



ALTEERRA

WAGENINGEN UR



Klimaatbestendigheid van de EHS 2

Simulatie runs met de modellen NHI-SMART2-SUMO2 voor klimaat scenario's

Alterra-rapport 2136
ISSN 1566-7197

G.W.W. Wamelink, H.J.J. Wieggers, J.C.H. Voogd & J.P. Mol-Dijkstra

Klimaatbestendigheid van de EHS 2

In opdracht van het van EL&I, DWK, in het kader van programmanummer BO-02-011, terrestrische EHS en Natura 2000.
Projectcode [BO-5235025]

Klimaatbestendigheid van de EHS 2

Simulatieruns met de modellen NHI-SMART2-SUM02 voor klimaat- scenario's

G.W.W. Wamelink, H.J.J. Wieggers, J.C.H. Voogd en J.P. Mol-Dijkstra

Alterra-rapport 2136

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Wamelink, G.W.W., H.J.J. Wieggers, J.C.H. Voogd en J.P. Mol-Dijkstra, 2011. Klimaatbestendigheid van de EHS 2. *Simulaties met de modellen NHI-SMART2-SUMO2 voor klimaat-scenario's*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2136. 51 blz.; 15 fig.; 11 tab.; 15 ref.

De Ecologische Hoofd Structuur (EHS) is in ontwikkeling om het voortbestaan van de Nederlandse natuur te waarborgen. Processen als gevolg van klimaatverandering zouden deze doelstelling echter negatief kunnen beïnvloeden, wat tot een her-evaluatie van de ligging en inrichting van de EHS zou kunnen leiden. Om de effecten van klimaatverandering gecombineerd met de effecten van stikstofdepositie te evalueren zijn de modellen SMART2-SUMO2-NTM3 gedraaid voor vier verschillende klimaat- en stikstofdepositiescenario's, waarbij de hydrologische input afkomstig was van het NHI. Het effect van klimaatverandering in de vorm van veranderende neerslag en verdamping is naast het effect van temperatuurverandering meegenomen. Zoals verwacht leidt een lagere stikstofdepositie tot een lagere stikstofbeschikbaarheid en lagere biomassa en een hogere plantendiversiteitswaarde. Klimaatverandering leidt gemiddeld tot een hogere stikstofbeschikbaarheid, een hogere biomassa en, voor een groot deel van de doorgerekende locaties, tot een lagere plantendiversiteit. De meeste indicatoren wijzen er op dat klimaatverandering (W-scenario) via vooral de verhoging van de stikstofbeschikbaarheid negatieve effecten zal hebben. Effectgerichte maatregelen en brongerichte maatregelen die ook worden toegepast om het effect van stikstofdepositie teniet te doen zouden ook kunnen helpen om een deel van de effecten van klimaatverandering te beperken.

Trefwoorden: EHS, modelsimulatie, klimaat, stikstof, scenario-analyse, vochttekort

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.

© 2011 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 2136

Wageningen, januari 2011

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methode	11
2.1 NHI	11
2.2 SMART2	12
2.3 SUMO2	13
2.4 Koppeling NHI-SMART2-SUMO2	16
2.5 NTM 3	18
2.6 Scenario's	19
2.6.1 Stikstofdepositie	19
2.6.2 Klimaat	20
3 Resultaten	25
3.1 pH	25
1.1 Stikstofbeschikbaarheid	27
3.2 Biomassa	30
3.3 Stikstofuitspoeling	34
3.4 Plantdiversiteit	37
4 Discussie	45
Literatuur	47
Bijlage 1	49

Samenvatting

Naast de al aanwezige bedreigingen als stikstofdepositie en versnippering, kunnen de gemeten en verwachte veranderingen in het klimaat een bedreiging vormen voor de natuur binnen de EHS. Door temperatuurverhoging kan bijvoorbeeld meer stikstof vrij komen, maar ook veranderingen in neerslag kunnen negatieve effecten hebben op de biodiversiteit in de EHS. Om de gecombineerde effecten van stikstofdepositie en klimaatverandering te onderzoeken worden de modellen SMART2-SUMO2-NTM3 (bodem-vegetatie-plant diversiteit) gecombineerd met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) ingezet. Deze modellen zijn recent aangepast om de effecten van klimaatverandering te modelleren, maar de nieuwe versies waren nog niet getest voor de huidige EHS. Het NHI heeft voorsnog geen terugkoppeling met de vegetatie. Het is zeer aan te bevelen dat wel te doen, omdat de vegetatieontwikkeling effect heeft op de verdamping en dus op processen die gemodelleerd worden door het NHI. De modellen zijn gedraaid voor twee verschillende standaard stikstofdepositie scenario's: Global Economy (GE) en Strong Europe (SE). De stikstofdepositie voor de twee scenario's is slechts beperkt gevarieerd. Hierdoor zijn de verschillen in de modeluitkomsten ook beperkt. De twee stikstofdepositiescenario's zijn gecombineerd met twee klimaatscenario's. Het eerste scenario, de referentie, is een voortzetting van het huidige klimaat, d.w.z. zelfde temperatuur en neerslag, met jaarlijkse fluctuaties. Het tweede scenario is het W-scenario, waarbij de temperatuur langzaam toeneemt samen met de neerslag, zowel in de winter als in de zomer, inclusief jaarlijkse fluctuaties. De vier scenario's zijn gedraaid voor alle beschikbare gridcellen op 250 x 250m gridbasis van de Nederlandse natuur. Simulaties zijn uitgevoerd van 2000 tot 2030 en voor 2030 worden de resultaten voor de bodem-pH, stikstofbeschikbaarheid, biomassa, stikstofuitspoeling en plantdiversiteit gegeven.

Over het algemeen zijn de resultaten van de verschillende scenario's op de bodem-pH nihil voor alle vegetatietypen. De effecten op de stikstofbeschikbaarheid en stikstofuitspoeling en de biomassa zijn wel duidelijk aanwezig. Het scenario met een lagere stikstofdepositie geeft een lagere stikstofbeschikbaarheid, een lagere biomassa en voor de meeste locaties een hogere plantendiversiteit. Klimaatverandering zorgt over het algemeen voor een hogere stikstofbeschikbaarheid, een hogere biomassa en een hogere uitspoeling van stikstof. De plantendiversiteit neemt op veel locaties af als gevolg van het klimaatscenario. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door een hogere stikstofbeschikbaarheid. De combinatie van dalende stikstofdepositie en klimaatverandering levert een hogere plantdiversiteit, die echter lager is dan bij een daling van de depositie zonder klimaatverandering. Klimaatverandering dempt dus het positieve effect van een lagere stikstofdepositie. Over het algemeen is de conclusie dat klimaatverandering volgens het W-scenario leidt tot hogere stikstofbeschikbaarheid, stikstofuitspoeling en biomassa en een lagere plantdiversiteitswaarde binnen de EHS. Effectgerichte maatregelen die ook worden toegepast om het effect van stikstofdepositie teniet te doen zouden ook kunnen helpen om een deel van de effecten van klimaatverandering te beperken.

1 Inleiding

Om de doelstellingen van de EHS, en die van de Natura 2000-gebieden in het bijzonder, te kunnen realiseren, is het noodzakelijk de abiotische en ruimtelijke randvoorwaarden van de betrokken soorten en ecosystemen te behouden en te herstellen. Daarbij moet o.a. rekening worden gehouden met de effecten van klimaatverandering, maar ook van stikstofdepositie en het gevoerde beheer. In dit verband is het nodig dat (a) de effecten van klimaatverandering goed worden geschat en (b) maatregelen worden ontwikkeld die de nadelige effecten van klimaatverandering tegengaan. Hierbij kan de interactie met stikstofdepositie en beheer van groot belang zijn. De doelstelling van het beleid is inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van klimaatverandering op soorten en ecosystemen om op basis hiervan in te kunnen spelen met eventuele gebiedsgerichte maatregelen.

Het ministerie van EL&I en provincies hebben op bestuurlijk niveau afgesproken dat in het kader van het tweede rijksmeerjarenprogramma (MJP2) van de Agenda Vitaal Platteland de provincies de gewenste milieuoedities voor de EHS in beeld brengen. Daarnaast is in EU-verband afgesproken dat in de periode 2008-2010 voor alle 162 Natura 2000-gebieden beheersplannen worden opgesteld. Hierbij is vooral aandacht nodig voor die gebieden waar klimaateffecten te verwachten zijn. De achterliggende gedachte is dat de Natura 2000-gebieden een Europees netwerk vormen dat zodanig ingericht moet zijn dat deze effecten op Europese schaal geen nadelig effect hebben op het voorkomen van soorten en ecosystemen.

Om de EHS volgens plan in 2018 te realiseren, moet dit samenhangend netwerk worden begrensd en ingericht. Daarnaast moeten negatieve externe invloeden worden voorkomen of teniet gedaan. Eén van die negatieve externe invloeden kan klimaatverandering zijn. Welke gevolgen de klimaatverandering heeft voor de gewenste natuurdoeltypen, is echter niet goed bekend. Dit betekent dat ook niet goed bekend is welke (extra) maatregelen zinvol zijn om de natuurdoeltypen te realiseren. Daarbij kan worden gedacht aan een optimalisatie van de ligging van de EHS (o.a. buffering) of een andere ruimtelijke situering. Het gevoerde beheer zou van invloed kunnen zijn op de effecten van klimaatverandering en daarmee op de goede instandhouding van de Natura 2000-gebieden. De effecten van klimaatverandering zouden tot een grotere productie van biomassa kunnen leiden (zie o.a. Pussinen et al., 2009; Wamelink et al., 2009b). Daarnaast kan er een duidelijke link zijn met de stikstofdepositie; een hoge stikstofdepositie zou het effect van klimaatverandering kunnen versterken. Het is bekend dat een hogere biomassaproductie vaak leidt tot het verdwijnen van soorten; een soortenrijke vegetatie verandert in een soortenarme vegetatie met enkele algemene soorten. Er kan ook een indirect effect optreden. Doordat het warmer wordt kan bij voldoende vochtbeschikbaarheid de mineralisatie toenemen, wat weer zou kunnen leiden tot een grotere biomassaproductie en een lagere plantendiversiteit.

In dit project zijn de volgende vragen onderzocht:

Welke effecten heeft de voorziene klimaatverandering in Nederland, uitgedrukt in een andere neerslag en temperatuur en CO₂-concentratie, op hydrologische, bodem- en vegetatieprocessen?

Hoe groot is het effect van klimaatverandering op de bodem en vegetatie- processen en de plantdiversiteit ten opzichte van de effecten van veranderingen in stikstofdepositie?

2 Materiaal en methode

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee dynamische modellen SMART2 voor de bodemmodellering (Kros et al., 1995) en SUMO2 voor de vegetatiemodellering, (Wamelink et al., 2009a). De hydrologische invoer van deze modellen is vooraf gesimuleerd met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. Hierbij is gebruik gemaakt van twee klimaatscenario's. De uitvoer uit SMART2 wordt gebruikt als invoer voor het plantdiversiteit-model NTM3. Met behulp van scenarioanalyses is onderzocht hoe de EHS (fig. 8) reageert op klimaatverandering gecombineerd met de verandering in stikstofdepositie. In de paragrafen hieronder worden de modellen en de gebruikte scenario's kort beschreven.

2.1 NHI

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is een geïntegreerd landsdekkend grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland. Het doel van het NHI is om hydrologische ondersteuning te bieden aan beleids- en operationele studies op landelijk (en zoveel mogelijk regionaal) niveau. Dit meerjarige project wordt uitgevoerd door het NHI-projectteam (Alterra, Deltares, PBL, RWS-Waterdienst) en een groeiend aantal partners (ingenieursbureaus en regionale waterbeheerders).

Op dit moment bestaat het NHI uit de volgende gekoppelde modellen:

1. MODFLOW verzadigde zone (grondwater)
2. MetaSWAP onverzadigde zone
3. MOZART regionaal oppervlaktewater
4. DM landelijk oppervlaktewater

Het modelinstrumentarium is bijna landsdekkend; vooralsnog zijn Zuid-Limburg en de Waddeneilanden niet geschematiseerd. Het modelinstrumentarium rekent met tijdstappen van één dag en met ruimtelijke eenheden van 250 bij 250 meter (gridcellen). Beschikbaarheid van oppervlaktewater wordt berekend in tijdstappen van decaden (ca. 10 dagen) binnen de modellen MOZART/DM.

Met het NHI kunnen grond- en oppervlaktewaterstromingen op landelijke schaal berekend worden om strategische en operationele vragen van PBL en Waterdienst op landelijke schaal te kunnen beantwoorden.

De ondergrond is in NHI geschematiseerd met zeven watervoerende pakketten en zes scheidende lagen en heeft een modelgrid met celgroottes van 250 x250 meter. In het topsysteem (de bovenste modellaag) vindt de koppeling tussen MODFLOW en MetaSWAP plaats. De ondergrondmodellen berekenen bijvoorbeeld grondwaterstanden en verdamping, en doen dat op dagbasis. De vraag en het aanbod van landelijk oppervlaktewater wordt berekend met MOZART en DM. De modellen berekenen bijvoorbeeld waar water beschikbaar is en of aan de vraag van een regio kan worden voldaan. Deze berekeningen worden vooralsnog op decade basis uitgevoerd.

Invoer voor het NHI bestaat o.a. uit landsdekkende gegevens zoals meteorologische invoer, een bodemkaart en een landgebruikskaart. De parameterisatie van het model is afhankelijk van de bodemopbouw en de vegetatie.

2.2 SMART2

Het SMART2-model (Kros et al., 1995) bestaat uit een set van massabalansvergelijkingen, die de input-output-relaties van een bodemcompartiment beschrijven, en een set van vergelijkingen voor de beschrijving van de snelheid- en evenwichtsprocessen in de bodem (tabel 1). Het model bevat alle macro-ionen uit de ladingsbalans. Na⁺ en Cl⁻ zijn slechts aanwezig als indifferente ionen, zij zitten alleen in de ladingsbalans.

Omdat SMART2 toepasbaar moet zijn op nationale schaal, waardoor slechts in beperkte mate invoergegevens beschikbaar zijn, is een aantal processen geaggregeerd. Daarom zijn de volgende vereenvoudigingen toegepast:

1. Het aantal beschouwde ecosysteemprocessen is beperkt tot de cruciale processen

De bodemchemie in SMART2 hangt alleen af van de netto elementinput vanuit de atmosfeer (depositie) en het grondwater (kwel), kronendakinteracties, nutriëntencyclus-processen en de geochemische interacties in de bodem en bodemoplossing (CO₂-evenwichten, carbonaatverwerking, silicaatverwerking, oplossen van Al-hydroxides en kationenomwisseling). De volgende processen zijn niet meegenomen:

- N-fixatie and NH₄⁺-adsorptie,
- opname, immobilisatie en reductie van SO₄²⁻,
- complexatie van Al³⁺ met OH, SO₄²⁻ en RCOO.

De interacties tussen bodemoplossing en vegetatie zijn niet meegenomen. Groei (vegetatieontwikkeling) en strooiselproductie zijn opgelegd via een logistische groeifunctie. Nutriëntopname wordt slechts beperkt wanneer er sprake is van een tekort in de bodemoplossing.

2. Het concept van de beschouwde processen is zo eenvoudig mogelijk gehouden

Bodem- en bodemoplossing-interacties zijn of met een eenvoudige snelheidsreactie (bijv. nutriëntopname en silicaatverwerking) of door evenwichtsreacties (bijv. carbonaat- en Al-hydroxideverwerking en kationenomwisseling) beschreven. Beïnvloeding van omgevingsfactoren zoals de pH op verwerkingsnelheden en kationenomwisseling zijn buiten beschouwing gelaten. Stofftransport is beschreven onder de aanname dat er volledige menging optreedt en dat het bodemcompartiment homogeen is met een vaste laagdikte en dichtheid. Omdat SMART2 een éénlaag-model is wordt de verticale heterogeniteit verwaarloosd en hebben de voorspelde bodemvochtconcentraties betrekking op het water dat de wortelzone verlaat. De jaarlijkse watertoevoer is gelijk aan de neerslag, welke als modelinput wordt opgelegd. De tijdstap van het model is een jaar; seizoensvariabiliteit wordt dan ook niet meegenomen. Voor een uitgebreide onderbouwing van bovenstaande aannamen en vereenvoudigingen wordt verwezen naar De Vries et al. (1989).

In SMART2 worden zeven bodemtypen en vijf vegetatiestructuurtypen onderscheiden. De bodemtypen zijn:

- SP: arm zand (sand poor)
- SR: rijk zand (sand rich)
- SC: kalkrijk zand (sand calcareous)
- CN: kalkloze klei (clay non-calcareous)
- CC: kalkrijke klei (clay calcareous)
- LN: löss (loess non-calcareous)
- PN: veen (peat non-calcareous)

De vegetatiestructuurtypen zijn:

- DEC: loofbos (deciduous forest)
- PIN: licht naaldbos (pine forest)
- SPR: donker naaldbos (spruce forest)
- HEA: heide (heather)
- GRP: onbemest grasland (nutrient-poor grassland)

De invoerparameters voor SMART2 zijn gekoppeld aan bodemtype, vegetatiestructuurtype of aan een combinatie van beide. In regionale toepassingen worden altijd de nominale waarden gehanteerd. Dit zijn per bodem- en vegetatietype gemiddelde waarden die zijn afgeleid van een grote set meetgegevens over heel Nederland (De Vries en Leeters, 1994; Klap et al., 1997).

Tabel 1

Processen en procesbeschrijving in het model SMART2.

Processen	Ion	Procesbeschrijving
Input		
Totale depositie	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , BC ^{2+ 1)} , Na ⁺ , K ⁺	Input
Kwel	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , BC ^{2+ 1)} , Na ⁺ , K ⁺	Input
Snelheidsreacties		
Bladopname	NH ₄ ⁺	SUMO
Bladuitloging	BC ^{2+ 1)} , K ⁺	SUMO
Bladval	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	SUMO
Wortelsterfte	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	SUMO
Mineralisatie	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	1 ^e -orde-reactie en functie van GVG en C/N-ratio
N-immobilisatie	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Evenredig met de N-depositie en een functie van de C/N-ratio
Groeiopname	BC ^{2+ 1)} , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	SUMO
Nitrificatie	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Evenredig met de netto NH ₄ ⁺ -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Denitrificatie	NO ₃ ⁻	Evenredig met de netto NO ₃ ⁻ -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Silicaatverwerking	Al ³⁺ , BC ²⁺ , Na _s , K ⁺	0 ^e orde-reactie
Evenwichtsreacties		
Dissociatie/associatie	HCO ₃ ⁻	CO ₂ -evenwicht
Carbonaatverwerking	BC ²⁺	Carbonaatevenwicht
Al-hydroxide-verwerking	Al ³⁺	Gibbsietevenwicht
Kationenomwisseling	H ^{+ 2)} , Al ³⁺ , BC ²⁺	Gaines-Thomasvergelijking
Sulfaatsorptie	H ⁺ , SO ₄ ²⁻	Langmuirvergelijking

¹⁾ BC²⁺ staat voor divalente basische kationen (Ca²⁺, Mg²⁺)

²⁾ H⁺ wordt impliciet, via de ladingsbalans, door alle processen beïnvloed

2.3 SUMO2

In dit project is gebruik gemaakt van SUMO2 model versie 3.2.1, voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar Wamelink et al. (2009a; 2009b).

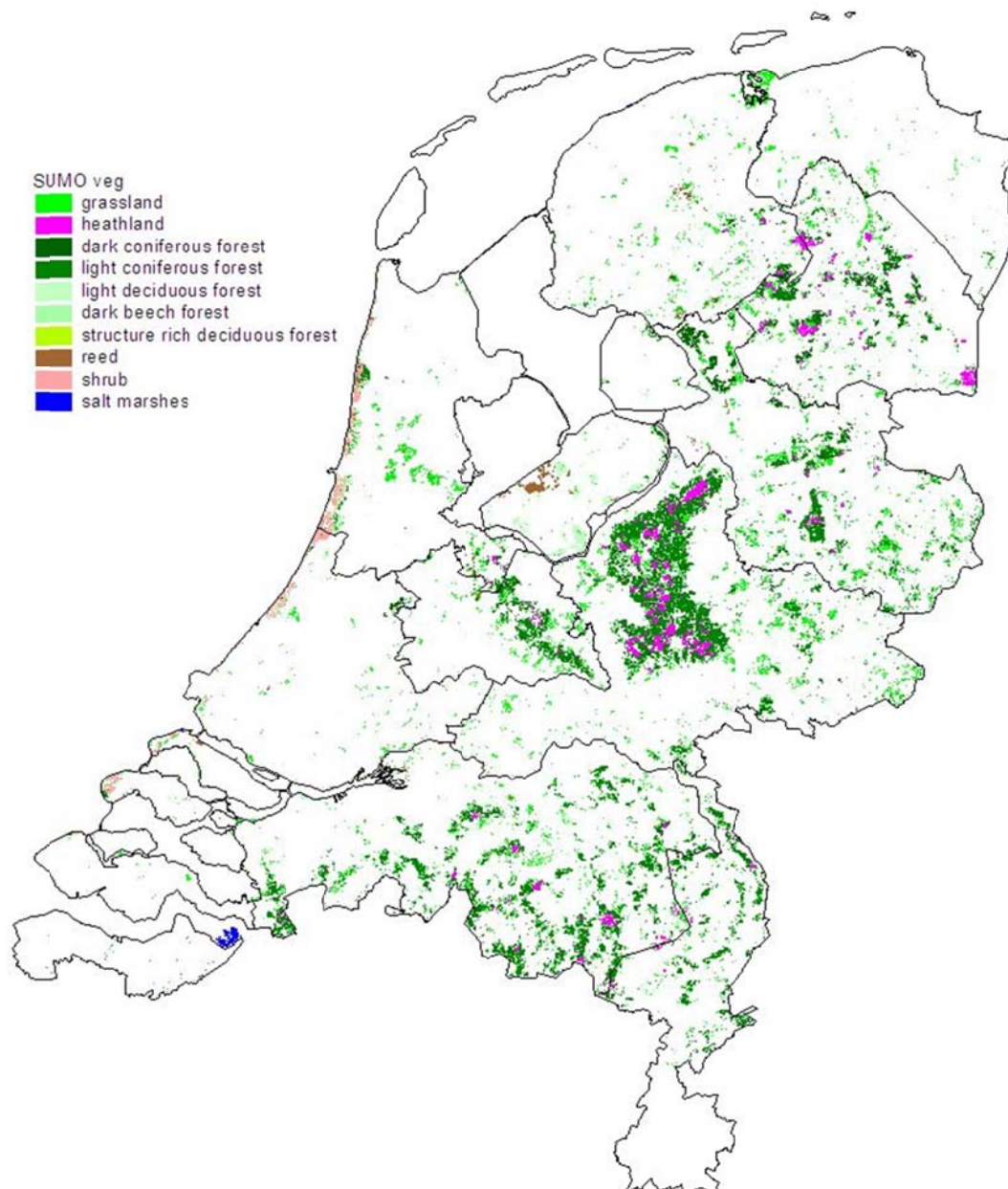
SUMO2 is geïntegreerd met SMART2 en simuleert de biomassaontwikkeling voor vijf verschillende functionele typen (kruiden en grassen, dwergstruiken, struiken en twee boomsoorten). Deze vijf functionele typen beconcurreren elkaar om licht, water en nutriënten. De groei kan verder beïnvloed worden door beheer (maaien, grazen, dunnen/kappen, plaggen en branden) en klimaatgerelateerde factoren als temperatuur en kooldioxide-concentratie in de lucht. Per functioneel type worden zowel de biomassaontwikkeling als de nutriëntengehaltes (N, P, K, Ca, Mg) voor drie organen, wortels, stam/tak en blad, gesimuleerd.

Beschikbaarheden van de nutriënten worden berekend door SMART2 op basis van de door SUMO berekende bladval en wortelsterfte.

De vijf functionele typen onderscheiden zich onder andere van elkaar door de manier waarop nieuwe biomassa over de organen wordt verdeeld en welk deel van de organen per jaar sterft. De concurrentie om nutriënten tussen de typen vindt plaats op basis van de aanwezige wortelbiomassa (hoe meer wortelbiomassa, des te meer opname). De nutriëntopname is echter gebonden aan een maximum, dat wordt bepaald door het quotiënt van de maximale groeisnelheid en het maximale nutriëntgehalte. De concurrentie om licht tussen de typen vindt plaats op basis van de lengte (het hoogste type vangt het eerst licht) en de bladbiomassa (hoe meer bladbiomassa, hoe meer licht er wordt onderschept). Om dit mogelijk te maken wordt van elk functioneel type de lengte gesimuleerd. Voor de bomen wordt dit per boomsoort gedaan, waarbij op basis van of aanplant of successie de soorten zijn gekozen.

Op basis van de biomassaverdeling over de functionele typen wordt bepaald welk vegetatietype aanwezig is. Bij veranderingen in die verdeling kan het vegetatietype veranderen en treedt successie op. Zo kan bijvoorbeeld een grasland na staken van het beheer zich ontwikkelen naar een bos.

Door SUMO2 worden veertien vegetatietypen gemodelleerd. In elk vegetatietype zijn de vijf functionele typen aanwezig, maar de verdeling van de hoeveelheid biomassa is verschillend (bijvoorbeeld verwaarloosbare hoeveelheid biomassa van bomen in grasland). Ook verschillen de kenmerken, zoals maximale groeisnelheid, biomassa- en nutriëntenverdeling over de organen van de functionele typen per vegetatietype. Een donker beukenbos heeft bijvoorbeeld andere kenmerken dan een licht naaldbos.



Figuur 1

Overzicht van de SUMO2-vegetatietypen van de EHS. Per 250*250m gridcel wordt het dominante vegetatietype weergegeven; per gridcel kunnen verschillende vegetatietypen voorkomen die doorgerekend zijn.

2.4 Koppeling NHI-SMART2-SUMO2

Het NHI rekent met intern homogene gridcellen, terwijl met de modellen SMART2-SUMO2 normaal gesproken meerdere vegetatietypen per gridcel doorgerekend worden. Om SMART2-SUMO2-berekeningen op de hydrologie af te stemmen is in deze exercitie alleen het vegetatietype zoals dat door het NHI wordt gegeven doorgerekend en alleen voor die gebieden waar het NHI resultaten voor heeft. Dit betekent een behoorlijke beperking van het aantal vegetatietypen en doorgerekende gridcellen (vergelijk fig. 1 en fig. 7).

Overlay bodemkaart NHI en SMART2

Voor de overlay met de bodemkaart zijn SMART2-bodemtypen toegekend op basis van 2. Het bleek dat beide kaarten goed overeenkwamen.

Tabel 2

Toekenning SMART2-bodemtypen aan NHI-bodemtypen.

NHI bodemfysische eenheid	SMART2 bodemtype	
1	Veraarde bovengrond op diep veen.	PN
2	Veraarde bovengrond op veen op zand. Combinatie van veengronden en moerige gronden met zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar zandgronden.	PN
3	Kleidek op veen.	CN, PN
4	Kleidek op veen op zand. Combinatie van veengronden en moerige gronden met kleidek en zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar klei op zand (19).	CN, PN
5	Zanddek op veen op zand. Combinatie van veengronden en moerige gronden met zanddek en zandondergrond. Associaties moerig en zand vertaald naar zand.	SP, SP, SC, PN
6	Veen op ongerijpte klei. Combinatie van veengronden en moerige gronden met een kleiondergrond. Bij deze gronden kan het veen zowel als toplaag (Wo, Vk) en als tussenlaag (kVk, pVk) voorkomen. Associaties van moerige gronden met kleigronden zijn vertaald naar een kleigrond.	PN, CN
7	Stuifzand. Tot deze groep behoren de landduinen en de kustduinen, inclusief de stranden enz. Deze gronden hebben een laag leemgehalte en de humeuze bouwvoor ontbreekt veelal (Zd.. en Zn..A).	SP, SP, SC
8	Leemarm zand. Hier gaat het vooral om de jonge dekzandruggen en om de uitgestoven laagtes te midden van landduinen. Deze gronden hebben wel een toplaag (Hd21, Y21 en Zn21).	SP, SP, SC
9	Zwaklemig fijn zand. Met name de zwaklemige zandgronden (Hn21, pZn21, pZg21, enz.).	SP, SP, SC
10	Zwaklemig fijn zand op grof zand. Zandgronden met grind of grof zand in de ondergrond. In de bovenlaag vooral zwak lemig, soms ook lemiger.	SP, SP, SC
11	Sterk lemig fijn zand op (kei-)leem. Zandgronden met keileem en of lössleem in de ondergrond (..x, ..t). In de bovenlaag vooral sterk lemig zand, soms ook minder lemig.	SR, LN
12	Enkeerdgronden (fijn zand). Enkeerdgronden, gronden met een dikke eerdlaag (> 50 cm), zowel lemig als zwak lemig en leemarm. Gronden met een matig dikke eerdlaag (cHn, cY..) ingedeeld op basis van leemgehalte.	SP, SR
13	Sterk lemig zand. Lemige zandgronden.	SP, SR
14	Grof zand. Alle grofzandige gronden.	SP, SR
15	Zavel met homogeen profiel.	LN
16	Lichte klei met homogeen profiel.	CC, CN
17	Klei met zware tussenlaag of ondergrond .	CC, CN
18	Klei op veen. Begindiepte veenondergrond 40 - 120 cm-mv.	CN, PN, CC
19	Klei op zand. Begindiepte zandondergrond 25 - 80 cm-mv.	CC, CN
20	Klei op grof zand. Begindiepte grofzandige ondergrond 25 - 120cm-mv...	LN
21	Leem. Alle leemgronden, inclusief keileemgronden (KX en KT).	LN

Overlay landgebruiksaan NHI en SUMO-vegetatiekaart.

Voor het NHI is een landgebruiksaan afgeleid van het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (Ign5) bestand (Hazeu, 2005), in combinatie met top10-vlakken voor boomteelt en de natuurkaart van het RIVM om onderscheid te maken tussen donker en licht naaldbos. De SUMO-vegetatiekaart is afgeleid van de kaart voor LARCH (Foppen en Chardon, 1998), gecombineerd met gegevens uit de vierde bosstatistiek (Dirkse, 1987). Aangezien de type-indeling van beide kaarten anders is was het nodig deze op elkaar af te stemmen. In Tabel 3 is te zien hoe de verdeling van de SUMO-vegetatietypen is over de landgebruiksaan voor het NHI. Beide kaarten zijn op elkaar afgestemd, waarbij de landgebruiksaan voor het NHI leidend was. Het resultaat daarvan is te zien in Tabel 4.

Tabel 3

Verdeling van SUMO-vegetatietypen over NHI-landgebruikstypen bij oorspronkelijke overlay.

NHI- landgebruik	SUMO-vegetatietype									
	Grasland	Hei	Donker naald	Licht loofbos	Licht naaldbos	Donker beukenbos	Riet	Korte vegetatie	Moeras	Totaal
gras	7875	99	234	263	554	26	346	94	21	9512
maïs	1093	10	9	18	54	4	5	0	0	1193
aardappelen	201	6	1	6	11	0	3	0	0	228
(suiker)bieten	112	1	2	3	10	0	1	1	1	131
granen	277	1	7	11	15	2	6	0	1	320
overige landbouw	288	2	5	3	33	2	7	11	2	353
boomteelt	78	0	1	7	9	0	1	0	0	96
glastuinbouw	6	0	0	0	1	0	0	0	0	7
boomgaard	16	0	0	1	0	0	0	0	0	17
bollen	20	0	0	0	0	0	0	5	0	25
loofbos	7461	274	701	2682	2218	464	108	777	0	14685
licht naaldbos	4433	941	1449	1390	13287	181	13	178	0	21872
natte natuur	686	611	840	391	1	0	1071	15	291	3906
droge natuur	2951	4084	136	319	1144	16	208	1719	17	10594
kale grond	74	25	5	6	33	0	3	11	11	168
zoetwater	273	83	66	42	36	0	116	43	0	659
Zoutwater	7	0	0	0	0	0	0	1	15	23
stedelijk	80	4	6	12	47	3	7	6	0	165
donker naaldbos	510	102	1067	204	1053	72	0	0	0	3008
Totaal	26441	6243	4529	5358	18506	770	1895	2861	359	66962

Tabel 4

Verdeling van SUMO-vegetatietypen over NHI-landgebruikstypen na herverdeling.

NHI- landgebruik	SUMO-vegetatietype									
	Grasland	Hei	Donker naald	Licht loofbos	Licht naaldbos	Donker beukenbos	Riet	Korte vegetatie	Moeras	Totaal
gras	9512									9512
maïs	1092	10	8	18	57	3	5			1193
aardappelen	199	6	1	8	11		3			228
(suiker)bieten	112	1	2	2	11		1	1	1	131
granen	274	1	7	13	16	2	6		1	320
overige landbouw	289	2	4	3	34	2	6	11	2	353
boomteelt	78		1	6	10		1			96
glastuinbouw	6				1					7
boomgaard	16			1						17
bollen	20							5		25
loofbos				14685						14685
licht naaldbos					21872					21872
natte natuur	691	610	938	400	1		960	15	291	3906
droge natuur	2932	4079	122	323	1190	13	200	1718	17	10594
kale grond	74	25	4	6	34		3	11	11	168
zoetwater	271	84	74	42	41		104	43		659
zoutwater	7							1	15	23
stedelijk	78	3	6	11	51	3	7	6		165
donker naaldbos			3008							3008
Totaal	15651	4821	4175	15518	23329	23	1296	1811	338	66962

Daar waar in de NHI-landgebruikskartaar cellen als landbouwgebruikstypen zijn aangemerkt zijn de SUMO-vegetatietypen overgenomen. Veelal werden die cellen in de SUMO-vegetatiekartaar als 'grasland' aangemerkt. Alle cellen met 'loofbos' als landgebruik in het NHI zijn bij SUMO ingedeeld als licht loofbos. Een deel hiervan had onder donker beukenbos moeten vallen. Alle cellen met licht naaldbos' in de NHI-landgebruikskartaar hebben het SUMO-vegetatietype 'licht naaldbos' gekregen. Hetzelfde geldt voor 'donker naaldbos'.

2.5 NTM 3

Het statistische model NTM3 (Wamelink et al. 2003) geeft een plant(bio-) diversiteitwaarde voor een gegeven set van abiotische randvoorwaarden voor een bepaalde locatie. Er zijn vier submodellen die worden gebruikt voor graslanden, heide, loofbos en naaldbos, waarbij alle open vegetaties, zoals rietlanden en kwelders ook onder graslanden worden geschaard. De plantdiversiteitwaarde is bepaald voor vegetatieopnamen op basis van de aanwezige plantensoorten in een opname. Elke plantensoort heeft een zogenaamde natuurbehoudwaarde gekregen op basis van de rode lijst-criteria. Een hoge waarde voor een opname geeft aan dat er relatief veel rode lijst-soorten in voor komen, een lage waarde dat er alleen algemene soorten aanwezig zijn.

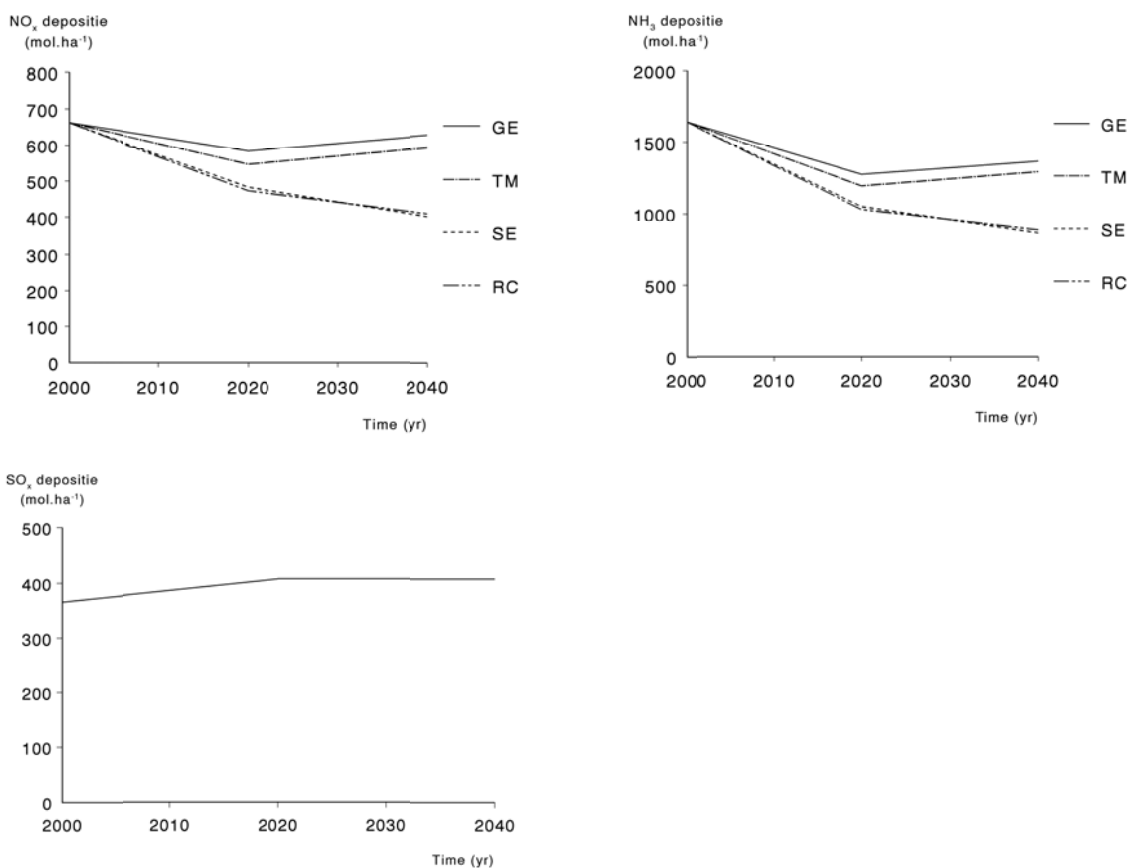
De natuurbehoudwaarde is uitgerekend voor een vegetatiedataset van 33706 opnamen. Deze opnamen zijn gebruikt om het model NTM te calibreren. Dit is gebeurd op basis van de Ellenbergwaarden voor vocht, zuurgraad en nutriënten die voor elke opname zijn berekend. Door middel van een spline is er vervolgens een regressie uitgevoerd van de natuurbehoudwaarden van de opnamen op de Ellenberg- getallen. Voor een gegeven set van Ellenberggetallen kan dan de plantdiversiteitwaarde worden berekend, m.a.w. hoe hoger die waarde hoe hoger de kans dat er bij die omstandigheden rode lijstsoorten worden aangetroffen. De invoer voor het model NTM3 wordt verzorgd door SMART2 en de grondwatertrapkaart. De door SMART2 gemodelleerde pH en stikstofbeschikbaarheid worden omgerekend naar de Ellenbergwaarden voor zuurgraad en nutriënten. De grondwatertrap wordt via de gvg (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) omgezet naar de Ellenberg-indicatorwaarde voor vocht. Plantdiversiteitwaarden variëren meestal van 4 tot 20.

2.6 Scenario's

In totaal zijn vier scenario's doorgerekend; een combinatie van twee stikstofdepositiescenario's (paragraaf 2.6.1) en twee klimaatscenario's (paragraaf (2.6.2)). De effecten van de vier verschillende scenario's zijn bepaald door de pH, N-beschikbaarheid, N-uitspoeling (N-output) en de biomassa van de vegetatie, zoals die zijn berekend met de vier scenario's, met elkaar te vergelijken.

2.6.1 Stikstofdepositie

Met de modelketen zijn twee stikstof depositiescenario's doorgerekend. De scenario's zijn Global Economy (GE) en Strong Europe (SE). Deze scenario's zijn aangeleverd door het PBL (Lejour, 2003; Riedijk et al., 2007). De verschillen tussen de scenario's, gebaseerd op 'realistische' voorspellingen, zijn relatief klein voor de SMART2-invoer gegevens NH_3 -en NO_x -depositie (Fig2). Van de vier beschikbare scenario's zijn daarom de meest uiteenlopende scenario's, GE en SE, gekozen, waarbij het GE- scenario de hoogste stikstofdepositie bevat. Beide scenario's hebben een knikpunt in de depositie bij het jaar 2020. Bij het SE-scenario daalt de depositie vanaf dat punt verder, terwijl het GE-scenario vanaf 2020 weer een stijgende stikstofdepositie laat zien. De SO_x -depositie is voor beide scenario's gelijk (fig. 2).

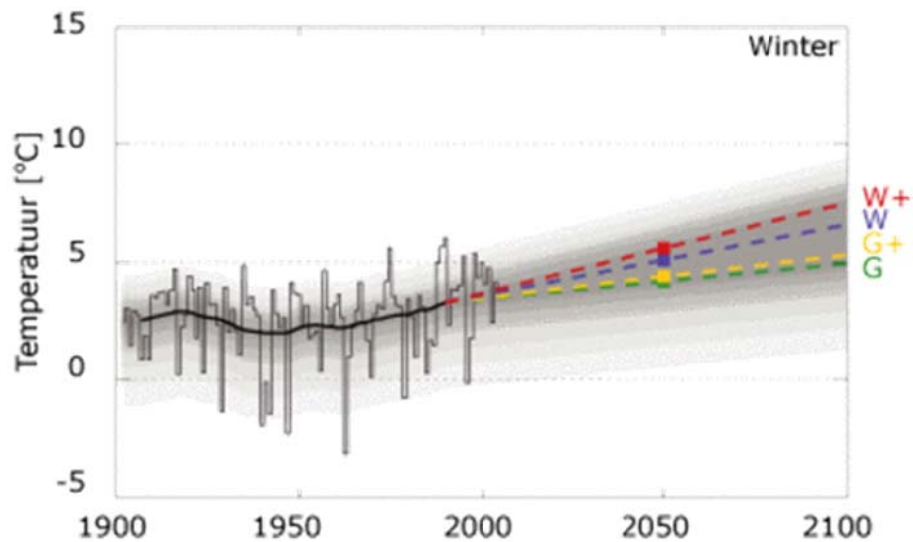


Figuur 2

Gemiddelde NH₃, NO_x-en SO₂-depositie voor alle locaties van vier verschillende scenario's. In dit onderzoek zijn het GE- en het SE-scenario gebruikt en gecombineerd met twee klimaatscenario's

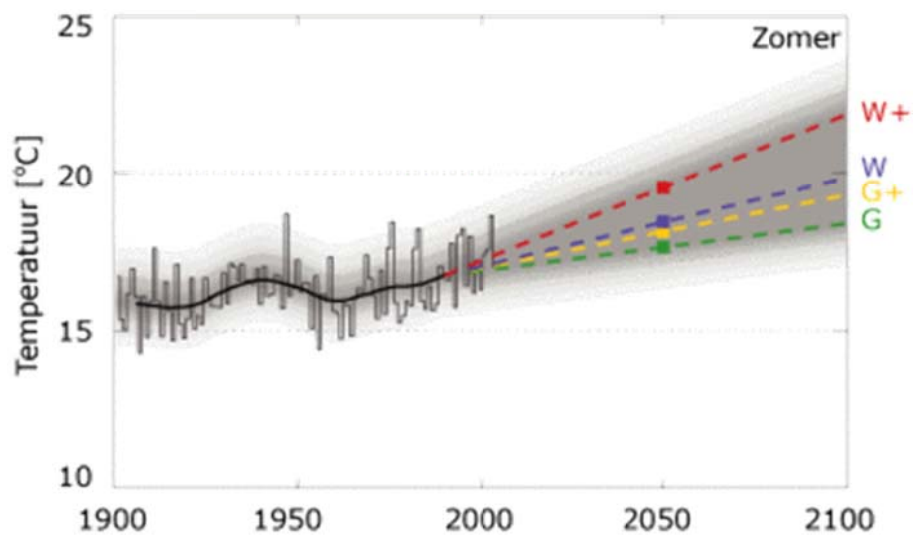
2.6.2 Klimaat

De klimaatscenario's van het KNMI zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze geven aan in welke mate temperatuur, neerslag, wind, etc. kunnen veranderen, bij een bepaalde mondiale klimaatverandering. Klimaatscenario's zijn geen langetermijn weersverwachtingen: ze doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst. In deze studie is een referentiescenario doorgerekend en het zogenaamde W-scenario. Het referentiescenario bevat een herhaling van de temperatuur en neerslag van 1976 - 2005. Het W-scenario (Van den Hurk et al., 2006) is één van de in 2006 door het KNMI opgestelde scenario's, waarbij de temperatuur op aarde met 2 °C toeneemt t.o.v. 1990 en de neerslag zowel in de winter als in de zomer toeneemt (fig. 3 - 6). In het W-scenario wordt geen verandering in luchtstromingspatronen in West-Europa verondersteld.



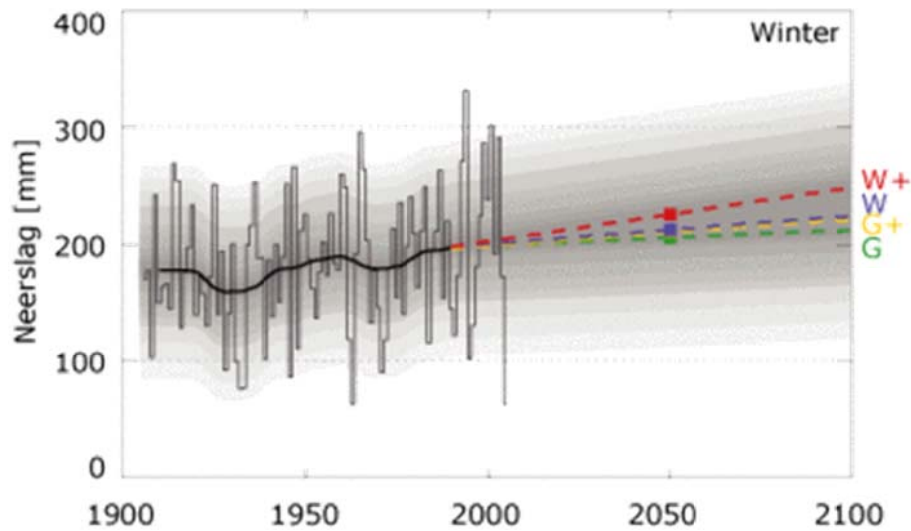
Figuur 3

Wintertemperatuur (december-februari) in De Bilt tussen 1900 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. In dit onderzoek is het W-scenario gebruikt. Bron: Van den Hurk et al., (2006).



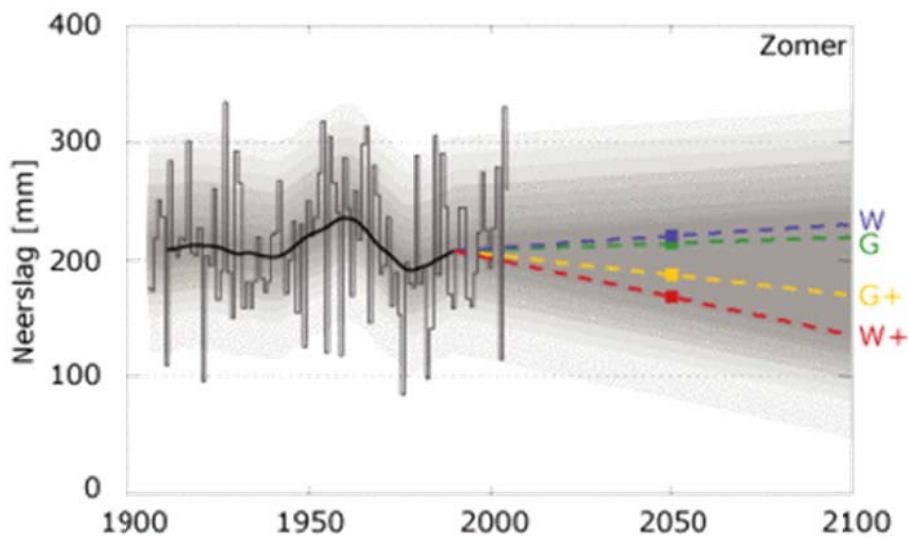
Figuur 4

Zomertemperatuur (juni-augustus) in De Bilt tussen 1900 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. In dit onderzoek is het W-scenario gebruikt. Bron: Van den Hurk et al. (2006).



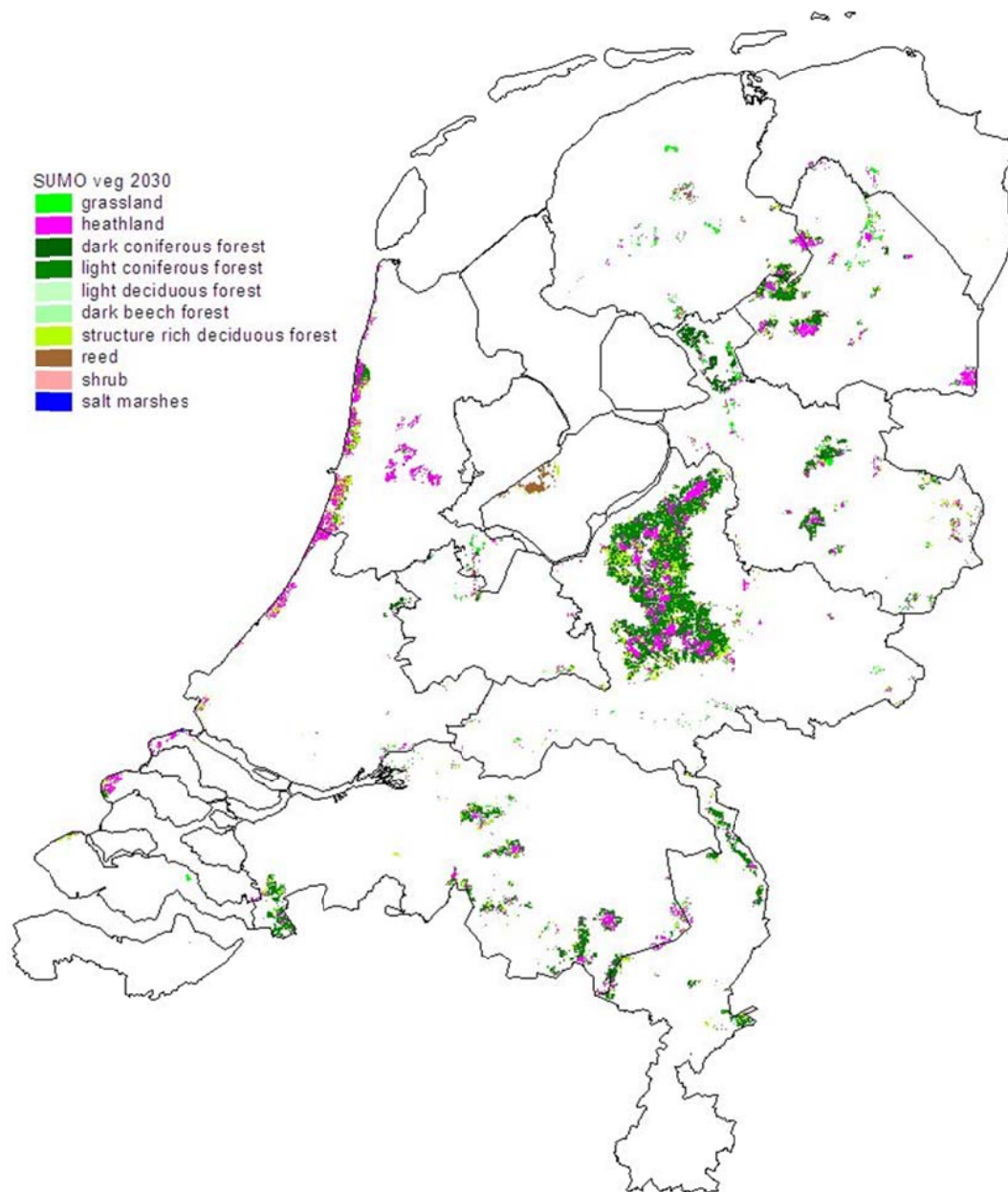
Figuur 5

Winterneerslag in Nederland (december-februari, gemiddelde van dertien stations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. In dit onderzoek is het W-scenario gebruikt. Bron: Van den Hurk et al. (2006).



Figuur 6

Zomerneerslag in Nederland (juni-augustus, gemiddelde van 13 stations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. In dit onderzoek is het W-scenario gebruikt. Bron: Van den Hurk et al. (2006).



Figuur 7

Natuurgebieden in Nederland die zijn doorgerekend in dit onderzoek. Per gridcel is het dominante vegetatietype doorgerekend.

3 Resultaten

De resultaten worden gepresenteerd per modeluitgang (pH, stikstofbeschikbaarheid, biomassa, N-uitspoeling en plantdiversiteit) en alleen voor het jaar 2030, omdat de verschillen in de resultaten klein zijn. De resultaten worden weergegeven per SUMO-vegetatietype, behalve voor de plantdiversiteit. Steeds worden eerst de gemiddelden per vegetatietypen in tabellen weergegeven. Vervolgens worden frequentieverdelingen weergegeven van de verschillen tussen de scenario's en de cumulatieve frequentieverdelingen per scenario. Hierin geven de rood-paarse balkjes het verschil weer tussen de klimaatscenario's bij verschillende N-depositie-scenario's en de groen-blauwe balkjes de verschillen tussen het GE- en het SE-stikstofdepositiescenario onder verschillende klimaatomstandigheden.

3.1 pH

De resultaten van de pH vertonen nauwelijks verschillen tussen de scenario's (tabel 5). Het SE-depositie-scenario resulteert voor alle vegetatietypen bij beide klimaatscenario's in iets hogere pH-waarden dan het GE-scenario. Voor het W-klimaatscenario t.o.v. de referentie is dit beeld minder eenduidig. Soms resulteert het W-scenario in hogere pH-waarden (grasland en struweel), maar meestal in iets lagere. Over het algemeen worden de hoogste pH waarden berekend bij het SE_Ref-scenario, dus bij een lagere depositie en bij gelijkblijvend klimaat. Een hogere pH leidt in principe tot een hogere diversiteit aan plantensoorten, maar het effect is uitermate gering. Op lokaal niveau kunnen er wel grotere verschillen aanwezig zijn die daadwerkelijk zouden kunnen leiden tot een grotere plant diversiteit.

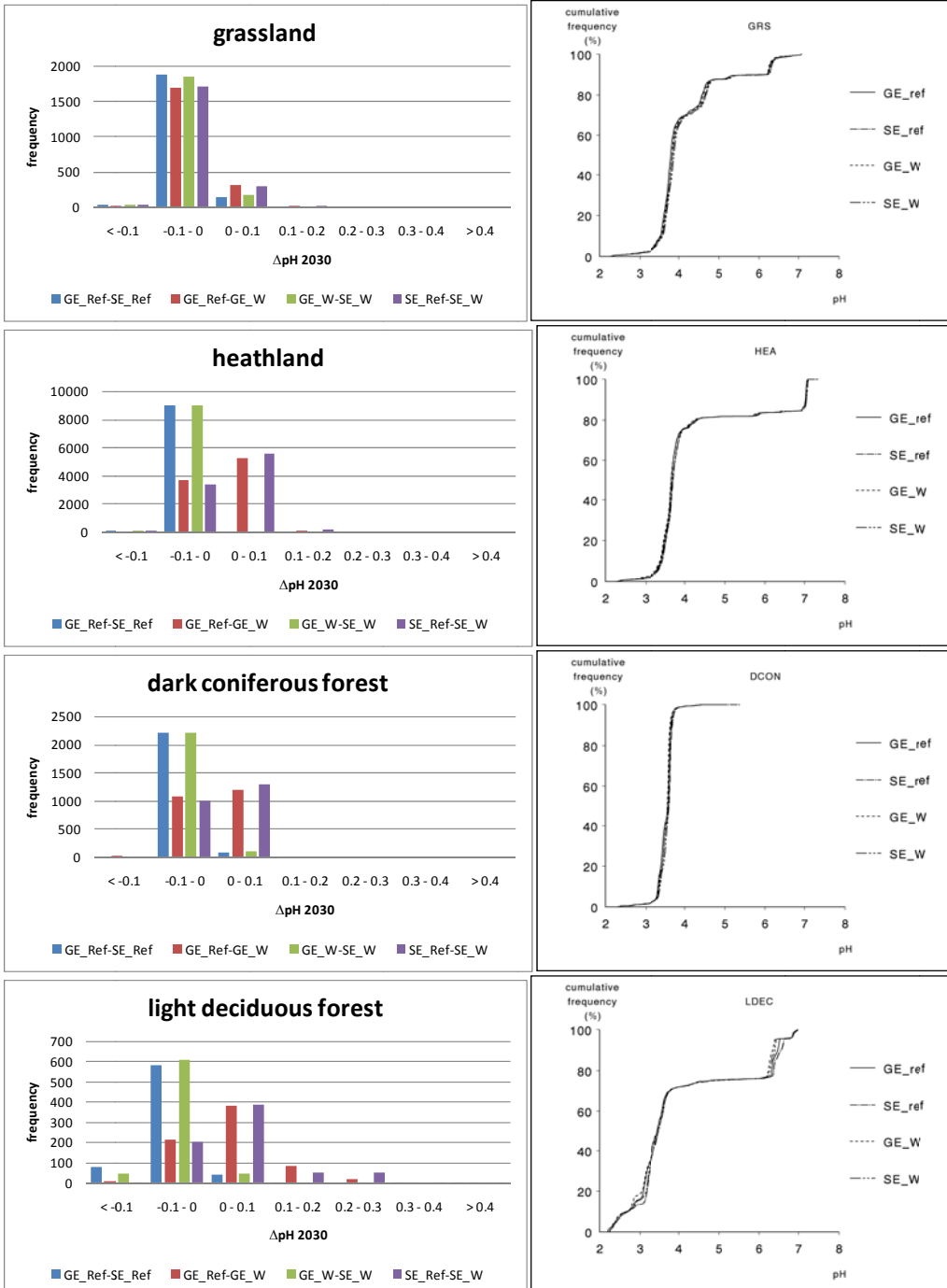
Tabel 5

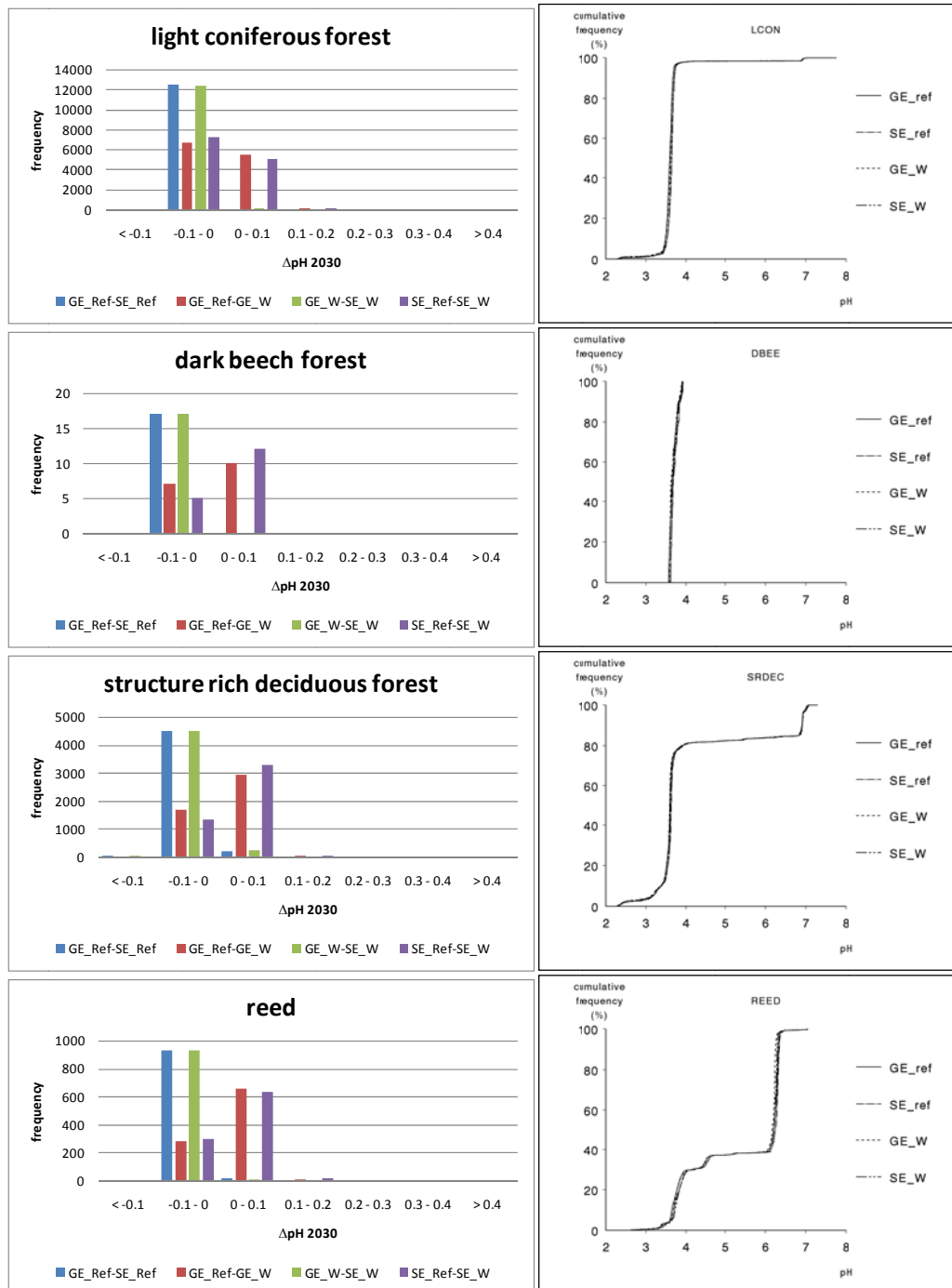
Gesimuleerd gemiddelde pH per SUMO-vegetatietype voor vier scenario's.

Vegetatietype		Scenario			
		GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Grasland	2060	4,16	4,20	4,18	4,22
Heide	9098	4,23	4,26	4,22	4,25
Donker naaldbos	2304	3,53	3,57	3,53	3,56
Licht loofbos	700	4,06	4,10	4,03	4,07
Licht naaldbos	12541	3,65	3,69	3,65	3,69
Donker beukenbos	17	3,69	3,73	3,69	3,72
Structuurrijk loofbos	4746	4,12	4,15	4,11	4,13
Riet	947	5,36	5,40	5,34	5,38
Struweel	13	5,28	5,29	5,43	5,44
Kwelders	8	6,53	6,53	6,51	6,51

Ook wanneer naar de verschillen tussen de scenario's in de frequentieverdelingen van de pH wordt gekeken zijn de verschillen tussen de scenario's gering (fig. 8). Dit geldt voor alle vegetatietypen. De meeste verschillen

tussen de scenario's liggen in de categorie -0.1 – 0 pH-eenheden, dus een kleine verlaging van de pH. Ook de cumulatieve frequentieverdelingen laten nauwelijks verschillen zien tussen de scenario's. Wat wel opvalt, is dat voor het verschil tussen het referentie en klimaatscenario's een groter deel van de doorgerekende gebieden over het algemeen een positief verschil laat zien. Als gevolg van klimaatverandering neemt de pH dus licht af voor deze gebieden.





Figuur 8

Frequentieverdelingen voor bodem pH voor de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen tussen de scenario's en rechts de cumulatieve frequentieverdelingen.

1.1 Stikstofbeschikbaarheid

De gesimuleerde gemiddelde stikstofbeschikbaarheid laat grotere verschillen zien tussen de scenario's dan de pH (tabel 6). De stikstofbeschikbaarheid onder het klimaatscenario is bij beide stikstofdepositiescenario's rond 10% hoger dan onder het referentiescenario. Onder het SE_scenario (laagste N-depositiescenario) is de

stikstofbeschikbaarheid duidelijk lager dan onder het GE_scenario. Deze effecten zijn kleiner dan de effecten van het klimaatscenario. Voor alle typen is de stikstofbeschikbaarheid het grootst voor het GE-W-scenario, dus met klimaatverandering en een hoge stikstofdepositie. De laagste stikstofbeschikbaarheid wordt voor alle typen gevonden voor het SE-Ref-scenario, dus met een dalende stikstofdepositie en het huidige klimaat.

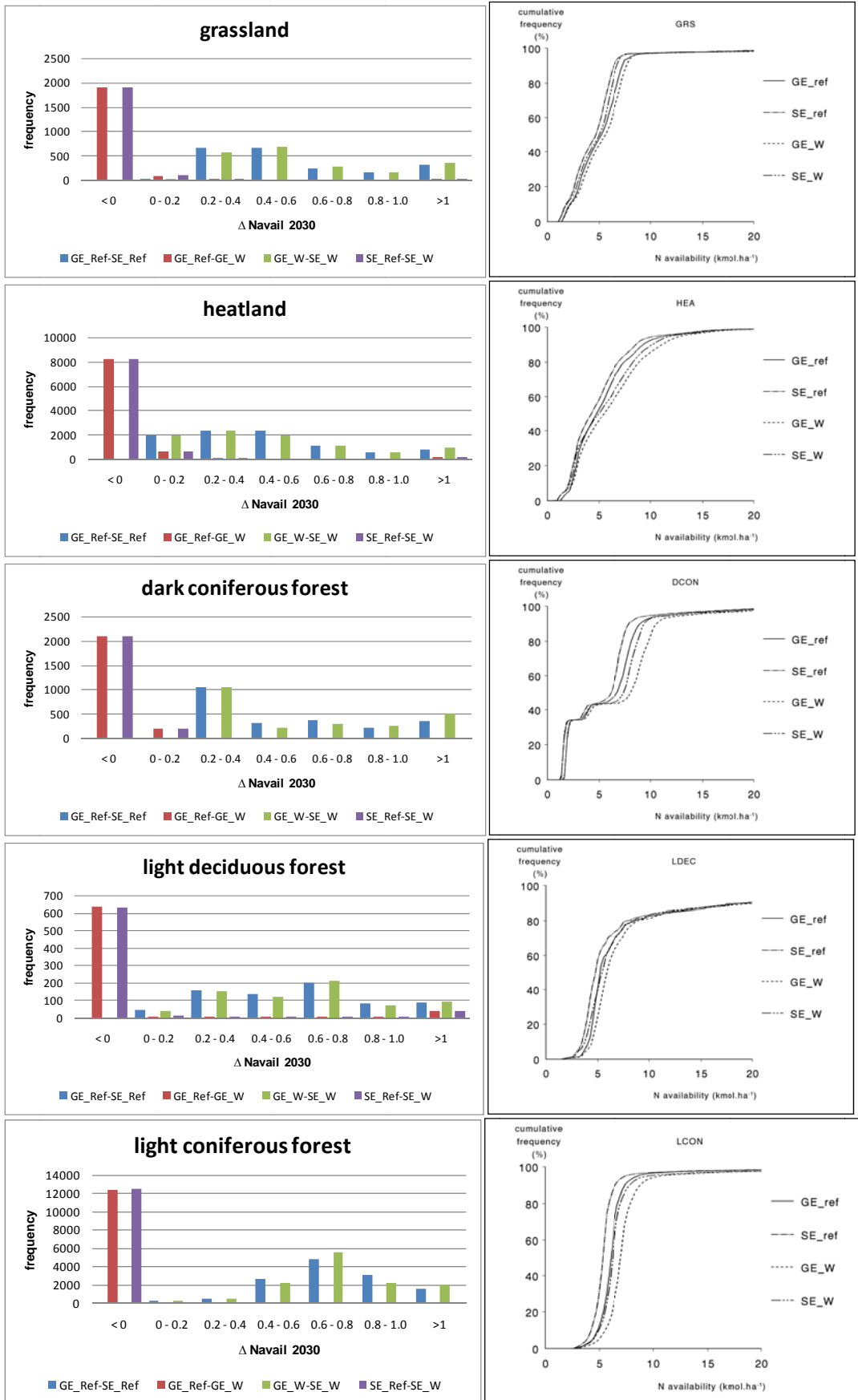
Een hogere stikstofbeschikbaarheid kan leiden tot een lagere plant diversiteit en dus tot een achteruitgang in (zeldzame) plantensoorten. Voor de drie gevoeligste vegetatietypen, grasland, heide en riet, zijn de effecten van het klimaat op de stikstofbeschikbaarheid minder groot dan voor de bostypen. De simulaties laten duidelijk zien dat een warmer natter klimaat leidt tot een hogere stikstofbeschikbaarheid. Een lagere stikstofdepositie vermindert dit effect, maar ook bij een lagere stikstofdepositie leidt klimaatverandering tot een hogere beschikbaarheid en deze is ook hoger dan onder het scenario waar niets wordt gedaan aan de depositie en waarbij het klimaat niet verandert. Dit betekent dus dat het effect van klimaatverandering op de stikstofbeschikbaarheid groter is dan het effect van de verwachte daling als gevolg van maatregelen die de stikstofdepositie omlaag brengen. De maatregelen leiden ook met klimaatverandering wel tot een lagere stikstofbeschikbaarheid dan zonder deze maatregelen, ze hebben dus wel effect, ook met klimaatverandering.

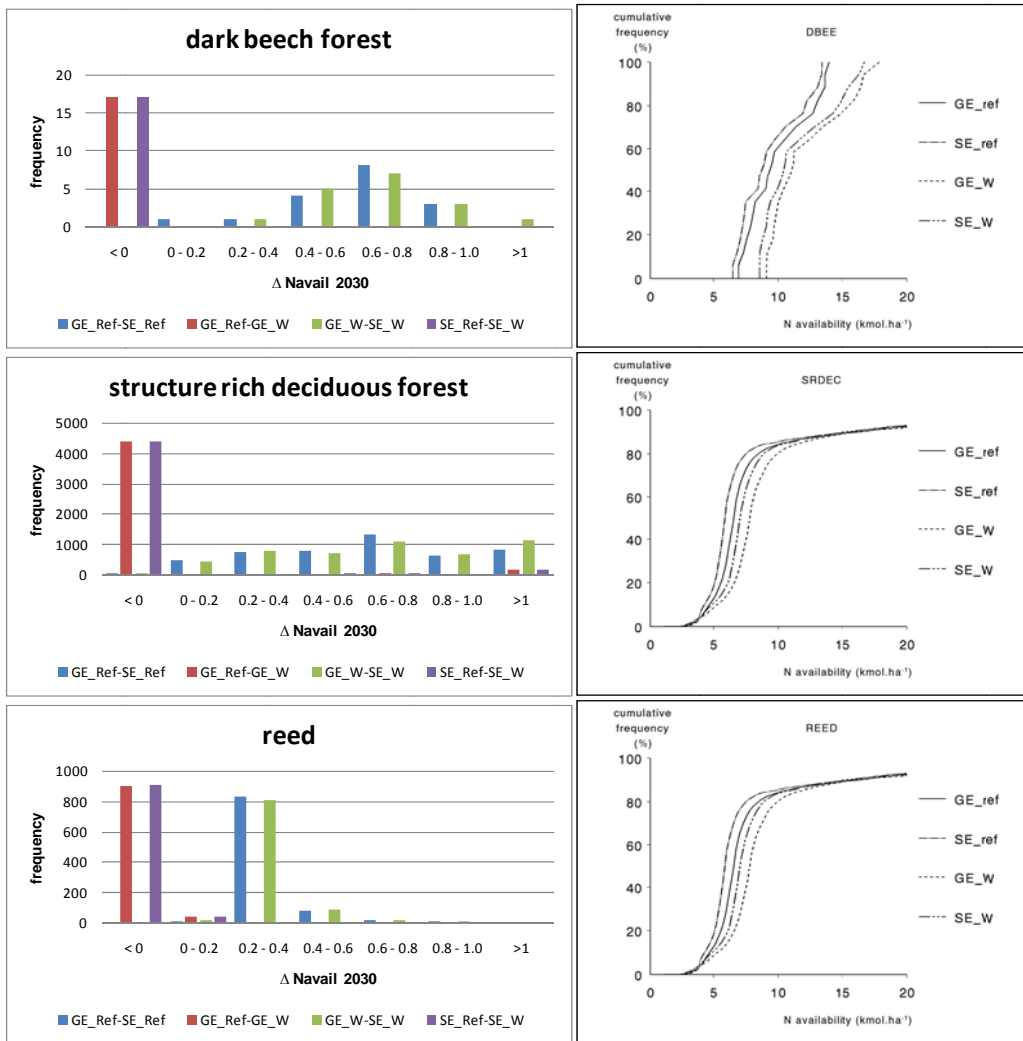
Tabel 6

Gesimuleerde gemiddelde stikstofbeschikbaarheid (kmol/ha/j) per SUMO-vegetatietype voor vier scenario's.

Vegetatie	Aantal	Scenario			
		GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Grasland	2060	5,45	4,84	5,82	5,18
Heide	9098	5,65	5,16	6,45	5,93
Donker naaldbos	2304	6,09	5,49	7,03	6,36
Licht loofbos	700	8,59	7,94	9,43	8,71
Licht naaldbos	12541	6,69	5,93	7,86	7,09
Donker beukenbos	17	10,15	9,53	12,30	11,62
Structuurrijk loofbos	4746	8,91	8,23	10,15	9,43
Riet	947	4,61	4,27	5,06	4,73
Struweel	13	5,34	5,21	6,09	5,96
Kwelders	8	9,92	9,76	10,48	10,30

In figuur 9 is duidelijk te zien dat voor alle vegetatietypen het klimaatscenario een tegengesteld effect heeft t.o.v. het depositiescenario. Het klimaatscenario geeft een hogere stikstofbeschikbaarheid (rood-paarse balkjes) en het depositiescenario SE een lagere beschikbaarheid t.o.v. het GE_scenario (groen-blauw). Over het algemeen leidt een hogere stikstofbeschikbaarheid tot een lagere plantendiversiteit. De verschillen in stikstofbeschikbaarheid kunnen oplopen tot meer dan 1 kmol/ha/j.





Figuur 9

Frequentieverdelingen van de stikstofbeschikbaarheid voor de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen tussen de scenario's en rechts de cumulatieve frequentieverdelingen (zie ook bijlage 1).

3.2 Biomassa

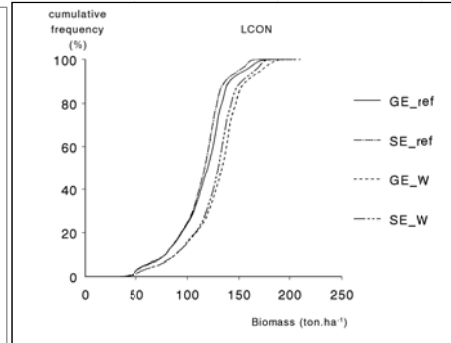
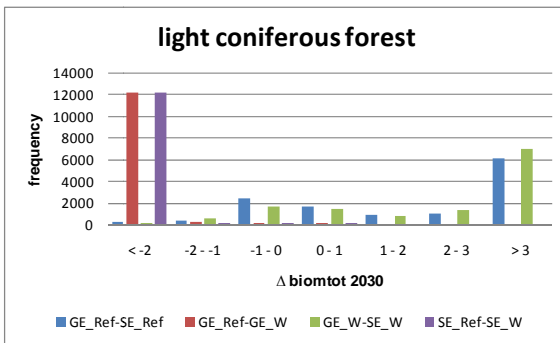
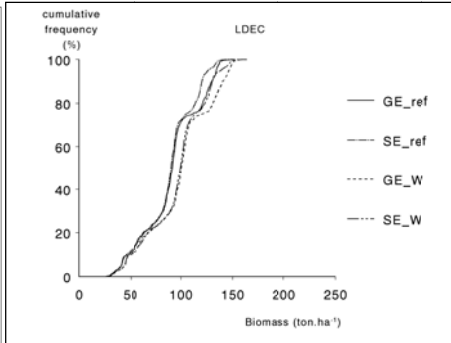
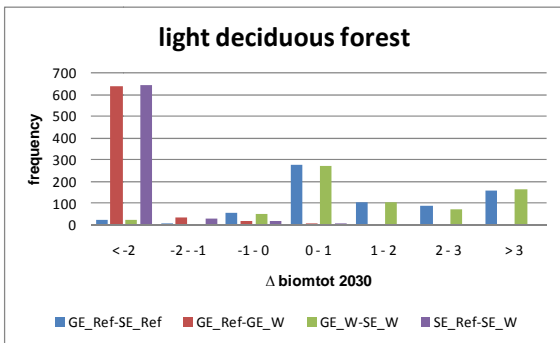
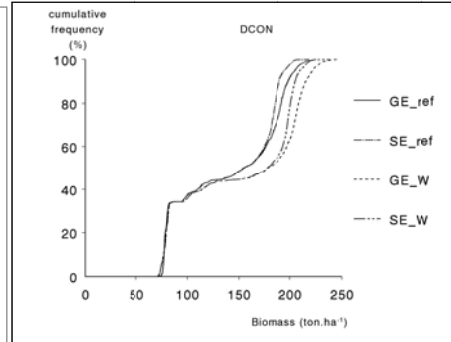
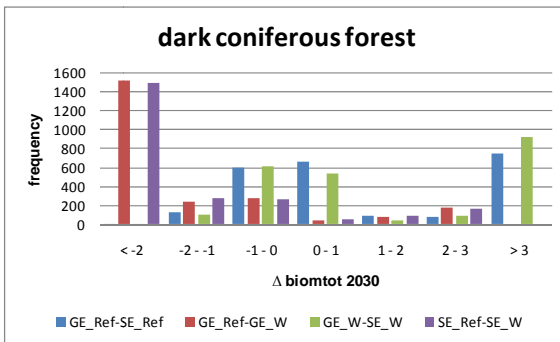
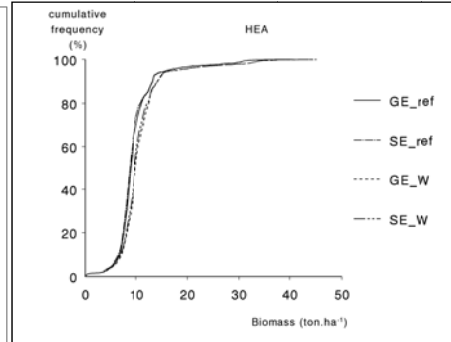
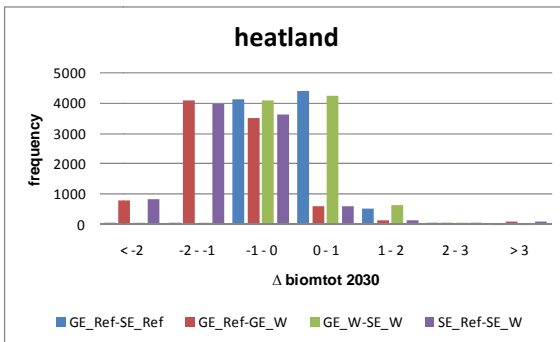
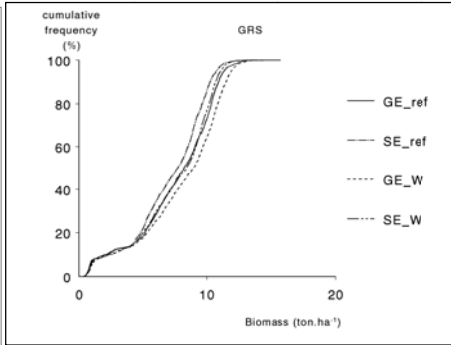
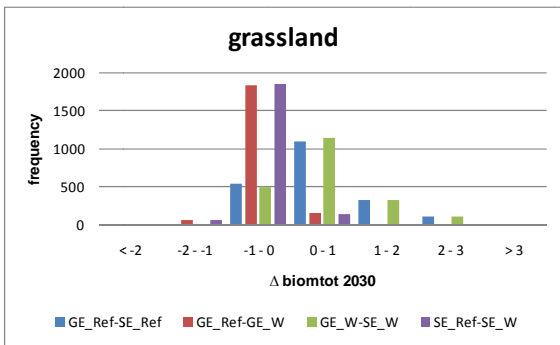
De landelijke gemiddelde biomassa laat volgens verwachting grote verschillen zien tussen de verschillende vegetatietypen; voor de bossen worden hoge hoeveelheden gesimuleerd, voor de andere typen relatief lage hoeveelheden (tabel 7). Op het eerste gezicht volgen de resultaten voor biomassa de resultaten voor stikstofbeschikbaarheid. Het dalende depositiescenario geeft een lagere biomassa. Voor alle vegetatietypen, behalve graslanden, is het effect van het klimaat groter dan het effect van de veranderingen in depositie. De biomassatoename als gevolg van klimaatverandering is groter dan de afname als gevolg van een lagere depositie.

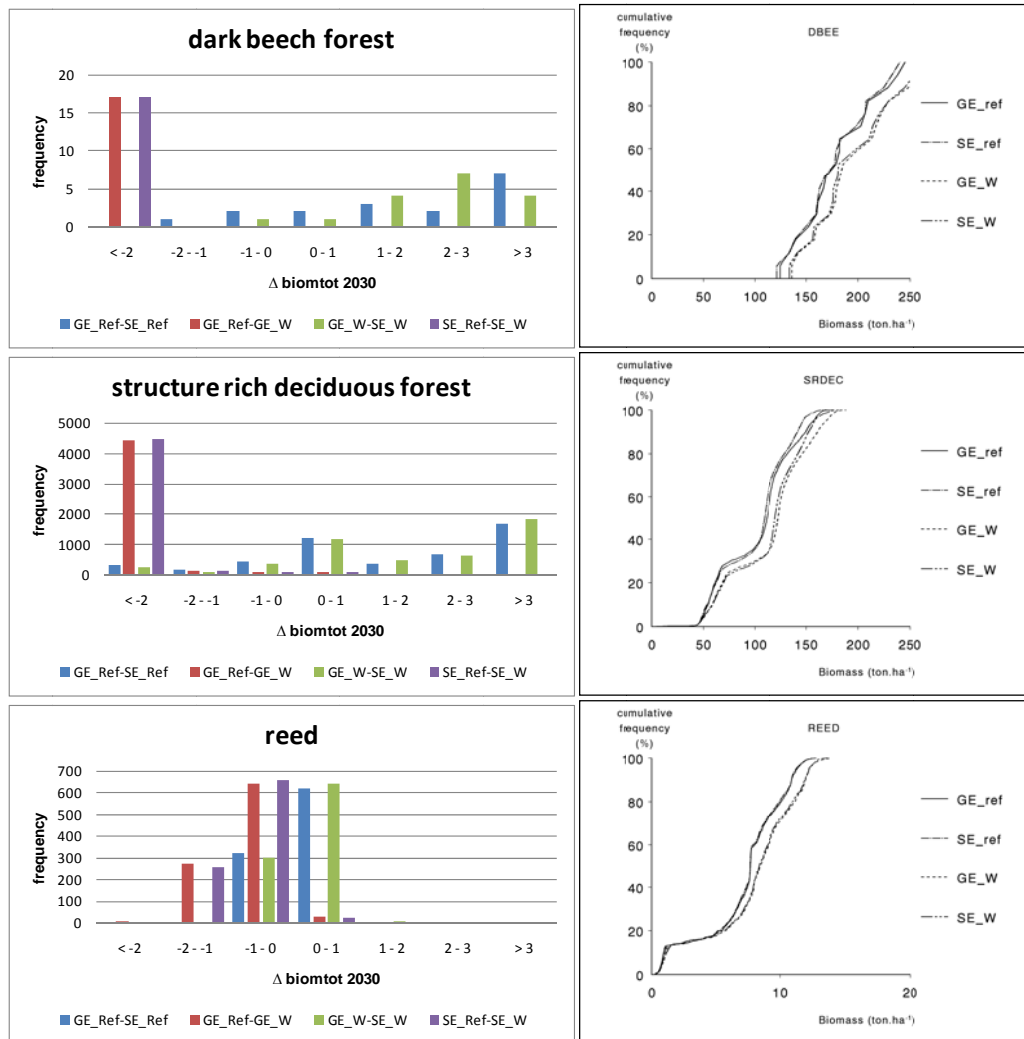
Voor graslanden is de biomassatoename als gevolg van klimaatverandering ongeveer even groot als de afname door een lagere depositie. Voor struweel zien we geen effect op de biomassa van een lagere stikstofdepositie. Blijkbaar wordt de groei niet beperkt door de depositie en daarmee samenhangend de stikstofbeschikbaarheid.

Tabel 7*Gesimuleerde gemiddelde biomassa (ton/ha) per SUMO-vegetatietype voor vier scenario's.*

Vegetatie	Aantal	Scenario			
		GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Grasland	2060	7,60	7,11	8,05	7,55
Heide	9098	9,76	9,60	10,80	10,63
Donker naaldbos	2304	140,31	137,66	151,31	147,61
Licht loofbos	700	91,01	88,54	98,35	95,94
Licht naaldbos	12541	115,14	112,47	128,47	125,38
Donker beukenbos	17	181,51	179,35	197,28	194,84
Structuurrijk loofbos	4746	103,70	101,81	115,11	112,65
Riet	947	7,22	7,17	7,93	7,87
Struweel	13	14,56	14,56	16,29	16,29
Kwelders	8	12,24	12,24	12,17	12,16

De verschillen tussen de scenario's in biomassa (fig. 10) zijn vergelijkbaar met die voor stikstofbeschikbaarheid. De cumulatieve frequentieverdelingen geven ook hetzelfde patroon, voor het SE_Ref-scenario worden de laagste biomassa gesimuleerd, voor het GE_W-scenario de hoogste biomassa's. Dit wordt gesimuleerd voor vrijwel alle vegetatietypen, al zijn de verschillen niet overal even groot. De verschillen voor heide zijn relatief klein en voor struweel vallen twee lijnen precies over elkaar, ook de gemiddelde waarden zijn hier gelijk. Relatief gezien (t.o.v. van de totale biomassa) zijn de verschillen het grootst voor heide en graslanden. De hoogste biomassa's worden gesimuleerd voor de scenario's met een hogere depositie en met klimaatverandering (W-scenario).





Figuur 10

Frequentieverdelingen van de totale biomassa voor de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen tussen de scenario's en rechts de cumulatieve frequentieverdelingen (zie ook bijlage 1).

3.3 Stikstofuitspoeling

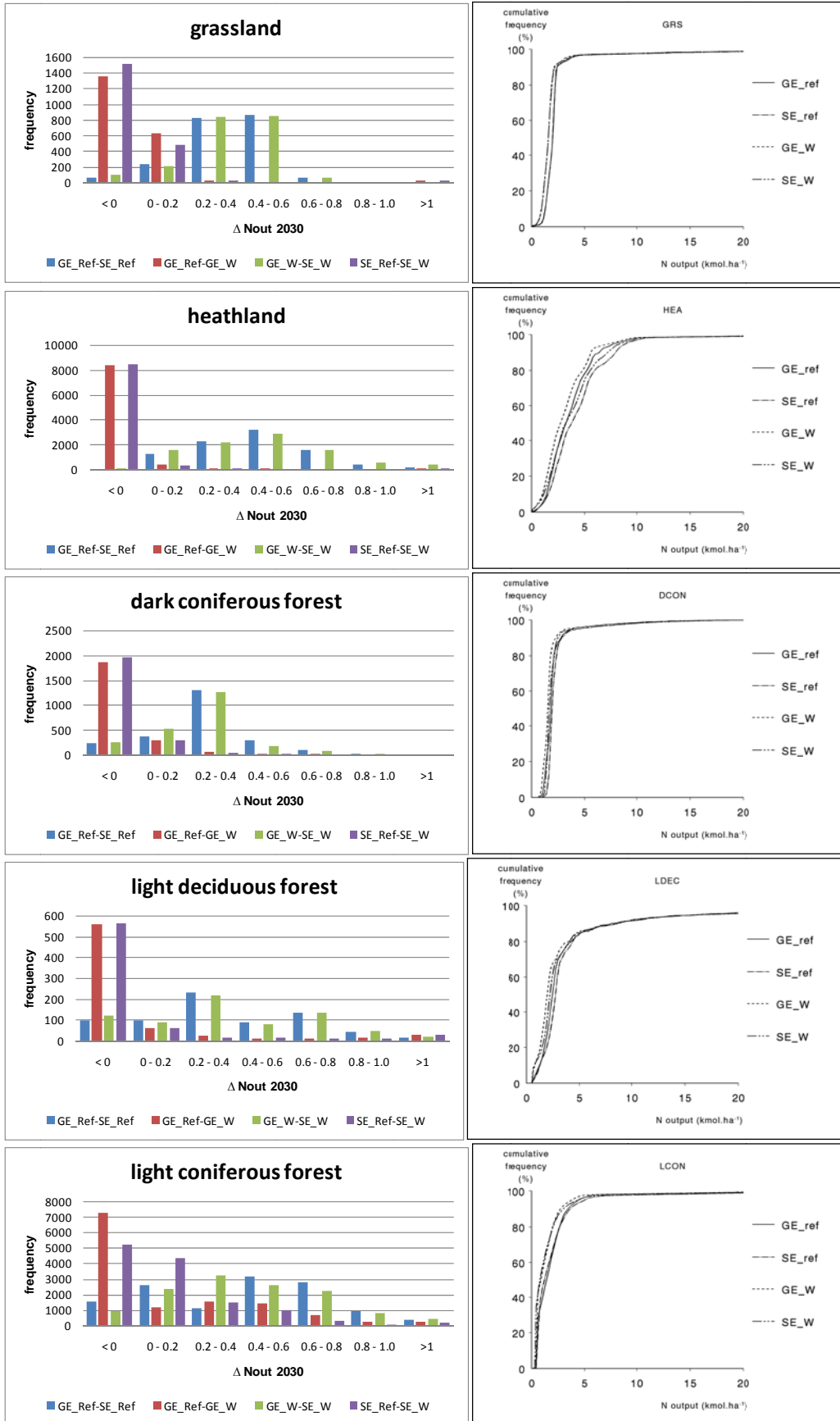
Voor alle vier scenario's berekenen de modellen een stikstofuitspoeling naar diepere grondwaterlagen van ruim 1 kmol/ha/j in donker beukenbos tot bijna 10 kmol/ha/j bij kwelders (tabel 8). De hoge uitspoeling bij kwelders lijkt op voorhand niet realistisch. Daarnaast spoelt er relatief veel stikstof uit voor licht en structuurrijk loofbos en heide. Het effect van het stikstofdepositiescenario is vrij groot op de hoeveelheid stikstof die uitspoelt. Onder het W-scenario (klimaatverandering) is de stikstofuitspoeling groter dan onder het referentiescenario voor klimaat. De uitspoeling is het kleinst voor het SE-scenario met een dalende stikstofdepositie en zonder klimaatverandering. Het effect van het klimaatscenario ten opzichte van het stikstofdepositiescenario op stikstofuitspoeling is minder groot dan op de stikstofbeschikbaarheid en de biomassa. Een relatief groot deel van de stikstof die extra beschikbaar komt, gaat dus naar de biomassagroei, een kleiner deel daarvan spoelt uit.

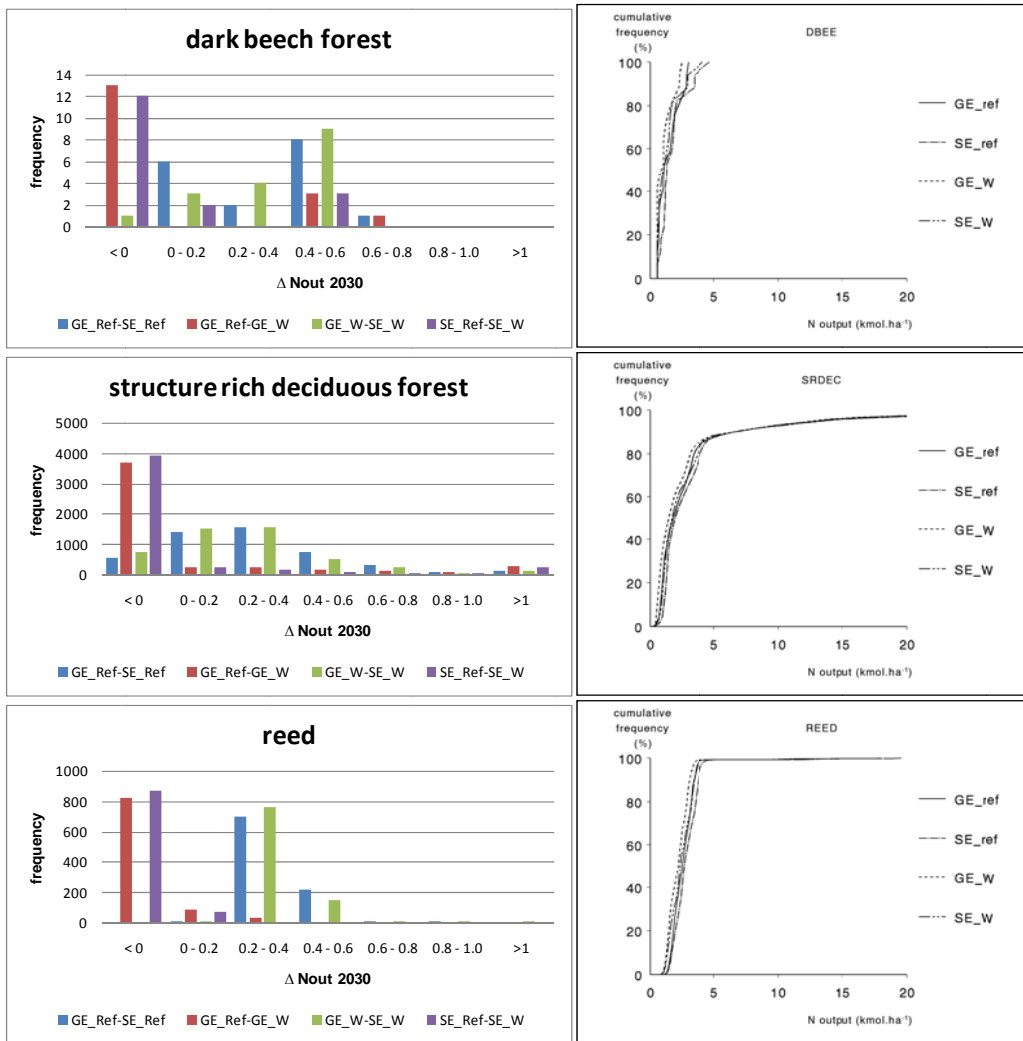
Tabel 8

Gesimuleerde gemiddelde stikstofuitspoeling (kmol/ha/j) per SUMO-vegetatietype voor vier scenario's.

Vegetatie	Aantal	Scenario			
		GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Grasland	2060	2,48	2,12	2,53	2,19
Heide	9098	3,90	3,43	4,55	4,07
Donker naaldbos	2304	2,23	1,96	2,50	2,26
Licht loofbos	700	4,24	3,88	4,66	4,28
Licht naaldbos	12541	2,07	1,64	2,21	1,80
Donker beukenbos	17	1,44	1,09	1,75	1,40
Structuurrijk loofbos	4746	3,36	3,07	3,74	3,51
Riet	947	2,58	2,23	2,82	2,48
Struweel	13	2,48	2,35	2,82	2,69
Kwelders	8	8,47	8,29	9,61	9,31

De resultaten voor de stikstofuitspoeling uit de bodem geven eenzelfde beeld als de resultaten voor stikstofbeschikbaarheid (fig. 11). Het verschil tussen de scenario's bij stikstofbeschikbaarheid is voor de meeste vegetatietypes echter groter dan het verschil tussen de scenario's bij de stikstofuitspoeling. De grootste effecten worden veroorzaakt door het stikstofscenario, al is het effect van de klimaatscenario's bijna even groot. Opvallend is dat de verschillen per site relatief groot kunnen zijn, tot wel meer dan 1 kmol/ha/j, waarbij bedacht moet worden dat de gesimuleerde uitspoeling varieert van ruim 1 kmol/ha/j tot ruim 4 mol/ha/j (hierbij zijn de kwelders buiten beschouwing gelaten). Lagere uitspoeling wordt gevonden voor scenario's met een lagere depositie, die (deels) teniet wordt gedaan voor het W-scenario (klimaatverandering).





Figuur 11

Verschillen in stikstofuitspoeling tussen de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen per categorie en rechts de cumulatieve resultaten (zie ook bijlage 1).

3.4 Plantdiversiteit

De resultaten van het plantendiversiteitmodel NTM3 staan weergegeven in de tabellen 9 en 10. Tabel 11 geeft de achterliggende invoer, de Ellenberg indicatiewaarden. De getallen uit NTM geven de diversiteitindex weer, een hoger getal duidt er op dat de kans om een rode lijst-soort tegen te komen groter wordt. Tabel 9 geeft de gemiddelden weer per NTM3-vegetatieklasse. Het algemene beeld dat graslanden en heide relatief hoge waarden hebben komt ook hier naar voren. De gemiddelde verschillen tussen de scenario's zijn niet heel erg groot. De verschillen tussen de scenario's zijn voor de vegetatieklassen weliswaar verschillend, maar ze wijzen wel allemaal in dezelfde richting. Wanneer de verschillen tussen de depositiescenario's worden vergeleken (SE_ref – GE_ref en SE_W-GE_W), dan geeft het SE steeds de hoogste plantdiversiteitswaarde. Een lagere depositie geeft een hogere diversiteit. Hierbij is het verschil mét klimaatverandering iets kleiner dan zonder effect van klimaatverandering. Klimaatverandering resulteert voor beide stikstofdepositiescenario's in een lagere diversiteit. Het klimaateffect is bij het SE- scenario (lage stikstofdepositie) groter dan bij het GE-scenario (hoge stikstofdepositie). Klimaatverandering heeft volgens NTM dus een negatief effect op de plantdiversiteit, voor alle vegetatietypen.

Tabel 9

Plantendiversiteit per NTM3-vegetatieklasse voor de vier scenario's voor 2030.

NTM klasse	GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Heide	14.08	14.24	14.00	14.13
Loofbos	10.71	10.80	10.67	10.74
Naaldbos	9.81	9.94	9.78	9.86
Grasland	14.08	14.45	13.88	14.22

Tabel 10

Verschillen tussen de vier scenario's in plantendiversiteit zoals berekend door het model NTM3 voor 2030

NTM klasse	SE_Ref-GE_Ref	SE_W-GE_W	GE_W-GE_Ref	SE_W-SE_Ref
Heide	0.16	0.14	-0.08	-0.10
Loofbos	0.08	0.07	-0.05	-0.06
Naaldbos	0.13	0.08	-0.03	-0.08
Grasland	0.37	0.35	-0.20	-0.23

Tabel 11

Ellenberggetallen voor vocht, zuurgraad en nutriëntenbeschikbaarheid per NTM3-vegetatieklasse voor de vier doorgekende scenario's.

	GE_Ref	SE_Ref	GE_W	SE_W
Ellenberg vocht				
Heide	3.95	3.95	4.07	4.07
Loofbos	3.62	3.62	3.72	3.72
Naaldbos	2.91	2.91	3.07	3.07
Grasland	6.87	6.87	6.92	6.92
Ellenberg zuur				
Heide	4.20	4.22	4.19	4.21
Loofbos	4.20	4.21	4.19	4.21
Naaldbos	3.89	3.91	3.89	3.91
Grasland	4.33	4.35	4.33	4.36
Ellenberg stikstof				
Heide	3.26	3.06	3.59	3.38
Loofbos	4.37	4.11	4.78	4.51
Naaldbos	3.69	3.36	4.15	3.82
Grasland	3.07	2.85	3.23	3.00

De Ellenberggetallen voor vocht worden alleen beïnvloed door het klimaatscenario. Klimaatverandering resulteert gemiddeld genomen in een hogere Ellenbergwaarde voor vocht, wat gemiddeld meestal leidt tot hogere plantdiversiteit en dus hogere biodiversiteit. Zoals ook vermeld is in paragraaf 3.1 hebben beide scenario's nauwelijks effect op de pH en dus ook niet op de Ellenberggetallen voor zuurgraad. Voor stikstof zijn de effecten groter. Een hogere Ellenbergwaarde voor nutriëntenbeschikbaarheid leidt meestal tot een lagere plantendiversiteit en dus lagere biodiversiteit.

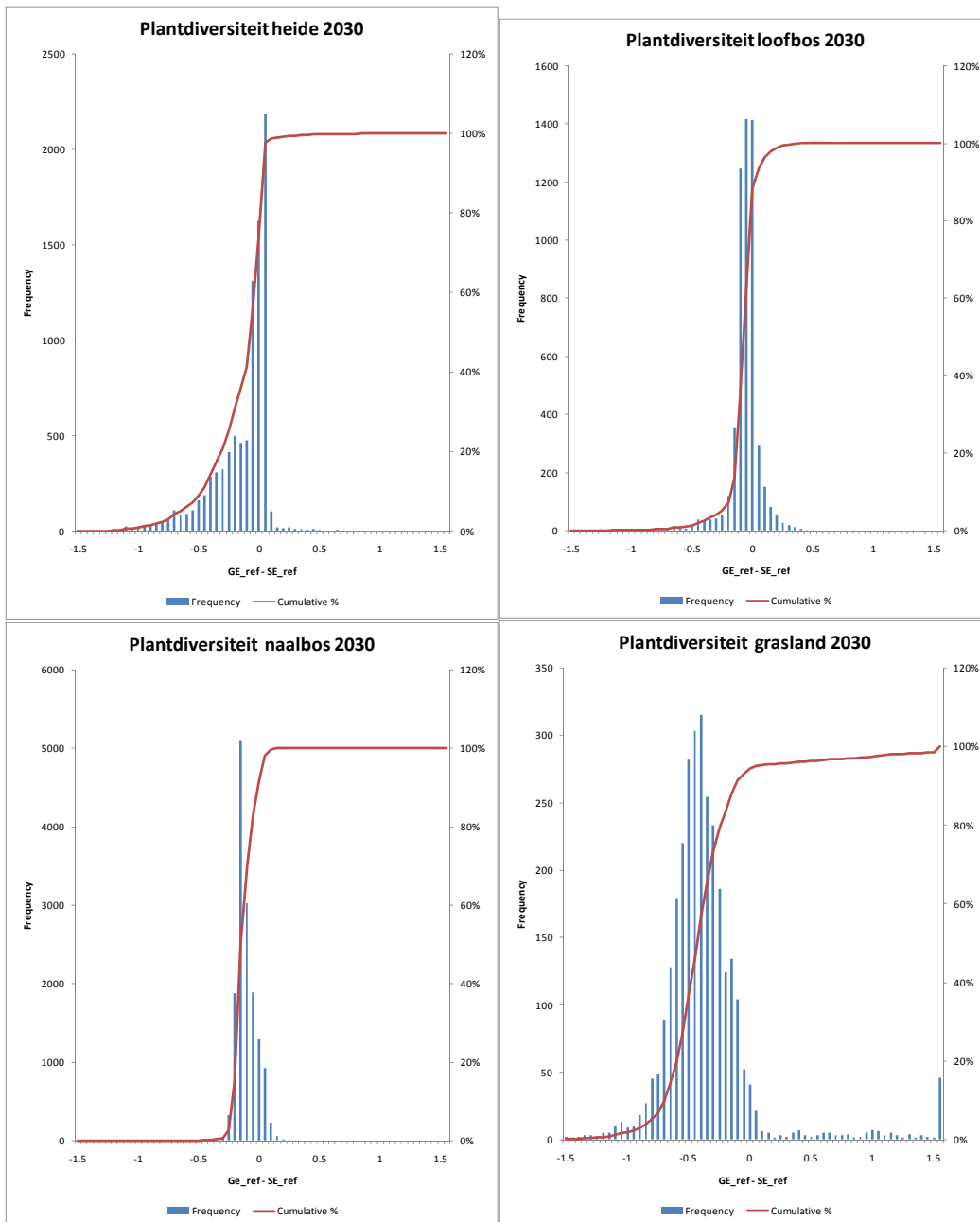
De gemiddelde resultaten voor plantendiversiteit voor NTM3 laten weinig verschillen zien tussen de resultaten. De (cumulatieve) frequentieverdelingen geven een ander, genuanceerder, beeld (figs. 12-15). Wanneer de resultaten aan beide kanten van de 0 liggen, dan zijn er locaties waar het scenario een positief effect heeft als locaties waar het scenario een negatief effect heeft.

In figuur 12 is te zien dat de verschillen tussen de stikstofdepositiescenario's bij onveranderd klimaat redelijk groot zijn, tot meer dan 1,0 eenheid. Uit eerder onderzoek (Schouwenberg et al., 2000) bleek dat bij vergelijking tussen depositiescenario's zeer kleine verschillen in de plantendiversiteitwaarde al significant kunnen zijn. Zoals verwacht worden voor heide, loofbos en naaldbos voornamelijk hogere waarden gevonden voor het scenario met de lagere stikstofdepositie (SE). Voor grasland is er klein aantal locaties waar met een hogere depositie hogere waarden worden gevonden. Bij loofbos speelt dit ook, maar daar zijn de verschillen gering. Dat de plantendiversiteitwaarde in graslanden voor een deel van de locaties toch hoger is bij hogere depositie is onverwacht. Dit effect komt ook terug bij de andere vergelijkingen tussen de scenario's. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de vertaling van de stikstofbeschikbaarheid in de Ellenbergwaarde voor nutriëntenrijkdom en in mindere mate met de vertaling van de grondwaterstand in Ellenbergwaarde voor vochtbeschikbaarheid. Deze vertaling is nog steeds moeizaam en de onzekerheid daarin zou een deel van het onverwachte resultaat kunnen verklaren.

Het effect van klimaatverandering op de natuurwaarde bij het GE scenario (fig. 13) geeft voor de verschillende vegetatietypen een verschillend beeld. Voor alle typen geldt dat er zowel hogere als lagere diversiteitwaarden als gevolg van klimaatverandering worden voorspeld. Voor heide, loofbos en grasland lopen de verschillen van -1,5 tot 1,5. Voor naaldbos zijn de verschillen kleiner. Voor heide zijn er meer locaties die een hogere natuurwaarde hebben bij het referentiescenario dan het klimaatscenario (ref – W is groter dan 0), maar er zijn ook veel locaties waar klimaatverandering leidt tot een lage diversiteitswaarde. Dit geldt weliswaar voor de andere vegetatieklassen ook, maar de verschillen zijn daar geringer.

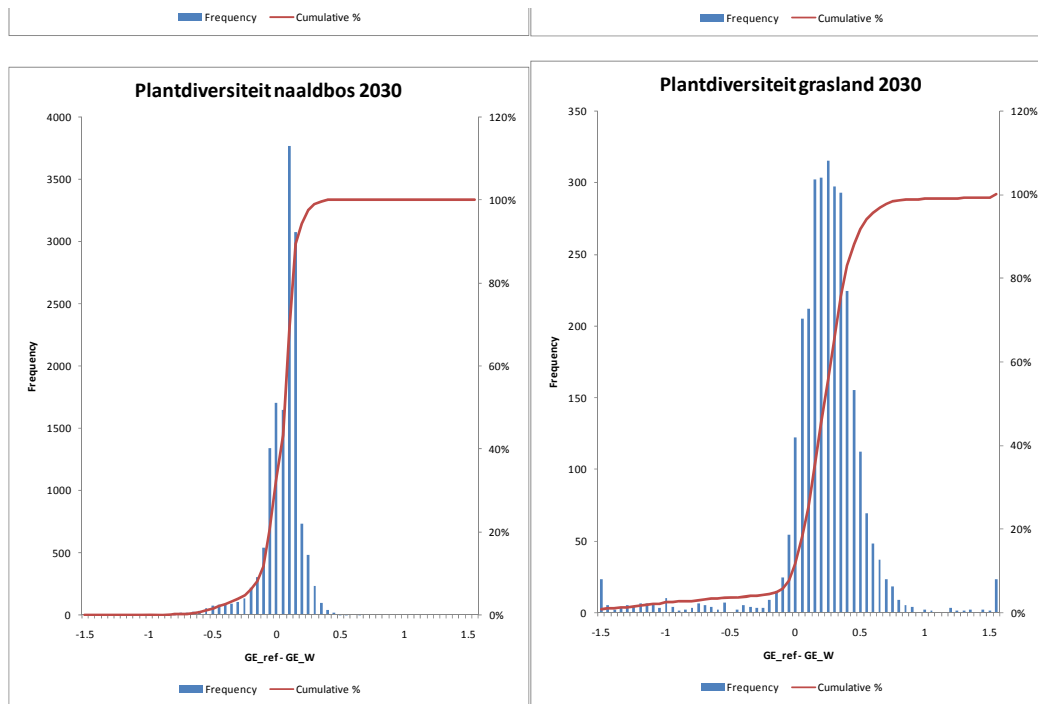
Klimaatverandering bij het lage depositieniveau (SE-scenario, fig. 14) levert vergelijkbare resultaten op met het effect van klimaatverandering bij een gelijkblijvende depositie (GE-scenario, fig.13). Op de meeste locaties is de diversiteit hoger voor het referentie klimaatscenario; klimaatverandering zorgt dus voor een lagere plantendiversiteit voor veel locaties. Het effect van een dalende stikstofdepositie wordt dus voor de meeste locaties (deels) teniet gedaan door de klimaatverandering. Er zijn echter ook locaties waar de diversiteit omhoog gaat als gevolg van klimaatverandering.

Het gesimuleerde verschil in het effect van stikstofdepositie bij klimaatverandering valt af te lezen uit figuur 15. Voor verreweg de meeste locaties wordt een hogere diversiteitswaarde gevonden voor het scenario met een dalende depositie, alleen in loofbos wordt er voor een redelijk deel van de locaties een hogere diversiteit voorspeld bij een hoge stikstofdepositie.



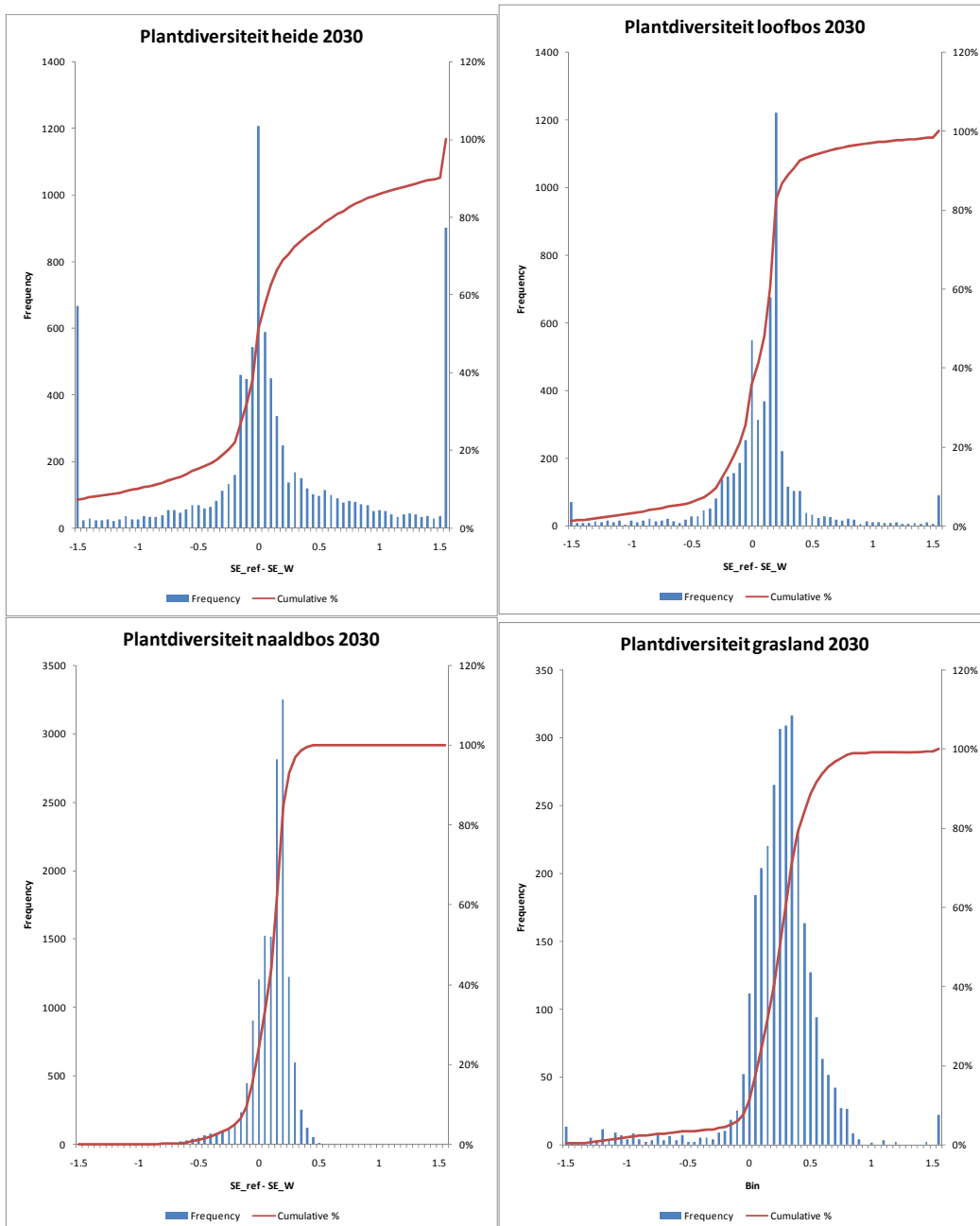
Figuur 12

Frequentieverdeling (blauw, linker y-as) en cumulatieve frequentieverdeling (rood, rechter y-as) voor de verschillen tussen de stikstofdepositiescenario's GE en SE bij onveranderd klimaat in NTM3-plantdiversiteitwaarden voor de NTM3-vegetatieklassen heide (links boven), loofbos (rechts boven), naaldbos (links onder) en grasland (rechts onder).



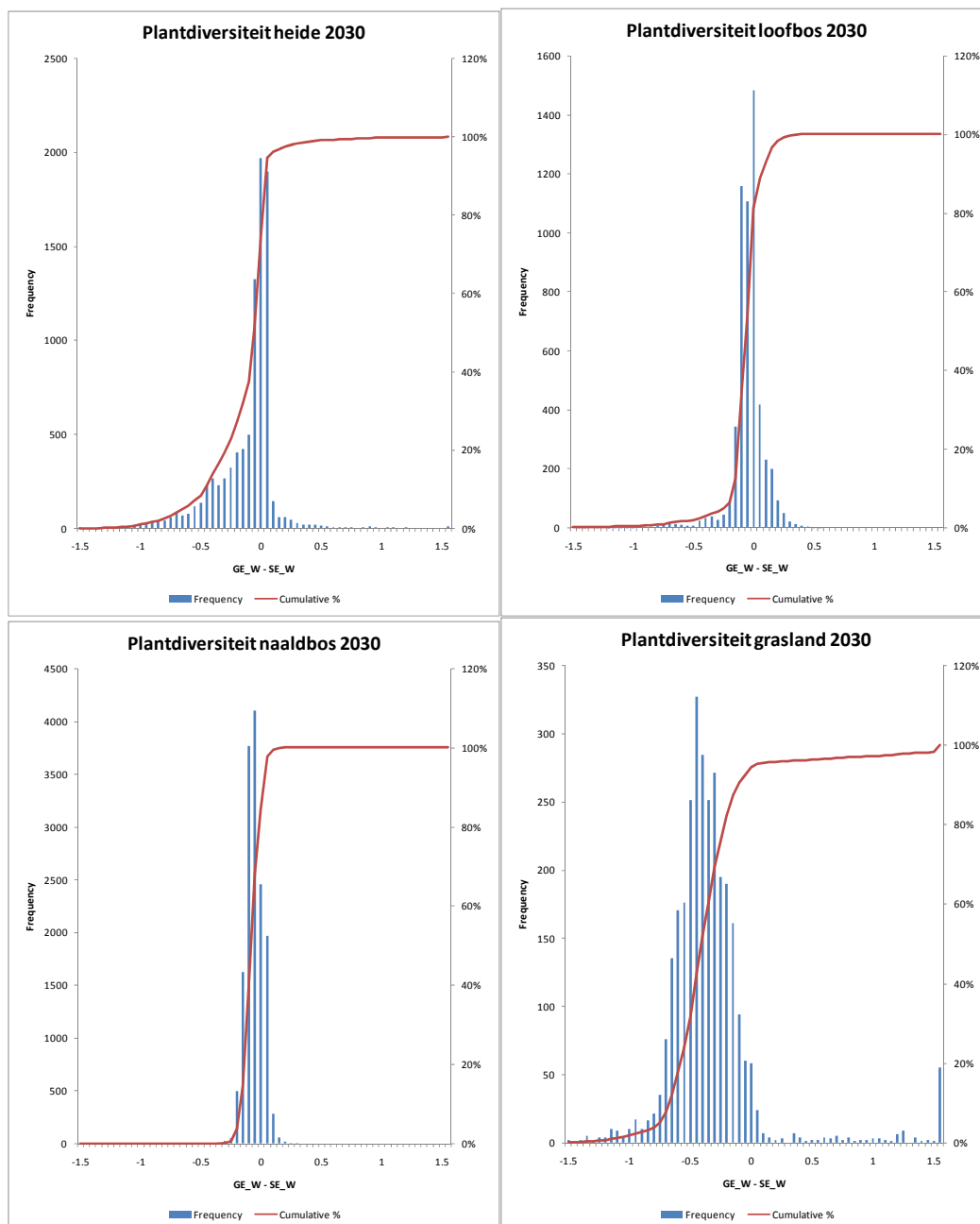
Figuur 13

Frequentieverdeling (blauw, linker y-as) en cumulatieve frequentieverdeling (rood, rechter y-as) voor de verschillen tussen de klimaatscenario's bij het GE-stikstofdepositiescenario in NTM3-plantdiversiteitwaarden voor de NTM3-vegetatieklassen heide (links boven), loofbos (rechts boven), naaldbos (links onder) en grasland (rechts onder).



Figuur 14

Frequentieverdeling (blauw, linker y-as) en cumulatieve frequentieverdeling (rood, rechter y-as) voor de verschillen tussen de klimaatscenario's bij het SE-stikstofdepositiescenario in NTM3-plantdiversiteitwaarden voor de NTM3-vegetatieklassen heide (links boven), loofbos (rechts boven), naaldbos (links onder) en grasland (rechts onder).



Figuur 15

Frequentieverdeling (blauw, linker y-as) en cumulatieve frequentieverdeling (rood, rechter y-as) voor de verschillen tussen de stikstofdepositiescenario's GE en SE bij klimaatverandering in NTM3-plantdiversiteitwaarden voor de NTM3-vegetatieklassen voor heide (links boven), loofbos (rechts boven), naaldbos (links onder) en grasland (rechts onder).

4 Discussie

Het onderzoek laat voor de EHS een aantal duidelijke resultaten zien, die voor de verschillende vegetatietypen in grote lijnen overeenkomen:

1. Een lagere stikstofdepositie resulteert in een lagere stikstofbeschikbaarheid, een lagere biomassa en een lagere uitspoeling van stikstof naar diepere grondwaterlagen.
2. Klimaatverandering volgens het W-scenario (hogere temperaturen, meer neerslag in de zomer) resulteert in een hogere stikstofbeschikbaarheid, een hogere biomassagroei en een hogere uitspoeling van stikstof naar diepere grondwaterlagen.
3. Het effect van klimaatverandering (volgens W) is groter dan het tegengestelde effect van een lagere stikstofdepositie op de stikstofbeschikbaarheid en de biomassa. De stikstofbeschikbaarheidsdaling door een lagere depositie wordt teniet gedaan door de verandering in klimaat. Hetzelfde geldt voor de biomassa, die hoger wordt, ondanks een daling in de stikstofbeschikbaarheid. Voor de uitspoeling is het effect wat gunstiger omdat een relatief groot deel van de extra stikstof wordt opgenomen door de vegetatie.
4. De pH wordt door de doorgerekende scenario's nauwelijks beïnvloed.
5. De resultaten voor de plantendiversiteit zijn relatief gering en verschillend voor de verschillende vegetatietypen.
6. Klimaatverandering zorgt voor zowel hogere als lagere diversiteitwaarden. Gemiddeld geeft klimaatverandering echter een lagere diversiteitswaarde voor alle vegetatietypen en er zijn meer locaties waar de diversiteit achteruit gaat dan vooruit.
7. Lagere stikstofdepositie resulteert over het algemeen in een hogere diversiteitwaarde, maar niet voor alle locaties.
8. Klimaatverandering dempt de effecten van een dalende stikstofdepositie. De hogere stikstofbeschikbaarheid als gevolg van klimaatverandering wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een toename van de mineralisatie doordat de omstandigheden voor dit proces gunstiger zijn (hogere temperatuur en vochtbeschikbaarheid) bij klimaatverandering onder het W-scenario.

De vraag hoe klimaatbestendig de EHS is kan deels op basis van de modelruns worden beantwoord. De resultaten laten duidelijk zien dat de stikstofbeschikbaarheid toeneemt als gevolg van klimaatverandering, wat in principe als ongunstig kan worden beschouwd voor het voorkomen van zeldzame soorten. De verandering in klimaat resulteert ook in een hogere biomassa, wat ook als ongunstig wordt beschouwd voor het duurzaam voorkomen van zeldzame plantensoorten en goed ontwikkelde plantengemeenschappen. Ook de stikstofuitspoeling neemt toe, al is het effect relatief klein. De effecten van stikstofdepositievermindering blijven onverminderd positief, maar zij dreigen te worden overschaduwd door de negatieve effecten van klimaatverandering. Klimaatverandering onder het W-scenario met meer neerslag heeft wel een positief effect op de vochtbeschikbaarheid en dat heeft een positief effect op de plantendiversiteit.

De in dit rapport beschreven berekeningen leiden tot de conclusie dat de EHS verminderd effectief lijkt te zijn wat betreft het beschermen van bodemkwaliteit en de plantendiversiteit. Volgens deze berekeningen lijken de effecten van klimaatverandering op de effecten van stikstofdepositietoename uit het verleden: een toename van biomassagroei en stikstofbeschikbaarheid, wat waarschijnlijk toch ook weer zal leiden tot een dominantie van een aantal goed aangepaste soorten. Dit zouden deels andere plantensoorten kunnen zijn. Dezelfde soort mitigerende maatregelen die ook zijn toegepast om de gevolgen van stikstofdepositie te beperken zouden ook tegen de effecten van klimaatverandering kunnen worden ingezet. Dit zou wel betekenen dat, ook als de stikstofdepositie tot onder de kritische grens is afgenomen, deze maatregelen zouden moeten worden voortgezet. Dit kan nadelig zijn voor een aantal soorten die niet goed bestand zijn tegen deze intensievere

vormen van maatregelen. Daarnaast dragen maatregelen om de uitstoot van stikstof bij de bron te beperken ook bij aan het verminderen van de depositie en daarmee aan het verminderen van de stikstofbeschikbaarheid die omhoog gaat als gevolg van klimaatverandering. Daarnaast kan het vergroten van de EHS helpen de depositie op de kerngebieden kleiner te maken en ook zo de effecten van extra mineralisatie deels teniet doen.

Naast het effect van klimaatverandering op de stikstofbeschikbaarheid is er effect op de vochttoestand. De hogere voorspelde diversiteit als gevolg van klimaatverandering zou veroorzaakt kunnen worden door een hogere vochtbeschikbaarheid, die het gevolg is van de grotere neerslag voor het W-scenario. Dit effect valt mogelijk weg wanneer het ook veel gebruikte W⁺-scenario zou worden toegepast met drogere zomers.

De modelruns zijn uitgevoerd voor vier realistische scenario's. Het voordeel hiervan is dat het situaties in de toekomst weergeeft die mogelijk voor zouden kunnen komen. Nadeel van de realistische scenario's is dat de verschillen tussen de scenario's soms zeer gering zijn, waardoor ook de uitkomsten weinig verschillen. Dit is ook gevonden in dit onderzoek. Het is dan moeilijker aan te geven in welke richting de effecten, van in dit geval de ontwikkeling van stikstofdepositie, zullen gaan. Dit in tegenstelling tot extreme onrealistische scenario's die resultaten geven die zeer waarschijnlijk nooit voor zullen komen, maar die de richting van de ontwikkelingen vaak wel duidelijk laten zien, ook al zullen ze waarschijnlijk nooit zo optreden. De hier gevonden verschillen zijn soms zeer gering en vallen daardoor binnen de onzekerheidsmarge die voor de hier gebruikte modellenketen bestaat. Vergelijking tussen scenario's verkleint de onzekerheid vaak, maar de kleine verschillen voor pH en biomassa zullen binnen de onzekerheidsmarge blijven vallen (zie o.a. Schouwenberg et al., 2000; Wamelink, 2008).

De resultaten voor het vegetatietype kwelders zijn hier en daar opvallend, o.a. voor biomassa en stikstofuitspoeling. Er is zeer hoge uitspoeling (voor alle scenario's). Het is de vraag of dit realistisch is. Een lagere biomassa als gevolg van klimaat is zeer waarschijnlijk een vocht-effect, maar voor kwelders is dat twijfelachtig. Nader onderzoek naar de resultaten voor dit type en de modellering van dit type lijkt noodzakelijk. Tot die tijd lijken de resultaten te onbetrouwbaar om conclusies te kunnen trekken.

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is gedraaid voorafgaand aan SMART2-SUMO2. SMART2-SUMO2 wisselen op jaarbasis gegevens uit en zijn dus echt interactief, ze leveren aan elkaar feedback, waardoor de vegetatie invloed heeft op de bodem en omgekeerd. Voor het NHI geldt dit niet. Het NHI is vooraf voor de gehele scenarioperiode gedraaid voor de verschillende scenario's. Daarna zijn SMART2-SUMO2 gedraaid met als invoer de hydrologie afkomstig van het NHI. Hierdoor is er geen terugkoppeling mogelijk tussen het NHI en SMART2-SUMO2 en worden de hydrologische effecten van de scenario's op de bodem en vegetatieprocessen mogelijk beperkt. In de praktijk zal de vegetatie invloed hebben op de verdamping en dus op de hydrologie. Dit zal van jaar tot jaar verschillen en zal ook weer zijn weerslag hebben op bijvoorbeeld de biomassagroei en daarmee weer op de verdamping. Momenteel is een jaarlijkse terugkoppeling tussen NHI en SMART2-SUMO2 nog niet mogelijk, maar het is zeer wenselijk om deze terugkoppelingsmechanismen tot stand te brengen.

Het afwezig zijn van interactie tussen het NHI en SMART2-SUMO2 leidt ook direct tot problemen als er vegetatiesuccessie optreedt. De berekende hydrologie en verdamping passen dan niet meer bij het vegetatietype. De vegetatie zal dan teveel of te weinig verdampen en er zal teveel of te weinig vochtbeschikbaarheid worden berekend. In dit onderzoek is er voor gezorgd dat er geen successie optreedt of de vegetatie anderszins van type verandert. Het zal duidelijk zijn dat successie bij een successiemodel één van de kernfuncties is en dat een jaarlijkse terugkoppeling met het NHI ook in dit opzicht zeer wenselijk is.

Literatuur

Hazeu, G.W., 2005. *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5) : vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*. Alterra-rapport 1213. Alterra, Wageningen.

Hurk, B. van der, A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G. J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout. 2006. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt.

Klap, J.M., W. de Vries en E.E.J.M. Leeters, 1998. *Effects of acid atmospheric deposition on the chemical composition of loess, clay and peat soils under forest in the Netherlands*. SC-DLO, Report 97.1. Wageningen, the Netherlands.

Kros, J., G.J. Reinds, W. de Vries, J.B. Latour en M.J.S. Bollen, 1995. *Modelling of soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology*. SC-DLO Report 95. Wageningen, the Netherlands.

Lejour, A., 2003. *Quantifying Four Scenarios for Europe*. The Hague, the Netherlands, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. CPB Document No 38.

Mol-Dijkstra, J., G.J. Reinds, J. Kros, B. Berg en W. de Vries, 2009. Modelling soil carbon sequestration of intensively monitored forest plots in Europe by three different approaches. *Forest Ecol. Manage.* 258: 1780-1793

Pussinen, A., G.J. Nabuurs, R. Wieggers, G.J. Reinds, G.W.W. Wamelink, J. Kros, J.P. Mol-Dijkstra en W. de Vries, 2009. Modelling long-term impacts of environmental change on mid- and high-latitude European forests and options for adaptive forest management. *Forest Ecology and management. Forest Ecol. Manage.* 258: 1806-1813.

Riedijk, A., R. van Wilgenburg, E. Koomen en J. Borsboom-van Beurden, 2007. *Integrated scenarios of socio-economic and climate change. A framework for the 'Climate changes Spatial Planning' programme*. Spinlab Research Memorandum SL-06 VU, Amsterdam.

Schouwenberg, E.P.A.G., H. Houweling, M.J.W. Jansen, J. Kros en J.P. Mol-Dijkstra, 2000. *Uncertainty propagation in model chains: a case study in nature conservancy*. Alterra rapport 1. Wageningen, Alterra, Green World Research.

Vries, W. de, M. Posch en J. Kämäri, 1989. Simulation of the long-term soil response to acid deposition in various buffer ranges. *Water, Air and Soil Pollution* 48: 349-390.

Vries, W. de en E.E.J.M. Leeters, 1998. *Effects of acid deposition on 150 forest stands in the Netherlands - chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution*. SC-DLO Report 69.1. Wageningen, the Netherlands.

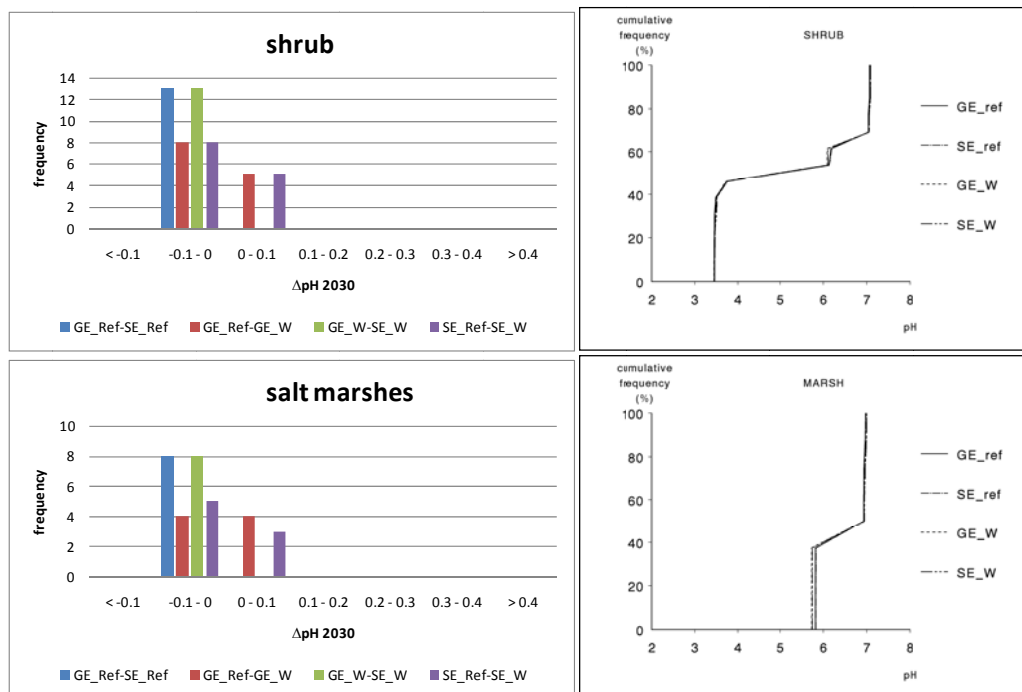
Wamelink, G.W.W., C.J.F. ter Braak en H.F. van Dobben, 2003. Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental. *Landscape Ecology* 18: 513-527.

Wamelink, G.W.W., 2008. *Gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse van SUMO*. Werkdocument 98. WOT, Wageningen.

Wamelink, G.W.W., H.F. van Dobben en F. Berendse, 2009a. Vegetation succession as affected by decreasing nitrogen deposition, soil characteristics and site management: a modelling approach. *Forest Ecol. Manage.* 258: 1762-1773.

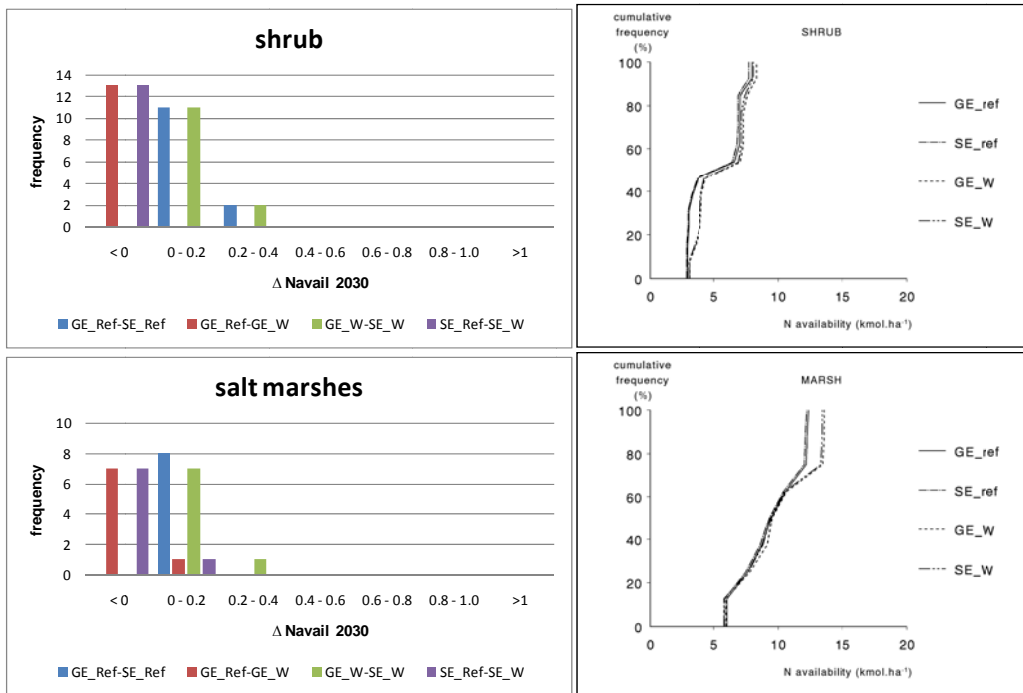
Wamelink, G.W.W., H.J.J. Wieggers, G.J. Reinds, J. Kros, J.P. Mol-Dijkstra, M. van Oijen en W. de Vries, 2009b. Modelling impacts of changes in carbon dioxide concentration, climate and nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and forest soils. *Forest Ecol. Manage.* 258: 1794-1805.

Bijlage 1



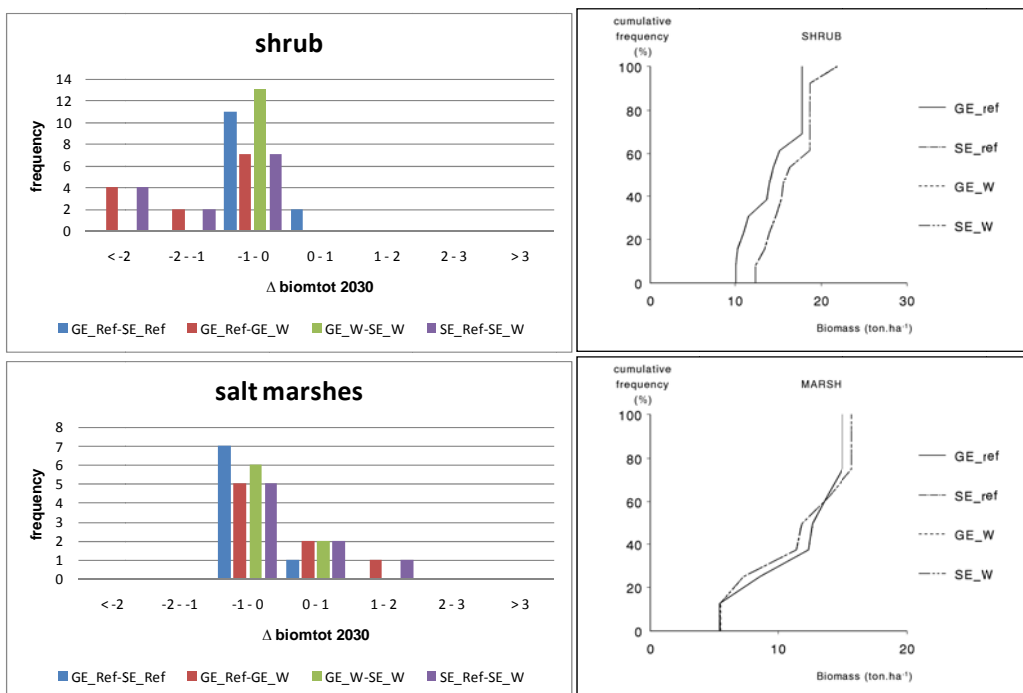
Figuur 8a

Verschillen in bodem-pH tussen de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen per categorie en rechts de cumulatieve resultaten.



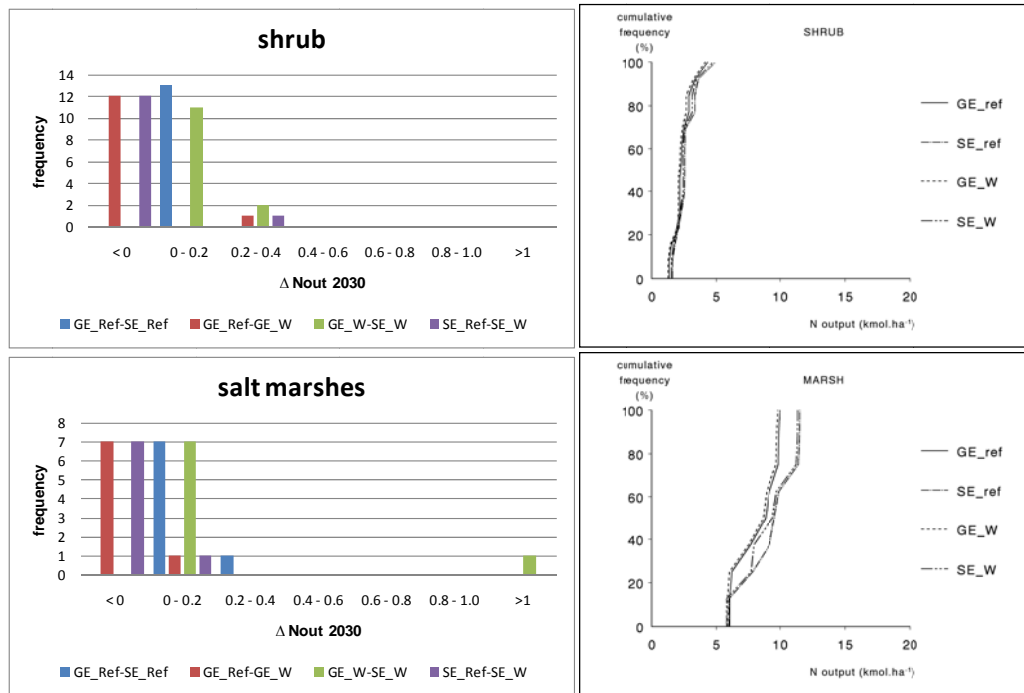
Figuur 9a

Verschillen in stikstofbeschikbaarheid tussen de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen per categorie en rechts de cumulatieve resultaten.



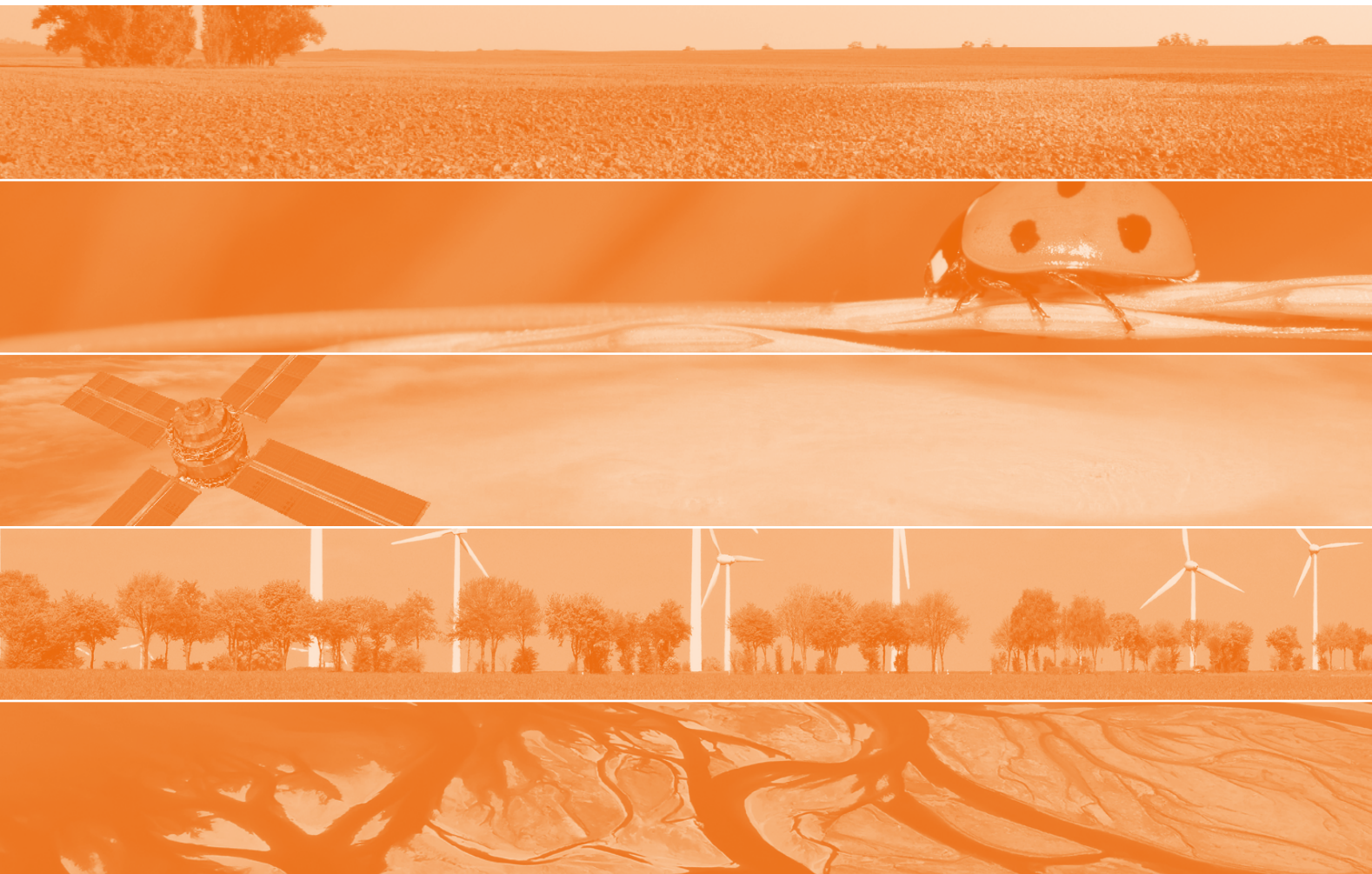
Figuur 10a

Verschillen in totale biomassa tussen de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen per categorie en rechts de cumulatieve resultaten.



Figuur 11a

Verschillen in stikstofuitspoeling tussen de vier scenario's, twee voor stikstofdepositie (GE en SE) en twee voor klimaatverandering (Ref en W), met links de verschillen per categorie en rechts de cumulatieve resultaten.



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