is in de zomer vaak te gering. Mogelijkheden voor berging kunnen gezocht in plassen of herinfiltratie in laagten op zandruggen. Op stuwwallen infiltreert het meeste neerslagwater naar het grondwater en dit treedt pas uit in sprengen en kwelgebieden aan de voet van de stuwwal. Winning van beekwater vanuit een kwelgebied met natuurfunctie of het afkomen van de kwel naar

landbouw- of stedelijk gebied biedt een bron van schoon water.

Hoewel dit systeem weinig dynamiek kent, zouden eventuele seizoensvariaties in het aanbod deels kunnen worden opgevangen door herinfiltratie in de stuwwal in combinatie met grondwaterwinning.

Hoogvenen bieden door de hydrologische gevoeligheid minder kansen, maar dit landschapstype neemt in Nederland maar een geringe oppervlakte in.

Het rapport biedt denkrichtingen voor grote aaneengesloten natuurgebieden in combinatie met drinkwaterwinning.

Implementatie: fictieve situatie brengt kansen in beeld zonder belemmeringen van echt gebied

Natuurgebieden zijn een bron van schoon water. Bij voldoende omvang leveren ze ook winbare hoeveelheden afstromend beek- of kwelwater, die direct of via infiltratie en terugwinning kunnen worden ingezet voor de drinkwaterbereiding. Het rapport biedt denkrichtingen en grootteorden om samen met natuurbeheerders en anderen in gebiedsprocessen uit te werken.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Funcatiecombinatie waterwinning en natuur: verkenning in drie landschapstypen* (BTO-2017.022).

Zie ook www.waterwinst.nl.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie
Drs. M.H. Jalink
T 030-6069586
E mark.jalink@kwrwater.nl

Keywords

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.022 | April 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Inhoud	1
1 Inleiding	3
2 Uitgangspunten en kenmerken	5
2.1 Uitgangspunten voor de natuur	5
2.2 Uitgangspunten voor drinkwaterbedrijven	5
2.3 Algemene beschouwing over het functioneren van watersystemen	6
3 Dekzandgronden	13
3.1 Situatieschets	13
3.2 Watersysteem	13
3.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem	15
3.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning	15
3.5 Conclusie	19
4 Stuwwallen	20
4.1 Situatieschets	20
4.2 Watersysteem	20
4.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem	23
4.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning	24
5 Hoogveengebieden	30
5.1 Situatieschets	30
5.2 Watersysteem	31
5.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem	31
5.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning	32
6 Discussie en conclusies	33
7 Literatuurverwijzing	35

1 Inleiding

Waterbedrijven hebben de ambitie hun winningen duurzaam in te passen in de omgeving. Om de leveringszekerheid en lage kostprijs van drinkwater veilig te stellen is er behoefte aan bronnen met een betrouwbare kwaliteit en winhoeveelheid. Waterbedrijven hebben een sterke binding met de plek waar zij winnen en de infrastructuur van het waterleidingnet. Ze zijn gebaat bij stabiliteit en continuïteit in de omgeving, zowel wat betreft (ruimtelijke) ontwikkelingen als gebiedspartners.

Maar hoe zorg je ervoor dat in het steeds vollere Nederland waterwinning goed samengaat met de andere functies? Op veel plekken wordt de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater immers bedreigd door bemesting, gewasbeschermingsmiddelen, medicijnresten, lozingen of verzilting. Bij oppervlaktewaterwinning spelen daarnaast de grote fluctuaties in kwantiteit en kwaliteit door afwisselende perioden met langdurige droogte (en een grotere watervraag) of grote neerslagoverschotten een rol. Ook staan winningen onder druk als ze bijdragen aan de verdroging van natuurgebieden.

De combinatie waterwinning en natuur is vanuit het oogpunt van bescherming van de waterkwaliteit kansrijk. Waterwinning, op zijn beurt, biedt strategische bescherming voor natuurgebieden. Maar er zitten ook haken en ogen aan de combinatie waterwinning en natuur, met name het risico op verdroging van waterafhankelijke natuur. Om de kansen te verkennen is een theoretisch, verkennend onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheden van waterwinning uit de natuur. In deze pilot beogen we drinkwaterproductie te combineren met de natuur, op zo'n wijze dat beide functies er zoveel mogelijk baat bij hebben. De vraag is: hoe kan het water uit natuurgebieden worden ingezet voor drinkwatervoorziening, zonder negatieve effecten op die natuur?

Voor theoretische stroomgebieden is verkend hoe water uit natuurgebieden kan worden ingezet voor drinkwatervoorziening. De volgende vragen zijn hierbij van belang:

- Hoe groot moet een gebied zijn om een bepaalde hoeveelheid oppervlaktewater te kunnen leveren?
- Is het watersysteem geschikt voor waterwinning, gezien de verblijftijd en de dynamiek?
- Welke natuur is aanwezig en welke eisen stelt zij aan het hydrologische systeem?
- Welke wintechnieken zijn beschikbaar en welke aanvullende maatregelen zijn mogelijk om een win-winsituatie te creëren?
- Wat zijn mogelijke positieve en negatieve effecten op de natuur en andere functies?

Deze vragen zijn globaal uitgewerkt voor drie systeemtypen, namelijk: (1) dekzandgronden en beekdalen; (2) stuwwallen en (3) hoogvenen. Deze landschapstypen komen op meerdere locaties voor in Nederland, onder verschillende (eco)hydrologische condities en bodemomstandigheden. Dit onderzoek heeft niet als doel concrete gebieden uit te werken, maar om winconcepten te formuleren met globale kentallen.

Dit onderzoek is begeleid door de BTO themagroep Duurzame Bronnen en Watersystemen, Marieke van Gerven (Staatsbosbeheer) en Corine Geujen (Natuurmonumenten).

2 Uitgangspunten en kenmerken

2.1 Uitgangspunten voor de natuur

We gaan er in deze uitwerkingen van winconcepten vanuit, dat de hydrologie in het natuurgebied optimaal moet zijn en blijven voor de karakteristieke vegetatiegradiënten. Ook gaan we er in de uitwerking vanuit dat het gewonnen water uit het natuurgebied afkomstig moet zijn (100% natuurwater). Om die reden ligt de focus bij grondwaterafhankelijke natuur op (1) grondwaterwinning gecombineerd met droogtemitigatie door extra grondwateraanvulling en (2) 'einde-systeem-winningen'. In het laatste geval wordt het water pas gewonnen als het zijn ecologische functie heeft vervuld.

Het blijkt dat in de praktijk al verschillende andere succesvolle vormen van waterwinning en beheer van hoogwaardige natte natuur voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn:

- De aanleg van een kunstmatig infiltratiesysteem in de duinen, waarbij hoogwaardige natuurdoelen gehaald worden. De duinvalleivegetaties in de kwelplassen zijn hersteld door de infiltratie van voorgezuiverd oppervlaktewater.
- Ontwikkeling van natuurgebied rond het waterwingebied Roodborn ter bescherming van de grondwaterkwaliteit. De akkers op de uitspoelingsgevoelige gronden (met dunne lösslaag) zijn aangekocht en omgevormd van landbouwgrond naar kalkgrasland om de belasting met nitraat en bestrijdingsmiddelen te verminderen. In het beekdal zijn gronden uit de landbouw gehaald en ingeplant met bos om risico's van inspoeling van mest te voorkomen. Hoewel hydrologisch beïnvloed, zijn hier soortenrijke vochtige bossen ontstaan, zelfs met bronbosvegetatie. Voor de natuur is deze situatie veel gunstiger, dan wanneer deze gronden in landbouwgebruik gebleven waren.

Er zijn natuurlijk ook natuurgebieden met alleen droge natuur of waar geen hoogwaardige grondwaterafhankelijke natuur wordt nagestreefd. Daar zijn naar verwachting meer mogelijkheden voor inpassing van een drinkwaterwinning. Deze blijven in dit rapport buiten beschouwing.

2.2 Uitgangspunten voor drinkwaterbedrijven

Voor drinkwaterbedrijven is het belangrijk dat het drinkwater op een duurzame en maatschappelijk verantwoorde wijze gemaakt en geleverd kan worden en van voldoende kwaliteit is.

De hoeveelheid water die per winlocatie gewonnen wordt door de drinkwaterbedrijven varieert. De benodigde hoeveelheid is afhankelijk van de watervraag in de omgeving, mogelijkheden om de watervraag vanuit elders op te vangen, het leidingnetwerk etc. Op de meeste locaties in het zandgebied wordt water uit de ondergrond gewonnen (grondwaterwinning). Op een enkele locatie wordt oppervlaktewater gewonnen (bijvoorbeeld de Drentse Aa).

Het onttrokken debiet per waterwinning varieert, van globaal 0.5 Mm³/jaar tot meer dan 10 Mm³/jr. Doorgaans wordt in de zomer iets meer gewonnen dan in de rest van het

jaar. Als richtlijn wordt daarom in deze studie aangehouden dat concepten voor drinkwaterwinningen kansrijk kunnen zijn als deze meer dan 1 Mm³/jr water opleveren, waarbij de winbare hoeveelheid gedurende het jaar altijd minimaal 3000 m³/d moet bedragen.

De waterbron die gebruikt wordt, bepaalt welke mate van zuivering en welke zuiveringsstappen nodig zijn om er drinkwater van te maken. Zo kan een zuivering gebouwd voor een bepaalde grondwaterkwaliteit niet zomaar ingezet worden om het water van een andere grondwaterkwaliteit te zuiveren. De zuiveringstappen benodigd om oppervlaktewater te zuiveren verschillen sterk van de stappen om grondwater te zuiveren. Hierdoor is het vaak niet kostenefficiënt om water van verschillende bronnen op één locatie te winnen. Doorgaans geldt: hoe schoner de bron, hoe lager de zuiveringsinspanning wordt.

2.3 Algemene beschouwing over het functioneren van watersystemen

Waterwinning is gebaat bij leveringszekerheid, dus bij een bron die zowel qua waterkwantiteit als qua waterkwaliteit gegarandeerd kan worden. Die bron kan zowel grond- als oppervlaktewater zijn. De stabiliteit van de bron hangt samen met twee hydrologische gebiedskenmerken: de verblijftijd van het water in het systeem en de dynamiek van het watersysteem, dus de snelheid waarmee het watersysteem reageert op veranderingen. Wij gaan hier op beide kenmerken in, maar eerst bespreken we de brandstof van het grondwatersysteem, de grondwateraanvulling, en welk aandeel van die aanvulling terecht komt in nabijgelegen drainagemiddelen (zoals beken).

2.3.1 De grondwateraanvulling

In zandgebieden en hoogvenen wordt het grondwater hoofdzakelijk tot geheel aangevuld door het neerslagoverschot, aangezien er doorgaans geen aanvoer van oppervlaktewater is, noch oppervlakkige afstroming van neerslag over het maaiveld naar waterlopen. De grondwateraanvulling R is dus gelijk aan het neerslagoverschot, zijnde de neerslag P minus de werkelijke (actuele) evapotranspiratie ET . Voor de neerslag gaan we uit van het Nederlands gemiddelde (1980-2010) van 847 mm/jr (Anonymous, 2011). De evapotranspiratie verschilt sterk per begroeiingstype. Tabel 2-1 toont gewasfactoren die zijn ontleend aan het Handboek natuurherstel (NOV-rapport 9.2, Runhaar et al., 1998). Deze hebben we vermenigvuldigd met de gemiddelde (1981-2010) referentiegewasverdamping volgens Makkink (de verdamping van een groene grasmat) in het zandlandschap van Nederland, ca. 570 mm/jr (Anonymous, 2011), om tot een schatting van de verdamping en de grondwateraanvulling te komen. In de tabel is ten slotte ook opgenomen hoeveel vierkante kilometer er van ieder begroeiingstype nodig is om één miljoen kubieke meter grondwateraanvulling te genereren.

De cijfers zijn indicatief en kunnen worden aangepast aan het lokale klimaat. Die van bossen komen in grote lijn overeen met een rapportage over watergebruik van bossen (Dolman *et al.*, 2000). Uit de tabel blijkt dat de grondwateraanvulling onder heide meer dan driemaal zo groot is als onder donker naaldbos.

De openwaterverdamping bedraagt globaal 720 mm per jaar, volgens de benadering dat deze 1.27 keer de referentiegewasverdamping volgens Makkink bedraagt (Feddes, 1987).

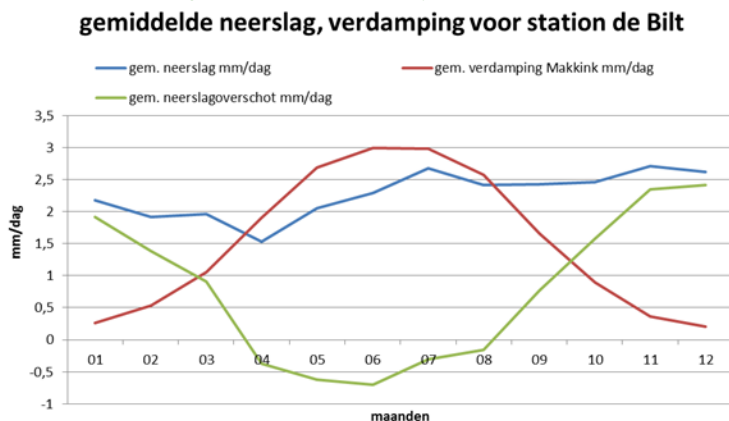
De neerslag, de verdamping en het neerslagoverschot variëren gedurende het jaar. Figuur 2-1 geeft gemiddelde dagwaarden weer over de afgelopen 50 jaar. Zichtbaar is

dat het neerslagoverschot positief is in de maanden september t/m maart en negatief van april t/m augustus (het groeiseizoen).

TABEL 2-1. GEWASGETALLEN (GEWASFACTOR EN EVAPOTRANSPIRATIE (ET)) OMGEREKEND NAAR NEERSLAGOVERSCHOT (IN MM/JAAR, IN KUBUS PER VIERKANTE KILOMETER PER JAAR EN NAAR INTREKGEBIED IN VIERKANTE KILOMETER PER MILJOEN KUBUS WATER.

Vegetatie	Gewas- factor	ET	Overschot R		Intrek- gebied
	(-)	(mm/jaar)	(mm/jr)	(m ³ /km ² /jr)	
Donker naaldbos	1.3	741	106	106,000	9.4
Naaldbos	1.2	684	163	163,000	6.1
Loofbos	1.1	627	220	220,000	4.5
Heide	0.8	456	391	391,000	2.6
Droog duin	0.7	399	448	448,000	2.2
Kaal zand	0.4	228	619	619,000	1.6
Schraalgrasland	1.0	570	277	277,000	3.6
Hoogveen	1.2	684	163	163,000	6.1
Laagveen	1.0	570	277	277,000	3.6

FIGUUR 2-1. DE GEMIDDELDE NEERSLAG EN VERDAMPING PER DAG GEMETEN BIJ KNMI-STATION DE BILT OVER 1965 T/M 2014 (BRON: (KNMI, 2017)).

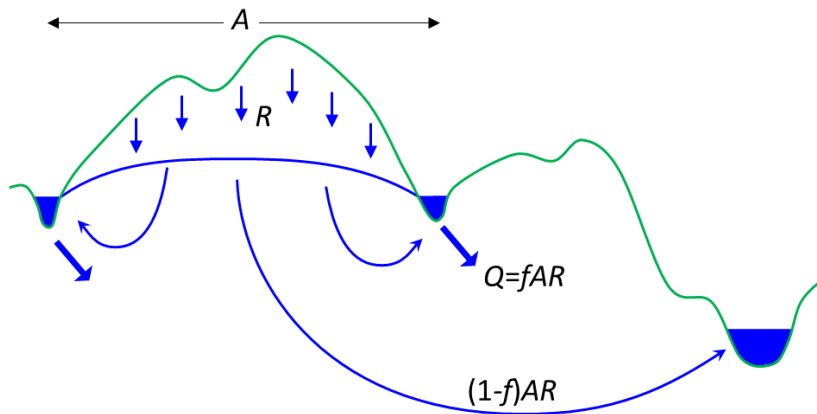


2.3.2 De voeding van oppervlaktewater met grondwater

Alle grondwater wordt uiteindelijk oppervlaktewater. In een grondwatersysteem met een oppervlakte A bedraagt de totale grondwateraanvulling $Q = AR$. Is het systeem klein, dan zal die aanvulling vrijwel helemaal terecht komen in het nabijgelegen drainagesysteem, bijvoorbeeld in beken. Naarmate het grondwatersysteem echter groter is, is de grondwaterstand ten opzichte van de dichtstbijzijnde drainagebasis hoger. De opbolling van de grondwaterspiegel is namelijk, volgens de bekende formule van Hooghoudt, bij benadering recht-evenredig met de afstand tussen de drainagemiddelen in het kwadraat. Een deel van het grondwater zal daardoor makkelijker kunnen wegstromen naar een drainagesysteem, dat weliswaar verder weg

ligt, maar ook dieper in het landschap. De fractie van de grondwateraanvulling die het dichtstbijzijnde drainagesysteem voedt noemen we f , de fractie die 'ontsnapt' naar een verder weg gelegen systeem bedraagt dus $1-f$. Deze situatie is weergegeven in Figuur 2-2. Het is van belang deze fractie te kennen, want het is het water dat nabij uittreedt dat het meest voor herinfiltratie in het grondwatersysteem in aanmerking komt.

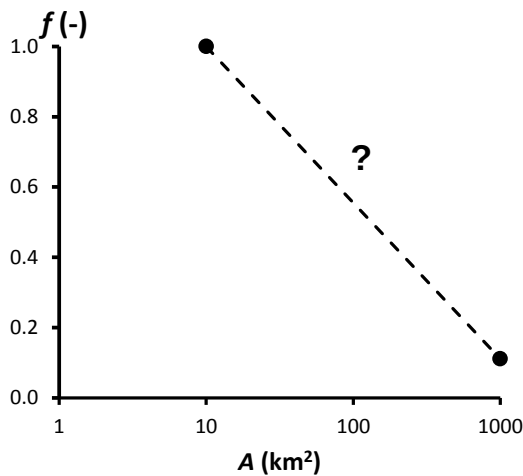
FIGUUR 2-2. VOEDING VAN OPPERVLAKTEWATER MET GRONDWATERAANVULLING.



Op basis van de voorgaande theoretische beschouwing zou voor een lokaal systeem (met lokale afwatering via het oppervlaktewater, niet een genest systeem) gelden dat het aandeel f van de grondwateraanvulling aan de afvoer van het dichtstbijzijnde drainagesysteem dus afneemt naarmate het grondwatersysteem groter is.

In Figuur 2-3 is dit verband hypothetisch geschetst. Het linker punt in de figuur betreft een gebied van 10 km², waarvan we aannemen dat het geheel gedraineerd wordt door een nabijgelegen beekstelsel, het rechterpunt is ontleend aan de Veluwe (ca. 1000 km²) waarvan we weten (Spek *et al.*, 2011) dat ongeveer 10% van de grondwateraanvulling terecht komt in drainerende sprengen en beken (de rest stroomt naar grondwateronttrekkingen en naar kwelgebieden (Gelderse vallei, Flevopolders, Betuwe, IJsselvallei)). (Kuijper *et al.*, 2012) onderzochten het stroomdal Hollandse Graven (60 km²) in het beheersgebied van Regge en Dinkel en rapporteerden een dat een hoeveelheid water die bijna even groot was als de grondwateraanvulling (98%) lokaal tot afvoer kwam. In dit systeem was echter waarschijnlijk ook sprake van laterale in- en uitstroming van grondwater.

FIGUUR 2-3. HYPOTHETISCH VERBAND TUSSEN GROOTTE VAN HET GRONDWATERSYSTEEM (A) EN AANDEEL VAN DE GRONDWATERAANVULLING IN DE VOEDING VAN DE LOKALE AFWATERING .



2.3.3 De verblijftijd van grondwater

Hoe lang verblijft het grondwater gemiddeld in een freatisch pakket? Laten we eens uitgaan van een gebied van $A \text{ m}^2$ groot, dat in de ondergrond wordt afgesloten door een kleilaag die als hydrologische basis kan worden beschouwd (Figuur 2-4). De grondwateraanvulling $R \text{ (m/jr)}$ zal dan door het boven deze basis liggende pakket naar de aangrenzende ontwateringsbases moeten stromen, in de figuur weergegeven als twee sloten (maar in de praktijk kunnen het ook twee drainerende gebieden zijn, zoals de Gelderse vallei en het IJsseldal). De afstand tussen hydrologische basis en grondwaterspiegel, dus de dikte van het freatisch pakket, bedraagt gemiddeld $D \text{ m}$. De fractie van de verzadigde grond die daadwerkelijk meedoet aan grondwaterstroming, de effectieve porositeit, is n_e .

Verblijftijd t_r gedefinieerd als volume V (bijv. in m^3) gedeeld door debiet Q (bijv. in m^3/jr). Het volume grondwater in het perceel bedraagt:

$$V = ADn_e$$

En de totale grondwatervulling in A :

$$Q = AR$$

Zodat voor de gemiddelde verblijftijd geldt:

$$\bar{t}_r = \frac{Dn_e}{R}$$

In Nederland bedraagt het neerslagoverschot ongeveer 0.35 m.a^{-1} , en dit overschot komt praktisch overal geheel ten goede aan het grondwater ($R \approx P - E$). De gemiddelde porositeit n_e van zandgrond bedraagt ca. 0.35 zodat:

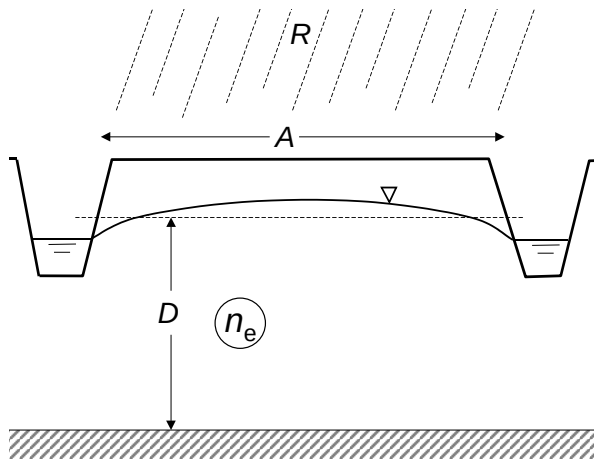
$$\bar{t}_r \approx \frac{0.35D}{0.35} \approx \frac{D}{m} \text{ jr}$$

Ofwel: de gemiddelde verblijftijd, uitgedrukt in jaren, van grondwater in een aan de onderzijde afgesloten freatisch pakket, is in Nederland bij benadering gelijk aan de dikte van dit pakket in meter.

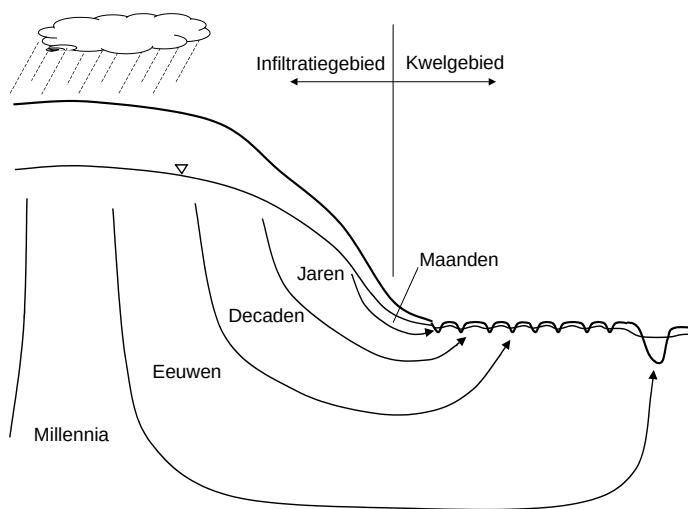
Omdat een lange verblijftijd gunstig is voor de kwaliteit van het grondwater, verdient winning uit dikke watervoerende pakketten doorgaans de voorkeur boven winning uit een dun pakket. Uiteraard kent een watervoerend pakket water van verschillende verblijftijden (Figuur 2-5), is de verblijftijd in een dieper pakket doorgaans veel langer,

en speelt ook de reactiviteit van de ondergrond een belangrijke rol bij het zuiveringsproces (bijvoorbeeld denitrificatie). Maar de regel dat met het oog op een goede waterkwaliteit, dikke pakketten de voorkeur genieten, staat buiten kijf.

FIGUUR 2-4. SCHEMATISERING VAN DE ONDERGROND T.B.V. DE BEREKENING VAN DE GEMIDDELTE VERBLIJFTIJD IN EEN FREATISCH PAKKET.



FIGUUR 2-5. SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE VERBLIJFTIJD VAN GRONDWATER.



2.3.4 De dynamiek van het watersysteem

De snelheid waarmee grondwaterstanden en beekafvoeren reageren op veranderingen, bijvoorbeeld in neerslag en verdamping, hangt hoofdzakelijk af van drie factoren:

1. De grootte van het infiltratiegebied: hoe groter, des te groter de voeding met grondwateraanvulling en hoger de weerstand die het grondwater ondervindt op zijn weg naar de drainagebasis, en dus des te trager het systeem.
2. Het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket: hoe hoger de doorlatendheid, des te sneller het systeem reageert.

3. De freatische bergingscoëfficiënt: hoe hoger, des te trager de reactie.

De samenhang tussen deze factoren zijn weergegeven in de handzame en inzichtelijke formule van de Kraijenhoff van de Leur (1958) (Figuur 2-6):

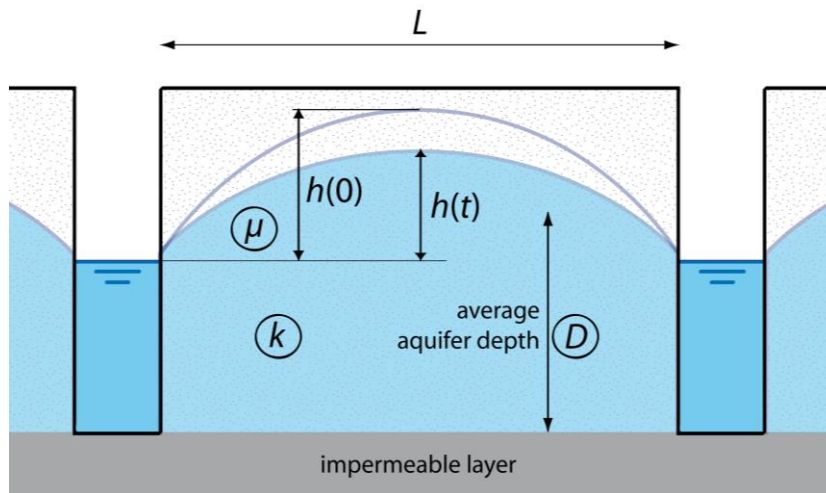
$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 kD}$$

Met j de reservoircoëfficiënt (d), μ de freatische bergingscoëfficiënt (-), L de afstand tussen de drainagemiddelen (m), en kD het doorlaatvermogen (m^2/d). De reservoircoëfficiënt kan worden vergeleken met de bekende spreidingslengte, die een maat is voor de afstandswerking van een hydrologische verandering. Een waarde van $j = 100 \text{ d}$ betekent dat het 100 dagen duurt voordat de oorspronkelijke grondwaterstand h_0 ten opzichte van de drainagebasis tot $1/e$ (37%) is gedaald wanneer de grondwateraanvulling zou wegvallen (in formulevorm: $h_t = h_0 e^{-t/j}$). De reciproque van j is de reactietijd α : hoe lager α , des te trager het systeem. De reactiesnelheid van het grondwater laat zich vrijwel een-op-een vertalen naar de reactiesnelheid van de afvoer door het oppervlaktewatersysteem.

Tabel 2-2 toont de indicatieve parameterwaarden van enkele watersystemen. Uit de tabel blijkt dat enkel parameters gecorreleerd zijn, met name L en kD . Dat is logisch, want L is aangepast aan kD : in de natuur liggen beken dicht bij elkaar naarmate het doorlaatvermogen lager is, want een lage kD bij een gegeven te grote L zorgt ervoor dat er in natte tijden water over het maaiveld stroomt, zodat er op den duur door watererosie een beekdal ontstaat. In de landbouw is de slootafstand zo gekozen, dat het grondwater zelden of nooit de wortelzone bereikt.

Het verband is echter geen wet van Meden en Perzen. Zo ontspringen aan de voet van de Veluwe enkele kleine beken met een lage afvoer ($<20 \text{ l/s}$), die dus wordt gegenereerd in een klein stroomgebied (kleine L), die nochtans zeer constant is (grote j). Dit gedrag is alleen te verklaren vanuit een ondergrond die het grondwater zeer slecht afstaat (te vertalen in een zeer lage kD), wat vaak het geval is bij gestuwde scheef gestelde lagen van afwisselend klei/leem en zand/grind. De Renkumse en Heelsumse beek voeren gemiddeld meer af (grote L), maar toch is hun afvoergedrag grilliger. Dat komt doordat ze grotendeels gevoed worden vanuit een sandr (spoelzandvlakte) met een zeer hoge kD .

FIGUUR 2-6. SCHEMATISERING BIJ DE VERGELIJKING VAN KRAIJENHOFF VAN DE LEUR (1958).



TABEL 2-2. INDICATIEVE WAARDEN VAN ENKELE WATERSYSTEMEN (NAAR: WERKGROEP_HERZIENING_CULTUURTECHNISCH_VADEMECUM (1988)).

Systeem	μ -	L m	kD m ² /d	j d	α 1/d
Moeras	0.10	5	0.5	0.5	2
Goed ontwaterd perceel	0.10	100	50	2.0	0.5
Klein bekenstelsel	0.25	1000	150	150	0.006
Stuwwal	0.30	10000	1500	2000	0.0005

Naast het grondwater draagt ook de onverzadigde zone bij aan de dynamiek (en in mindere mate aan de verblijftijd) van een systeem. Dikke onverzadigde zones, zoals deze bijvoorbeeld op de Veluwe te vinden zijn, dragen bij aan een afvlakking van de seizoensdynamiek waardoor de grondwateraanvulling relatief constant over het jaar plaatsvindt.

2.3.5 Conclusie

Bovenstaande beschouwing leidt tot de ietwat triviale conclusie dat grote beken die zijn ontsprongen aan een groot en diep freatisch watervoerend pakket, het meest in aanmerking komen om te worden benut voor herinfiltratie. De verblijftijd van het water in de ondergrond is namelijk relatief lang geweest, en de afvoer is relatief gelijkmatig. Variaties op dit thema hangen vooral samen met de weerstand van de ondergrond.

3 Dekzandgronden

3.1 Situatieschets

Een groot deel van de hogere gronden in Zuid en Oost Nederland bestaat uit dekzandlandschappen. Over het algemeen zijn het regionaal licht hellende gebieden met lokale hoogteverschillen van ruggen of dekzandkoppen en laagten en dalen met hoogteverschillen van hooguit enkele meters. De ondergrond kan bestaan uit één watervoerend pakket of er kunnen twee of meer watervoerende pakketten zijn. Het landschap kent een kleinschalige afwisseling van natuur, landbouw en stedelijk gebied. Daarbij zijn vooral de hogere, arme gronden als natuurgebied in gebruik (heiden, aangeplante naaldbossen en soms oudere loofbossen) en de lagere delen van de beekdalen als landbouwgebied (met ontwatering).

3.2 Watersysteem

De oorsprong en bovenloop van een beekdal wordt geheel gevoed door het neerslagoverschot dat binnen de waterscheidingen op de omliggende dekzandruggen valt. Middenlopen hebben een grotere afvoer doordat het intrekgebied veel groter is en de beek gevoed wordt door vele bovenlopen. Ook is in middenlopen een grotere en constantere invloed van kwel, door de invloed van regionale grondwatersystemen. In Tabel 3-1 worden de eigenschappen van de boven- en middenlopen van beken met elkaar vergeleken.

TABEL 3-1. EIGENSCHAPPEN VAN BOVEN- EN MIDDENLOPEN VAN BEEKSYSTEMEN IN HET DEKZANDGEBIED.

Kwantiteit afvoer	Middenlopen hebben een veel groter intrekgebied dus meer afvoer. Daarnaast hebben middenlopen verhoudingsgewijs een grotere invloed van (regionale) kwel, waardoor (iets) meer water beschikbaar is.
Dynamiek afvoer	Middenlopen hebben een iets lagere dynamiek dan bovenlopen, omdat waterlopen met een verschillende dynamiek samenkomen. Totale dynamiek is in beide gevallen hoog en kan in beekdalen tot inundaties leiden.
Kwaliteit	Middenlopen hebben een vaak een slechtere waterkwaliteit, i.v.m. bovenstroomse landbouwgebieden, stedelijke gebieden of AWZI's,

Het neerslagoverschot is sterk afhankelijk van de vegetatie (zie Tabel 2-1) en zou kunnen variëren tussen 106.000 m³/km²/jaar (donker naaldbos) en 448.000 m³/km²/jaar (heide). Vaak wordt een gebied bedekt door een combinatie van verschillende vegetatietypen, waardoor een gemiddelde waarde kan worden aangenomen. Afhankelijk van de grootte van het systeem zou hiervan tot een deel niet lokaal tot afvoer kunnen komen. Uitgaande van de hypothetische relatie in Figuur 2-3 zou dit op de schaal van stroomgebieden in het dekzandgebied slechts een klein deel zijn.

De dikte van het bovenste zandpakket dat grotendeels de verblijftijd bepaalt kan sterk variëren tussen gebieden in de ordegrootte van 1-30 m dikte (Schokker *et al.*, 2005). Bij een gemiddelde grondwateraanvulling en effectieve porositeit zou de verblijftijd in de orde van 10 jaar liggen (Tabel 3-2). Deze kan aanzienlijk kleiner worden in dunne pakketten met een grote grondwateraanvulling, en aanzienlijk groter wanneer de bodemlagen dik zijn en de grondwateraanvulling klein is.

TABEL 3-2. INSCHATTING ORDEGROOTTE VERBLIJFTIJDEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (WOSTEN *ET AL.*, 2001; SCHOKKER *ET AL.*, 2005) EN R OP BASIS VAN TABEL 2-1).

Dekzand	Gemiddelde	Minimum	Maximum
D (m)	10	1	30
n_e (-)	0,35	0,31	0,41
R (m j ⁻¹)	0,350	0.106	0,448
t_r (j)	10	0,7	116

TABEL 3-3. INSCHATTING ORDEGROOTTE RESERVOIRCOEFFICIENTEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (WERKGROEP_HERZIENING_CULTUURTECHNISCH_VADEMECUM, 1988), DRAINAGEAFSTANDEN OP BASIS VAN EXPERT JUDGEMENT).

	Gemiddelde	Minimum	Maximum
μ (-)	0,06	0.03	0.15
L (m)	200	100	1000
k (m d ⁻¹)	1	0.5	30
D (m)	10	1	30
j (d)	24	0.03	30396

De dynamiek van deze systemen kan per gebied sterk verschillen, vooral afhankelijk van de drainagedichtheid en de transmissiviteit van de ondergrond (Tabel 3-3). De dynamiek van het grondwater, die beschreven wordt door de j-factor, zou in de ordegrootte van enkele tientallen dagen kunnen liggen, vergelijkbaar met gronden met grondwatertrap IV, V* en VI (GLG meer dan 80-120 cm-mv en GHG meer dan 25-40 cm-mv) (Bot, 2016). De relatief langzame stroming door de onverzadigde zone draagt bij aan een verlaging van deze dynamiek, en resulteert bij dergelijke grondwaterstanden tot totale j-waarden van 40-70 dagen. Deze coëfficiënten zijn onvoldoende om de seizoensdynamiek van de grondwateraanvulling te verspreiden over het jaar, waardoor de afvoer van de beken sterk kan variëren over de tijd. De dynamiek kan veel groter zijn in beken die een klein gebied draineren en een groot doorlaatvermogen (kD) hebben, en juist veel kleiner in beken met een grote drainageafstand en een klein doorlaatvermogen. Aangezien drainagedichtheid en doorlaatvermogen gecorreleerd zijn, zullen deze extreme waarden in de praktijk niet voorkomen. Als er extra drainage is aangelegd, zoals het geval is op veel landbouwgronden, kan de dynamiek wel veel groter worden (j factor van enkele dagen). Het gros van het water zal in de winter beschikbaar zijn of na piekbuien. Op veel plekken in Nederland is het aannemelijk dat de beek droogvalt in de zomer.

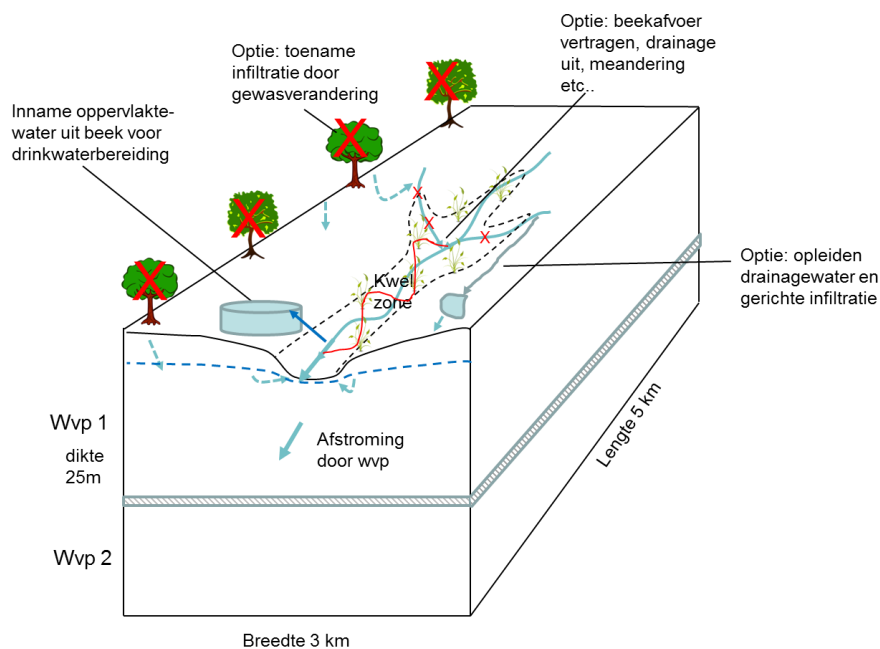
3.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem

- Op droge gronden kan de natuur bestaan uit naaldbossen, eiken-berkenbos of droge heide. Deze vegetatie is niet van hoge grondwaterstanden afhankelijk.
- Op de vochtige delen van de dekzandruggen gaat het om vochtige heiden, vochtige berkenbossen, vennen e.d. Deze zijn wel afhankelijk van (periodiek of permanent) hoge grondwaterstanden.
- In de beekdalen kan de vegetatie bestaan uit berkenbroekbossen, of kleine zeggenvegetaties, veldrusschraallanden, zwak gebufferde beekdalvennen e.d. die langdurig hoge grondwaterstanden vragen en kwel vanuit de omliggende zandruggen.
- In middenloopgebieden is een schakering aan vegetatietypen mogelijk. Op de omliggende dekzandruggen is die hetzelfde als rond bovenlopen. Vanaf de beekdalrand naar de beek zijn gradiënten mogelijk van door basenarm kwelwater gevoede kleine- zeggen-gemeenschappen en veldrusvegetaties, door basenrijker kwelwater gevoede blauwgraslanden, dotterbloemhooilanden, elzenbroeken en mede door overstroming beïnvloede dotterbloemhooilanden, grote zeggenmoerassen, rietlanden, elzenbroeken e.d. Deze vegetatie is afhankelijk van een voldoende robuust grondwatersysteem om de standplaatsfactoren (vocht, zuurgraad, voedselrijkdom) op het benodigde niveau te laten blijven.

3.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning

3.4.1 Grondwaterwinning

In de dekzandgebieden lijkt freatische grondwaterwinning in combinatie met natuur niet kansrijk, behalve in gebieden met grondwateronafhankelijke natuur (valt buiten de afbakening van dit rapport). In gebieden waar de natuur afhankelijk is van hoge grondwaterstanden zou de winning gecombineerd kunnen worden met extra grondwateraanvulling, bijvoorbeeld door infiltratie van het beekwater. Een complicatie hierbij is de relatief grote dynamiek van het systeem, waardoor er vooral tijdens zomerperioden weinig beekwater voorhanden zou zijn. De onverzadigde zones en grondwatersystemen zijn in veel gevallen niet groot genoeg om infiltratie mogelijk te maken en de seizoensvariatie over het jaar te verspreiden.



FIGUUR 3-1. VOORBEELD VAN OPPERVLAKEWATERWINNING UIT DE BEEK MET ENKELE AANVULLENDE MOGELIJKHEDEN

3.4.2 Oppervlaktewaterwinning uit beek

Voor de dynamiek van het systeem vormt de grootste uitdaging voor de winning van drinkwater uit het oppervlaktewater. Het beekwater is vooral in het winterhalfjaar en na piekbuien beschikbaar, terwijl de drinkwatervraag jaarrond ongeveer gelijk is en zelfs wat hoger in de zomer. De waterbeschikbaarheid en dynamiek is gunstiger in grotere systemen (winning meer stroomafwaarts), hoewel de kans op slechtere waterkwaliteit ook groter is.

Een middenloop heeft meestal een grotere kwantiteit beekwater dan een bovenloopbeek, maar het water is niet alleen uit de natuur afkomstig. Een concept voor waterwinning zal dus meerdere gebiedsfuncties moeten betrekken, zoals in de Drentse Aa gebeurt.

NB: een groot deel van de beeksystemen in de dekzandgebieden van zuid en oost Nederland is afkomstig uit het buitenland (Vlaanderen, Duitsland). Voor bescherming van de waterkwaliteit is daar samenwerking over de grens nodig. Wat dat betreft is de situatie van de beken die op het Drents Plateau ontspringen gunstiger. Temeer daar dit gebied relatief dun bevolkt is en een groot aandeel natuurgebied kent. In Gelderland en Utrecht komt zo'n situatie vooral op de stuwwallen voor.

Als het met omvang, inrichting en beheer van het gebied mogelijk is een voldoende grote basisafvoer in de zomer te behouden, dan is dit middels een einde systeem oppervlaktewaterwinning winbaar.

Is de basisafvoer kleiner of wil men ook gebruik maken van hogere afvoeren, dan moet ofwel een tweede bron beschikbaar zijn om perioden met weinig water te overbruggen, ofwel het water moet tijdelijk geborgen kunnen worden om het gelijkmatiger

beschikbaar te hebben. Bergingsmogelijkheden zijn op de hoge zandgronden beperkt (stijging van de grondwaterstand moet mogelijk zijn of er moeten voorraadbekkens aangelegd kunnen worden)

Mogelijkheden:

- **Ingrepn buiten beekstelsysteem.**
Opleiden en infiltreren van water uit een ander beekstelsysteem of beektak. Deze optie is alleen nuttig als beide systemen voldoende goede waterkwaliteit hebben (bijvoorbeeld natuurgebieden), er voldoende berging beschikbaar is en de dynamiek niet te hoog is. De bergingscapaciteit is op de meeste dekzandruggen beperkt.
- **Verdampingsreductie.**
Veranderingen in vegetatie kunnen de evapotranspiratieflux in de zomer verlagen (Tabel 2-1), bijvoorbeeld door het kappen van naaldbos ten behoeve van heide of zandverstuivingen, waardoor er meer en stabielere grondwateraanvulling is. Het hangt af van het type natuur en beheer of dit mogelijk en/of gewenst is.
- **Beekafvoer vertragen**
De beekafvoer kan vertraagd worden door een aangepaste inrichting van het beekdal. Hierbij kan gedacht worden aan het dichten van ontwateringsmiddelen, beekpeil verhogen en herstel van meanders. Dergelijke maatregelen leiden tot vernatting, met bijvoorbeeld een ontwikkeling naar beekdalvenen of beekdalvenen. In het stroomdal van de Hollandse Graven zouden dergelijke maatregelen kunnen leiden tot 20 % verhoging van de basisafvoer (Kuijper et al., 2012). Hierbij moet opgemerkt worden dat dit in de praktijk vaak niet haalbaar zal zijn. Opgemerkt wordt dat voor het beste resultaat naast de stroomdalmaatregelen (bv. drainage uit) tegelijkertijd geïnvesteerd moet worden in maatregelen om het water lokaal vast te houden en maatregelen aan het beekprofiel.

Aandachtspunten:

- Toenemende piekafvoeren (wateroverlast)
- Waterkwaliteit tijdens piekafvoeren (slibopwerveling)
- Erosie van bovenlopen als systeem natter gehouden wordt en toename diepteligging
- Geringere berging in het beekdal bij hevige buien als het beekdal al volstaat en effect hiervan op benedenstrooms gelegen gebied

3.4.3 Winning uit verzamelbekken, combinatie met waterbergingsopgave

Een andere optie om met de relatief hoge dynamiek om te gaan is het opvangen van oppervlaktewater in een verzamelbekken. Van daaruit kan (een deel) worden teruggewonnen door directe winning of door oevergrondwaterwinning. Zo'n bekken moet dan wel een flinke capaciteit hebben: stel dat er gedurende 3 droge maanden 100.000 m³/maand uit gewonnen moet worden, dan moet er een opslagcapaciteit van 300.000 m³ met een aanvullende hoeveelheid ten behoeve van de openwaterverdamping zijn. Bij een waterdiepte van 1 m moet de waterplas dan minimaal 800 m bij 800 m zijn.

Aandachtspunten:

- Grote plassen moeten inpasbaar zijn in een gebied, bijvoorbeeld een combinatie met een waterbergingsopgave en recreatie.
- De winning van het oppervlaktewater (en verlaging van het peil in de plassen ten gevolge daarvan) mogen geen negatief effect hebben op het stroomopwaarts gelegen hydrologische systeem. Maatwerk, zoals hoogwaardige grondwaterafhankelijke natuur strategisch plaatsen ten opzichte van plas, is waarschijnlijk nodig.
- Kwetsbaarheid winning

3.4.4 Infiltratie in brakke ondergrond

Indien brak of zout grondwater aanwezig is op (geringe) diepte kan (een deel van) het opgevangen water in dat pakket opgeslagen worden en later terug gewonnen.

Aandachtspunten:

- Het water dat wordt opgeslagen in een brak tot licht zoute aquifer zal in beperkte mate (30-60%) kunnen worden teruggewonnen door menging met het omgevingswater en opdrijving van het zoete water. Dit vereist dat 2-3 keer zoveel water moet worden geïnfiltreerd dan dat er gewonnen wordt.
- Indien het opgeslagen water alleen in de zomer gebruikt wordt (als de beekafvoer stilvalt) dan komt het neer op een combinatie van oppervlaktewaterwinning (herfst, winter en lente) en grondwaterwinning in de zomer. Dit is qua kosten en zuiveringsmethodiek voor drinkwaterbedrijven erg ongunstig.
- Het infiltreren van slootwater vergt gerichte voorzuivering opdat infiltratieputten niet verstopen.
- Brak en zout grondwater is onder dekzandgronden meestal pas op grote diepte aanwezig, vooral in de lage delen aan de west- en noordkant van Nederland is het op geringe diepte beschikbaar.

3.4.5 Oppervlaktewaterwinning aan het eind van een geïsoleerd kwelgebied in het beekdal.

In dit geval watert het natuurgebied niet af op de hoofdbeek, maar watert af via een parallelbeek waaruit oppervlaktewater gewonnen wordt. Het water is afkomstig uit aangrenzende dekzandrug, (sub)regionaal grondwatersysteem en neerslagoverschot.

De hoofdbeek heeft dan een doorvoerfunctie. Idealiter treedt geen overstroming op (vanwege de waterkwaliteit). Dat vraagt mogelijk wel om een kade. Als die teveel beperking bij piekafvoeren veroorzaakt zijn bovenstroomse waterbergingsvoorzieningen nodig.

De beschikbare hoeveelheid water varieert in het seizoen. Zolang de kwel voldoende is om de verdamping te compenseren zal afvoer optreden. Behalve de regionale kwelcomponent is het sommetje niet wezenlijk anders dan bij bovenlopen. De regionale kwel geeft wel een extra wateraanvoer op jaarbasis, maar de vraag is of die voldoende is om ook in warme droge perioden (met een verdamping van circa 3-6 mm/dag in het beekdal) afvoer te houden.

3.5 Conclusie

In natuurgebieden op de dekzanden, met ruime afstand tussen afwatering, zou water van voldoende kwaliteit beschikbaar kunnen zijn. In grotere gebieden (meer benedenstrooms) is er meer water beschikbaar, maar is de waterkwaliteit moeilijker te beschermen vanwege het grote achterland. Een knelpunt is in beide gevallen echter de relatief hoge dynamiek, waardoor er seizoensvariaties in de afvoer ontstaan. Om deze reden is directe winning van het oppervlaktewater niet kansrijk, behalve als deze gecombineerd wordt met extra berging in het stroomgebied, in een verzamelbekken of in (brakke) ondergrond. Ook kan andere vegetatiebedekking de seizoensvariatie iets verkleinen.

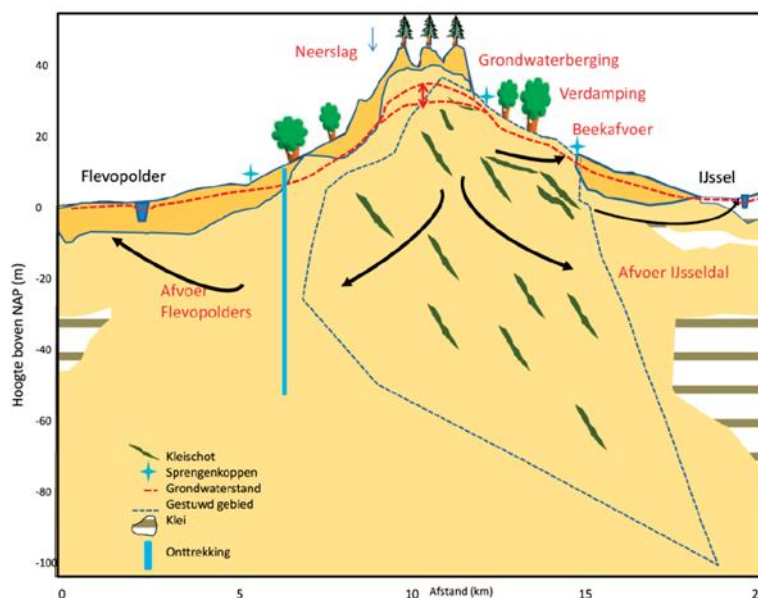
Deze richting past bij strategie voor decentrale watervoorziening door de kleine winhoeveelheden. Koppeling van opgaven (drinkwatervoorziening, wateroverlast, waterbergingsopgave, N2000, KRW) zijn nodig om tot praktijkuitvoering te komen.

Als het beekdal naast stuwwalgebieden ligt, dan kan er ook aan gedacht worden om het water te infiltreren op een nabijgelegen stuwwal en terug te winnen met een grondwateronttrekking (zie ook hoofdstuk 4). Dit is vergelijkbaar met het bestaande systeem bij Epe, alleen met andere bron van infiltratiewater, denk wellicht aan de Achterhoek en Twente/Salland (afwisseling kleinere stuwwallen en dekzandgebied).

4 Stuwwallen

4.1 Situatieschets

Stuwwallen en sandrhellingen vormen een aparte eenheid binnen het zandgebied. Door hun hoogteligging zijn er vaak grote gebieden met zeer diepe grondwaterstanden en dito vegetatie. Mede daardoor waren deze gronden niet geschikt als landbouwgronden en overheersen grote aaneengesloten natuurgebieden, zoals op de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Sallandse Heuvelrug. Maar door aanwezigheid van leemlagen kunnen ook op de stuwwallen of langs de stuwwalhellingen vochtiger of natte plekken voorkomen. Dat kunnen natte natuurgebieden zijn, maar het zijn ook plekken waar landbouw mogelijk was en nu landbouwenclaves liggen.



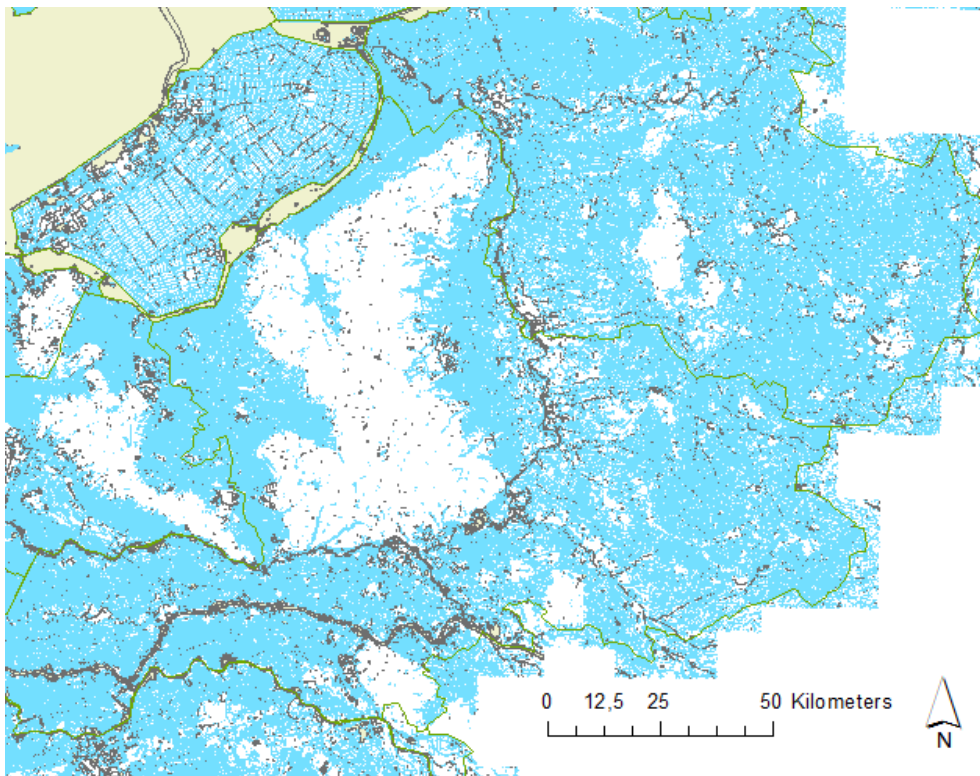
FIGUUR 4-1. SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE GEOHYDROLOGIE VAN DE VELUWE. BRON: STROMINGEN 20 NR. 3 (2014)

Op veel plekken treedt sterke/permanente kwel op aan de voet van de stuwwal. Deze gebieden zijn meestal in agrarisch gebruik of stedelijk gebied en worden intensief ontwaterd. Door hun omvang en hoogte vormen stuwwallen kerninfiltratiegebieden die vaak tot op grote afstand in de ondergrond doorwerken, zoals vanuit de Veluwe en Utrechts Heuvelrug/Gooi tot onder Flevoland en in de ondergrond van het rivierengebied.

4.2 Watersysteem

Een stuwwal wordt gevoed door neerslag. Het neerslagoverschot sijpelt door een doorgaans dikke onverzadigde zone gedurende enkele maanden tot jaren naar het watervoerende pakket. De hoeveelheid water die infiltreert, hangt sterk af van de vegetatie of het gewas dat er groeit. Het neerslagoverschot kan daardoor variëren van 106 mm/jaar (donker naaldbos) tot 448 mm/jaar (droge duinen). Vaak wordt een gebied bedekt door een combinatie van verschillende vegetatietypen, waardoor een

gemiddelde waarde kan worden aangenomen. Afhankelijk van de grootte van het systeem zou hiervan tot 90% niet lokaal tot afvoer kunnen komen (Figuur 4-2).



FIGUUR 4-2. WATERLOPEN IN OOST-NEDERLAND, WAARBIJ ENKELE STUWWALLEN (O.A. VELUWE, UTRECHTSE HEUVELRUG EN DE HOLTERBERG) OPVALLEN VANWEGE EEN GEBREK AAN AFVATERING VIA HET OPPERVLAKTEWATER (BRON: TOP10NL).

De verblijftijd en de dynamiek van de afvoer van stuwwallen zijn sterk afhankelijk van de eigenschappen van de ondergrond. Een moeilijkheid bij stuwwallen is dat de ondergrond lokaal sterk kan verschillen, omdat het bestaat uit gestuwd materiaal (voornamelijk zand, grind en klei), waarin lokaal ook (hellende) keileemlagen kunnen voorkomen. Vanwege deze variabiliteit zijn er in systemen zoals REGIS geen hydrologische eigenschappen van stuwwallen beschikbaar gemaakt.

De verblijftijd in stuwwallen is relatief groot, door de dikte van het systeem (

Tabel 4-1), hoewel deze voor verschillende stuwwallen sterk kan afwijken. Ook is de dynamiek van het grondwater relatief laag (Tabel 4-2), wat vooral te maken heeft met de grote afstand tussen beken of andere afwatering. De totale dynamiek zal nog veel lager zijn, omdat in deze hooggelegen gebieden de grondwaterstanden doorgaans ver onder het maaiveld liggen (behalve bij schijnspiegels). Hierdoor worden de pieken in grondwateraanvulling sterk afgezwakt, en zal de afvoer constant over het jaar plaatsvinden.

TABEL 4-1. INSCHATTING ORDEGROOTTE VERBLIJFTIJDEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (WOSTEN *ET AL.*, 2001; TNO, 2009).

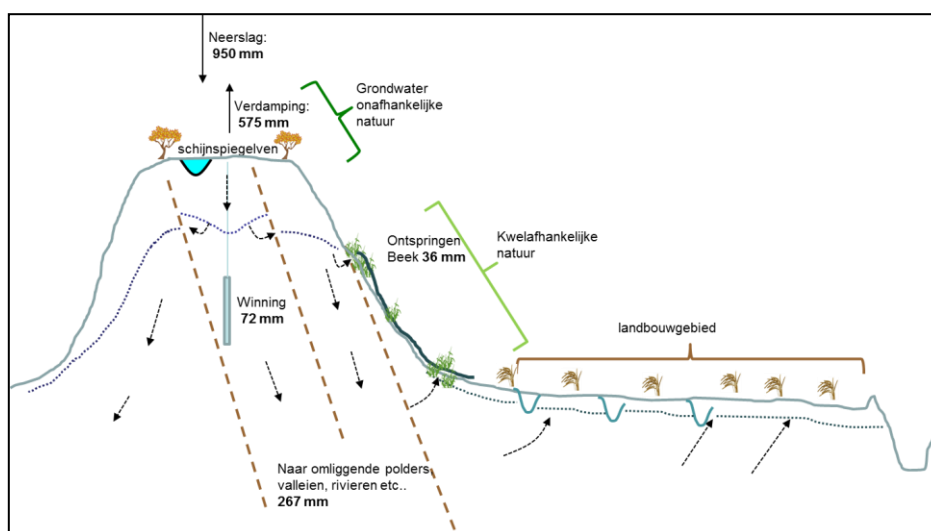
Stuwwal	Gemiddelde	Minimum	Maximum
---------	------------	---------	---------

D (m)	50	25	100
n_e (-)	0,35	0,3	0,41
R (m j ⁻¹)	0,350	0,106	0,448
t_r (j)	50	17	387

TABEL 4-2. INSCHATTING ORDEGROOTTE RESERVOIRCOEFFICIENTEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (VAN DRECHT, 1986; WERKGROEP_HERZIENING_CULTUURTECHNISCH_VADEMECUM, 1988; TNO, 2009) EN TABEL 2-2.

Stuwwal	Gemiddelde	Minimum	Maximum
μ (-)	0,3	0,05	0,3
L (m)	10000	1000	10000
k (m d ⁻¹)	30	1	30
D (m)	50	25	100
j (d)	2026	1,7	121585

In de literatuur worden deze eigenschappen vooral beschreven voor de Veluwe. Figuur 4-3 illustreert de waterbalans van dit gebied. Op de Veluwe kunnen de onverzadigde zones tot wel 40 m dik worden, waardoor de grondwateraanvulling constant is over het jaar (Gehrels et al., 1994). Slechts een klein deel van de jaarlijkse grondwateraanvulling komt lokaal in beken tot afvoer, een groter deel stroomt naar omliggende lage gebieden en het regionale systeem. Voor de Veluwe worden j waarden van 1000-2000 dagen genoemd (Bot, 2016), wat betekent dat de dynamiek laag is. Voor andere stuwwalsystemen kunnen deze waarden sterk verschillen, omdat deze vaak kleiner zijn, en daarnaast kan de ondergrond uit ander materiaal bestaan.



FIGUUR 4-3. GLOBALE WATERBALANS OP JAARBASIS VOOR DE VELUWE (125.000 HA), GETALLEN ZIJN GEBASEERD OP EXPERTDIALOG DE VELUWE, STROMINGEN 29 (2014), NUMMER 3.

In het Veluwesysteem liggen circa 27 beeksystemen (bron: Giskaart provinciale atlas Gelderland). Dit betekent dat de beken gemiddeld 1-2 Mm³ water per jaar afvoeren.

4.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem

Onderstaande is overgenomen van www.natuurkennis.nl. Op stuwwallen, zoals de Veluwe, is de grondwaterstand zo diep dat alleen een droge heide- of bosvegetatie kan ontstaan, gedomineerd door struikheide. Uitzonderingen vormen plekken waar zich in de podzolgronden humuslagen en ijzerlagen hebben gevormd die slecht doorlatend zijn. Hier kan een schijnwaterspiegel ontstaan, met vennen en een natte heidevegetatie. Deze gebieden zijn niet afhankelijk van het grondwater.

Daar waar het grondwater uittreedt (kwelstroming), meestal op de flanken van de stuwwal, ontstaan natte natuurgebieden, zoals bv. het Tongerense veen bij Epe. Deze kwelafhankelijke natuurgebieden zijn door hun geringe omvang vaak erg kwetsbaar voor veranderingen in zowel grondwaterstand als in kwelintensiteit. Ook zijn deze vegetatietypen gevoelig voor veranderingen in waterkwaliteit door verzuring en eutrofiering (toename van stikstof of fosfaat).

Van grote natuurwaarde zijn ook de beken die ontspringen aan de voet van stuwwallen. Het merendeel van deze beken is grotendeels kunstmatig aangelegd: het zijn zogenaamde sprengbeken die in vroeger tijden in de stuwwal zijn gegraven om grondwater aan te boren. Het water werd gebruikt voor het aandrijven van watermolens (graanmolens, oliemolens, papiermolens), voor het gebruik in wasserijen en voor de fabricage van papier. Veel planten groeien er doorgaans niet in deze door koel grondwater gevoede beken. Ze ontlelen hun natuurwaarde dan ook meestal aan de bijzondere macrofauna, hoewel ook andere organismen zoals Beekjuffer, Beekprik, Bronkruid en Ijsvogel van grote waarde zijn. De sprengen hebben te lijden onder daling van de grondwaterstand. De oorsprong van een spreng (de sprengkop) valt droog en de afvoer neemt af. De lagere afvoer veroorzaakt schommelingen in de temperatuur en het zuurstofgehalte van het oppervlaktewater, wat ongunstig is voor de soortensamenstelling.

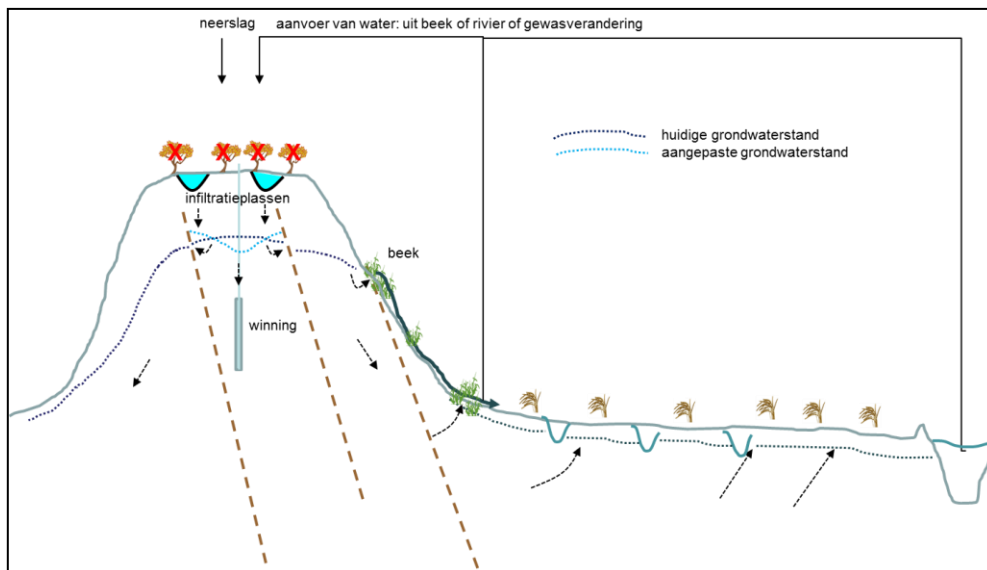
4.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning

4.4.1 Infiltratie in de onverzadigde zone en grondwateronttrekking

Door de relatief lange verblijftijd en doorgaans lage dynamiek zijn stuwwallen geschikt voor de winning van drinkwater. Bij veel stuwwallen wordt dan ook reeds grondwater gewonnen. Het winnen van grondwater heeft tot gevolg dat kwel in de omgeving vermindert, wat gevolgen kan hebben voor de daar aanwezige kwelafhankelijke natuur. Door water van elders te infiltreren kan dit effect voorkomen worden.

Veel stuwwallen lenen zich goed voor infiltratie van water middels plassen, doordat er een tot tientallen meters dikke onverzadigde zone aanwezig is. Hierin kan water in tijden van overschot wegzakken en treedt ook een tijdverschuiving op tussen het moment van infiltratie en het moment waarop het water werkelijk de grondwaterstand verhoogt. Infiltratie kan dienen als mitigatiemaatregel voor de effecten van een grondwaterwinning, maar kan ook de beschikbare hoeveelheid grondwater vergroten of bijdragen aan kwelherstel aan de randen. Zowel voor waterwinning als natuur is een goede kwaliteit infiltratiewater van belang. Overigens biedt de infiltratie van basenrijk, niet al te voedselrijk water ook kansen voor de ontwikkeling van basenminnende kwelgevoede natuur. Voorbeelden daarvan vinden we o.a. in de kalkmoerassen in het Buitengoor (Mol, België) en de Groote Moost (Limburg), waar vanuit hooggelegen kanalen basenrijk water opkwelt in voorheen zuurdere natte laagten.

De toepassing van infiltratie op stuwwallen is niet nieuw, een voorbeeld hiervan is de winning Epe op de Veluwe.



FIGUUR 4-4. GRONDWATERSYSTEEM STUWWAL MET GRONDWATERONTTREKKING EN EXTRA INFILTRATIE UIT OPPERVLAKTewater OF VERMINDERDE GEWASVERDAMPING

Waterbronnen en hoeveelheden:

- Voorgezuiverd rivierwater. Deze optie is in het verleden al geopperd en nader onderzocht, maar levert veel vragen op over de beïnvloeding van de waterkwaliteit van het grondwater en het uiteindelijke effect op de ecologie en de beken.
- Beekwater. Afvoeren van beken worden bijna niet gemeten. De beken op de Veluwe voeren naar schatting 1-2 Mm³/jaar af. De hoeveelheid van een gemiddeld beekstelsel komt overeen met een kleinschalige winning ten behoeve van drinkwater. Wel kan zijn dat een beek in een warme zomer droogvalt, maar gezien de infiltratietijd door de onverzadigde zone is de verwachting dat een tijdelijke onderbreking van infiltratie bovenop de stuwwal niet tot een negatief effect leidt.

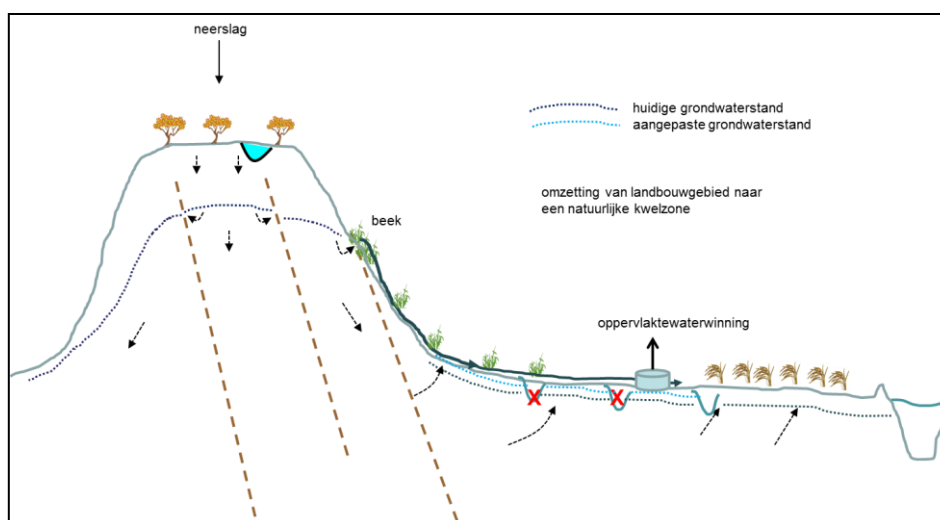
Omvormen van gewas. Het omvormen van droge bossen naar stuifzand of heide of van naaldbos naar loofbos zorgt voor een forse reductie van de verdamping en daarmee toename van de grondwateraanvulling. Bovendien wordt minder droge depositie ingevangen, wat beter is voor de grondwaterkwaliteit. Door de locatiekeuze voor ontwikkeling van deze habitats te koppelen aan de locatiekeuze van grondwaterwinningen kan de winbare hoeveelheid gericht worden vergroot in combinatie met ontwikkeling van waardevolle natuurtypen. Aandachtspunten:

- Kwaliteit van infiltratiewater;
- Infrastructuur en energie voor verpompen en eventueel zuivering van waterbron
- Landschapsbeleving
- Onderhoud infiltratiebekkens (baggeren e.d.)

Deze toepassing biedt op locaties met voldoende onverzadigde zone een potentie zo groot als de beschikbaarheid van kwalitatief voldoende infiltratiewater.

4.4.2 Kwelwater aan de voet van de stuwwal en oppervlaktewaterwinning

Op veel plekken treedt sterke kwel op aan de voet van de stuwwal. Deze gebieden zijn meestal in agrarisch gebruik of zijn in gebruik als stedelijk gebied en worden intensief ontwaterd. Zowel voor waterwinning, als voor natuur valt er veel winst te halen als landbouwgronden in deze zone worden omgevormd naar natuur of milieuvriendelijke landbouw (b.v. concept “boeren voor natuur”). Daarmee ontstaan ‘schoonwaterzones’ met kansen voor kwelgevoede natuur en waar wordt voorkomen dat het opgekwalde water wordt vervuild met meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Dit water zou middels oppervlaktewaterwinning gewonnen kunnen worden uit de beken of sloten, die een constante kwelstroom ontvangen.



FIGUUR 4-5. GRONDWATERSYSTEEM STUWWAL MET NIET-ONTWATERDE KWELZONE EN OPPERVLAKEWATERWINNING AAN HET EIND VAN HET SYSTEEM

Waterbron en hoeveelheden:

De waterbron is het water dat in de schoonwatervallei en stroomopwaarts van de schoonwatervallei uittreedt richting de beek. De beschikbare hoeveelheden zijn sterk afhankelijk van de kwelflux. Tabel 4-3 geeft enkele scenario's weer. Aanvullend aan de kwel en het neerslagoverschot kan er ook nog aanvoer zijn vanuit een beek die vanaf de stuwwal stroomt.

TABEL 4-3. BESCHIKBARE FLUXEN EN HOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE SCENARIO'S

Kwelintensiteit (mm/j)	R (mm/j)	Afstromend water (m ³ /ha/j)	Aantal ha nodig voor winning 1 Mm ³ /j
200	350	5500	182
300	350	6500	154
400	350	7500	133
500	350	8500	118

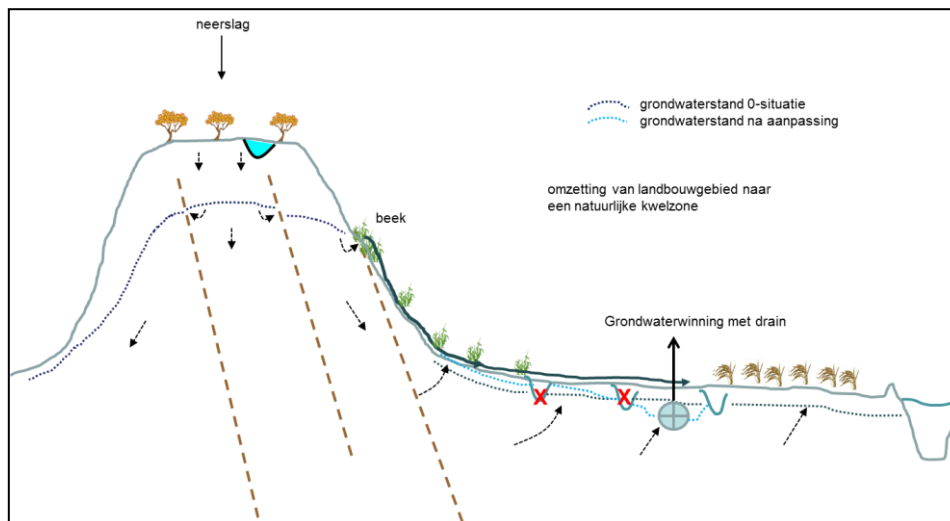
Aandachtspunten:

- Gebruik (en wellicht bezit en/of aankoop) van gronden langs de stuwwal is nodig.
- Waterkwaliteit van het bronwater is zeer kwetsbaar voor invloeden vanaf het maaiveld (denk aan recreatie, verontreinigingen etc.). Voor drinkwaterbedrijven geldt dat de kwaliteit van het water betrouwbaar moet zijn. Aanvullende zuivering voor calamiteiten is duur en daarom een zeer ongewenst risico vanuit het drinkwaterbelang
- Beek valt mogelijk in zomer droog. In dat geval kan het gewonnen water in de winter wel gebruikt worden, ofwel voor de bereiding van drinkwater ofwel voor opslag in bodem (bv. onverzadigde zone op stuwwal)
- De stroomafwaarts gelegen landbouw is mogelijk afhankelijk van dit water. Voor de landbouw zal minder water beschikbaar komen.
- Nalevering van meststoffen en milieuvreemde stoffen (pesticiden) – het duurt een periode voordat een schoonwatervallei bruikbaar is voor waterwinning.

Deze toepassing biedt kansen in gebieden waar een sterke kwelstroming heerst, de bovenloop geheel in een natuurgebied ligt en op de flanken een hoogwaardige natuuropgave ligt.

4.4.3 Kwelwater aan de voet van de stuwwal en drainage

Een aanpassing op concept 2 is om het water (middels een drainagebuis) stroomopwaarts te winnen van de landbouwpercelen (waar het grondwaterpeil door de landbouwsloten bepaald wordt). De bedoeling is om het grondwater dat richting het landbouwareaal uittreedt af te vangen, opdat het water zo lang mogelijk beschikbaar blijft voor de natuur, het kwelwater ongemengd kan worden ingenomen en met minimale verlagingseffecten. Ten opzichte van scenario 2 zal de grondwaterstand iets stroomopwaarts van het landbouwgebied al verlaagd worden.



FIGUUR 4-6. GRONDWATERSYSTEEM STUWWAL MET NIET-ONTWATERDE KWELZONE EN OPPERVLAKTEWATERWINNING AAN HET EIND VAN HET SYSTEEM

Waterbron en hoeveelheden:

De waterbron is het water dat ter plaatse van de drainagebuis als neerslag valt en opkwelt. Uitgaande van een afstand van 100 m tussen de sloten is een globale inschatting gemaakt voor de winbare hoeveelheid.

TABEL 4-4. BENODIGDE LENGTE DRAINAGEBUIJS VOOR VERSCHILLENDE KWELSCENARIOS.

Kwelintensiteit (mm/j)	R (mm/j)	Lengte drainagebuis (km) om 1 Mm ³ /j te winnen
200	350	18
300	350	15
400	350	13
500	350	12

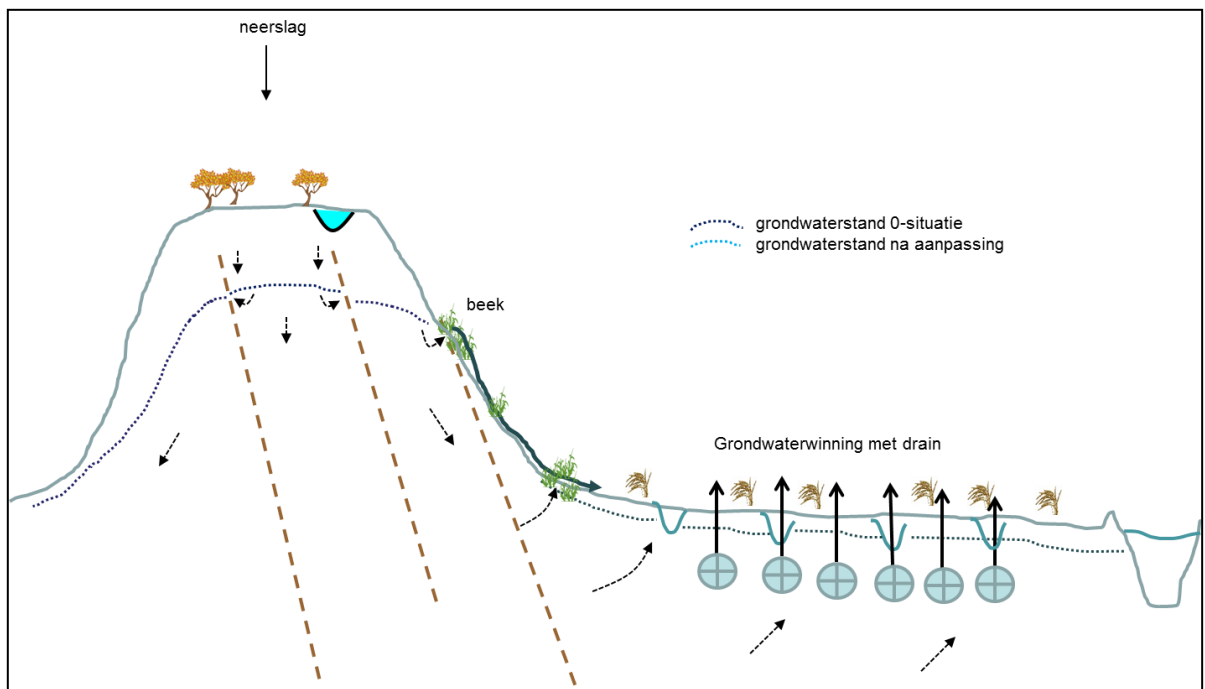
Aandachtspunten:

- Gebruik en eventueel bezit en/of aankoop van gronden langs de stuwwal is nodig.
- Waterkwaliteit van het bronwater is zeer kwetsbaar voor invloeden vanaf het maaiveld (denk aan recreatie, verontreinigingen etc.).
- De stroomafwaarts gelegen landbouw is mogelijk afhankelijk van dit water. Voor de landbouw zal minder water beschikbaar komen.

Gezien de geringe wateropbrengst per km drainagebuis is de verwachting dat het leggen van een enkele drainagebuis langs de flanken van een stuwwal in combinatie met grondwaterafhankelijke natuurontwikkeling geen waterhoeveelheden oplevert die aan de uitgangspunten van een waterwinning voldoen.

4.4.4 Kwelwater onder landbouwgronden en drainage

Een aanpassing op concept 3 is om de drainagebuizen niet naast en/of onder de natuurzone te leggen maar onder het landbouwgebied.



FIGUUR 4-7. GRONDWATERSYSTEEM STUWWAL MET WINNING UIT DRAINS ONDER LANDBOUWGEBIED AAN DE VOET VAN DE STUWWAL

Waterbron en hoeveelheden:

De waterbron is het water dat ter plaatse van de drainagebuizen opkwelt. Om te voorkomen dat water infiltreert van het landbouwgebied is het van belang dat overal in het gedraineerde gebied (ter plaatse van de drainagebuizen en er tussenin) een kwelflux beschikbaar blijft gedurende het hele jaar. Dit betekent dat de filters van de grondwaterputten op voldoende diepte moeten liggen en dat het debiet mogelijk zal moeten worden bijgesteld.

Aandachtspunten:

- Een voorwaarde is dat gedurende het hele jaar een kwelflux optreedt en voldoende hoog is (ook in droge of juist natte perioden);
- De stijghoogte zakt ter plaatse van de drainagebuizen verder uit dan tussen de drainagebuizen in. Voorwaarde is dat overal op het terrein de kwelflux niet omslaat in een infiltratieflux.
- Als de kwelflux toch omslaat in een infiltratieflux, dan bestaan de volgende risico's:
 - Beïnvloeding van de waterkwaliteit van het bronwater door landbouwinvloeden
 - Grondwaterwinningen hebben de eis dat water minimaal 60 dagen onderweg moet zijn in de ondergrond om bacteriële besmetting te voorkomen. Aan deze eis kan dan wellicht niet voldaan worden.
- De winbare hoeveelheid water is afhankelijk van de kwelflux. Indien de kwelflux verandert door externe oorzaken dan zal het winbare debiet bijgesteld moeten worden;
- De afwatering door het oppervlaktewatersysteem zal afnemen, mogelijk heeft dit invloed op het landbouwgebied of andere stroomafwaarts gelegen functies.

Gezien de risico's en de naar verwachting dichte vermazing van drainagebuizen biedt dit winconcept alleen kansen in gebieden met een sterke (ongewenste) kweldruk, zoals landbouwgebied of stedelijk gebied.

TABEL 5-1. OPPERVLAKTEN EN NEERSLAGOVERSCHOTTEN (BIJ AANNAME VAN GRONDWATERAANVULLING VAN 163 MM/J).

	Opp. (ha)	Totaal neerslagoverschot (Mm3/j)
Fochtelooverveen	2600	4,2
Bargerveen	2000	3,3
Grote Peel	1333	2,2
Korenburgerveen	509	0,8

5.2 Watersysteem

De overgebleven (restanten) van hoogveensystemen zijn relatief klein en dun. Door de geringe grondwataeraanvulling is de verblijftijd minder kort dan verwacht zou worden op basis van de dikte. De dynamiek van de afvoer kan hoog zijn (j van enkele dagen), omdat het 'hummock-hollow' systeem (lokale bulten en dalen) zorgt voor zeer snelle afvoer van overtollig regenwater. De onverzadigde zone is daarnaast zeer dun, waardoor neerslagwater vrijwel direct tot grondwataeraanvulling leidt. Dit betekent dat de afvoer vanuit hoogveengebieden sterk kan variëren over de tijd, niet alleen per seizoen, maar ook per bui.

TABEL 5-2. INSCHATTING ORDEGROOTTE VERBLIJFTIJDEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (WESSELINGH; STREEFKERK & CASPARIE, 1989; WOSTEN *ET AL.*, 2001).

Hoogveen	Gemiddelde	Minimum	Maximum
D (m)	3	0,5	10
n_e (-)	0,8	0,53	0,9
R (m j ⁻¹)	0,163	0,163	0,163
t_r (j)	15	1,6	55

TABEL 5-3. INSCHATTING ORDEGROOTTE RESERVOIRCOEFFICIENTEN VOOR DEKZAND BIJ VERSCHILLENDE PARAMETERWAARDEN (BODEMEIGENSCHAPPEN OP BASIS VAN (WESSELINGH) EN TABEL 2-2.

Hoogveen	Gemiddelde	Minimum	Maximum
μ (-)	0,1	0,1	0,1
L (m)	5	2	8
k (m d ⁻¹)	0,01	0,005	0,1
D (m)	3	0,5	10
j (d)	8	0,041	259

5.3 Natuur in relatie tot het hydrologische systeem

- Hoogveengebieden zijn per definitie gebieden waar op optimaal functioneren en natuurwaarde wordt gericht (het halen van helft doelen is geen optie): het zijn allemaal Natura2000 gebieden met (naar verwachting) een uitbreidingsdoel voor actief hoogveen.
- Hoogveengebieden zijn zeer gevoelig voor veranderingen in de hydrologie: ontwikkelingen zoals toename wegzijging, versnelde afvoer, extreme droogte zijn ongewenst.

5.4 Mogelijkheden en knelpunten voor waterwinning

Het overtollig water dat van een hoogveen afstroomt, kan opgevangen worden in een bekken en daarna worden gebruikt. Zo'n bekken dient zodanig ingericht en beheerd te worden, dat het geen drainerend effect op het veen heeft. Het surplus aan water kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld drinkwaterbereiding. Een voorbeeld van een bekken is aangelegd bij het Bargerveen. De bedoeling was het water te gebruiken voor de watervoorziening voor de glastuinbouw, maar die is in de regio niet tot ontwikkeling gekomen. Het bekken functioneert goed. Eventueel aandachtspunt is de mogelijk hoge concentratie aan opgeloste organische stof die wellicht vergaande zuivering vergt.

Een voorbeeld van een waterwinning in het hoogveengebied is de waterwinning van SPA in het gebied De Venen, België. Het gebied wordt al sinds 1889 beschermd en is sindsdien uitgegroeid tot een beschermd gebied van circa 13.000 ha. De waterbronnen zijn gesitueerd onder het hoogveensysteem. Voor de winning van SPA-water wordt alleen gebruik gemaakt van het neerslagoverschot, dat uit het hoogveensysteem beschikbaar komt.

- Bij hoogvenen is simpele grondwaterwinning schadelijk als die leidt tot toename van de wegzijging uit het veen en/of grondwaterstandsverlaging in het veen. Een uitzondering is als er een zeer slecht doorlatende laag onder zit en/of sprake is van een geheel onafhankelijk schijnspiegelsysteem. Maar dan is het hoogveen niet/nauwelijks de voeding voor de winning en is dus geen sprake van functiecombinatie.
- Oppervlaktewaterwinning kan wel, maar dit vergt infrastructuur om rondom het veen water af te vangen, tenzij:
 - o het veen al natuurlijke uitstroomopeningen heeft (komhoogveen, bv. Korenburgerveen) van waaruit een flinke beek ontspringt;
 - o het veen al kunstmatig omgrenst is met kaden en bekkens, zoals het huidige Bargerveen.
- Veenwater vergt kostbare nazuivering om humuszuren te verwijderen. Deze zuren kunnen overigens wel als bodemverbeteraar worden verkocht.
- Het infiltreren van het winterwater in de bodem (ASR-principe) bij bv. Fochteloërveen wordt niet haalbaar geacht zonder aanvullende zuivering. Dit vanwege risico's op verstopping door het veenwater.

5.4.1 Mogelijke effecten op andere functies

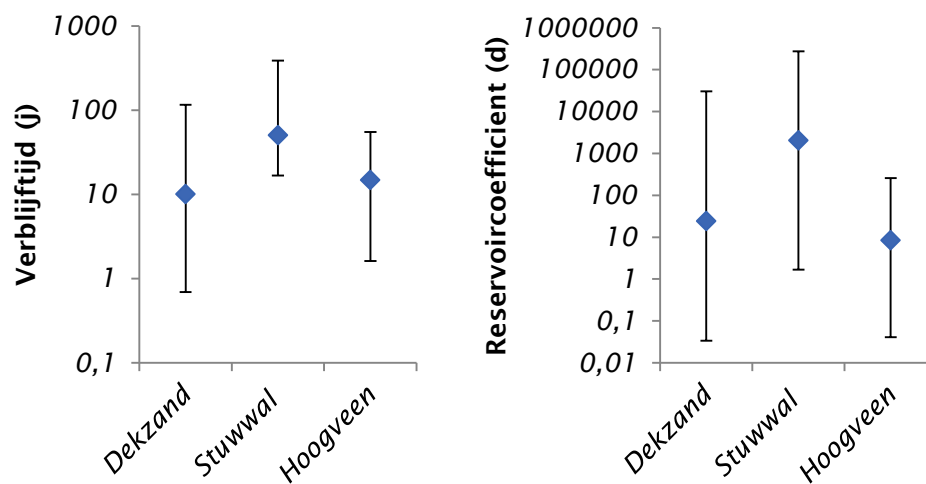
Indien alleen het water gewonnen wordt dat afstroomt uit het hoogveensysteem zal het effect van een winning op de omgeving beperkt zijn. Wel is het mogelijk dat dit water al voor andere doeleinden gebruikt wordt (afgevoerd wordt via het oppervlaktewater en bijvoorbeeld een doorspoelfunctie heeft of gebruikt wordt voor landbouw). In dat geval zal uitgezocht moeten worden of het afvangen van het water (voornamelijk van oktober t/m maart) tot problemen benedenstrooms leidt.

Gezien de beperkte grootte van hoogveensystemen, de beschikbaarheid van het water vooral in de winter en de kostbare nazuivering wordt functiecombinatie tussen hoogveen en drinkwaterwinning in Nederland niet als zeer kansrijk geacht.

6 Discussie en conclusies

De uitgewerkte voorbeelden zijn gebaseerd op theoretische gebieden, waar vrijelijk kan worden gekozen in de inrichting en zonering ten bate van drinkwaterwinning en natuur (en eventueel landbouw), een zogenaamde 'groene weide benadering'. In de Nederlandse praktijk zijn meestal zoveel gebruiksfuncties en belangen aanwezig, dat die vrijheid er – zeker voor de kortere termijn – niet is. Voor de langere termijn zouden gunstige varianten wel kunnen worden uitgewerkt naar een (lange termijn) gebiedsvisie, waar vervolgens in stappen naartoe gewerkt wordt. Zoiets vraagt om een gebiedsproces waarin met ieders belangen rekening wordt gehouden en knelpunten daarin worden opgelost.

De analyse heeft een schifting in meer en minder kansrijke varianten opgeleverd. Hierbij is rekening gehouden met de mogelijke beschikbaarheid van neerslagoverschot, de verblijftijd en de dynamiek (Figuur 6-1). Uit de analyse blijkt dat voor de systeemtypen beekdal en stuwwal enkele (denk)richtingen beschikbaar zijn van hoe natuur en waterwinning gecombineerd kunnen worden. Hierbij hebben stuwwalsystemen het voordeel van een relatief grote schaal, lange verblijftijden en relatief lage dynamiek. De grootste uitdaging bij de denkrichtingen is: hoe wordt het watertekort in de zomer overbrugd. Een vorm van berging van de winterse overschotten, aanvoer van infiltratiewater, zonering in het landschap of in de natuurwaarden zal nodig zijn om in beekdalen en stuwwalsystemen tot een winhoeveelheid te komen die interessant is voor drinkwaterwinning.



FIGUUR 6-1. VERGELIJKING VAN DE VERBLIJFTIJDEN (LINKS) EN DYNAMIEK (RECHTS) VAN DE VERSCHILLENDE TYPEN GEBIEDEN.

Daarnaast kan het voorkomen (vooral aan de voet van een stuwwal) dat er lokaal water teveel is (kweldruk), welke door het oppervlaktewatersysteem zoveel mogelijk wordt afgevoerd. Door dit af te vangen en te gebruiken worden meerdere doelen bediend: drooglegging, verminderde afvoer voor waterschap, en drinkwaterwinning). Dit concept wordt nu al in brakke polders met een hoge kweldruk onderzocht.

Winning van oppervlaktewater dat uit hoogveen afkomstig is, lijkt in Nederland minder kansrijk. De gebieden zijn hydrologisch gevoelig, het neerslagoverschot en de oppervlakte zijn gering, en -als de gebieden goed functioneren- stroomt het water diffuus langs de randen en vooral in de wintermaanden af.

Voor iedere locatie en iedere denkrichting zal maatwerk nodig zijn. Commitment en de wil om er samen iets van te maken vanuit de belangengroepen is daarom noodzakelijk. Daarvoor is een maatschappelijk proces nodig.

7 Literatuurverwijzing

- Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks.
- Anonymous (2011) *De Bosatlas van het klimaat*. Noordhoff Uitgevers bv & KNMI, Groningen, NL.
- Bot, B. (2016) *Gwz2016*. Bot, Rotterdam.
- Dolman, H., Moors, E., Elbers, J., Snijders, W. & Hamaker, P. (2000) Het waterverbruik van bossen in Nederland. In: Alterra, Wageningen.
- Feddes, R.A. (1987) Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration. *Evaporation and weather* (ed. by J.C. Hooghart), pp. 33-47. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague.
- Gehrels, J.C., van Geer, F.C. & de Vries, J.J. (1994) Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones. *Journal of Hydrology*, 157, 105-138.
- KNMI (2017) KNMI Klimatologie. In: KNMI, De Bilt.
- Kraijenhoff van de Leur, D. (1958) A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir coefficient. *De Ingenieur*, 70, 87-94.
- Kuijper, M.J.M., Hendriks, D.M.D., Dongen, R.J.J.v., Hommes, S., Waaijenberg, J. & Worm, B. (2012) Sturen op Basisafvoer.
- Runhaar, J., C.Maas, A.F.M. Meuleman en L.M.L. Zonneveld (1998). Handboek natuurherstel. NOV-rapport 9.2
- Schokker, J., de Lang, F.D., Weerts, H.J.T., den Otter, C. & Passchier, S. (2005) *Formatie van Bostel*. In: *Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond*. Available at: <https://www.dinoloket.nl> (accessed 2017).
- Spek, T., Kiljan, B., Verboom, B., Gerner, L., Moorman, J., van Aken, M., van Engelenburg, J., Meijer, R., Geertsema, W. & Steingröver, E. (2011) Wetenschappers en veldwerkers in Gelderland bespreken gevolgen klimaatverandering. *H 2 O*, 44, 13.
- Streefkerk, J. & Casparie, W. (1989) The hydrology of bog ecosystems: Guidelines for management. In: Staatsbosbeheer
- TNO (2009) *REGIS II v 2.1*. Available at: <http://www.dinoloket.nl> (accessed 2009)
- Van Drecht, G. (1986) De freatische bergingscoefficient en de grondwateraanvulling in het gebied van de Utrechts Heuvelrug. In: RIVM, Bilthoven.
- Werkgroep_Herziening_Cultuurtechnisch_Vademecum (1988) *Cultuurtechnisch vademecum*. Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.
- Wesselingh, F. *Geologie van Nederland: Veenlandschap*. Available at: <http://www.geologievannederland.nl> (accessed 2017).
- Witte, J.P.M., Aggenbach, C.J.S. & Runhaar, J. (2007) Grondwater voor Natuur. In Lieste et al., 2007: Beoordeling van de grondwatertoestand op basis van de Kaderrichtlijn Water. . In: RIVM, Bilthoven.
- Wosten, J.H.M., Veerman, G.J., De Groot, W.J.M. & Stolte, J. (2001) Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. In: Alterra, Wageningen.