



Effecten klimaatverandering op terrestrische natuur

In deze Deltafact wordt ingegaan op de effecten van klimaatverandering op terrestrische natuur en met name in hoeverre de natuurvoorspellingsmodellen in Nederland geschikt zijn om rekening te houden met het veranderende klimaat.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE
4. WERKING
5. RANDVOORWAARDEN
6. KOSTEN EN BATEN
7. GOVERNANCE
8. ERVARINGEN MET DE MODELLEN
9. LOPENDE INITIATIEVEN EN ONDERZOEKEN
10. KENNISLEEMTEN
11. BRONNEN & LINKS
12. DISCLAIMER

1. Inleiding

Een gezonde natuur is belangrijk voor maatschappelijk welzijn en voor de economie. Daarom wil de overheid de Nederlandse natuur behouden en versterken. Het klimaat van Nederland verandert echter en dat heeft consequenties voor de haalbaarheid van natuurdoelen. Biodiversiteit kan veranderen door het verschuiven van temperatuurzones en veranderende neerslagpatronen. Ook de standplaatsfactoren zuurgraad en nutriëntenrijkdom zullen veranderen bij klimaatverandering. Voor ondersteuning van het natuurbeleid wordt veel gebruik gemaakt van modellen die voorspellen hoe de natuur zich ontwikkeld en reageert op omstandigheden die door

ingrepen veranderen. Weten we hoe de natuur reageert op klimaatverandering en zijn de modellen die ingezet worden voor het natuurbeleid geschikt om rekening te houden met klimaatverandering?

In Nederland is natuur ruimtelijk gepland: er zijn voor alle natuurterreinen doelen vastgesteld. Vaak zijn die natuurdoelen wettelijk opgelegd, bijvoorbeeld in Europees verband (zoals [Natura 2000](#) en de [Kaderrichtlijn Water](#)). De natuurgebieden spelen een cruciale rol in het behoud van de biodiversiteit. Om deze gebieden met elkaar te verbinden is het Natuurnetwerk Nederland (voorheen de Ecologische Hoofdstructuur ([NNN](#))) ontworpen. Voor natuur buiten de Natura 2000-gebieden stellen Provincies Natuurbeheerplannen op. Vanaf 2015 maken de provincies jaarlijks een Voortgangsrapportage Natuur om het rijk te informeren, conform de afspraken die zijn vastgelegd in het [Natuurpact](#). Via het [Subsidiestelsel Natuur en Landschap \(SNL\)](#) verlenen de provincies subsidie voor het behoud en de ontwikkeling van (agrarische) natuurgebieden en landschappen aan, bijvoorbeeld Natuurterreinbeheerders zoals Natuurmonumenten.

De wijze waarop klimaatverandering ingrijpt op ecosystemen is complex. Er is sprake van directe abiotische effecten (een hogere temperatuur werkt bijvoorbeeld direct door op de abiotische condities van plantensoorten), biotische effecten (verschuiving van plantensoorten heeft effect heeft op Ecosysteemniveau), en versnippering van natuurgebieden versterkt effecten.

In deze deltafact wordt ingegaan op de effecten van klimaatverandering op terrestrische natuur en met name in hoeverre de natuurvoorspellingsmodellen in Nederland geschikt zijn om rekening te houden met het veranderende klimaat. De deltafact beperkt zich tot de terrestrische vegetatie. De informatie is deels ontleend aan de projecten voor de onderzoeksprogramma's [Klimaat voor Ruimte](#), [Kennis voor Klimaat](#) en de [Waterwijzer Natuur](#) maar ook aan onderzoek dat buiten deze programma's wordt uitgevoerd, onder andere voor het ministerie van LNV en in Europese projecten.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Deltafacts: [Bodem als buffer](#), [Deltascenario's en Adaptief deltamanagement](#), [Effecten verzilting zoete aquatische ecosystemen](#), [Effecten klimaatverandering op landbouw](#)

3. Strategie

Ter ondersteuning van het natuurbeleid en natuurbeheer worden rekenmodellen ingezet om mogelijke effecten op terrestrische natuur te voorspellen. Het gaat dan enerzijds om knelpunten in beeld te brengen, zoals invloeden van klimaatverandering, verzuring, vermesting en verdroging. Anderzijds gaat het om kansen in beeld te brengen door effecten van herstelmaatregelen te voorspellen alsmede effecten van maatregelen die gericht zijn op andere terreinen zoals waterveiligheid, wateroverlast en waterkwaliteit, bijvoorbeeld in het kader van het Nationale Deltaprogramma. Wat voor effect hebben die maatregelen op de natuur? En, zijn er extra maatregelen nodig om natuurdoelen veilig te stellen?

De beoordeling van gevolgen voor de landbouw en de natuur gebeurde tot nu toe met instrumenten die zijn gebaseerd op inmiddels verouderde kennis en die ongeschikt zijn voor klimaatprojecties. Daarom is door de kennisinstututen onderzocht ([Van Ek, 2014](#)) hoe een 'klimaatrobuust' model voor terrestrische natuur er uit zou moeten zien, welke modelconcepten er nu klaarliggen om zo'n model te bouwen en welke kennis nog moet worden ontwikkeld. Zulke modelconcepten zijn vooral ontwikkeld en operationeel bij [KWR Water Research](#) en [Wageningen Environmental Research](#) (WENR). Geconcludeerd werd dat in hoofdlijnen de volgende verbeteringen uit te voeren:

- de hydrologische standplaatsmodellering. Naast dat de huidige hydrologische modelinvoer verbeterd dient te worden, zijn er nog tal van relevante processen die niet zijn ingebouwd in de modellen (bijv. overstromingen, veranderingen in bodemstructuur als gevolg van klimaat);
- de modellering van voedselrijkdom. De huidige werkwijze in alle modellen schiet te kort;
- saliniteit ontbreekt terwijl in Laag-Nederland de verzilting wel een factor is voor diverse natuurgebieden;
- uniforme databases om daarmee de opgezette modelketens te kunnen toetsen aan veldgegevens.

Op basis van deze bevindingen heeft STOWA het initiatief genomen om klimaatrobuuste beoordelingssystemen te laten ontwikkelen: de Waterwijzer Landbouw (WWL) en de Waterwijzer Natuur (WWN). De WWN betreft een instrument dat de effecten van klimaatverandering en het waterbeheer op de terrestrische vegetatie van natuurgebieden dient te kunnen berekenen. In deze Waterwijzer dienen processen die door klimaatverandering kunnen worden beïnvloed, zo goed

mogelijk te worden nagebootst. Door deze procesbenadering is de WWN meer geschikt voor klimaatprojecties en extreme weercondities, in vergelijking tot instrumenten zoals [DEMNET](#) (Van Ek et al., 2000) en [Waternood](#) die vooral gebaseerd zijn op empirische relaties.

KWR, WENR en Deltares hebben in 2016/2017 nadere uitwerking gegeven aan bovengenoemde verbeterpunten ten aanzien van de WWN ([Witte et al., 2018](#)). Zij ontwikkelden op basis van de bestaande modellen en kennis een gebruiksvriendelijke interface waarbij het oorspronkelijke Waternood instrumentarium gebruikt wordt voor het evalueren van bestaande natuurdoelen, zonder inachtnaam van klimaatverandering, en het model PROBE ingezet wordt voor het voorspellen van toekomstige vegetatiepotenties. Samen vormen de WWL en WWN de [Waterwijzer voor landbouw en natuur](#) ([Bartholomeus et al., 2018](#)).

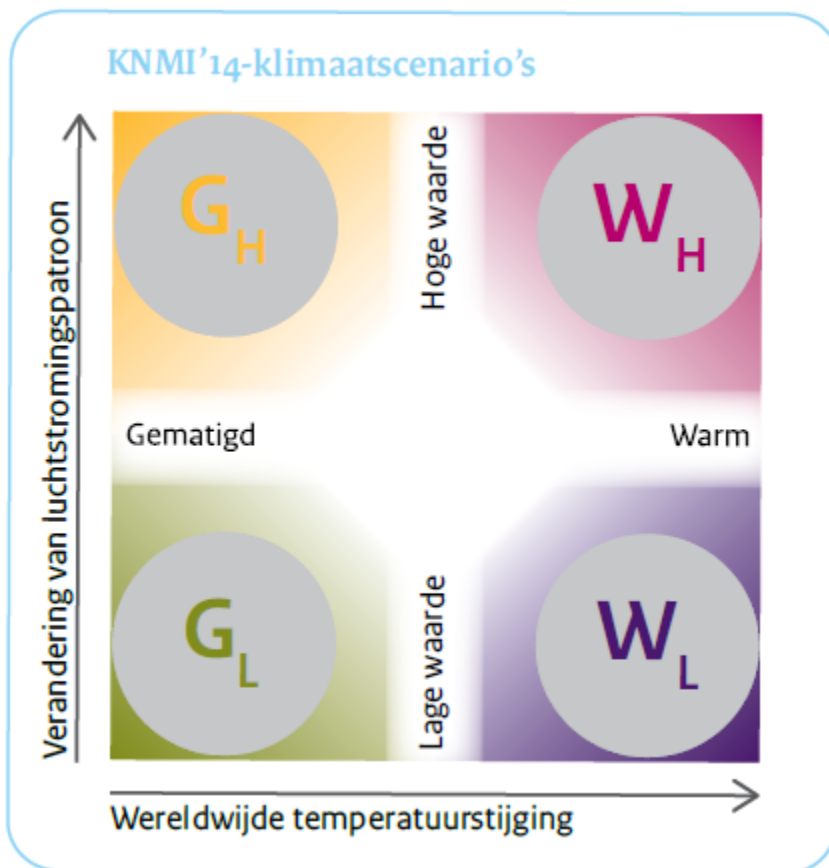
4. Werking

Klimaatverandering kan grote invloed hebben op de kwaliteit van natuurgebieden. Hoe deze processen op elkaar inspelen is niet altijd eenduidig. Zo stelt de vegetatie in natuurgebieden specifieke eisen aan de waterhuishouding, vooral aan de grondwaterstand. Bestaande beoordelingssystemen houden echter geen rekening met de gevolgen van klimaatverandering. Daarom wordt ingezet op de ontwikkeling van een modelinstrumentarium, de Waterwijzer Natuur, voor terrestrische natuur dat deze effecten kan voorspellen en dat adequaat rekening houdt met klimaatverandering in scenario's om knelpunten en effecten van maatregelen te berekenen.

Klimaatverandering in Nederland

In Nederland is de klimaatverandering al een tijd merkbaar: de laatste jaren wordt het meetbaar warmer. In de afgelopen eeuw is de jaargemiddelde temperatuur met ongeveer 1,5 °C gestegen. De tien warmste jaren sinds 1901 vallen alle na 1989 ([Compendium voor de Leefomgeving](#)). Er zijn in 2014 vier scenario's ontwikkeld (GL, GH, WL en WH, zie figuur 1) en deze beschrijven samen de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken. Ze geven de verandering rond 2050 en 2085 weer ten opzichte van het klimaat in de periode 1981-2010.

De KNMI scenario's zijn bedoeld als instrument voor het berekenen van gevolgen van klimaatverandering of voor het ontwikkelen van mogelijkheden en strategieën voor adaptatie. De klimaatscenario's tonen niet alleen de door de mens veroorzaakte klimaatverandering, maar ook de natuurlijke variaties in het klimaat. Bedacht moet worden dat de klimaatscenario's geen uitspraken doen over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst. Een nieuwe update van de scenario's wordt verwacht in 2021 (KNMI-website).



Figuur 1. Overzicht van de vier klimaatscenario's van 2014 van het KNMI (Bron: (KNMI, 2014))

Samengevat zijn de voorspellingen voor de temperatuur, neerslag en verdamping als volgt:

Temperatuur: volgens alle 4 scenario's zal de temperatuur blijven stijgen (voor het klimaat rond 2050 met +1,1 °C in GL en 2,7 °C in WH), de toename in de winter is gemiddeld het grootst. Zachte winters en hete zomers zullen vaker voorkomen.

Neerslag: in alle scenario's neemt de neerslag in alle seizoenen toe, met uitzondering van de zomer. Dit komt vooral doordat bij een opwarmend klimaat de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt. De winterse neerslag neemt volgens scenario's GL rond 2050 toe met slechts 3% en volgens WH met 17%. De modelberekeningen zijn niet eenduidig over de gemiddelde neerslag in de zomer: volgens GL en WL neemt de neerslag in de zomer gemiddeld iets toe (+1,2% en +1,4%), terwijl volgens GH en WH deze juist afneemt met respectievelijk -8% en -13%.

Verdamping: de potentiële verdamping neemt gemiddeld met enkele procenten toe (3% volgens GL, 7% volgens WH). In de zomers is deze toename nog sterker (4–11%). Deze stijging komt door meer zonnestraling en een hogere temperatuur. De verandering van de werkelijke verdamping kan afwijken van de potentiële, omdat de werkelijke verdamping beperkt kan worden door de beschikbaarheid van water in de bodem.

Voor de *koolzuur(CO₂)-concentratie* geeft het KNMI geen waarden bij de vier scenario's. [Reidsma et al. \(2015\)](#) koppelen de vier KNMI-scenario's aan de SRES-emissiescenario's in het [IPCC-assessment-rapport van 2001](#) (Appendix II, Table II.2.1 with CO₂ abundances): het lage-emissie-scenario B2 aan KNMI-scenario's GL en GH, en het hoge-emissie-scenario A1FI aan KNMI-scenario's WL en WH. Ze gebruiken daarbij de resultaten van het ISAM-model ([Jain et al., 1994](#)) voor de CO₂-concentraties: 478 μmol CO₂/mol voor B2 en 567 μmol CO₂/mol voor A1FI. Als Referentie voor de huidige situatie in 2000 gebruiken zij 369 μmol CO₂/mol.

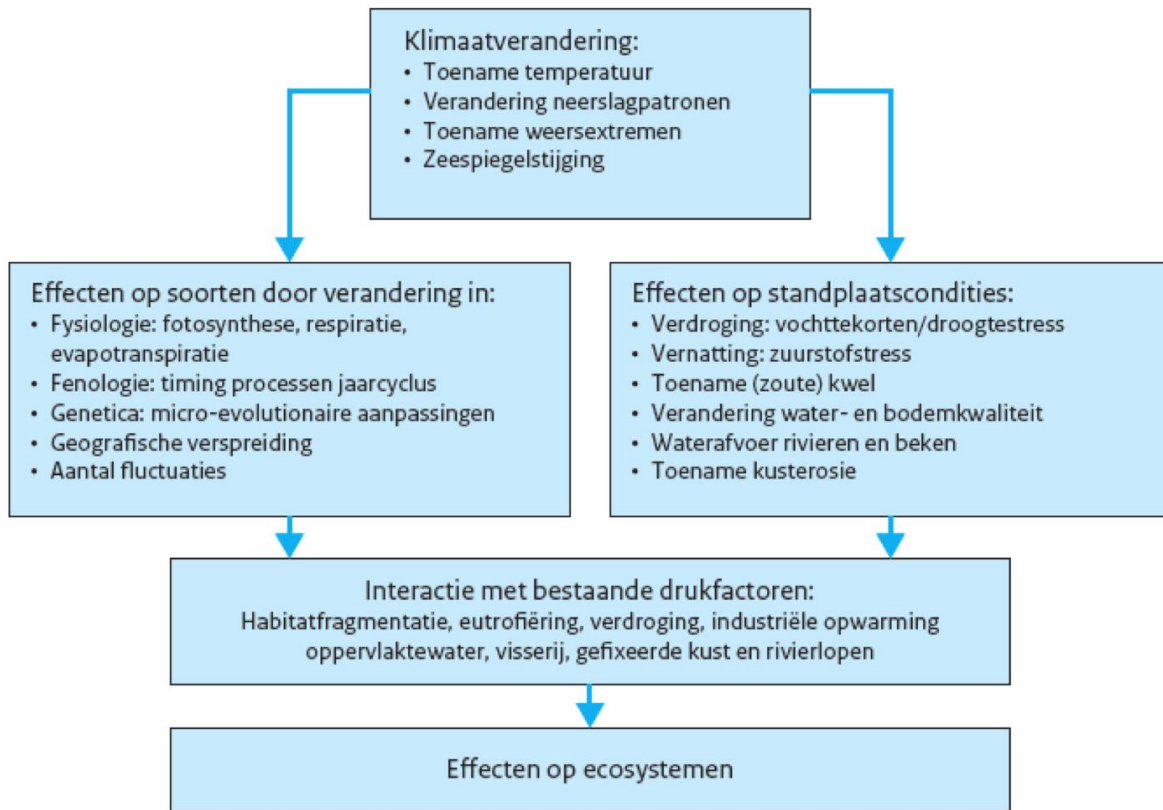
Hoe grijpt klimaatverandering in op terrestrische natuur?

De invloed van mondiale klimaatverandering op terrestrische natuur in vergelijking tot andere drukfactoren is significant en wordt in de toekomst groter ([PBL, 2015](#)). De natuur in Nederland staat al onder druk van de klimaatverandering. [PBL \(2012\)](#) geeft daar een helder overzicht van; citaat: "bij gelijkblijvend beleid nemen de effecten naar verwachting verder toe:

- Koude-minnende soorten nemen in aantal af, warmte-minnende soorten nemen toe. Het Nederlandse klimaat wordt geschikt voor nieuwe soorten.
- De soortensamenstelling van de natuur kan aanzienlijk veranderen. Ook kunnen veel standplaatscondities, zoals waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit, beïnvloed worden, wat indirecte gevolgen heeft voor de natuur.

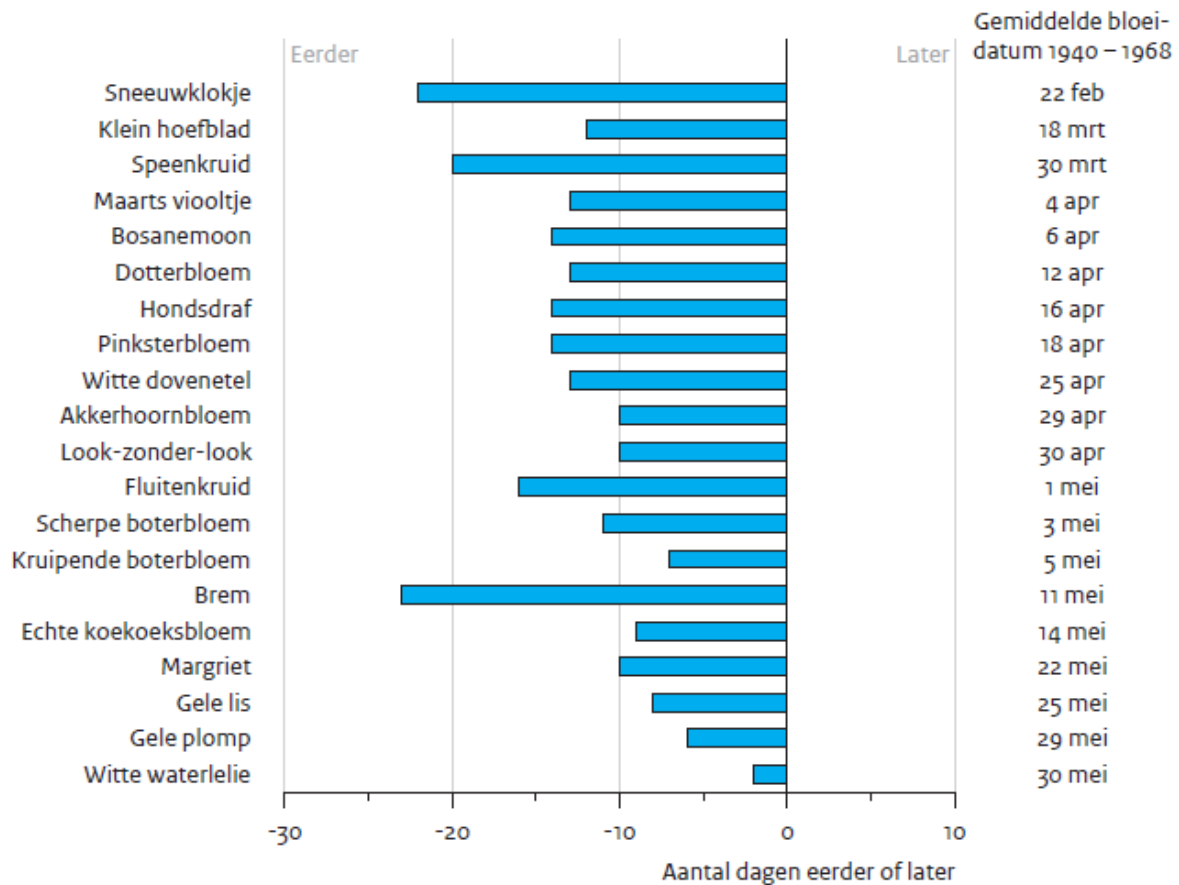
Klimaatverandering versterkt de effecten van andere drukfactoren op de natuur en vice versa. Zo versterkt klimaatverandering de effecten van verdroging en versterkt versnippering de effecten van klimaatverandering.”

Figuur 2 geeft een schematisch overzicht.



Figuur 2. Effecten van klimaatverandering op natuur (Bron: [PBL, 2012](#))

Een voorbeeld: door een hoge temperatuur in het voorjaar in de laatste jaren valt de gemiddelde bloeidatum vroeger in het jaar dan in de periode 1940-1968 (figuur 3). Sommige soorten zoals speenkruid, gele kornoelje en sneeuwkllokje bloeien zelfs meer dan 19 dagen eerder. Bij de meeste soorten die later in het jaar gaan bloeien, is de vervroeging niet zo sterk. De temperatuurverandering in de eerste maanden van het jaar is sterker dan in de maanden er na waardoor vroege bloeiers sterker vervroegen (bron: [Compendium voor de Leefomgeving](#)).

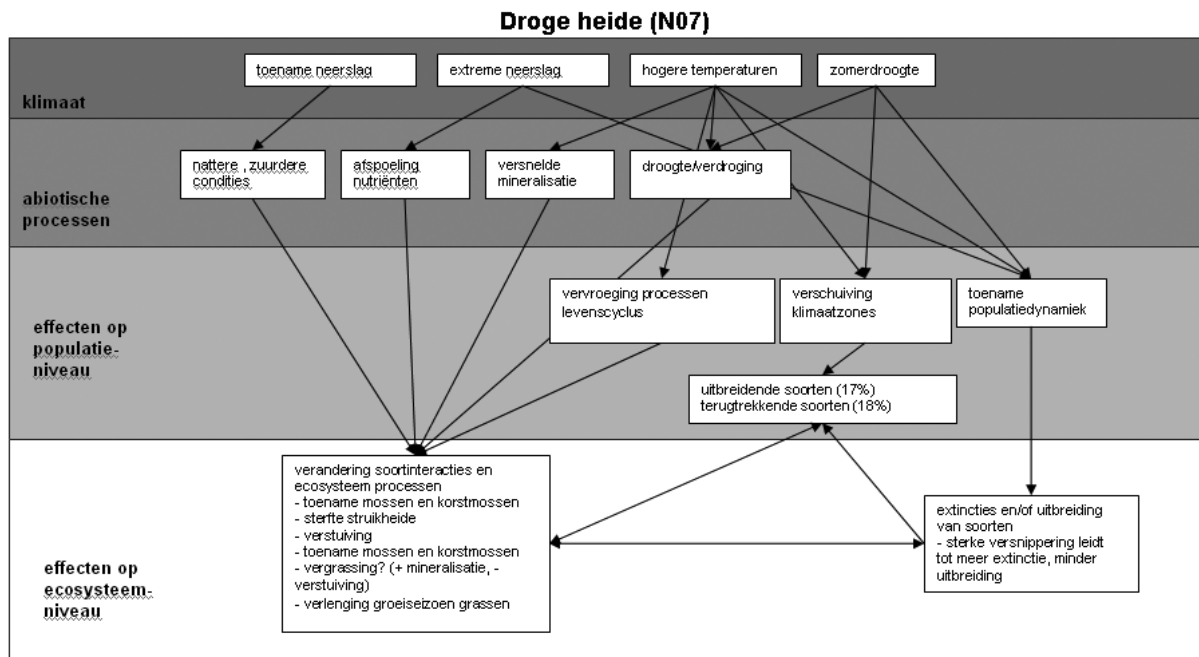


Figuur 3. Verandering van bloei in periode 2001-2005 t.o.v. periode 1940-1968 (Bron: [PBL, 2012](#))

De effecten van klimaatverandering op de terrestrische natuur zijn te verdelen in directe effecten op soortensamenstelling en indirecte effecten op de soortensamenstelling via veranderingen in standplaatsfactoren (zie figuur 2). Droogte gecombineerd met hoge temperaturen in de zomer kan leiden tot sterfte van planten en dieren en verschuiving van klimaatzones leidt tot veranderingen in soortensamenstelling. Habitatfragmentatie belemmert het meebewegen van soorten. Standplaatsfactoren veranderen door de volgende processen: toename van mineralisatie door temperatuurstijging leidt tot hogere voedselrijkdom, afspoeling en toevoer van nutriënten bij extreme neerslag, meer inlaat van systeemvreemd water - dat vaak van slechte kwaliteit is - bij droogte. Toename van de neerslag in de winter kan een gunstig effect hebben op natte en vochtige beheertypen. [Besse et al. \(2010\)](#) beschrijven voor een groot aantal beheertypen de effecten van klimaatverandering. Figuur 4 is een voorbeeld hiervan.

[Van Bodegom et al. \(2014\)](#) hebben verschillende benaderingen (meta-analyses, ecohydrologische modellering en expert kennis) gecombineerd om de effecten van klimaatverandering op natuur voor Nederland te evalueren. De conclusie was dat

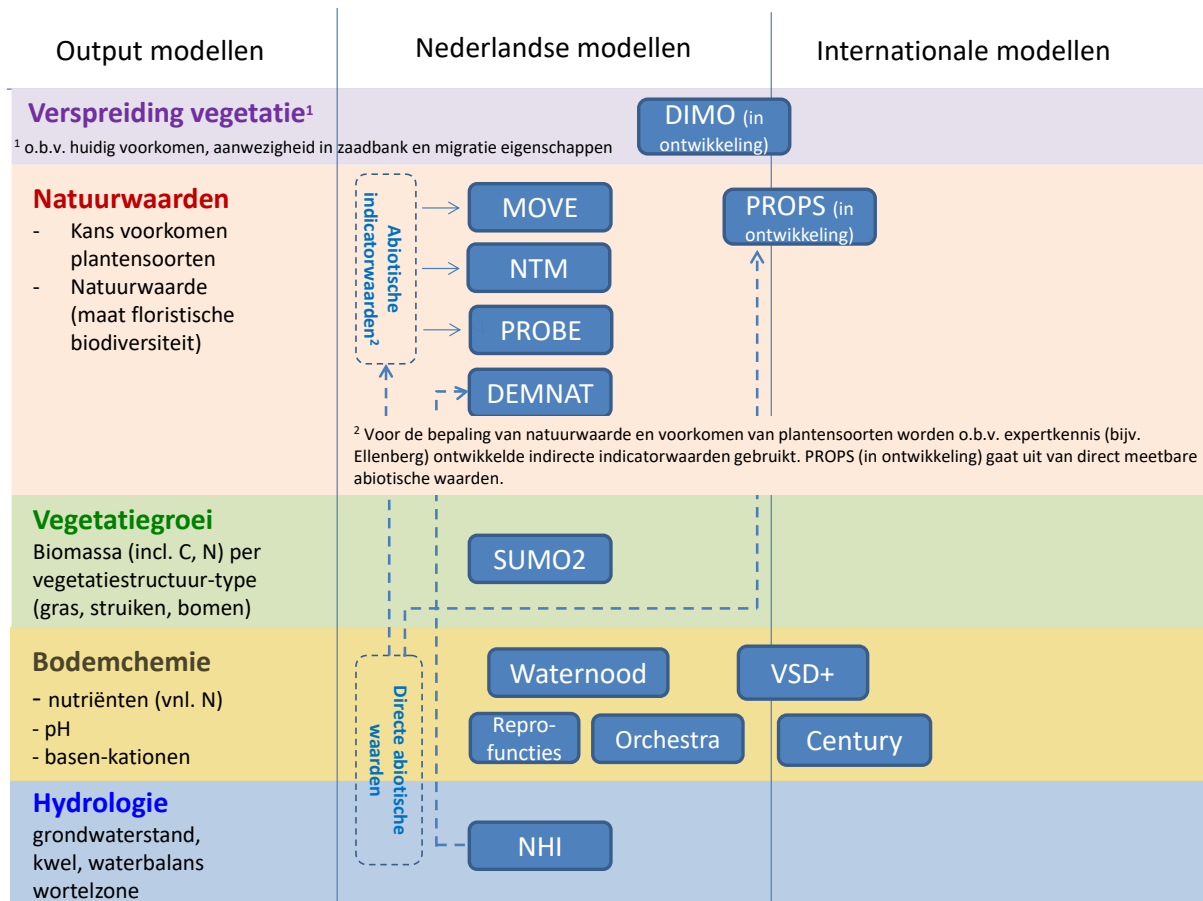
nutriëntarme systemen en ecosysteemtypen fluctuerende waterstanden zoals hooilanden en vochtige heiden het hoogste risico lopen bij klimaatverandering. [Witte et al. \(2012\)](#) verwachten negatieve effecten voor natte en vochtige ecosystemen die geheel gevoed worden door neerslagwater, zoals hoogvenen en natte heiden. Tevens zijn schadelijke effecten te verwachten voor laagveenmoerassen die sterk afhankelijk zijn van de aanvoer van oppervlaktewater, omdat de kwaliteit van dit aanvoerwater onder druk kan komen te staan (vervuiling, verzilting).



Figuur 4. Effect van klimaatverandering op droge heide ([Besse et al., 2010](#))

Rekenmodellen voor terrestrische natuur

Bij verschillende instituten is een keur aan modellen die inzetbaar zijn voor de berekening van de kwaliteit van natuur onder invloed van milieuomstandigheden - waaronder het klimaat- en beheersmaatregelen (figuur 5). In figuur 5 is ook te zien welk deel van het ecosysteem de modellen beschrijven. De modellen die de natuurwaarde beschrijven zijn veelal statistische modellen die gevoed worden met standplaatsfactoren of indicatiewaarden voor vochttoestand, zuurgraad en nutriëntenrijkdom. De indicatiewaarden zijn afgeleid van empirische relaties tussen standplaatsfactoren en indicatorwaarden (natuurwaarden) voor plantensoorten (zie kader). De standplaatsfactoren worden berekend door procesgeoriënteerde modellen zoals [NHI](#) (vochttoestand), [Century](#) (nutriënten), [Orchestra](#) (zuurgraad), [VSD+](#) (zuurgraad en nutriënten). [Waterlood](#) is een kennisysteem waarmee voor ieder vegetatietype kan worden bepaald of de grondwaterstand binnen de voor dat type



Figuur 5. Overzicht van modelconcepten terrestrische vegetatie bij KWR (PROBE, Waterlood, Orchestra, Century), WENR (DIMO, PROPS, MOVE, NTM, SUMO2, VSD+, NHI) en Deltares (DEMNAT, NHI) (gebaseerd op Van Ek et al. (2014))

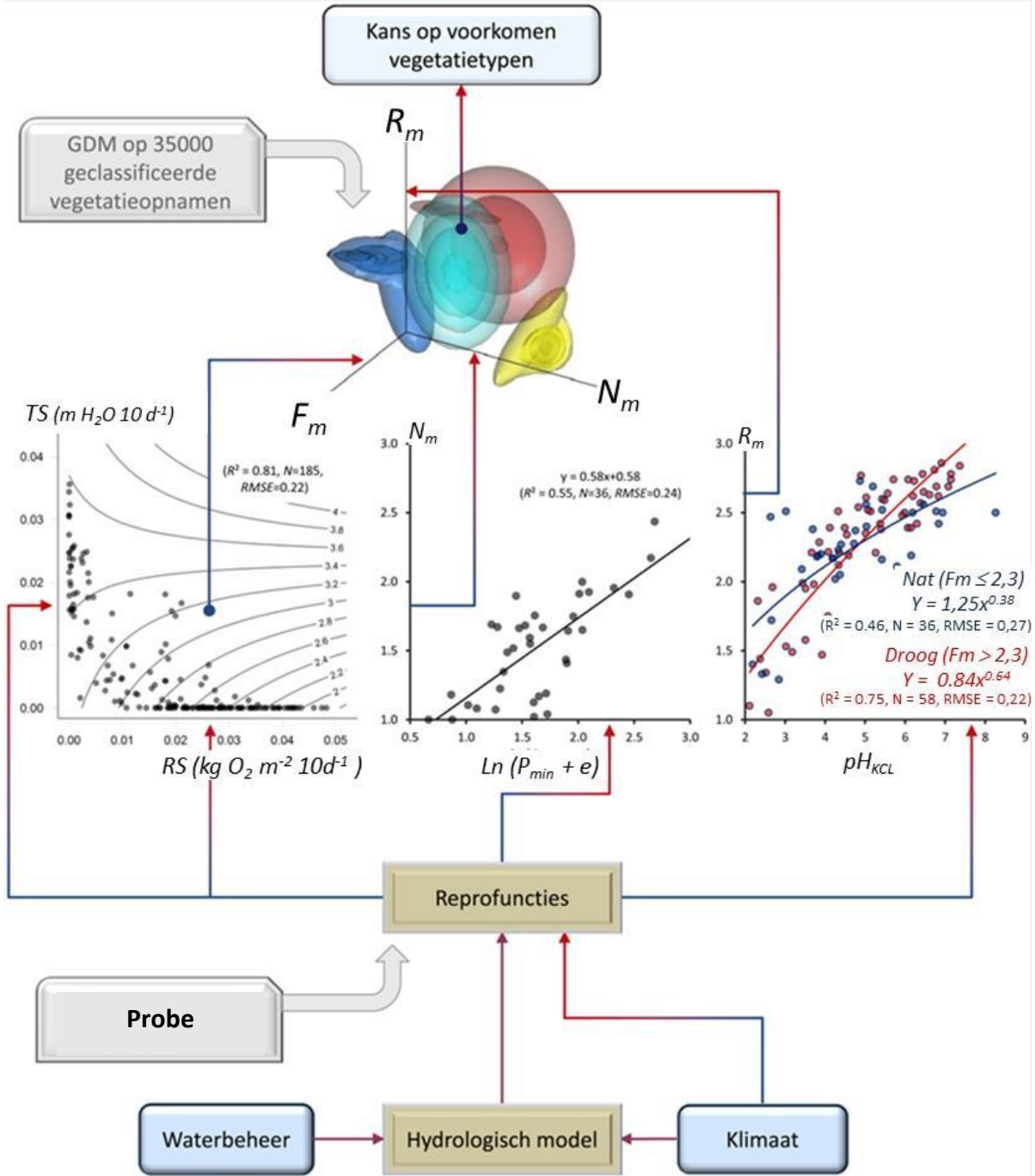
gewenste bandbreedte valt. Aan VSD+ is de successiemodule SUMO2 gekoppeld, die de vegetatiegroei en opname berekent op basis van een jaarlijkse terugkoppeling met de nutriëntenbeschikbaarheid. Effecten van beheer worden hierin meegenomen, waardoor het mogelijk is effecten van beheersmaatregelen te berekenen.

Kader Indicatorwaarden

Planten groeien niet zomaar ergens. Elke plantensoort heeft een bepaalde hoeveelheid licht, water en voedingsstoffen nodig om te groeien. Ook het klimaat is van invloed op het voorkomen van plantensoorten. Elke plantensoort stelt zijn eigen eisen aan de genoemde standplaatsfactoren, ook wel abiotiek genoemd. Uitgaande van dit gegeven is door experts aan plantensoorten een indicatorwaarde voor de standplaatsfactoren gekoppeld. Dit zijn dus getallen die samenvatten onder welke standplaatsomstandigheden een plantensoort gemiddeld gezien voorkomt. De bekendste ecoloog die dit gedaan heeft is Heinz Ellenberg die op een schaal van 1 tot 9 indicatorwaarden heeft bepaald voor licht, temperatuur, continentaliteit (= het verschil tussen minimum en maximumtemperatuur), vocht, zuurgraad, stikstof en zoutresistentie.

Verreweg de meeste modellen die het voorkomen van plantensoorten voorspellen gebruiken indicatorwaarden als input. De modellen die milieueffecten op de abiotiek van ecosystemen berekenen, hebben als modeloutput de standplaatsfactoren zoals pH, nutriënten- en vochtbeschikbaarheid en niet de indicatorwaarden. Om de koppeling te maken tussen de

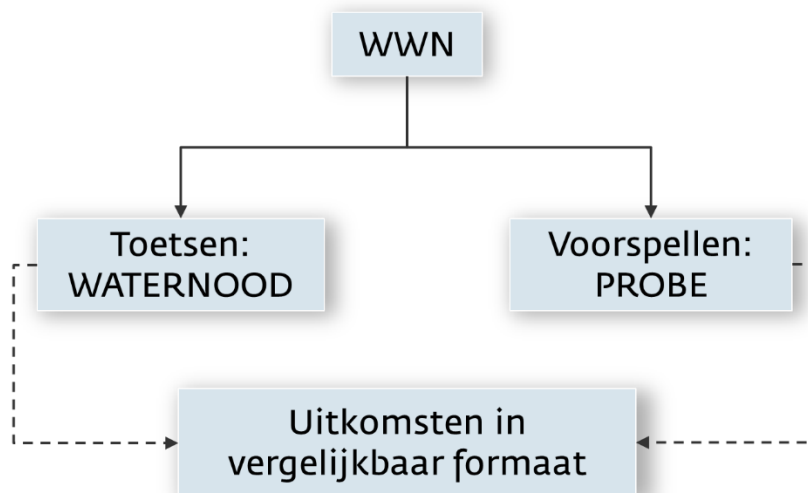
modellen voor abiotiek en de modellen die het voorkomen van plantensoorten voorspellen moet een vertaling gemaakt worden van standplaatsfactor naar indicatorwaarde. Voor de standplaatsfactoren vocht en pH is een goede relatie gevonden met de indicatorwaarden, maar de relatie tussen nutriëntenbeschikbaarheid en de indicatorwaarde voor nutriëntenrijkdom is zeer zwak.



Figuur 6. Schematische weergave van de huidige voorspellingsmodule van Waterwijzer natuur

In grote lijnen lijken de modellijnen van KWR en WENR veel op elkaar. Beide hebben een proces-georiënteerd deel waarmee de voedselrijkdom en de zuurgraad van de bodem worden berekend op basis van hydrologische invoer gesimuleerd met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) of met regionale hydrologische deelmodellen.

Op dit moment wordt er gewerkt om stapsgewijs een aangepaste versie van de voorspellingsmodule van WWN te ontwikkelen die klimaat robuust is. Hierbij worden delen van elkaars modellen in elkaar geschoven. Om het geheel praktisch toepasbaar te maken, worden op basis van de procesmatige modellen metarelaties afgeleid voor het huidige en toekomstige klimaat. Als eerste stap is de oorspronkelijke modellijn van KWR (zie figuur 6 en 7) voorzien van een gebruikersvriendelijke schil, zodat voor allerlei ingrepen in de waterhuishouding eenvoudig de effecten op de terrestrische natuur kunnen worden berekend.



Figuur 7. Schematische weergave van de huidige WWN bestaande uit de grondwaterstand toetsingsmodule Waternoed en de voorspellingsmodule PROBE

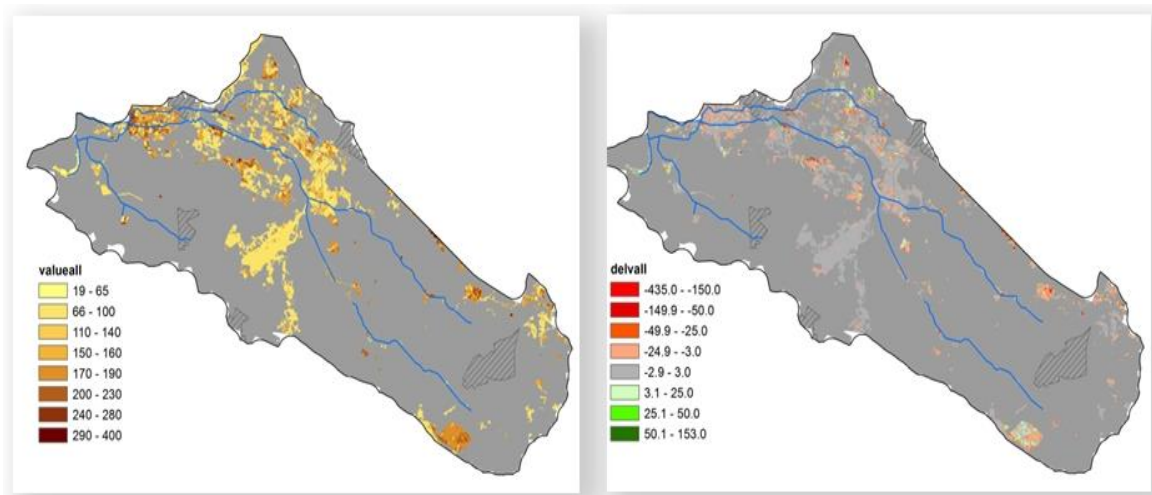
De eerste operationele modelversie is september 2018 vrijgegeven en is te downloaden via de www.waterwijzer.nl of [WWN-site](#). Deze versie maakt gebruik van bestaande kaarten in GIS en van door de gebruiker op te geven kaarten met karakteristieke grondwaterstanden, zoals de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Zij simuleert binnen enkele minuten op een eenvoudige PC de gevolgen van een klimaatscenario voor een stroomgebied met of zonder adaptieve maatregelen.

De Waterwijzer Natuur kan worden gebruikt voor:

- het toetsen van de waterhuishouding aan bestaande vegetatiedoelen;
- het beoordelen of vegetatiedoelen haalbaar zijn onder een ander klimaat;
- het vinden van nieuwe locaties die geschikt zijn voor natuurontwikkeling;
- het optimaliseren van de waterhuishouding ten behoeve van de natuur.

Uitkomsten zijn onder meer kaarten met de kans op voorkomen van vegetatietypen en van veranderingen in de biodiversiteitswaarde van het modelgebied.

De tool rekent zeer snel en genereert uitkomsten in de vorm van heldere kaarten met een ruimtelijke resolutie van 25 m x 25 m (zie bijv. [Witte et al., 2014](#)) en tabellen. Zo kan er gezocht worden naar potentiële locaties voor natuurontwikkeling (figuur 8).



Figuur 8 Gesimuleerde potentiële natuurwaarden in het stroomgebied van de Baakse beek onder het huidige klimaat (links) en de natuurwaardeverandering in 2050 onder klimaatverandering (rechts)

5. Randvoorwaarden

n.v.t.

6. Kosten en baten

Naast de intrinsieke waarde heeft natuur ook een economische waarde. In Nederlandse bossen wordt hout gewonnen, er wordt veel in de natuur gerecreëerd, huizen in de nabijheid van natuur zijn meer geld waard en grondwater dat voor de bereiding van drinkwater is gewonnen in of nabij grote natuurgebieden is van hoge kwaliteit door de filterende werking van de bodem en afwezigheid van verontreinigingsbronnen.

Aan de kostenkant kan gedacht worden aan kosten van onderhoud en beheer van natuurgebieden en te nemen (hydrologische) herstelmaatregelen die rekening houden met klimaatverandering. Het is mogelijk om te berekenen of beheersmaatregelen effectief zijn en wat het dus kost om de natuur in stand te houden. Als de te verwachten effecten van klimaatverandering met modellen kunnen worden ingeschat kan dat helpen om een meer gerichte kosten-baten-analyse te maken.

7. Governance

De overheid wil nationaal en internationaal behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit. De overheidsplannen hiervoor staan in de [Uitvoeringsagenda Natuurlijk Kapitaal](#)en vanuit de maatschappelijke sectoren is het [Deltaplan Herstel Biodiversiteit](#) opgesteld in 2018. De internationale biodiversiteitsafspraken van het [Biodiversiteitsverdrag \(CBD\)](#) bepalen voor een groot deel de Uitvoeringsagenda. Doel is om in uiterlijk 2020 veerkrachtige ecosystemen en ecosysteemdiensten te hebben. Deze moeten bijdragen aan biodiversiteit, water- en voedselzekerheid, armoedebestrijding en welzijn. De plannen in de Uitvoeringsagenda zijn in lijn met internationale biodiversiteitsafspraken van het Biodiversiteitsverdrag (CBD) en de [Europese Vogel- en habitat richtlijn](#). Verschillende (internationale) wetten en regels beschermen de natuur in Nederland. Het [Natuurnetwerk Nederland](#) en [Natura 2000](#) moeten natuurgebieden beschermen en versterken door deze beter met elkaar en met het omringende agrarisch gebied te verbinden. Het natuurbeleid is in de afgelopen jaren steeds meer gedecentraliseerd met een regierol voor de provincies ([Folkert en Boonstra, 2017](#)) met uitzondering van de Rijkswateren ([Veraart et al., 2018](#)). Dit leidt tot knelpunten bij de realisatie van Europese natuurdoelen ([Broekmeyer en Pleijtte, 2016](#)).

Op 11 april 2014 heeft het kabinet het nieuwe beleid voor de toekomst gepresenteerd: de [Rijksnatuurvisie](#). Centraal in de natuurvisie staat dat natuur midden in de samenleving thuishoort. Dit vanuit de filosofie dat natuur die mensen belangrijk vinden is veel meer dan de natuur in beschermde natuurgebieden. De natuurvisie wil vooral burgers, bedrijven, gemeenten en maatschappelijke organisaties meer kansen bieden om natuur te beschermen. En om natuur duurzaam te gebruiken.

De Rijksnatuurvisie verlegt de aandacht van bescherming van natuur tegen de samenleving naar versterking van natuur dóór de samenleving. De overheid treedt

niet terug op natuurgebied maar legt verantwoordelijkheden ook bij burgers en bedrijven. De Rijksoverheid blijft eindverantwoordelijk voor de natuur. Zo zorgt het Rijk voor wettelijke natuurbescherming en goede internationale afspraken. Ook wordt er samen met provincies geïnvesteerd in het Natuurnetwerk (het netwerk van bestaande en toekomstige natuurgebieden). De aandacht voor klimaat effecten is hierbij volgens het [PBL \(2012\)](#) echter gering geweest (citaat):

"De laatste jaren is er op rijksniveau weinig beleidsaandacht geweest voor de effecten van klimaatverandering op de natuur. De Ecologische Hoofdstructuur ([EHS](#)) en het Natura 2000-netwerk bieden in beginsel goede bouwstenen om de Nederlandse natuur meer klimaatbestendig te maken. Hiervoor is het wel nodig de EHS meer te richten op het vergroten, versterken en verbinden van gebieden waarbij de voorkeur verlegd wordt naar bepaalde samenhangende clusters van gebieden (moeras, duin & kust, en bos en heide). Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen."

Ook hierbij kunnen modellen die effecten van klimaatverandering op de natuur voorspellen een belangrijke functie hebben.

8. Ervaring met modellen

De ontwikkeling van de WWN is opgenomen in de Landelijke Kennisagenda Zoetwater die door het Bestuurlijk Platform Zoetwater is vastgesteld. Samen met de Waterwijzer Landbouw kan de WWN worden beschouwd als een belangrijk instrument voor de onderbouwing van een Deltaplan Zoetwater fase 2 (2022 – 2027).

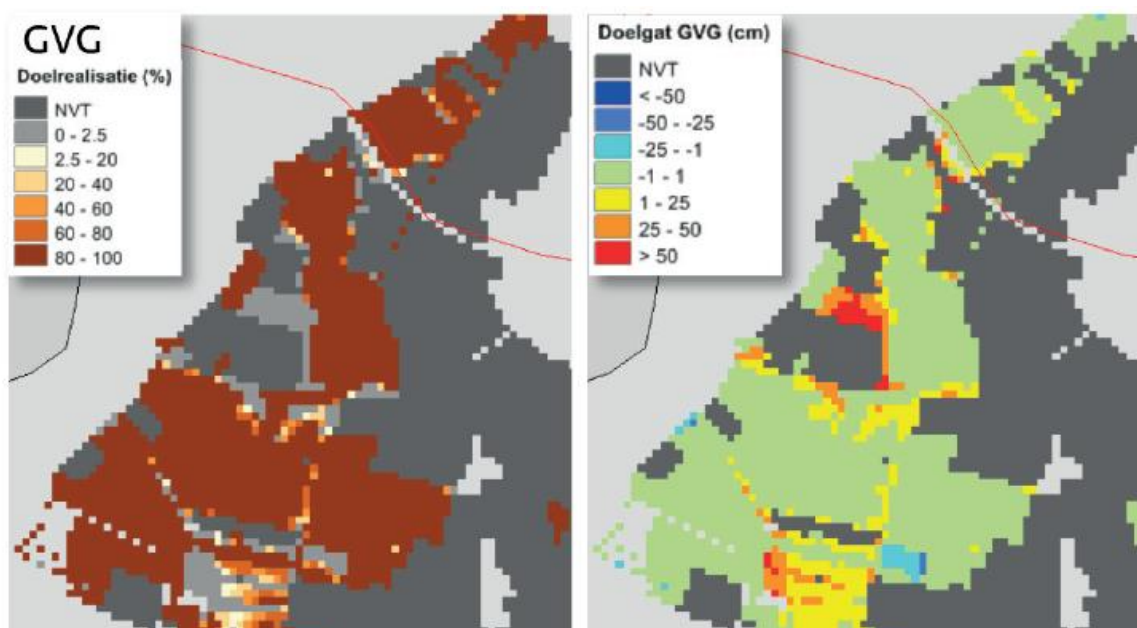
Landelijk niveau

Op landelijk niveau is de Waterwijzer Natuur in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater toegepast om de effecten van klimaatverandering en verandering in waterhuishouding op natuur in Nederland door te rekenen (Nijp e.a., 2019; Nijp & Witte, 2020). Hieruit komt vooral naar voren dat er ruimtelijk veel veranderingen in standplaatscondities optreden, waarbij op sommige plekken verdroging optreedt, en op andere plekken vernatting. Deze veranderingen leiden tot verschuivingen in het type potentiële natuur.

Stroomgebiedsniveau

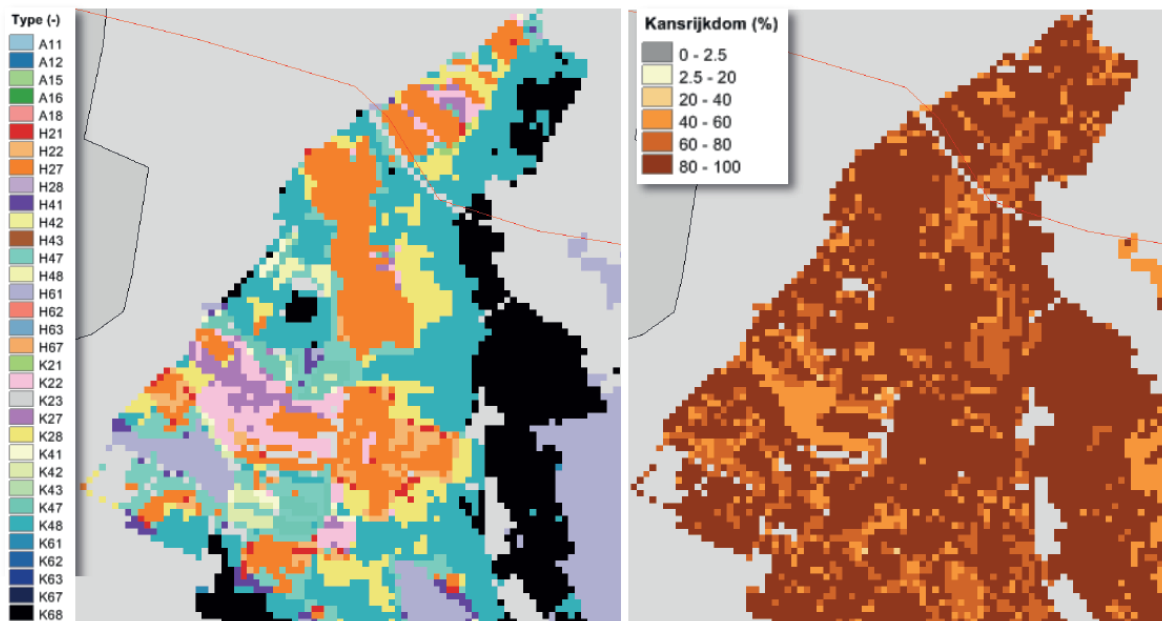
Op stroomgebiedsniveau is PROBE (WITTE e.a., 2007a) ingezet in enkele studies, waaronder de Baakse beek, deTungelroyse beek ([Van der Knaap et al., 2014](#)) en Westelijke Langstraat). SMART2-SUMO-NTM (SMART2 is een voorloper van VSD+, wat onderdeel is van de WWN) is o.a. in een voorbeeldstudie toegepast op het stroomgebied de Baakse Beek ([Van Ek et al., 2012](#)). Beide modellen berekenen dat over het algemeen de natuurwaarde hoger wordt bij het klimaatscenario waarbij de hoeveelheid neerslag iets toeneemt en de temperatuur niet verandert (G scenario van de KNMI'06-klimaatscenario's) en lager bij het klimaatscenario W+ waarbij de temperatuur toeneemt en de hoeveelheid neerslag afneemt.

De WWN is voor de provincie Noord-Brabant en Waterschap Aa en Maas toegepast in natuurgebied Sang & Goorkens en op grond hiervan kwamen deze instanties tot het oordeel de resultaten er "best aannemelijk" uitzien, zowel voor het huidige klimaat als voor scenario WH (2050) (zie [Witte et al. 2018](#)). Wij gaan hier wat dieper in op de resultaten. De hydrologische invoer werd berekend met het Brabant Model en werd aangeleverd door het waterschap. Figuur 9 toont de gesimuleerde doelrealisaties en doelgaten. Op basis van deze resultaten kunnen we aannemen dat de door het hydrologische model gesimuleerde grondwaterstanden over het algemeen heel goed 'passen' bij de beheertypen bij het huidige klimaat.



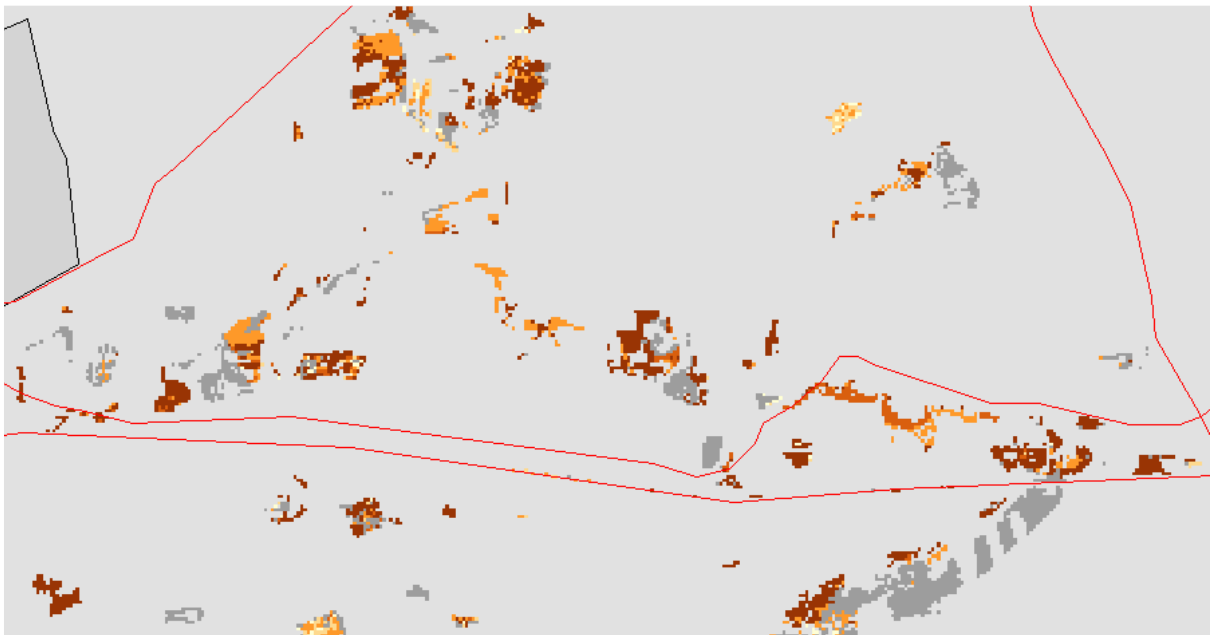
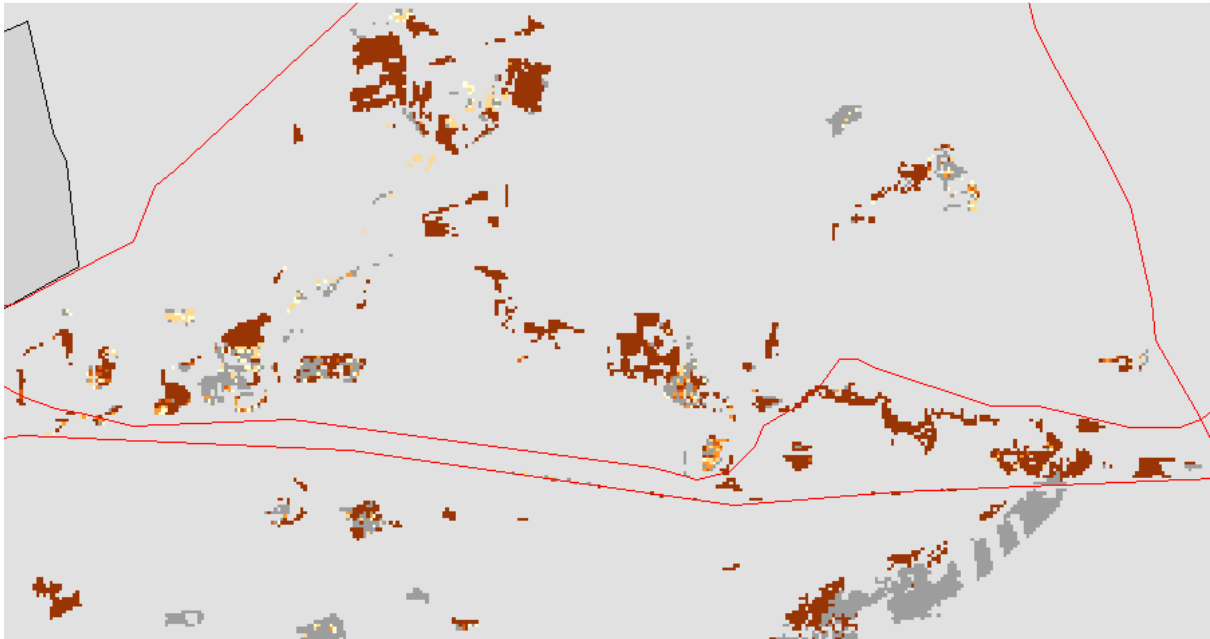
Figuur 9 Met Waterlood berekende doelrealisatie (links) en doelgat (rechts) voor de GVG van beheertypen onder het huidige klimaat in Sang & Goorkens

Op basis van de met WWN berekende individuele kansrijkdomkaarten van alle 33 typen is een samengestelde gemaakt (figuur 10).



Figuur 10 Met PROBE berekende vegetatiekaart van Sang & Goorkens (links) waarbij iedere rekencel is geassocieerd naar het type vegetatie (ecotoopgroep) met de hoogste kansrijkdom. Die kansrijkdom is in het rechterplaatje weergegeven

Daarnaast is in het kader van een studie voor Waterschap Vechtstromen en [Lumbricus](#) een aantal natuurgebieden langs de Overijsselse Vecht bestudeerd met behulp van de WWN. Op basis van de huidige vegetatie is eerst onderzocht met Waternood of de uitkomsten van het hydrologisch model in overeenstemming zijn met de actuele vegetatie (zie Witte et al. 2018). Verder is de haalbaarheid van de beoogde natuur zowel met Waternood als met PROBE berekend (figuur 10). Van de cellen die in Figuur 29 voor PROBE donker zijn gekleurd (hoge kansrijkdom), mag worden verwacht dat ze dat ook zijn bij Waternood (hoge doelrealisatie). Dat blijkt ook te kloppen: 88% van de cellen met een kansrijkdom meer dan 90% heeft een doelrealisatie van meer dan 90%. De vergelijking kansrijkdom en doelrealisatie is ook op celniveau (25 m × 25 m) uitgevoerd (zie tabel 1). Uit deze tabel blijkt dat de overeenkomst tussen beide methoden voor ten minste 33% + 49% = 82% goed is te noemen. In 18% van de rekencellen is de overeenkomst tussen PROBE en Waternood slecht. Waar dat aan ligt kan zonder nader onderzoek niet worden aangegeven.



Figuur 11. Totale doelrealisatie habitattypen volgens Waterlood (boven) en kansrijkdom habitattypen volgens PROBE (onder) voor een klein deel van het modelgebied van de Overijsselse Vecht (referentieklimaat)

Tabel 1. Vergelijking kansrijkdom habitattypen volgens PROBE met doelrealisatie habitattypen volgens Waterlood.

		WATERNOOD		
		niet	wel	#
PROBE	niet	33	9	1704
	wel	9	49	2335
	#	1704	2335	

9. Lopende initiatieven en onderzoeken

Doorontwikkeling van bestaande modellen

In 2020 is in opdracht van STOWA met medefinanciering van het programma Lumbricus een nieuwe versie van het WWN modelinstrumentarium uitgebracht (WWN-2). In WWN-2 is de berekening van de bodem-pH verbeterd en klimaatrobuuster en door kennisregels te vervangen met processen (zie Witte e.a. (2020) voor meer informatie). De voornaamste aanpassing in WWN is dat het procesmodel VSD+ rekening houdt met de aanvoer van kwelwater naar de wortelzone en verzurende effecten van depositie. Kwelwater is vaak baserijk en kan daardoor zorgen voor een vrij stabiele en neutrale tot basische bodem-pH, en beïnvloedt daarmee kansrijkdom van vegetatietypen.

De kwelkwaliteit, benodigd als invoer voor VSD+, is afgeleid uit een nieuwe landsdekkende kwelkwaliteitskaart. Deze kaart is vervaardigd op basis van meetgegevens over de chemische samenstelling van het grondwater, en geeft de kwelkwaliteit weer in vijf klassen. Uit een validatie met een onafhankelijke dataset blijkt dat dat deze klassen redelijk goed worden voorspeld (60% correct).

Daarnaast zijn omzettingsprocessen die door de zuurgraad worden beïnvloed (en vice versa) zo goed mogelijk gekwantificeerd aan de hand van literatuuronderzoek en veldmetingen: de afbraak van organische stof (mineralisatie) en de omzetting van stikstofverbindingen (nitrificatie en denitrificatie). Een validatie aan veldmetingen laat zien dat VSD+ de pH in natte en vochtige ecosystemen adequaat simuleert.

Om snel te kunnen rekenen maakt de WWN gebruik van metarelaties, die modeluitvoer van gedetailleerde procesmodellen vertalen naar versimpelde uitvoer van hydrologische modellen. Deze metarelaties zijn ondergebracht in de WWN-rekenkern GTST (Groundwater-To-Stress-Transfer, zie Bartholomeus en Witte, 2013). Aan GTST is een procedure toegevoegd om metarelaties voor de bodem-pH te genereren.

Om te bepalen of de resultaten van WWN-2 versie plausibel zijn, is deze toegepast op gebieden Sang & Goorkens en De Rheezermaten. De kaarten van gesimuleerde bodem-pH waren verklaarbaar en realistisch. Met WWN-2 is bepaald wat het effect van klimaatverandering is op de bodem-pH. Voor KNMI klimaatscenario WH

(zichtjaar 2050) trad een toename van pH op in kwelgebieden. Deze kan verklaard worden door een verhoogde kwelintensiteit en groter neerslagtekort in de zomer.

Door deze verbeteringen worden effecten van veranderingen in klimaat, stikstofdepositie, en waterhuishouding op de zuurgraad, en het effect daarvan op vegetatietype, in met name door kwelwater gevoede terrestrische ecosystemen beter voorspelt. Dat is belangrijk, want juist deze gebieden hebben dikwijls een zeer hoge natuurwaarde en genieten dus extra bescherming.

Toekomstige ontwikkelingen Waterwijzer Natuur

Nadat bovengenoemde uitgevoerde uitbreidingen resteren er nog diverse kennisleemten. Een deel daarvan wordt momenteel ingevuld in WWN Fase 3. In deze ontwikkelfase wordt de simulatie van de standplaatsconditie voedselrijkdom verbeterd. De belangrijkste verandering is dat er ook rekening gehouden wordt met stikstofdepositie. Na afronding van deze fase kan de gebruiker scenario's van stikstofdepositie opgeven, om zo het gecombineerde effect met waterhuishouding op vegetatie te bepalen. .

Daarnaast is het voor de kustprovincies en kustwaterschappen relevant om ook de effecten van zout op de vegetatie mee te nemen. Verder zijn er diverse verbeteringen mogelijk die zowel inhoudelijk als technisch van aard zijn. De belangrijkste daarvan is dat de WWN rekening gaat houden met onzekerheden: met maaiveldvariatie binnen rekencellen en met willekeurige fouten in de gesimuleerde grondwaterstanden die de WWN voeden.

In de WWN wordt, zoals doorgaans het geval is in huidige modellen, aangenomen dat de eigenschappen van de bodem niet veranderen door de tijd.

Klimaatverandering kan bodemeigenschappen beïnvloeden (o.a. vochtretentie, doorlatendheid) (Gelybó e.a., 2018), en daarmee doorwerken op standplaatscondities en kansrijkdom van vegetatietypen.

Evaluaties naar aanleiding van de droge zomer van 2018

In 2018 hebben verschillende sectoren veel hinder en schade opgelopen door de droogte in Nederland en ook natuurterreinen hebben last gehad van de droogte (neerslag tekort >300mm). Op landelijk (Deltaprogramma) en regionale niveau

(waterschappen, OBN) zijn in 2019 verschillende evaluaties uitgevoerd om de effecten van de droogte in kaart te brengen ([INFRAM, 2019](#); [OBN, 2019](#)). Een belangrijke vraag is of natuurgebieden waar hydrologische herstelmaatregelen genomen zijn om het watervasthoudend vermogen te versterken zich in 2019-2020 sneller herstellen van de droogte in vergelijking tot natuurgebieden waar dit type maatregelen (nog) niet genomen zijn. Dat zegt iets over verschillen in klimaatadaptief vermogen van terrestrische natuur. Aanvullend is in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater met de WWN voor de hoge zandgronden bepaald hoe hydrologische maatregelen, gericht op het weerbaar maken van deze regio tegen droogte, doorwerken op natuur (Nijp & Witte, 2020).

De Waterwijzer Natuur voorspelt potentiële vegetatie op basis van klimaat (30 jaar weer). In de Waterwijzer Natuur Fase 3 wordt verkend of WWN geschikt gemaakt kan worden om effecten van klimaatextremen op vegetatie te voorspellen. Specifiek wordt gekeken naar het gecombineerd effect van verzuring en de droogte van 2018 op natuur.

Programma natuurlijke klimaatbuffers

Klimaatbuffers zijn gebieden waar natuurlijke processen de ruimte krijgen. Hierdoor groeien ze mee met klimaatverandering, waar mens en natuur van profiteren. Sinds 2008 heeft de [Coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers](#) meer dan 70 klimaatbuffers gerealiseerd verspreid over heel Nederland met financiering van diverse regionale en rijksoverheden. Tot en met 2022 wordt er gewerkt aan verdere opschaling, mainstreaming van het concept buiten de natuursector, in het waterbeheer en ruimtelijke ordening. Er zijn verschillende klimaatbufferprojecten die zich richten op water vasthouden in bovenstrooms gelegen natuurgebieden (Natuurlijke Spons). Dat kan in de haarvaten van het oppervlakte watersysteem (sloten, beekjes), in (hoog)veengebieden, bossen en in vochtige heide/doorstroommoerassen. Voorbeelden waar maatregelen genomen zijn om terrestrische natuur weerbaarder te maken voor klimaatverandering zijn Dwingelderveld, Kempenbroek, Leuvenumse Beek en Hunze en Aa.

10. Kennisleemten

Klimaat effecten natuur

Onzekerheden rond de toekomstige effecten van klimaatverandering op de natuur

zijn groot ([Wardekker & van der Sluijs, 2010](#)). Het [PBL \(2012\)](#) beschrijft de onzekerheid als volgt (citaat):

“Bij natuur gaat het vooral om onwetendheid of kennisleemtes die te maken hebben met verbanden tussen de vele factoren die de natuur beïnvloeden. Zo is er onwetendheid over het toekomstig belang en effect van klimaatverandering ten opzichte van de vele andere factoren die de natuur beïnvloeden. Nu zijn het veelal de andere drukfactoren die dominant zijn voor de natuur. Maar hoe zal dit veranderen als de klimaatverandering doorzet? Andere drukfactoren zoals beheer en verdroging hebben vaak een complexe interactie met klimaatverandering.

Daarnaast is nog weinig bekend over het aanpassingsvermogen van soorten en interacties tussen soorten, bijvoorbeeld in voedselketens, waardoor een klimaateffect versterkt kan worden of juist kan afnemen. Zo hebben studies laten zien dat de verspreidingsgebieden van veel soorten langzamer verschuiven dan het klimaat. Dit zou een uiting van aanpassing van soorten kunnen betekenen, waardoor soorten minder hard achteruitgaan dan ze op basis van fysieke veranderingen verondersteld worden te doen. Maar geschikt leefgebied elders kan de kans op overleven vergroten. Dit soort ruimtelijke afhankelijkheden zijn tot op heden beperkt bekend ([PBL, 2012](#)).”

Modellen

Klimaatverandering zal vooral gevolgen voor natuurlijke vegetaties hebben via veranderingen in de waterbalans. Die veranderingen werken namelijk door op de bodemtemperatuur en de hoeveelheid vocht, zuurstof en nutriënten die voor de planten in het wortelmilieu beschikbaar zijn. [Kros et al. \(2017\)](#) stellen dat klimaatverandering tot de volgende kennisleemten leidt bij water- en natuurterreinbeheerder:

- Welke maatregelen zijn er nodig om natuurdoelen in de toekomst zeker te stellen?
- Welke alternatieve doelen kunnen we overwegen als in het verleden vastgestelde natuurdoelen niet meer haalbaar blijken te zijn onder een veranderd klimaat?
- Waar liggen straks, in het klimaat van de toekomst, de beste kansen voor het creëren van hotspots van biodiversiteit?

Op dit moment ontbreekt het de waterbeheerder en beleidsmaker aan een praktisch instrument om dergelijke vragen te beantwoorden. De Waterwijzer Natuur ([WWN](#)) is speciaal ontwikkeld om deze vragen te adresseren.

11. Bronnen & links

Bronnen

- Bartholomeus, R.P. & Witte, J.P.M. (2013.) Ecohydrological Stress - Groundwater To Stress Transfer. Theory and manual version 1.0. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- [Bartholomeus](#), R., M. Hack- ten Broeke, M. Heinen, H.M. Mulder, J. Kros, R.E. Ruijtenberg, H. Runhaar & J.P.M. Witte, 2018. Waterwijzers Landbouw en Natuur: kwantificering effecten waterbeheer en klimaat. Landschap: tijdschrift voor Landschapsecologie en Milieukunde 2018 (1), 14-23.
- [Besse-Lototsaka](#). A.A., W. Geertsema, A. Griffioen, M. van der Veen en P.F.M. Verdonschot , 2010. Natuurdoelen en klimaatverandering. Wageningen Alterra, Alterra-rapport 2135.
- [Bodegom](#), P.M. van, J. Verboom, J.P.M. Witte, C.C. Vos, R.P. Bartholomeus, W. Geertsema, A. Cormont, M. van der Veen, R. Aerts, 2014. Synthesis of ecosystem vulnerability to climate change in the Netherlands shows the need to consider environmental fluctuations in adaptation measures. Regional Environmental Change June 2014, Volume 14, Issue 3, pp 933-942
- [Bonten L.](#), J. Mol en G.J. Reinds, 2009. Dynamic modelling of effects of deposition on carbon sequestration and nitrogen availability – VSD+: VSD plus C and N dynamics. In: CCE Status Report 2009, p. 69–73; www.rivm.nl/cce
- [Broekmeyer](#), M. E. A., & Pleijte, M., 2016. Kansen en knelpunten bij de uitvoering van de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn - Zestien Nederlandse casussen in het licht van de Fitness Check en de ambities uit de Rijksnatuurvisie (pp. 171). Wageningen: Wageningen Environmental Research (Alterra).
- [Ek, R. van](#), J.P.M. Witte, J. Runhaar & F. Klijn, 2000. Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT, Ecological Engineering 16: 127-141.
- [Ek](#), R. van (ed.), G. Janssen, M. Kuijper, A. Veldhuizen, W. Wamelink, J. Mol, A. Groot, P. Schipper, J. Kroes, I. Supit, E. Simmelink, F. van Geer, P. Janssen, J. van der Sluijs & J. Bessembinder, 2012. NMDC-Innovatieproject van Kritische zone tot Kritische Onzekerheden: case studie Baakse beek, NMDC rapport 1205952, april 2012.

- [Ek, R. van](#), J.P.M. Witte, J.P. Mol-Dijkstra, W. de Vries, G.W.W. Wamelink, J. Hunink, W. van der Linden, J. Runhaar, L. Bonten, R. Bartholomeus, H.M. Mulder, & Y. Fujita, 2014. Ontwikkeling van een gemeenschappelijke effect module voor terrestrische natuur. STOWA rapport : 2014-22, STOWA, Amersfoort.
- [Folkert, R.](#), & Boonstra, F., 2017. Lerende evaluatie van het Natuurpact - Naar Nieuwe verbindingen tussen natuur, beleid en samenleving (Vol. PBL publicatie 1769). Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- [Hattum](#), van T., C. Kwakernaak, T.P. van Tol, J. Roelsma, M.E.A. Broekmeyer, A.M. Schmidt, E.M. Hartgers en S.L. Nysingh, 2014. Water en Natuur: Een mooi koppel. Onderzoek naar de succesfactoren, belemmeringen en kansen voor het meekoppelen van water en natuuropgaven. Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2533.
- [INFRAM, 2019](#). Rapport eerste fase Beleidstafel Droogte (pp. 27). Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- [Jain](#), A. K., H. S. Khesghi en D. J. Wuebbles, Integrated science model for assessment of climate change, UCRL-JC-116526, Lawrence Livermore Nat. Lab., Livermore, Calif., 1994.
- [Knaap, van der Y.A.M.](#), M.M. Bakker, S.J. Alam, J.P.M. Witte, R. Aerts, R. van Ek en P.M. van Bodegom, 2018. Projected vegetation changes are amplified by the combination of climate change, socio-economic changes and hydrological climate adaptation measures. Land Use Policy 72, 547-562.
- [KNMI, 2014](#): KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, KNMI, De Bilt, 34 pp
- [Kros J.](#), J.P. Mol-Dijkstra, W. de Vries, Y. Fujita, J.P.M. Witte, 2017. Comparison of model concepts for nutrient availability and soil acidity in terrestrial ecosystems. KWR report (KWR2017.053), Wageningen Environmental Research & KWR Water Research.
- Ministerie Economische Zaken, "[Natuurvisie](#)", Rijksoverheid April 2014.
- [OBN, 2019](#). De effecten van droogte (nog helemaal niet) in beeld gebracht. Nieuwsbrief OBN.
- Nijp J.N., Witte J.P.M. Effecten van klimaatverandering op natuur in Nederland. Een landelijke toepassing van Waterwijzer Natuur in het kader van het Deltaplan zoetwater. Nieuwegein: KWR; 2019.
- [PBL](#), 2010. Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Beleidsstudie Planbureau voor de Leefomgeving, Vonk, M.; C.C. Vos, & D.C.J. van der Hoek (Ed) nr. 500078002, Bilthoven,

http://www.pbl.nl/publicaties/2010/Adaptatiestrategie_Voor_Een_Klimaatbestendige_Natuur.

- [PBL](#), 2012. Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012. Beleidsstudie. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Rapportnummer 500193003. Den Haag. Nederland: 2012.
- [PBL](#), 2015. Achtergronden bij de wereldwijde klimaateffecten risico's en kansen voor Nederland. Beleidsstudie. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- [Reidsma P.](#), J. Wolf, A. Kanellopoulos, B.F. Schaap, M. Mandryk, J. Verhagen, M.K. van Ittersum, 2015. Climate change impact and adaptation research requires integrated assessment and farming systems analysis: a case study in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, Volume 10, Number 4
- [Veraart, J.A.](#), Backx, J., & Schotman, A., 2018. Voorverkenning Ecologische Kansen en Risico's van Maatregelen uit Programmatische aanpak Grote Wateren - Aanvulling op de RHDHV QuickScan (pp. 25). Lelystad: RWS-WVL & WUR.
- [Wamelink](#), G.W.W., J.P. Mol-Dijkstra, H.F. van Dobben, J. Kros & F. Berendse, 2000. Eerste fase van de ontwikkeling van het Successie Model SUMO 1. Verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner. Rapport 045. Alterra, Wageningen
- [Wamelink](#), G.W.W., M.H.C. van Adrichem, H.F. van Dobben, J.Y. Frissel, J.Y., M. den Held, V. Joosten, A.H. Malinowska, P.A. Slim & R.J.M. Wegman, 2012. Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands; a database. *Biodiversity and Ecology* 4:125-132.
- [Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs](#), 2010. Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Copernicus Instituut, Utrecht Universiteit, rapport nr. NWS-E-2011-79 Utrecht. Bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- [Witte, J.P.M.](#), J. Runhaar, R. van Ek, D.C.J. van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. van Bodegom, M.J. Wassen & S.E.A.T.M. van der Zee, 2012. An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society. *Hydrol Earth Syst Sci.* 16 (11), 3945-3957.
- [Witte](#), J.P.M., Bartholomeus, R.P., Van Bodegom, P.M., Cirkel, D.G., Van Ek, R., Fujita, Y., Janssen, G., Spek, T.J., & Runhaar, J., 2014. A probabilistic ecohydrological model to predict the effects of climate change on natural vegetation at a regional scale. *Landscape Ecol.* (doi:10.1007/s10980-014-0086-z).
- [Witte](#), J.P.M., J. Runhaar, R.P. Bartholomeus, Y. Fujita, P. Hoefsloot, J. Kros, J. Mol & W. de Vries, 2018. De waterwijzer natuur : instrumentarium voor

kwantificeren van effecten van waterbeheer en klimaat op terrestrische natuur.
STOWA rapport : 2018-44, STOWA, Amersfoort.

- Gelybó, G., Tóth, E., Farkas, C., Horel, Á., Kása, I. & Bakacsi, Z. (2018) Potential impacts of climate change on soil properties. *Agrokémia és Talajtan*, **67**, 121-141.
- Klijn, F. (1989) *Landschapsecologische Kartering Nederland: Grondwaterrelaties*, Wageningen. CML & Stiboka.
- Nijp, J.J. & Witte, J.P.M. (2020) *Effecten van maatregelenpakket op natuur op de hoge zandgronden: Een modelstudie met Waterwijzer Natuur - KWR 2020.091*, Nieuwegein. KWR.
- Nijp, J.J., de Haan, M. & Witte, J.P.M. (2019) *Effecten van klimaatverandering op terrestrische natuur in Nederland - Een landelijke toepassing van Waterwijzer Natuur in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater (KWR rapport 2019.050)*, Nieuwegein. KWR Water Research Institute.
- Witte, F., de Haan, M. & Hootsmans, M. (2007a) PROBE: een model voor vegetatiedoelen. *Landschap*, **24**, 77-88.
- Witte, J.-P., Nijp, J., Bartholomeus, R., de Wit, J., Kros, H., Reinds, G.J. & van de Vries, W. (2020) *Modelleren van de effecten van klimaat en waterbeheer op de bodem-pH met de waterwijzer natuur* Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Witte, J.P.M., de Haan, M. & Hootsmans, M.J.M. (2007b) PROBE: een ruimtelijk model voor vegetatiedoelen. *Landschap*, **24**, 77-87.

Links

- [http://deltaproof.stowa.nl/Projecten/Een klimaatrobuuste effectmodule natuur Waterwijzer Natuur Deltaproof .aspx?eId=1225&pId=701](http://deltaproof.stowa.nl/Projecten/Een_klimaatrobuuste_effectmodule_natuur_Waterwijzer_Natuur_Deltaproof_.aspx?eId=1225&pId=701)

12. Colofon

Deze Deltafact is opgesteld door Wageningen Environmental Research en KWR, december 2011 en geactualiseerd in januari 2018, juni 2019 en maart 2021.

Auteurs

- Hans Kros (WENR)
- Flip Witte (KWR)
- Jeroen Veraart (WENR)
- Gert Jan Reinds (WENR)

Versie

Versie 4 (maart 2021)

12. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.