



Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma

Kansen voor waterconservering in regionale stroomgebieden

Alterra-rapport 2287
ISSN 1566-7197

H.Th.L. Massop, C. Kwakernaak en P.J.T. van Bakel

Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het project K-NLP-055 - Ondersteuning Deltaprogramma
Projectcode BO-11-015-012)

Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma

Kansen voor waterconservering in regionale stroomgebieden

H.Th.L. Massop¹
C. Kwakernaak¹
P.J.T. van Bakel²

- 1 Alterra
- 2 De Bakelse Stroom

Alterra-rapport 2287

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

Massop, H.Th.L., C. Kwakernaak en P.J.T. van Bakel, 2012. *Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma. Kansen voor waterconservering in regionale stroomgebieden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2287. 34 blz.; 12 fig.; 3 tab.; 9 ref.

Door klimaatverandering zal de beschikbaarheid van voldoende zoetwater verminderen. Dit rapport gaat in op de vraag welke kansen er in verschillende regio's zijn om overschot aan regenwater tijdelijk te conserveren in de bodem en in het regionaal oppervlaktewatersysteem om deze voorraad te kunnen benutten in tijden van watertekort. In kaartbeelden wordt weergegeven waar waterconservering in regionale stroomgebieden kansrijk is. Daarmee ontstaat inzicht in de mate waarin en de wijze waarop regionale stroomgebieden zelfvoorzienend kunnen worden, dus onafhankelijk van de aanvoer van gebiedsvreemd water. Ook geeft het rapport een overzicht van mogelijke maatregelen voor waterconservering.

Trefwoorden: Deltaprogramma, zoetwater, waterconservering, watertekort, klimaatverandering, zoetwater zelfvoorziening.

ISSN 1566-7197

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

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

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

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

Alterra-rapport 2287

Wageningen, februari 2012

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding en scope	9
1.2 Achtergrond en toepassing	9
1.3 Scope van het rapport	10
2 Basiskaarten voor waterconservering	11
2.1 Basisgegevens en rekeninstrumentarium	11
2.2 Basiskaarten voor waterconservering in de bodem	11
2.2.1 Bodemberging	11
2.2.2 Kwel en wegzijging	13
2.2.3 Spreidingslengte	14
2.3 Basiskaarten voor waterconservering in het oppervlaktewater	15
2.3.1 Berging in oppervlaktewater	15
2.3.2 Beheersbaarheid	16
3 Kansrijkdom voor waterconservering	21
3.1 Waterconservering in de bodem	21
3.2 Waterconservering in oppervlaktewater	23
3.3 Integrale waterconserveringskaart	26
4 Maatregelen voor waterconservering	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Onverzadigde zone	27
4.3 Grondwatersysteem	27
4.4 Ontwateringssysteem	28
4.4.1 Overdegrondse ontwatering	28
4.4.2 Doordegrondse ontwatering	29
4.4.3 Stroming en berging in de ontwateringsmiddelen	30
4.5 Afwateringssysteem	30
4.6 Samenvattende tabel	31
Literatuur	33

Samenvatting

Door klimaatverandering verdampt er meer water en neemt mogelijk de neerslag in het groeiseizoen af. Ook zal er sprake zijn van verzilting van grondwater en oppervlaktewater, veroorzaakt door een combinatie van zeespiegelstijging en afnemende laagwaterafvoeren in de grote rivieren. Kortom, de vraag naar zoetwater neemt toe om de stijgende verdampingsverliezen te compenseren, en de beschikbaarheid van zoet water neemt af. Mogelijke maatregelen om de beschikbaarheid van voldoende zoet water op peil te houden worden voorbereid in het Deltaprogramma Zoetwater. In 2014 wordt een zogenoemde Deltabeslissing genomen over een nieuwe strategie voor de zoetwatervoorziening in Nederland. Hoofdsporen van de nieuwe strategie zijn dat regio's zelf meer in hun behoefte aan zoet water gaan voorzien en dat het zoete water optimaal over het hoofdwatersysteem en de regionale watersystemen wordt verdeeld. Dit rapport gaat in op de vraag welke kansen er in verschillende regio's zijn om een overschot aan regenwater tijdelijk op te slaan in de bodem en het regionaal oppervlaktewatersysteem om deze voorraad in de regio te kunnen benutten in droge tijden. Deze tijdelijke opslag voor latere benutting wordt in dit rapport verder aangeduid als 'waterconservering'.

Om de kansrijkdom voor waterconservering in verschillende gebieden te bepalen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van karteerbare fysieke eigenschappen van bodem en water. De hoeveelheid water die in de bodem kan worden geborgen (de bodemberging) wordt bepaald door de dikte van de bodemlaag tussen het maaiveld en de gemiddelde grondwaterstand in het voorjaar, rekening houdend met de bodemeigenschappen. Of de bodemberging ook daadwerkelijk benut kan worden voor het vasthouden van water in de bodem (waterconservering) hangt af van de mate waarin het grondwater lateraal of verticaal kan wegstromen naar de omgeving. Door het volume aan bodemberging te combineren met de mate van kwel of wegzijging en de mate van lateraal wegstromen van grondwater via het watervoerend pakket (aangeduid met de term 'spreidingslengte') kon een kaart van de kansrijkdom voor waterconservering in de bodem worden gemaakt, met uitzondering van Zuid-Limburg. Een grote bodembergingscapaciteit, in combinatie met de aanwezigheid van kwel en een geringe spreidingslengte (een maat voor de hoeveelheid water die naar de omgeving weglekt via een watervoerend pakket), is gunstig voor de kansrijkdom voor waterconservering.

Het bergend vermogen van regionale oppervlaktewaterstelsels wordt bepaald door het areaal aan oppervlaktewateren binnen een gebied in combinatie met de afstand tussen de waterspiegel en het maximale niveau tot waar het waterpeil kan worden verhoogd, rekening houdend met de functie van het gebied. Deze potentiële bergingscapaciteit kan alleen benut worden voor waterconservering als ook daadwerkelijk de waterstand tijdelijk tot het maximaal toelaatbare peil mag worden opgezet en wanneer het water in de watergangen met stuwbeheer beïnvloed kan worden. In Laag-Nederland zijn nagenoeg alle watergangen door de vlakke ligging van het gebied met stuwen beheersbaar, in waterlopen in de hellende gebieden van Hoog-Nederland is dat slechts gedeeltelijk het geval. Omdat nog niet alle waterschappen bruikbare kaartinformatie konden verschaffen over de ligging van al hun stuwen en het beïnvloedbaar areaal per stuw, is hiervoor gebruik gemaakt van informatie uit het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI).

Vervolgens is een integrale waterconserveringskaart voor Nederland samengesteld. Hierin zijn de kanskaarten voor waterconservering in de bodem en oppervlaktewateren geïntegreerd en gewogen op basis van de bergingsmogelijkheden in de bodem en in de oppervlaktewaterstelsels. In deze kaart zijn het berekend volume aan bodemberging (in mm) en de kansrijkdom om die bodemberging ook te kunnen gebruiken, gesommeerd met het volume aan potentiële berging (in mm) in het oppervlaktewater en de kansrijkdom om deze oppervlaktewaterberging te benutten. Dit leverde de integrale kanskaart voor waterconservering in bodem en oppervlaktewater op.

Tenslotte is met behulp van expertkennis een tabel samengesteld met maatregelen die in verschillende typen gebieden kunnen worden getroffen om de kansen voor waterconservering in de bodem en in oppervlaktewateren te verzilveren.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en scope

Op grond van de klimaatscenario's van het KNMI (KNMI, 2006) wordt verwacht dat er door klimaatverandering meer water in het groeiseizoen verdampt door hogere temperaturen, terwijl bij bepaalde klimaatscenario's de neerslag in het groeiseizoen afneemt. Bij het extreme klimaatscenario W+ neemt de verdamping in 2050 met 16% toe, terwijl de zomerneerslag met 20% vermindert (Deltaprogramma Deelprogramma Zoetwater, 2011). Dit leidt ertoe dat, zeker bij scenario W+, het neerslagtekort in de zomer fors kan toenemen, waardoor de grondwaterstanden in de zomer met enkele decimeters kunnen dalen. Ook is er sprake van verzilting van grondwater en oppervlaktewater, veroorzaakt door een combinatie van zeespiegelstijging en dalende laagwaterafvoeren in de grote rivieren. Kortom, de vraag naar zoet water zal toenemen om de stijgende verdampingsverliezen te compenseren, en de beschikbaarheid van zoet water zal afnemen.

Mogelijke maatregelen om de beschikbaarheid van voldoende zoet water op peil te houden worden voorbereid in het Deltaprogramma Zoetwater (Deltaprogramma 2012). In 2014 wordt een zogenoemde Deltabeslissing getroffen over een nieuwe strategie voor de zoetwatervoorziening in Nederland. Hoofdsporen van de nieuwe strategie zijn dat regio's zelf meer in hun behoefte aan zoet water gaan voorzien en dat het zoete water optimaal over het hoofdwatersysteem en de regionale watersystemen wordt verdeeld.

Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), mede verantwoordelijk voor het Deltaprogramma, heeft behoefte aan een landsdekkende kaart waarin de fysieke eigenschappen van bodem en water in Nederland zijn vertaald naar de mate waarin de bodem en oppervlaktewaterstelsels beter kunnen worden benut om het bestaand en toenemend zoetwatertekort in Nederland te verminderen. Die kaartinformatie, aangeduid als de 'Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma', kan ingezet worden in het Deltaprogramma, vooral bij de oplossingsstrategieën voor de zoetwateropgaven. Daartoe heeft het ministerie van EL&I opdracht gegeven aan Alterra om deze Fysieke onderlegger samen te stellen in de vorm van kaartbeelden met toelichtende tekst. Dit rapport geeft de resultaten van dit onderzoek weer.

1.2 Achtergrond en toepassing

De ideeën voor een fysieke onderlegger bouwen voort op een eerder door Alterra uitgevoerde verkenning naar de kansrijkdom van gebieden in Nederland om meer water vast te houden en te bergen voor piekreductie bij zeer natte omstandigheden, dan wel vast te houden en te conserveren voor compensatie van neerslagtekorten (Van der Gaast et al., 2002). Deze verkenning was uitgevoerd ter voorbereiding van het Tweede Structuurschema Groene Ruimte (SGR-2). De kaarten uit dat rapport geven de potenties weer die gebieden hebben om een bijdrage te leveren aan de wateropgaven. Deze potenties waren niet gekwantificeerd naar bergingsvolumes die gerealiseerd zouden kunnen worden.

In het project 'Fysieke onderlegger voor het Deltaprogramma' kon de benutbare bergingsruimte voor waterconservering in de bodem en in regionale oppervlaktewatersystemen worden berekend door gebruik te maken van inmiddels verkregen nieuwe kennis en basisgegevens, die in het onderzoek voor het SGR-2 nog niet beschikbaar waren. Dit levert een belangrijke meerwaarde op omdat dit ook een berekeningsbasis vormt voor bepaling van de effectiviteit van deltamaatregelen om de zoetwateropgaven uit het Deltaprogramma te kunnen realiseren met waterconservering in regionale (stroom)gebieden. Een dergelijke decentrale aanpak (via

maatregelen ‘in de haarvaten’ van waterstelsels) kan als strategie in het Deltaprogramma op (kosten)effectiviteit worden vergeleken met een centrale aanpak, waarin de zoetwateropgaven wordt opgelost met maatregelen in het hoofdwatersysteem (IJsselmeer, grote rivieren, Zeeuwse delta).

1.3 Scope van het rapport

Het rapport geeft antwoord op de vraag hoe kansrijk verschillende regio’s zijn om gebiedseigen water tijdelijk vast te houden in de bodem en het regionaal oppervlaktewatersysteem in tijden van neerslagoverschot, om deze voorraad in de regio te kunnen benutten in perioden met een tekort aan water. Het rapport eindigt met een overzicht van mogelijke maatregelen voor waterconservering in de bodem en in oppervlaktewateren.

Bij de beoordeling van de kansrijkdom is hier uitsluitend uitgegaan van de fysieke gesteldheid van bodems en waterlopen. De maatschappelijke en economische effecten van waterconserverende maatregelen zijn in deze studie niet onderzocht, maar bepalen in belangrijke mate de haalbaarheid van waterconservering. Wel is bij de bepaling van de mogelijkheden voor waterconservering in het oppervlaktewater rekening gehouden met een minimale drooglegging in het voorjaar die nog voor de landbouw acceptabel is.

In het waterbeheer bestaat er onduidelijkheid over het begrip ‘water vasthouden’. Je kunt water kortstondig vasthouden om daardoor de piekafvoeren te reduceren. Dit is het ‘vasthouden’ in de trits *vasthouden - bergen - afvoeren* zoals gebruikt door de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (2000). Je kunt ook water vasthouden om daardoor meer water beschikbaar te hebben voor het groeiseizoen. Dit past bij de trits *vasthouden – bergen - aanvoeren*. Deze laatste vorm van ‘water vasthouden’ staat in dit rapport centraal en wordt verder aangeduid als ‘waterconservering’.

Er zit spanning tussen beide vormen van ‘vasthouden’. Water vasthouden in de tweede trits betekent minder berging in de bodem en dus minder mogelijkheden om water kortstondig vast te houden met het oog op reductie van piekafvoeren.

2 Basiskaarten voor waterconservering

2.1 Basisgegevens en rekeninstrumentarium

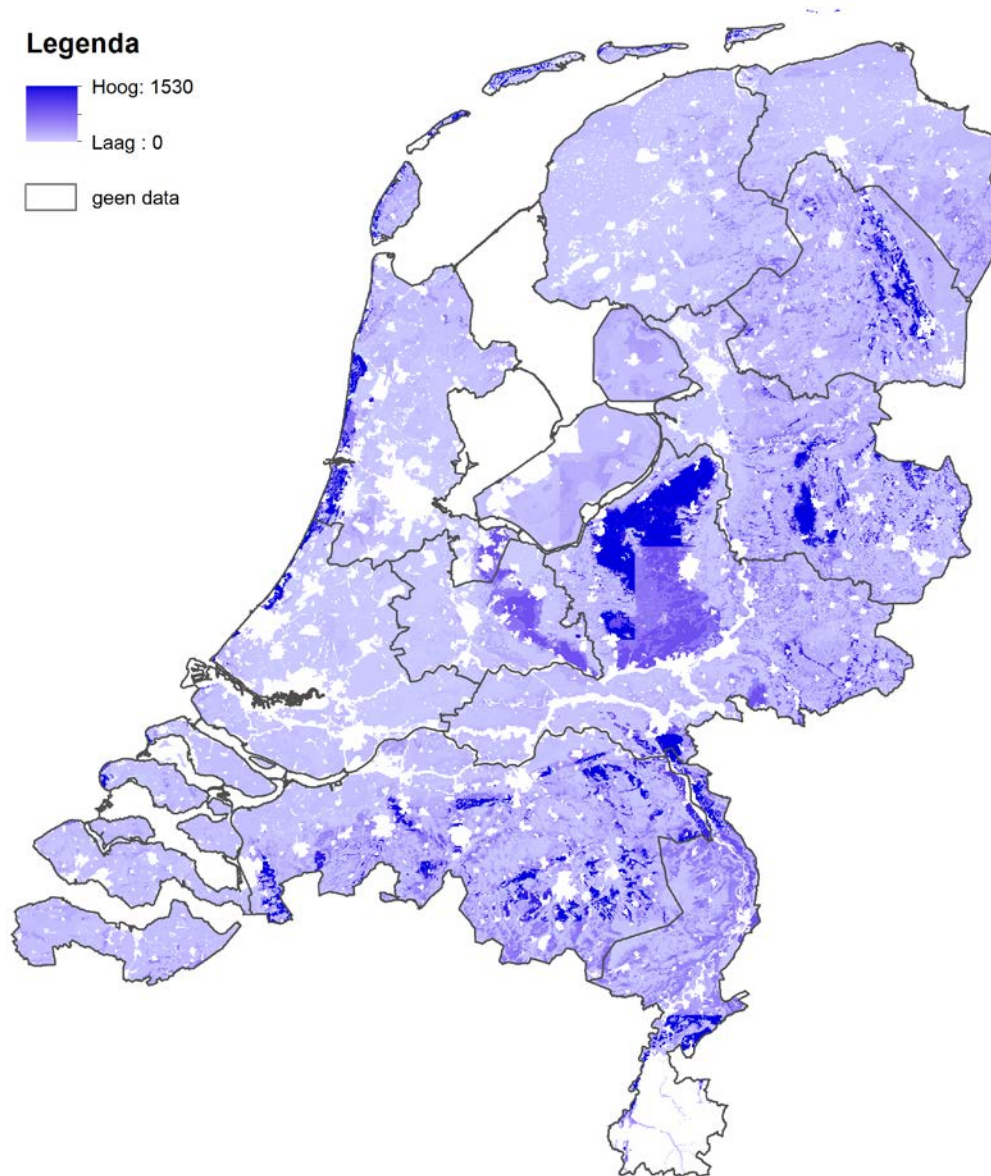
Voor het bepalen van de kansen voor waterconservering in de bodem en in oppervlaktewaterstelsels in Nederland is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van karteerbare fysieke kenmerken van bodem en water. De basisgegevens die ontleend zijn aan de Bodemkaart van Nederland (bodemeigenschappen, grondwatertrappen) kunnen enkele decennia oud zijn. Binnen dit onderzoek was het onvermijdelijk om te werken met bestaande data, ook als deze niet meer actueel zijn. De omvang van kwel en wegzijging van grondwater is berekend met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI; zie www.nhi.nu). Verder is gebruik gemaakt van kaartinformatie over de ligging van buisdrainage. De berekening van het bergend vermogen in oppervlaktewateren is gebaseerd op de inventarisatie van kenmerken van ontwateringssstelsels in Nederland (Massop et al., 2006), aangevuld met gegevens uit het hoogtebestand AHN voor het bepalen van de actuele maaiveldhoogte, en van de Top10-vectorkaart voor de bepaling van de dichtheid en het ruimtebeslag van de oppervlaktewateren in Nederland. Voor Laag-Nederland is bij de berekening van de bergingsvolumes in het oppervlaktewater verder gebruik gemaakt van beschikbare waterpeilkaarten van de waterschappen. Voor Hoog-Nederland zijn de betreffende waterschappen gevraagd om kaarten te leveren met de locatie van stuwen en van de afwateringseenheden per stuw. Deze informatie bleek in de uitvoeringsperiode van dit onderzoek niet landsdekkend in bruikbare vorm beschikbaar bij de betreffende waterschappen. Daarom is gebruik gemaakt van peilvakinformatie die verzameld is voor het NHI. Deze informatie is gecombineerd met het hoogtebestand AHN om de beheersbaarheid van het waterpeil in de waterlopen te bepalen.

2.2 Basiskaarten voor waterconservering in de bodem

2.2.1 Bodemberging

De bodembergingscapaciteit, dat is de hoeveelheid water die in de bodem kan worden opgeslagen, wordt bepaald door de bodemeigenschappen, de grondwaterstand en de stromingsrichting. Afhankelijk van de eigenschappen van de bodem en het grondwater kan er veel of weinig water worden geborgen in de bodem. Voor de berekening van de potentieel beschikbare bergingscapaciteit van grondwater in de bodem is in eerste instantie uitgegaan van de dikte van de bodemlaag tussen het maaiveld en het grondwaterpeil bij de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG). In dit onderzoek is voor de berekening van de bodembergingscapaciteit gebruik gemaakt van het simulatieprogramma CAPSEV (Wesseling, 1991). Grondwaterstanden tot aan maaiveld zijn echter vanuit landbouwkundig oogpunt ongewenst. Daarom is de berekende maximale berging gecorrigeerd door rekening te houden met de maximaal toelaatbare peilverhoging. De correctiefactor is gebaseerd op de verhouding tussen de waterhoogte bij minimaal toelaatbare drooglegging en de waterhoogte tot aan maaiveld.

De potentieel beschikbare bodemberging is het grootst in de hogere delen, zoals de stuwwallen en de duinen. De op de kaart duidelijk waarneembare grens op de Veluwe is een gevolg van een verschil in karteringsperioden van de grondwatertrappenkaart. Voor de witte gebieden (stedelijk gebied, Zuid-Limburg en langs de grote rivieren) ontbreken gegevens over grondwatertrappen. Daarom kon voor die gebieden geen bodemberging worden berekend. De basiskaart 'Potentiële bodemberging' (figuur 1) geeft aan hoeveel mm water in de Nederlandse bodem geborgen zou kunnen worden in de ruimte tussen het maaiveld en de GVG.



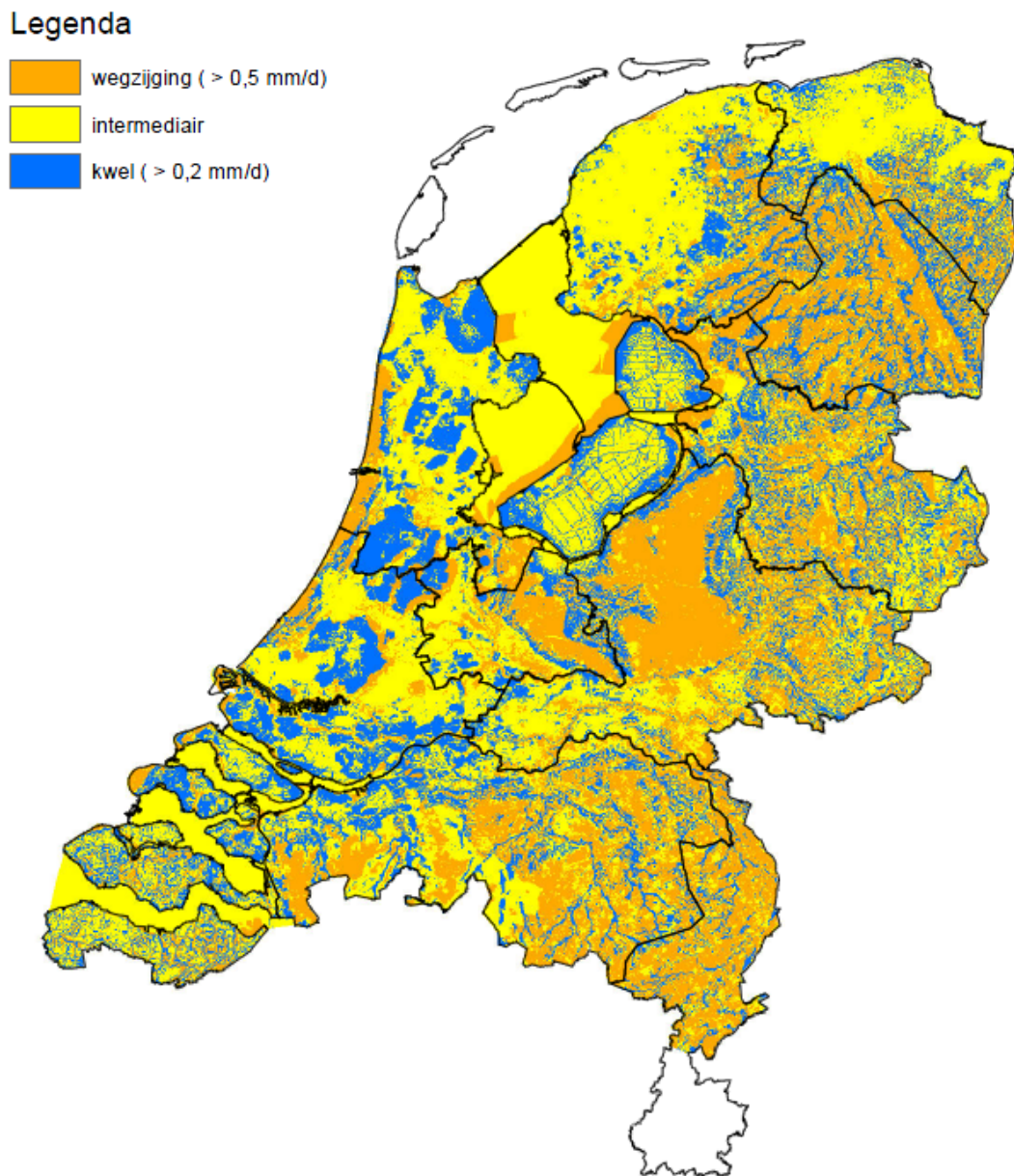
Figuur 1

Potentiële bodemberging (in mm) bij maximaal toelaatbare peilverhoging.

2.2.2 Kwel en wegzijging

Of de bodembergingscapaciteit ook daadwerkelijk benut kan worden voor waterconservering in de bodem hangt af van een aantal factoren. Het gaat om de richting van de verticale grondwaterstroming (kwel of wegzijging) en de mate waarin het grondwater via een watervoerend pakket weglekt naar de naaste omgeving.

De ligging van kwel- en wegzijgingsgebieden en van intermediaire gebieden, waar niet of nauwelijks sprake is van kwel of wegzijging, is berekend met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (Projectgroep NHI, 2010). In deze analyse wordt gesproken van 'kwel' als deze meer bedraagt dan 0.2 mm per dag. Er is sprake van 'wegzijging' wanneer er meer dan 0.5 mm water weglekt door de deklaag. Figuur 2 geeft de ligging weer van de gebieden met kwel en wegzijging en van de intermediaire gebieden.



Figuur 2

Ligging van kwel- en wegzijgingsgebieden en intermediaire gebieden.

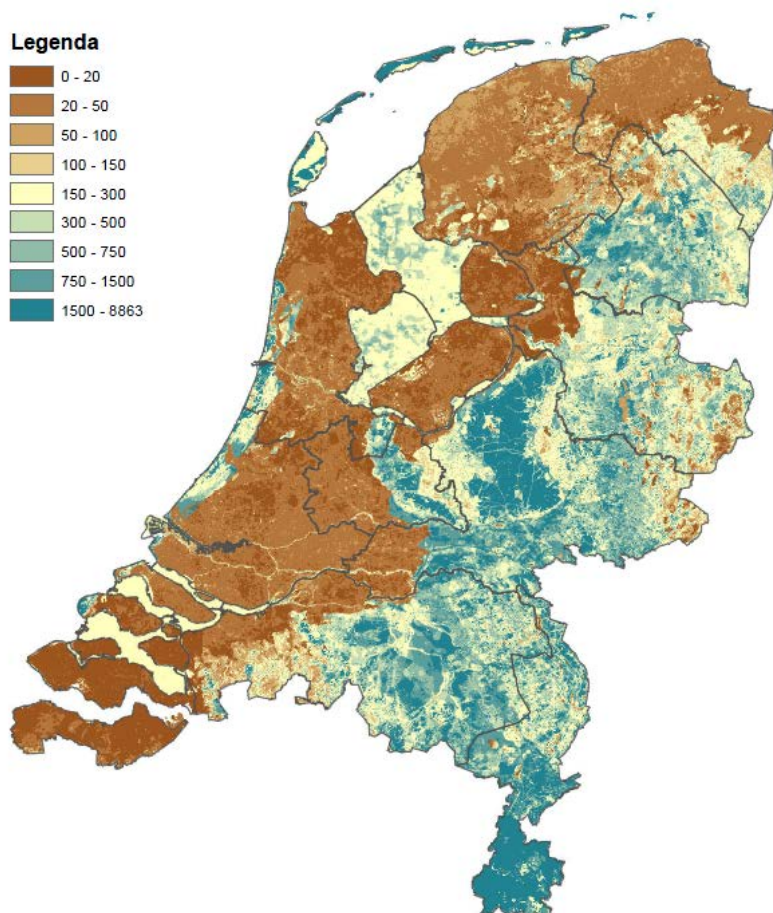
2.2.3 Spreidingslengte

De mate waarin grondwater zijdelings kan weglekken naar de omgeving wordt aangeduid als de 'spreidingslengte'. Een geringe spreidingslengte betekent dat er weinig water naar de omgeving weglekt wanneer bijvoorbeeld het waterpeil wordt opgezet. Dat is gunstig voor het waterbergend vermogen. De spreidingslengte (λ) is gedefinieerd als:

$$\lambda = \sqrt{(kD \cdot c)}$$

Voor de afleiding van de spreidingslengte is gebruik gemaakt van het NHI. In het NHI is de ondergrond geschematiseerd in watervoerende pakketten en scheidende lagen. Er worden maximaal zeven watervoerende pakketten met zes scheidende lagen onderscheiden. Veelal ontbreken één of meerdere scheidende lagen. Bij de berekening van de spreidingslengte is onderscheid gemaakt tussen Laag-Nederland en Hoog-Nederland. In Laag-Nederland heeft de deklaag veelal een aanzienlijke dikte en weerstand. Het doorlaatvermogen (de kD -waarde) van de deklaag is gebruikt in de bovenstaande formule voor de spreidingslengte. Voor Hoog-Nederland is de deklaag veelal dun met een lage weerstand. In dit geval is het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket (kD_2) gesommeerd met de doorlaatvermogens van diepere watervoerende pakketten als scheidende lagen ontbreken. De gesommeerde kD -waarde is vervolgens gebruikt als kD -waarde in de formule voor de spreidingslengte.

Voor de c -waarde is de drainageweerstand van alle watervoerende systemen genomen. In de berekeningen is hierbij ook de eventueel aanwezige buisdrainage meegenomen. Voor Hoog-Nederland is hieraan ook de weerstand van de deklaag (c_1) toegevoegd. In figuur 3 is het resultaat weergegeven.



Figuur 3

Spreidingslengte (in m) als maat voor de afstand (in m) waarover het grondwater via laterale stroming kan weglekken naar de omgeving.

2.3 Basiskaarten voor waterconservering in het oppervlaktewater

De bergingscapaciteit in oppervlaktewater is bepaald door de dichtheid van het netwerk van waterlopen (de totale lengte per oppervlak), de vorm en de afmetingen van de waterlopen en door de mate waarin het waterpeil beheerst kan worden. In Laag-Nederland is overal sprake van waterpeilbeheersing, in hellende gebieden is dat vooral mogelijk wanneer stuwen aanwezig zijn. Open water en percelen met een dicht slotenpatroon zijn gunstig voor het bergend vermogen in oppervlaktewater. Beken met een groot verval en gebieden met een lage dichtheid van waterlopen bieden een gering bergend vermogen.

De kansrijkdom voor waterconservering in het oppervlaktewater is gebaseerd op de volgende kenmerken:

- de beheersbaarheid van het waterpeil in afwateringseenheden;
- de dichtheid van waterlopen (het areaal open water per oppervlak).

2.3.1 Berging in oppervlaktewater

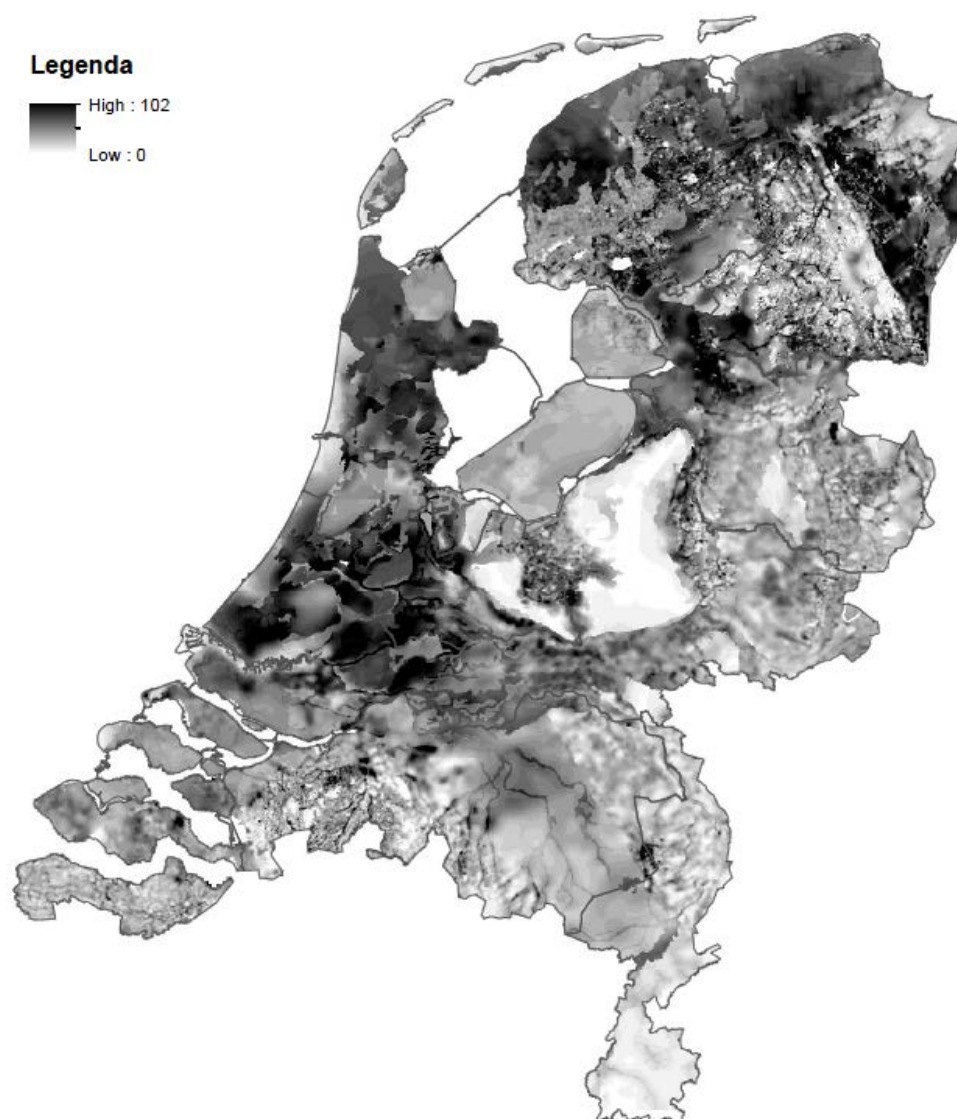
Voor berekening van de bergingsruimte in oppervlaktewateren kan in principe worden uitgegaan van benutting van de ruimte tussen het huidige waterpeil en het maaiveld. Dit leidt echter in het groeiseizoen tot zeer grote productiebeperkingen in de landbouw die in het algemeen economisch en maatschappelijk niet acceptabel zullen zijn. Daarom is in deze studie uitgegaan van maximale peilverhogingen die in verschillende gebiedstypen nog wel aanvaardbaar zullen zijn. Voor berekening van de maximale bergingsruimte in oppervlaktewater is hier uitgegaan van de volgende peilverhogingen vergeleken met het huidige winterpeil:

- Hollands veenweidegebied: + 20 cm
- Noordelijk veenweidegebied: + 30 cm
- Kleigebied: + 40 cm
- Gronings-Drentse Veenkoloniën: + 70 cm
- Zandgebied: + 50 cm.

Het bergingsvolume in oppervlaktewater wordt niet alleen bepaald door de mate waarin het peil kan worden opgezet, maar ook door de maten van de waterlopen. Uit de Top10-vectorkaart van Nederland zijn de lengte en breedte van de waterlopen bepaald, terwijl in een eerdere studie de afmetingen en de waterdiepte van waterlopen is berekend (Massop et al., 2006). De waterlopen zijn onderverdeeld in vier klassen:

- Greppels en droogvallende waterlopen
- Waterlopen < 3 m breed
- Waterlopen 3 - 6 m breed
- Waterlopen > 6 m breed.

Door combinatie van deze gegevens is berekend hoeveel water (uitgedrukt in mm per rekeneenheid van 25 bij 25 meter) kan worden geborgen tussen de waterspiegel en het maaiveld (figuur 4). Door de bergingsruimte in mm water uit te drukken kan worden berekend in welke mate de bestaande watervraag in een gebied kan worden ingevuld met het benutten van de gebiedseigen bergingsruimte. De bergingsruimte in het oppervlaktewater kan ook worden omgerekend naar m³ water.



Figuur 4
Maximale bergingsruimte in regionale oppervlaktewatersystemen (in mm).

2.3.2 Beheersbaarheid

Om de maximale bergingsruimte te kunnen benutten moet de waterbeheerder wel in staat zijn om het waterpeil tot de bijbehorende hoogten, zoals genoemd in de vorige paragraaf, te kunnen aanpassen. De klei- en veengebieden van Laag-Nederland (het Holocene) zijn relatief vlak. Hier kan vrijwel overal het waterpeil gereguleerd worden met kunstwerken zoals stuwen. In Laag-Nederland zal, als gevolg van het vlakke maaiveld, een peilverhoging, gericht op waterconservering, tot peilverhoging in alle waterlopen binnen een polder leiden. In de zandgebieden van Hoog-Nederland (het Pleistoceen) helt het maaiveld meer en volgen de onder vrij verval afwaterende waterlopen het maaiveld. Dit betekent dat bij een hellend terrein slechts een deel van de waterlopen kan worden beïnvloed door en benut voor waterconserveringsmaatregelen. Figuur 5 geeft de verdeling weer van de Holocene en Pleistocene afzettingen in Nederland.

Legenda



Figuur 5

Ligging van Holocene en Pleistocene afzettingen.

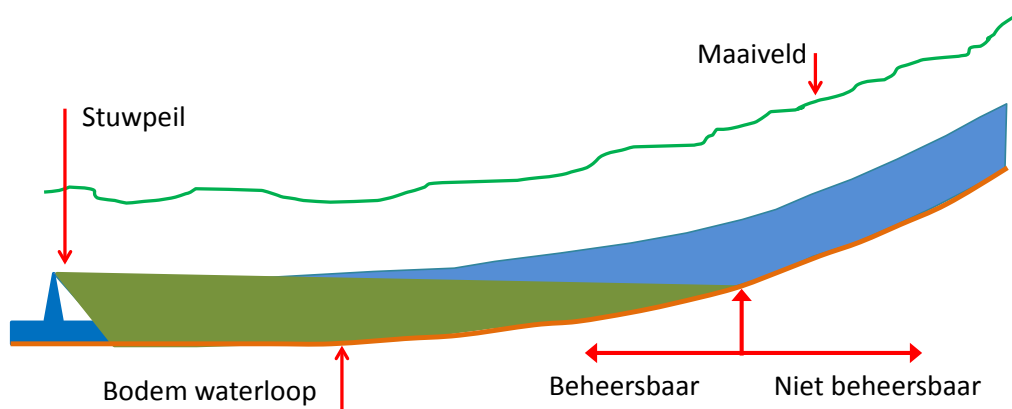
Om de beïnvloedingsgebieden bij waterconserveringsmaatregelen in kaart te brengen is de informatie over peilgebieden met de bijbehorende peilen gecombineerd met gegevens over de diepte van greppels en droogvallende waterlopen. In combinatie met de informatie over de hoogte van het maaiveld (ontleend aan het hoogtebestand AHN) bepaalt deze kaart de beheersbaarheid van het gebied voor waterconservering. Voor Laag-Nederland is hiervoor een waterpeilenkaart gebruikt die bij de waterschappen beschikbaar was.

Voor Hoog-Nederland bleek een aantal waterschappen de benodigde kaarten over de locatie van de stuwen en het beïnvloed areaal per stuw ('afwateringseenheden per stuw') niet te kunnen leveren in een bruikbare vorm voor deze GIS-analyse. Daarom is de analyse van de beheersbaarheid uitgevoerd met de minder gedetailleerde informatie uit het NHI die echter wel landsdekkend beschikbaar was.

Voor de bepaling van de beheersbaarheid is de volgende definitie gebruikt:

Beheersbaar areaal (of: benutbaar areaal voor waterconservering) = het areaal van de afwateringseenheid per stuw of peilgebied waarin de bodemhoogte van de inliggende greppels of waterlopen beneden het gehanteerde peil ligt.

Voor droogvallende beken is dit in figuur 6 grafisch weergegeven. In een droge situatie kan het deel van de beek waarvan het waterpeil beneden het zomerstuwpeil ligt (in de figuur in groen weergegeven) worden benut voor waterconservering.



Figuur 6

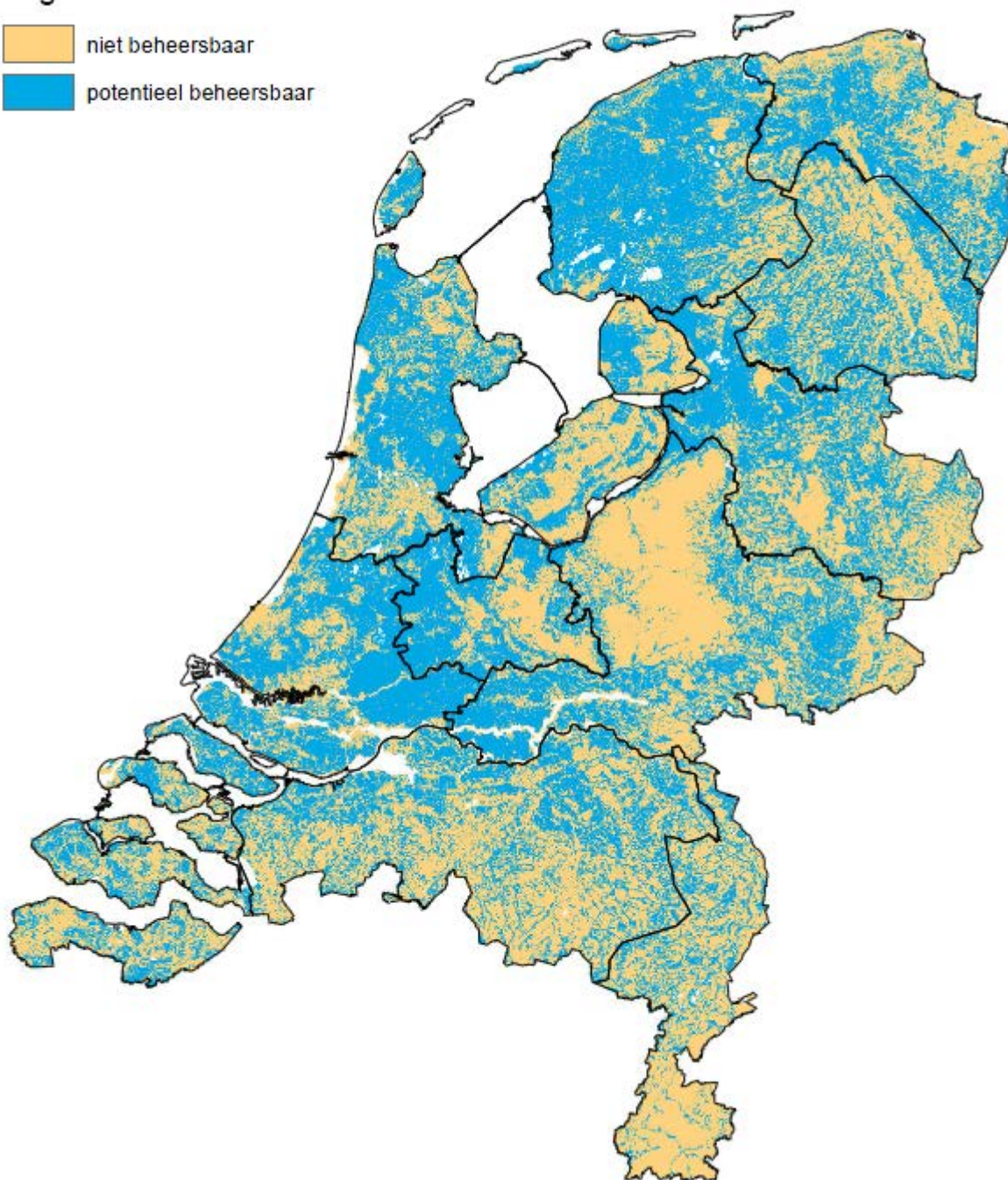
Verhanglijn van een waterloop in een natte situatie (blauw) en een droge situatie (groen) met aanduiding van het beheersbaar gedeelte bij een droge situatie.

De mate van beheersbaarheid van de oppervlaktewateren is berekend voor een landbouwkundig gezien maximaal acceptabele peilverhoging. Deze maximale peilverhoging is gedifferentieerd naar gebiedstypen (zie paragraaf 2.3.1).

In figuur 7 zijn de delen van Nederland weergegeven die beïnvloed kunnen worden door maximale peilverhoging, gedifferentieerd naar gebiedstypen. Dit zijn dus de gebieden die met maximale peilverhoging benut kunnen worden voor waterconservering in het oppervlaktewater.

Legenda

-  niet beheersbaar
-  potentieel beheersbaar



Figuur 7

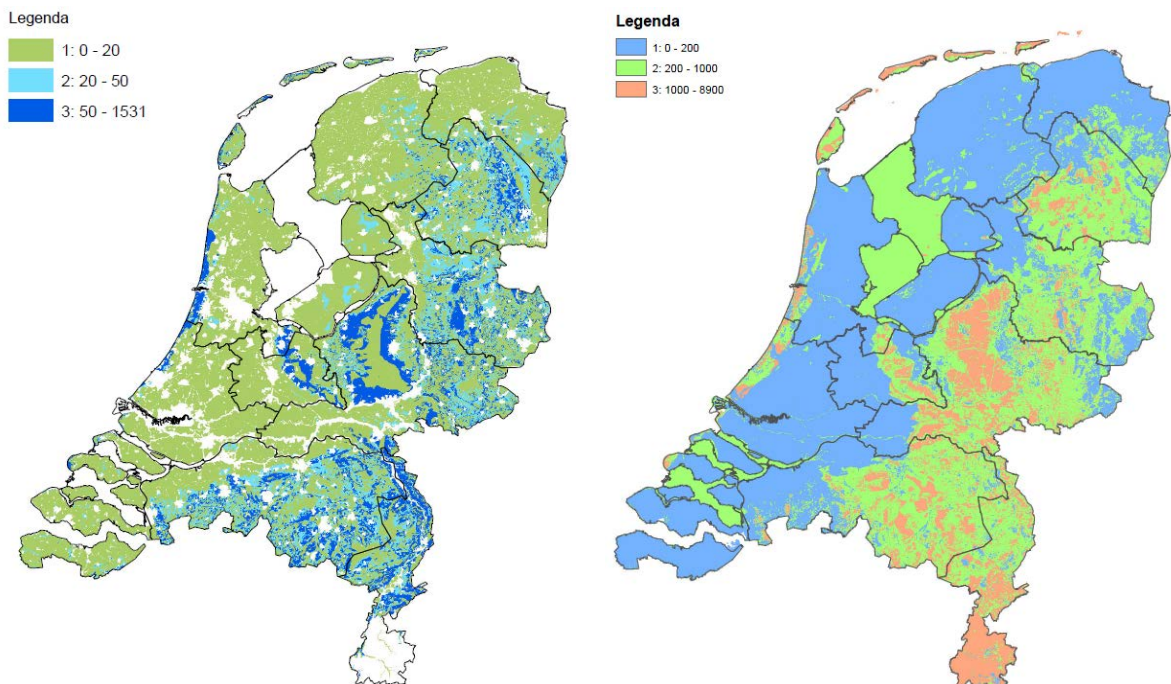
Beheersbaarheid van waterlopen: ligging van oppervlaktewateren die benut kunnen worden voor waterconservering door maximale peilverhoging.

3 Kansrijkdom voor waterconservering

3.1 Waterconservering in de bodem

In hoofdstuk 2.2 zijn de basiskaarten beschreven die samengesteld zijn om de kansrijkdom te bepalen voor waterconservering in de bodem. Het gaat om de kaarten voor de beschikbare bodemberging (in mm), voor kwel en wegzijging, en voor de spreidingslengte als maat voor het lateraal wegstromen van het grondwater.

Om deze verschillende aspecten te kunnen combineren tot een kansrijkdomkaart voor waterconservering in de bodem zijn de berekende waarden per aspect eerst in klassen onderverdeeld. De hoeveelheid bodemberging is onderverdeeld in gering (< 20 mm), gemiddeld (20 - 50 mm) en groot (> 50 mm). De verticale grondwaterstroming (kwel en wegzijging) is onderverdeeld in wegzijging (neerwaartse stroming van > 0.5 mm/dag), kwel (opwaartse stroming van > 0.2 mm/dag) en intermediair (nauwelijks kwel of wegzijging). Het weglekeffect naar de omgeving (spreidingslengte) is onderverdeeld in klein (< 200 m), matig (200 - 1000 m) en groot (> 1000 m). In het Pleistocene deel van Nederland is sprake van relatief weinig oppervlaktewater en vindt waterconservering vooral plaats in het grondwater. Figuur 8 geeft de verspreiding weer van de gebieden met een geringe, gemiddelde en grote bodemberging en een klein, matig en groot weglekeffect via het grondwater naar de omgeving.



Figuur 8

Classificatie van Nederland naar bodemberging (in mm) en weglekeffect van het grondwater (in m).

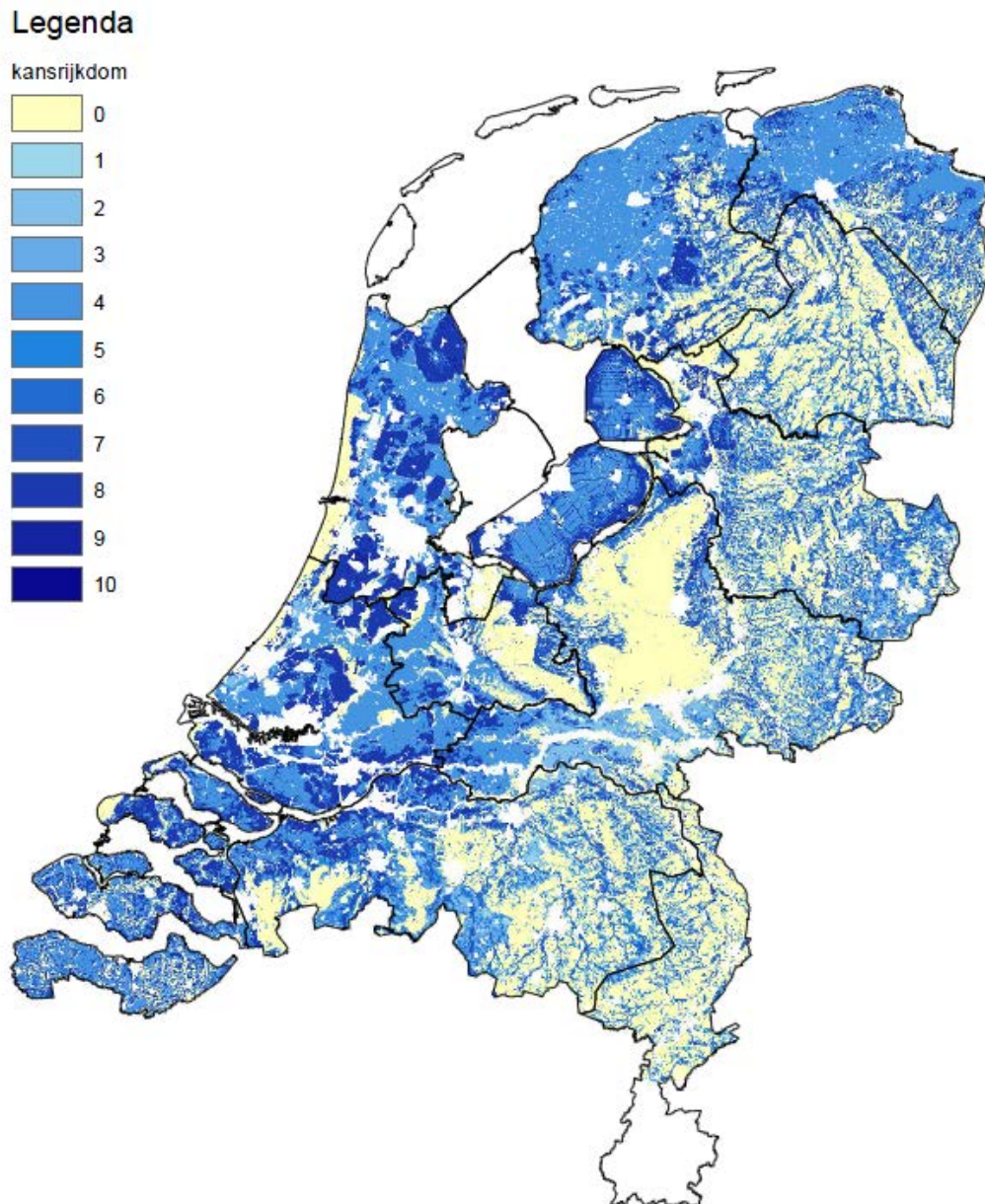
Om gebieden onderling te kunnen vergelijken op kansrijkdom voor waterconservering in de bodem is een ordinale schaal van 0 (geen kans) - 10 (maximale kans) gebruikt. In tabel 1 zijn de gecombineerde effecten van de verschillende aspecten op de kansrijkdom voor waterconservering in de bodem gescoord. Uit deze tabel is af te lezen dat gebieden met wegzijging niet benut kunnen worden voor waterconservering in de bodem, omdat het neerslagoverschot in deze gebieden praktisch geheel via de diepere ondergrond wordt afgevoerd. Gebieden met sterke wegzijging zijn daarom, ondanks een grote bergingscapaciteit, voor waterconservering minder geschikt. De gebieden met kwel en een klein weglekeffect naar de omgeving zijn het meest geschikt voor waterconservering in de bodem.

Tabel 1

Gradatie in de kansrijkdom voor waterconservering in de bodem.

kwel/wegzijging	holoceen (h) pleistoceen (p)	bodemberging								
		gering (< 20 mm)			gemiddeld			groot (> 50 mm)		
		weglekeffect naar de omgeving (spreidingslengte)								
		klein	matig	groot	klein	matig	groot	klein	matig	groot
wegzijging (< -0.5 mm/d)	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p	0	0	0	0	0	0	0	0	0
intermediair	h	4	3	2	6	5	4	8	7	6
	p	3	2	1	5	4	3	7	6	5
kwel (> 0.2 mm/d)	h	8	7	6	9	8	7	10	9	8
	p	7	6	5	8	7	6	9	8	7

De gegevens uit tabel 1 zijn verwerkt in een kaartbeeld voor Nederland. Dit is de kansrijkdomkaart voor waterconservering in de bodem (figuur 9).



Figuur 9
Kansrijkdom voor waterconservering in de bodem.

3.2 Waterconservering in oppervlaktewater

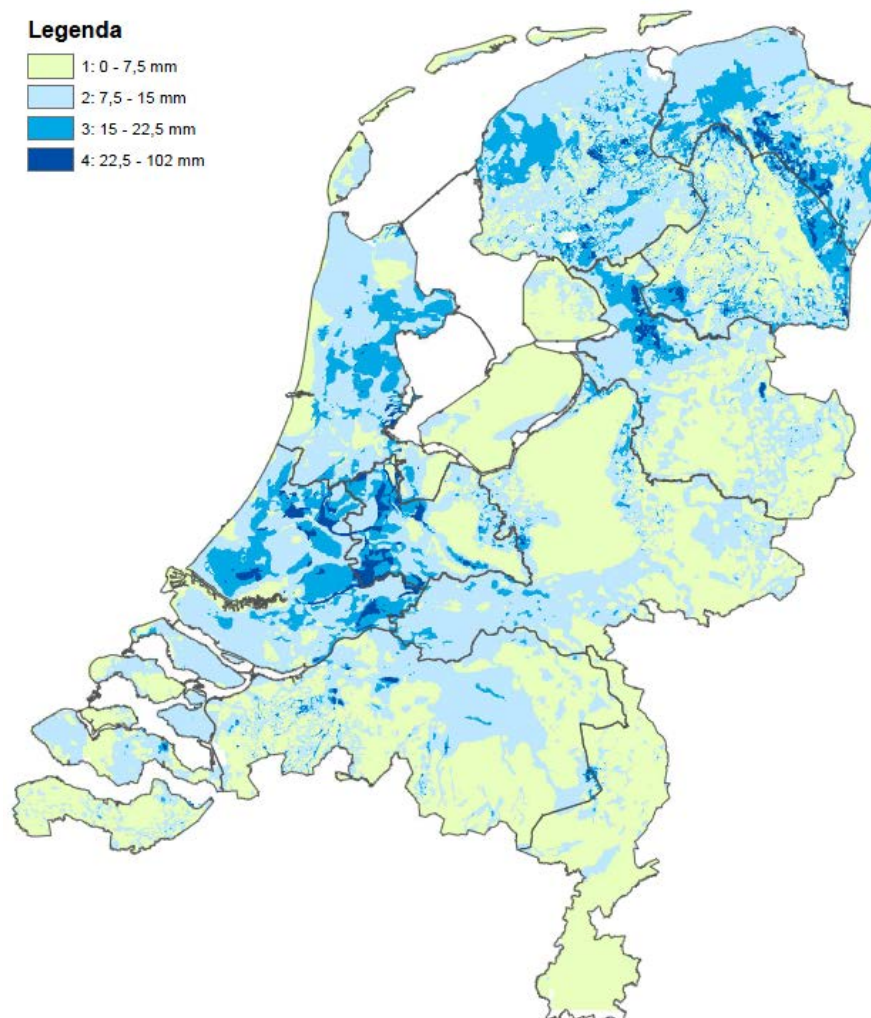
De mogelijkheden voor waterconservering in regionale oppervlaktewatersystemen worden bepaald door de bergingsruimte in het oppervlaktewater en de beheersbaarheid van het oppervlaktewater (zie hoofdstuk 2.3). De hoeveelheid water die kan worden geborgen in regionale oppervlaktewateren is onderverdeeld in vier klassen, de beheersbaarheid van het oppervlaktewater in twee klassen (zie tabel 2).

Tabel 2

Gradatie in de kansrijkdom voor waterconservering in het oppervlaktewater.

berging in oppervlaktewater	beheersbaarheid	
	potentieel	niet
groot (>30 mm)	10	6
vrij groot (15 - 30 mm)	8	4
vrij klein (7.5 - 15 mm)	6	2
klein (0 - 7.5 mm)	4	0

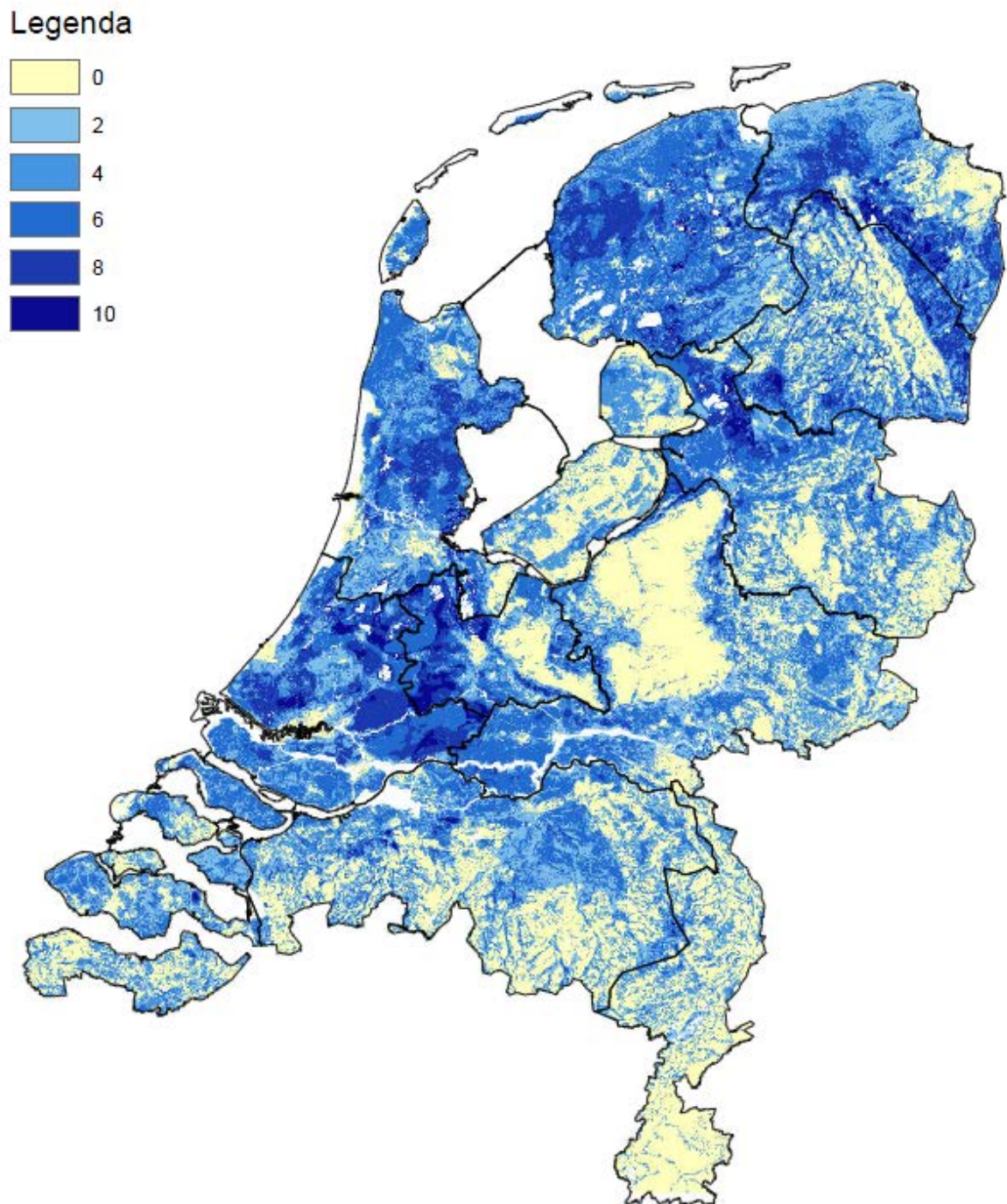
De ruimtelijke vertaling van deze indeling in klassen voor berging en beheersbaarheid in oppervlaktewateren is in kaartbeelden weergegeven (figuur 10).



Figuur 10

Classificatie van Nederland naar mogelijkheden voor waterberging in het oppervlaktewater.

Door deze twee aspecten, onderverdeeld in klassen, te combineren en die combinaties te waarderen in een ordinale schaal van 0 - 10 (zie tabel 2) kon de kansenkaart voor waterberging in regionale oppervlaktewateren (figuur 11) worden samengesteld. De kansrijkdom voor waterconservering loopt van 0 (minimale kans) tot 10 (maximale kans).



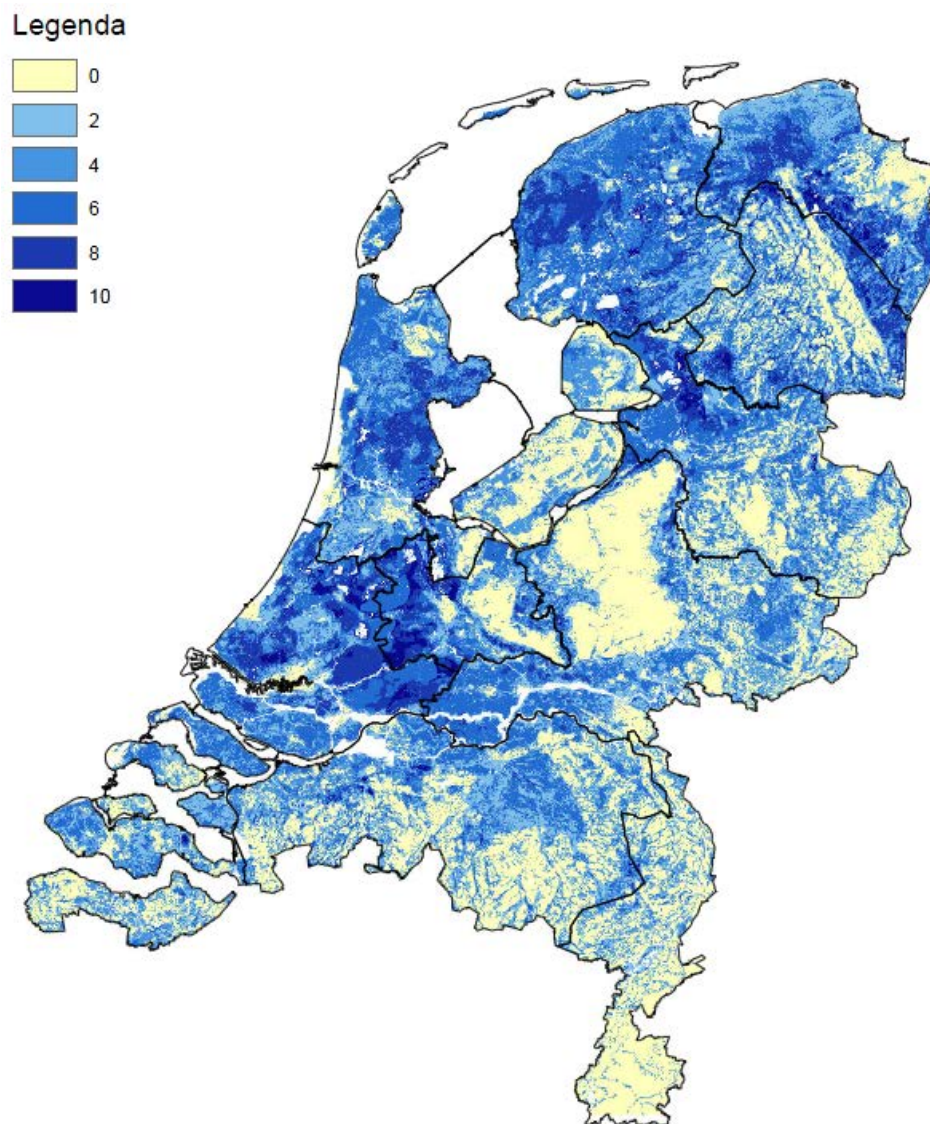
Figuur 11
Kansrijkdom voor waterconservering in regionale oppervlaktewatersystemen.

3.3 Integrale waterconserveringskaart

Om een integrale kaart voor waterconservering in de bodem en in het oppervlaktewater samen te stellen is de kaartinformatie uit de kaarten 9 en 11 gecombineerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende rekenregel:

$$\text{Integrale kansrijkdom_waterconservering} = \frac{(\text{mm_bodemberging} * \text{kansrijkdom_conservering_grondwater} + \text{mm_oppervlaktewaterberging} * \text{kansrijkdom_conservering_oppervlaktewater})}{(\text{mm_bodemberging} + \text{mm_oppervlaktewaterberging})}$$

Het resultaat is weergegeven in de integrale kansrijkdomkaart voor waterconservering (figuur 12).



Figuur 12

Integrale kansrijkdom voor waterconservering in de bodem en in regionale oppervlaktewaterstelsels.

4 Maatregelen voor waterconservering

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komen de maatregelen aan de orde die getroffen kunnen worden om de kansrijkdom voor waterconservering te effectueren. Het gaat om inrichtings- en beheersmaatregelen in het hydrologisch systeem, die de waterbeheerder kan nemen om meer water vast te houden om later in te zetten om watertekorten in de regio te verminderen.

In het hydrologisch systeem wordt onderscheid gemaakt in de onverzadigde zone, het daaronder liggend verzadigd grondwatersysteem en het oppervlaktewatersysteem. Het verzadigd grondwatersysteem is onder te verdelen in het bovenste (freatisch) grondwatersysteem en de dieper liggende niet-freatische grondwatersystemen. Het oppervlaktewatersysteem is onderverdeeld in het ontwateringssysteem en het afwateringssysteem. Het afwateringssysteem kan ook in omgekeerde richting fungeren als aanvoersysteem, het ontwateringssysteem kan ook benut worden als infiltratiesysteem. Ontwatering is hier gedefinieerd als 'de afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen' (NHV, 2002), en is het domein van de agrariër, bewoner of de terreinbeheerder. De afwatering is gedefinieerd als 'de afvoer van water via een stelsel van open waterlopen naar een lozingspunt van het afwateringsgebied' (NHV, 2002), en is het domein van de waterschappen en Rijkswaterstaat.

4.2 Onverzadigde zone

De bergingseigenschappen van de onverzadigde zone hangen af van de vocht karakteristieken van de lagen in het bodemprofiel en de mogelijkheden van de vegetatie om die voorraad te ontsluiten. De ontsluiting kan worden verbeterd door maatregelen die een diepere beworteling mogelijk maken of door het telen van gewassen die dieper wortelen, maar ook door het breken van storende lagen, die de capillaire opstijging van het bodemwater naar de wortels beperken. De bergingseigenschappen van de bodem kunnen worden verbeterd door het organisch stofgehalte van de wortelzone te verhogen.

Door naaldbos te vervangen door loofbos vermindert het waterverlies door verdamping en interceptie van neerslagwater, waardoor er meer water beschikbaar komt in de onverzadigde zone. Deze maatregel is alleen effectief in gebieden zonder of met nauwelijks zichtbare ontwatering, zoals de Veluwe.

4.3 Grondwatersysteem

Voor waterconservering is vooral het freatisch grondwatersysteem van belang, omdat in de dieper gelegen niet-freatische grondwatersystemen de berging van water nauwelijks kan worden beïnvloed. Er is slechts een beperkt aantal 'knoppen' waaraan gedraaid kan worden om de berging in het grondwatersysteem te vergroten. Men kan de grondwateronttrekkingen verplaatsen of bij bestaande grondwateronttrekkingen een ander onttrekkingsregiem instellen. Het is mogelijk de grondwateronttrekking in de winter zodanig te verminderen dat het neerslagoverschot in de winter wordt bewaard voor de zomer. Per winplaats moet dat nader onderzocht worden, maar dit is binnen het kader van deze studie niet uitgevoerd.

Grondwateronttrekkingen voor berekening vinden alleen tijdens het groeiseizoen plaats en vallen buiten de scope van deze studie.

4.4 Ontwateringssysteem

In het ontwateringssysteem zijn drie processen relevant:

1. Stroming over en berging op het maaiveld (overdegrondse ontwatering).
2. Stroming door en berging in de grond (doordegrondse ontwatering).
3. Stroming door en berging in de ontwateringsmiddelen.

4.4.1 Overdegrondse ontwatering

Hieronder wordt verstaan de afvoer van water over het maaiveld naar ontwateringsmiddelen, ook wel aangeduid als oppervlakte-afvoer. Deze oppervlakte-afvoer kan optreden onder de volgende omstandigheden:

- a) als de grondwaterstand (of de schijngrondwaterstand) tot in het maaiveld is gestegen of
- b) als de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiecapaciteit.

Door oppervlakte-afvoer neemt de grondwateraanvulling af en dit leidt in de winter tot lagere grondwaterstanden. Hoeveel die verlaging is hangt af van de drainagekarakteristieken van het verzadigd grondwatersysteem. Het beperken van de oppervlakte-afvoer is dus een waterconserverende ingreep. In natte gebieden met veel ontwateringsmiddelen is het waterconserverend effect van maatregelen om de oppervlakte-afvoer te beperken zeer klein, maar in gebieden met lage grondwaterstanden en weinig ontwateringsmiddelen is het voorkómen van oppervlakte-afvoer wel effectief.

De bijbehorende maatregelen zijn:

- Allerlei teeltmaatregelen om de structuur van de bodem te verbeteren en daarmee de infiltratiecapaciteit te bevorderen, zoals niet-kerende grondbewerking, toedienen van organische stof, bekalken van kleigronden, gewasresten achterlaten, et cetera. In erosiegevoelige gebieden kan worden meegelift met erosiebestrijdingsmaatregelen zoals contourploegen en terrasserings.
- Voorkómen van dichtrijden in het najaar, bij de oogstwerkzaamheden dan wel het weer losmaken van dichtgereden grond na de oogst.
- Blokkeren van de maaiveldafvoer, door verhoging van het maaiveld langs sloten (rijpad of walletje).
- Vlak leggen van het maaiveld. In delen van Nederland worden percelen bol gelegd om maaiveldafvoer te bevorderen. Het 'ontbollen' kan dus een waterconserverende werking hebben.
- Aanleggen van zakvijvers. Op de Hondsrug bijvoorbeeld zijn zakvijvers aangelegd om de bij hevige neerslag optredende oppervlakte-afvoer vast te houden en weer te laten infiltreren.
- Afkoppelen van verhard oppervlak. De afvoer van daken en andere verharde oppervlakken naar de riolering vermindert de grondwateraanvulling aanzienlijk en afkoppelen in gebieden met relatief lage grondwaterstanden kan de grondwaterstand in de winter aanzienlijk doen verhogen. Maar ook de neerslag die er in de zomer op valt komt nu ten goede aan het grondwatersysteem.
- Aanleg van semi-verharde parkeerplaatsen. Daardoor wordt de grondwateraanvulling verhoogd.

4.4.2 Doordegrondse ontwatering

Doordegrondse ontwatering is de afvoer van grondwater naar de ontwateringsmiddelen. Dit is de meest algemene vorm van ontwatering. Deze afvoer kan worden beïnvloed door:

1. de verandering in de ontwateringsweerstand en
2. de hoogte van de ontwateringsbasis.

Beide ingrepen hebben invloed op de grondwaterstand. Als we de verandering van de grondwaterstand beschouwen als de maat voor waterconservering in het grondwatersysteem (ten opzichte van de situatie zonder waterconserverende maatregelen) zijn de volgende maatregelen mogelijk:

- Dempen of onklaar maken van ontwateringsmiddelen. De hydrologische werking is een verhoging van de ontwateringsweerstand en daardoor hogere grondwaterstanden in de winter.
- Verhogen van de slootbodem of de stuwkruinhoogte van niet-bedienbare stuwen. De hydrologische werking is een permanente verhoging van de ontwateringsbasis en die leidt tot hogere grondwaterstanden.
- Vermindering van slootonderhoud. Door minder onderhoud neemt de stromingsweerstand in de open ontwateringsmiddelen toe, met gemiddeld een hogere ontwateringsbasis tot gevolg. Wel kan minder onderhoud leiden tot een verkleining van de bergingsmogelijkheden in het ontwateringssysteem.
- Aanleggen van bedienbare (boeren)stuwen. De hydrologische werking is dat het mogelijk wordt de ontwateringsbasis te verhogen als de grondwaterstand het toelaat. Daardoor wordt bereikt dat aan het begin van het groeiseizoen minder water wordt afgevoerd.
- Hoger instellen van bestaande bedienbare (boeren)stuwen. Bestaande stuwen worden vaak conservatief bediend, omdat men hetzij beducht is voor wateroverlast, hetzij niet de moeite neemt de stuwen regelmatig bij te stellen. Deze beduchtheid komt voort uit de onvoorspelbaarheid van het weer bij het begin van het groeiseizoen.
- Opheffen van onderbemalingen.
- Hoger instellen van het slootpeil in bestaande onderbemalingen.
- Bestaande onderbemalingen peilgestuurd maken.
- Hoger leggen van conventionele buisdrainage. Dit resulteert in een structurele verhoging van de ontwateringsbasis, met in de winter en het vroege voorjaar hogere grondwaterstanden tot gevolg. Om het effect op de landbouw te mitigeren wordt dan vaak de drainafstand verkleind. Dit wordt Drainage Nieuwe Stijl (DNS) genoemd.
- Bestaande conventionele drainage peilgestuurd maken, door een bedienbare stuw in de ontvangende waterloop te installeren of de drainage samengesteld te maken en via een regelput te sturen. Dit leidt tot verhoging van de ontwateringsbasis als de hydrologische situatie het toelaat, met gemiddeld hogere grondwaterstanden aan het begin van het groeiseizoen tot gevolg.
- Hoger instellen van bestaande peilgestuurde drainage. Bestaande peilgestuurde drainage wordt veelal conservatief bediend om al eerder genoemde redenen. Door te sturen op de actuele hydrologische situatie (bijv. grondwaterstanden) is een 'scherper' beheer mogelijk.
- Anticiperende peilgestuurde drainage. Boeren houden het slootpeil vaak onnodig laag vanwege de onvoorspelbaarheid van het weer en het feit dat uitstel van veldwerkzaamheden in het voorjaar al snel natschade tot gevolg heeft. Bij anticiperende peilgestuurde drainage wordt de ontwateringsbasis in een regelput op afstand gestuurd, waarbij het ingestelde peil o.a. afhangt van de weersverwachting (zie www.klimaatdaptivedrainage.nl).
- Aanleggen van regenwaterbassins. In de glastuinbouw wordt de neerslag die valt op de kassen opgevangen in bassins. De glastuinbouw is daardoor minder afhankelijk van wateraanvoer in de zomer, waarvan de kwaliteit (vooral het zoutgehalte) ook een risicofactor is. Voor kapitaalintensieve open teelten is het aanleggen van regenwaterbassins ook een optie, als wateraanvoer van voldoende kwaliteit onzeker is. Voor de overige teelten is het inrichten van landbouwgrond voor waterconservering op dit moment niet rendabel, maar dit kan na 2014 veranderen als met het nieuwe Gemeenschappelijk

Landbouwbeleid (GLB) een regeling van kracht wordt om 7% areaal landbouwgrond uit productie te nemen voor maatschappelijke doeleinden, om in aanmerking te komen voor EU-subsidie.

4.4.3 Stroming en berging in de ontwateringsmiddelen

In ondergrondse ontwateringsmiddelen (buisdrainagesystemen) is hoegenaamd geen berging mogelijk. In open ontwateringsmiddelen kan een aantal maatregelen worden getroffen om aan het begin van het groeiseizoen de waterstand te verhogen met het oog op waterconservering:

- Verhogen van de slootbodem.
- Verhogen van de stuwkruinhoogte van niet-bedienbare (boeren)stuwen of andere waterstandsregulerende kunstwerken.
- Vermindering van onderhoud.
- Aanleg van bedienbare stuwen.
- Hoger instellen van bestaande bedienbare stuwen.

De hierdoor veroorzaakte peilverhoging kan worden omgerekend naar de omvang van waterconservering per eenheid van oppervlakte (bijv. in mm's; 1 mm per ha is 10 m³) door vermenigvuldiging met het areaal open ontwateringsmiddelen.

Daarnaast kunnen ook maatregelen getroffen worden om het areaal ontwateringsmiddelen (sloten, wijken) te vergroten:

- Meer sloten aanleggen.
- Sloten verbreden c.q. herprofiëren (aanleg van een geleidelijker oplopend talud).
- Sloten regelmatig onderhoud. Het gaat hier vooral om zogenoemd groot onderhoud waarbij de mogelijk opgetreden verlanding te niet wordt gedaan en ook afgeschoven taluds kunnen worden hersteld.

4.5 Afwateringssysteem

De afwateringsmiddelen dienen primair voor de aan- en afvoer van water en leveren de ontwateringsbasis voor de ontwateringssloten die op het afwateringssysteem uitkomen. Daarnaast heeft het afwateringssysteem ook een ontwateringsfunctie, zij het meestal beperkter dan het ontwateringssysteem omdat de lengte kleiner is.

De verandering van de waterstand in de afwateringsmiddelen beschouwen we als de maat voor waterconservering in de afwateringsmiddelen (ten opzichte van de situatie zonder waterconserverende maatregelen). Het structureel verhogen van deze waterstand is mogelijk door de volgende maatregelen:

- Verhogen van de bodem van de watergang.
- Extensivering van het onderhoud.
- Verhogen van de kruinhoogte van niet-bedienbare stuwen.
- Aanleg van bedienbare stuwen.
- Hoger instellen van bestaande bedienbare stuwen.
- Sturen van de bedienbare stuwen op de actuele hydrologische situatie. Hiervoor geldt hetzelfde als is opgemerkt bij het ontwateringssysteem.
- Anticiperend peilbeheer. Hiervoor geldt hetzelfde als is opgemerkt bij het ontwateringssysteem.

De hierdoor gerealiseerde peilverhoging is om te zetten naar mm waterconservering door vermenigvuldiging met het areaal open afwateringssmiddelen. Daarnaast is het areaal open afwateringsmiddelen te vergroten door de volgende maatregelen:

- Verbreden van watergangen c.q. het geleidelijker laten oplopen van het talud.
- Aanleg van een tweefasenprofiel of accoladeprofiel langs waterlopen.
- Door frequenter groot onderhoud beter handhaven van afmetingen.
- Vergroten van de lengte aan waterlopen, bijvoorbeeld door hermeandering.
- Aanleg van seizoenbergingsreservoirs.

4.6 Samenvattende tabel

De beschreven maatregelen zijn per hydrologisch systeem in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 3

Mogelijke maatregelen voor waterconservering.

Hydrologisch subsysteem		Maatregelen	
		Inrichtingsmaatregelen	Beheersmaatregelen
Onverzadigde zone		• Diepwoelen • Verloofing (omzetten van naaldbos in loofbos)	• Teeltmaatregelen • Organische stof verhogende teeltmaatregelen • Afkoppelen verharde oppervlakken • Aanleg semi-verharde parkeerplaatsen
Freatisch grondwatersysteem		• Winnigen verplaatsen	• Ander onttrekkingsregiem
Niet-freatisch grondwatersysteem			
Ontwaterings-systeem	Overdegrondse ontwatering	• Blokkeren maaiveldafvoer • Vlak leggen maaiveld • Aanleggen zakvijvers	• Teeltmaatregelen • Voorkomen dichtrijden/losmaken grond na dichtrijden
	Doordegrondse ontwatering	• Dempen/onklaar maken ontwateringsmiddelen • Verhogen slootbodern • Verhogen kruinhoogte niet-bedienbare (boeren)stuwen • Aanleggen bedienbare (boeren)stuwen • Opheffen van onderbemalingen • Drainage Nieuwe Stijl • Bestaande drainage peilgestuurd maken	• Vermindering slootonderhoud • Hoger instellen bedienbare (boeren)stuwen • Hoger instellen bestaande peilgestuurde drainage • Hoger instellen van peil in bestaande onderbemalingen • Bestaande onderbemalingen peilgestuurd maken • Sturing peil op basis actuele hydrologische situatie • Anticiperende peilgestuurde drainage
	Stroming en berging in de ontwaterings-middelen	• Meer sloten aanleggen • Sloten verbreden • Aanleggen regenwaterbassins	• Regelmatig slootonderhoud
Afwateringssysteem		• Verhogen bodem watergang • Verhogen kruinhoogte vaste stuwen • Verbreden watergangen • Aanleg tweefasenprofiel • Hermeandering • Aanleg seizoenbergingsbassins	• Hoger instellen bedienbare stuwen • Sturen van bedienbare stuwen op actuele hydrologische situatie • Frequenter grootonderhoud • Anticiperend stuwbeheer

Literatuur

Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000. Waterbeleid voor de 21^e eeuw. Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw.

Deltaprogramma Deelprogramma Zoetwater, 2011. Synthese van de landelijke en regionale knelpuntenanalyses. Rapportage Fase 1. Den Haag.

Deltaprogramma 2012. Werk aan de delta. Maatregelen van nu, voorbereiding voor morgen. Uitgave ministerie van Infrastructuur en Milieu, en ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.

Gaast, J.W.J. van der, H. Th.L. Massop, J. van Os, L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel en C. Kwakernaak, 2002. Waterkansen in het SGR-2. Potenties voor realisatie van de wateropgaven. Alterra, Wageningen, rapport 558.

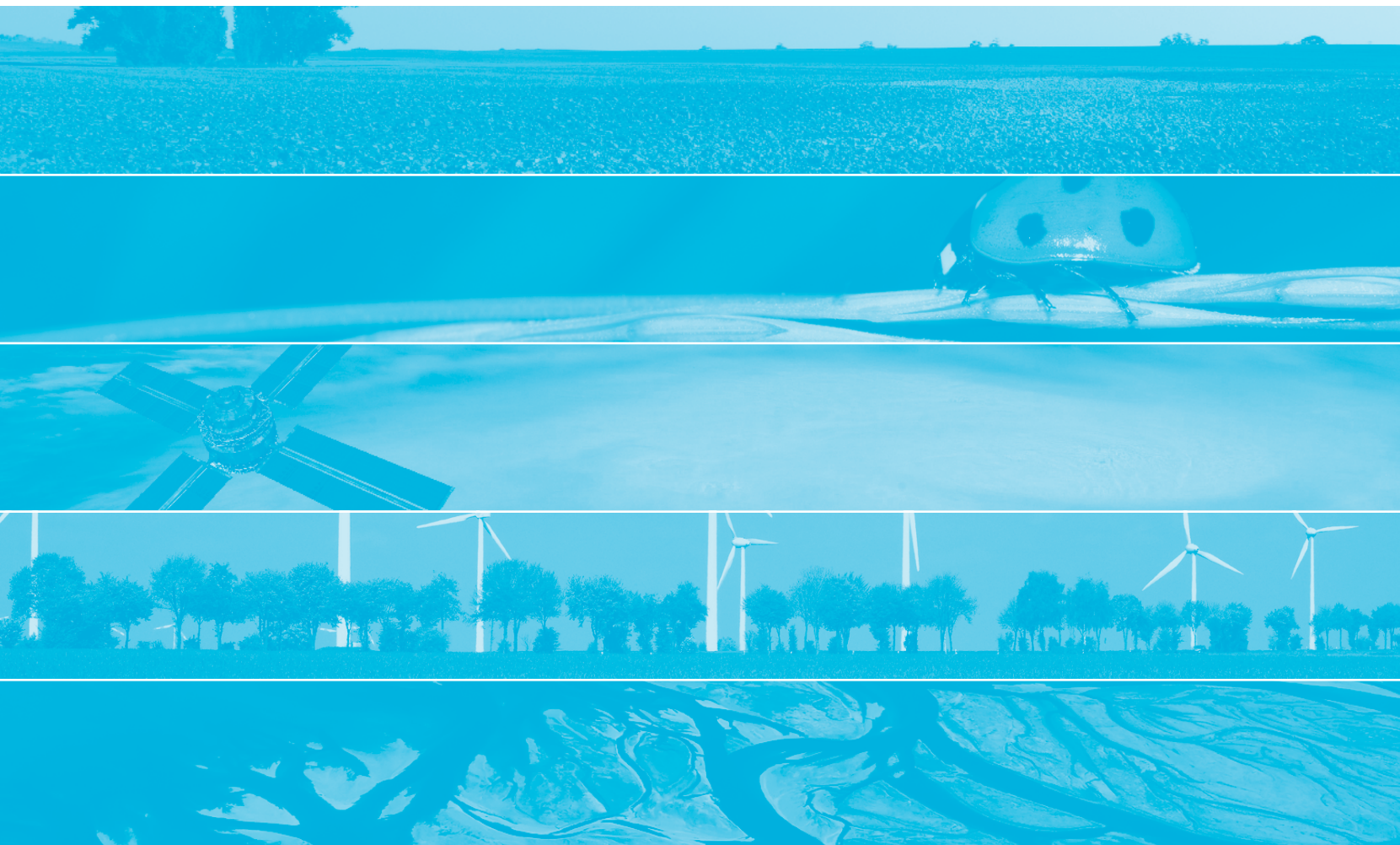
KNMI, 2006. Klimaat in de 21^e eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.

Massop, H. Th. L., J.W.J. van der Gaast en A.G.M. Hermans, 2006. Kenmerken van het ontwateringssysteem in Nederland. Alterra, Wageningen, rapport 1397.

NHV, 2002. Hydrologische woordenlijst. NHV-special 5. Uitgave Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

Projectgroep NHI, 2010. Beschrijving en evaluatie NHI v2.0. Achtergronddocument bij oplevering NHI v2.0. <www.nhi.nu>

Wesseling, J.G., 1991. CAPSEV; steady state moisture flow theory. Program description user manual. Staring Centrum, Wageningen.



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

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

Meer informatie: www.alterra.wur.nl