



ALTERRA

WAGENINGEN UR



Klimaatbestendigheid van de EHS 1

Simulatieruns met de modellen SMART2-SUMO2 voor stikstof scenario's

Alterra-rapport 1918
ISSN 1566-7197

G.W.W. Wamelink, H.J.J. Wieggers, J.P. Mol-Dijkstra, J.C.H. Voogd, J. Kros en E.P.A.G. Schouwenberg

Klimaatbestendigheid van de EHS 1

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, DWK, in het kader van programmanummer
BO-02-011, terrestrische EHS en Natura 2000.

Projectcode [BO-5235025]

Klimaatbestendigheid van de EHS 1

Simulatieruns met de modellen SMART2-SUMO2 voor stikstof scenario's

G.W.W. Wamelink

H.J.J. Wieggers

J.P. Mol-Dijkstra

J.C.H. Voogd

J. Kros

E.P.A.G. Schouwenberg

Alterra-rapport 1918

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Wamelink, G.W.W., H.J.J. Wieggers, J.P. Mol-Dijkstra, J.C.H. Voogd, J. Kros & E.P.A.G. Schouwenberg, 2009. *Klimaatbestendigheid van de EHS 1; Simulatieruns met de modellen SMART2-SUMO2 voor stikstof scenario's*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1918. 32 blz.; 9 fig.; 6 tab.; 14 ref.

In deze eerste fase van het project zijn de klimaatbestendige modellen SMART2-SUMO2 gedraaid voor vier verschillende stikstofdepositiescenario's. In een later stadium zullen hieraan klimaatscenario's worden toegevoegd. De verschillen tussen de gebruikte scenario's zijn niet groot, maximaal 10% verschil in depositie. Dit komt ook tot uiting in de resultaten. Voor bodem pH worden nauwelijks verschillen gesimuleerd. De verschillen in stikstofbeschikbaarheid zijn wel redelijk groot en in lijn met de te verwachten verschillen op basis van de scenario's. Deze verschillen komen ook tot uiting in de hoeveelheid stikstof die uitspoelt, maar niet in de biomassa van de aanwezige vegetatie. De vegetatie blijkt voor alle sites in de EHS de maximale hoeveelheid stikstof op te nemen, de rest spoelt uit. Nadere analyse moet uitwijzen of dit realistisch is of dat er ergens in het model iets niet goed wordt gesimuleerd.

Trefwoorden: EHS, model simulatie, pH, stikstof, scenario analyse, biomassa

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en Methode	11
2.1 SMART2	12
2.2 SUMO2	13
2.3 NTM	14
2.4 Scenario	14
2.5 Analyse resultaten	15
3 Resultaten	17
4 Discussie	29
Literatuur	31

Samenvatting

De gemeten en verwachte veranderingen in het klimaat kunnen een bedreiging vormen voor de natuur binnen de EHS. Dit naast de reeds aanwezige bedreigingen als stikstofdepositie en versnippering. Door temperatuurverhoging zou bijvoorbeeld meer stikstof vrij kunnen 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 en NTM met een hydrologische module gecombineerd ingezet. In de eerste fase zijn alleen de modellen SMART2-SUMO2 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. Deze test staat beschreven in dit rapport. De modellen zijn gedraaid voor vier verschillende standaard stikstofdepositie scenario's: Global Economy (GE), Regional Communities (RC), Strong Europe (SE) en Transatlantic Market (TM). De stikstofdepositie voor de vier scenario's is slechts beperkt gevarieerd. Hierdoor zijn de verschillen in de modeluitkomsten ook beperkt. Voor bodem pH en biomassa zijn de verschillen tussen de scenario's zeer gering. Voor de stikstofbeschikbaarheid en de stikstof uitspoeling uit de bovenste bodem laag zijn de verschillen groter. Voor alle scenario's zijn er wel ruimtelijke verschillen aanwezig, maar ook deze zijn deels gering.

De verschillen in uitspoeling van stikstof zijn in lijn met de verschillen in stikstof beschikbaarheid. Beide resultaten komen overeen met de verwachting op basis van de scenario's. Het scenario met de hoogste depositie geeft ook de hoogste stikstofbeschikbaarheid en uitspoeling. Dit is niet terug te vinden in de door SUMO2 gesimuleerde biomassa; de verschillen tussen de scenario's zijn minimaal. Dit is niet volgens verwachting, een hogere stikstofbeschikbaarheid zou ook tot een hogere biomassa moeten leiden. Om een mogelijke oorzaak te vinden is de stikstofbeschikbaarheid verminderd met de uitspoeling. Dit leidt tot de stikstofhoeveelheid die door de vegetatie wordt opgenomen. Hieruit blijkt dat er dan slechts zeer geringe verschillen zijn in de opname van stikstof door de vegetatie. Dat is wel volgens de verwachting. Het zou kunnen dat alle vegetaties voor alle vier scenario's de maximale hoeveelheid stikstof opnemen en ze daardoor ongeveer even hard groeien. Er moet verder uitgezocht worden hoe dit komt en of dit realistisch is. Het zou kunnen betekenen dat de hele EHS verzadigd is met stikstof.

In een volgende fase (2) zullen de twee stikstofscenario's met de grootste verschillen worden gedraaid in combinatie met een aantal klimaatscenario's om te onderzoeken wat het gecombineerde effect is op de vegetatieontwikkeling in de EHS. Dan zal ook een biodiversiteitsgraadmeter worden gebruikt om ook het effect op de biodiversiteit te evalueren. Hierover zal apart verslag worden gedaan.

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.

LNV en provincies hebben op bestuurlijk niveau afgesproken dat de provincies in het kader van MJP2 / Agenda vitaal platteland de gewenste milieucondities voor de EHS in beeld te brengen. Daarnaast is in EU-verband afgesproken dat in de periode 2008-2010 voor alle 162 Natura 2000-gebieden beheersplannen worden opgesteld. Waar klimaatseffecten in deze gebieden te verwachten zijn, zal uitdrukkelijk aandacht moeten worden besteed. 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 heeft 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. Daarnaast kan er een duidelijke link zijn met de stikstofdepositie, de effecten van klimaatverandering zouden tot een grotere productie van biomassa kunnen leiden (zie o.a. Pussinen et al., 2009; Wamelink et al., 2009b). Een hoge stikstofdepositie zou dit effect 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 optreden. Doordat het warmer wordt en het groeiseizoen wordt verlengd, neemt de mineralisatie toe, wat weer leidt tot een grotere biomassaproductie.

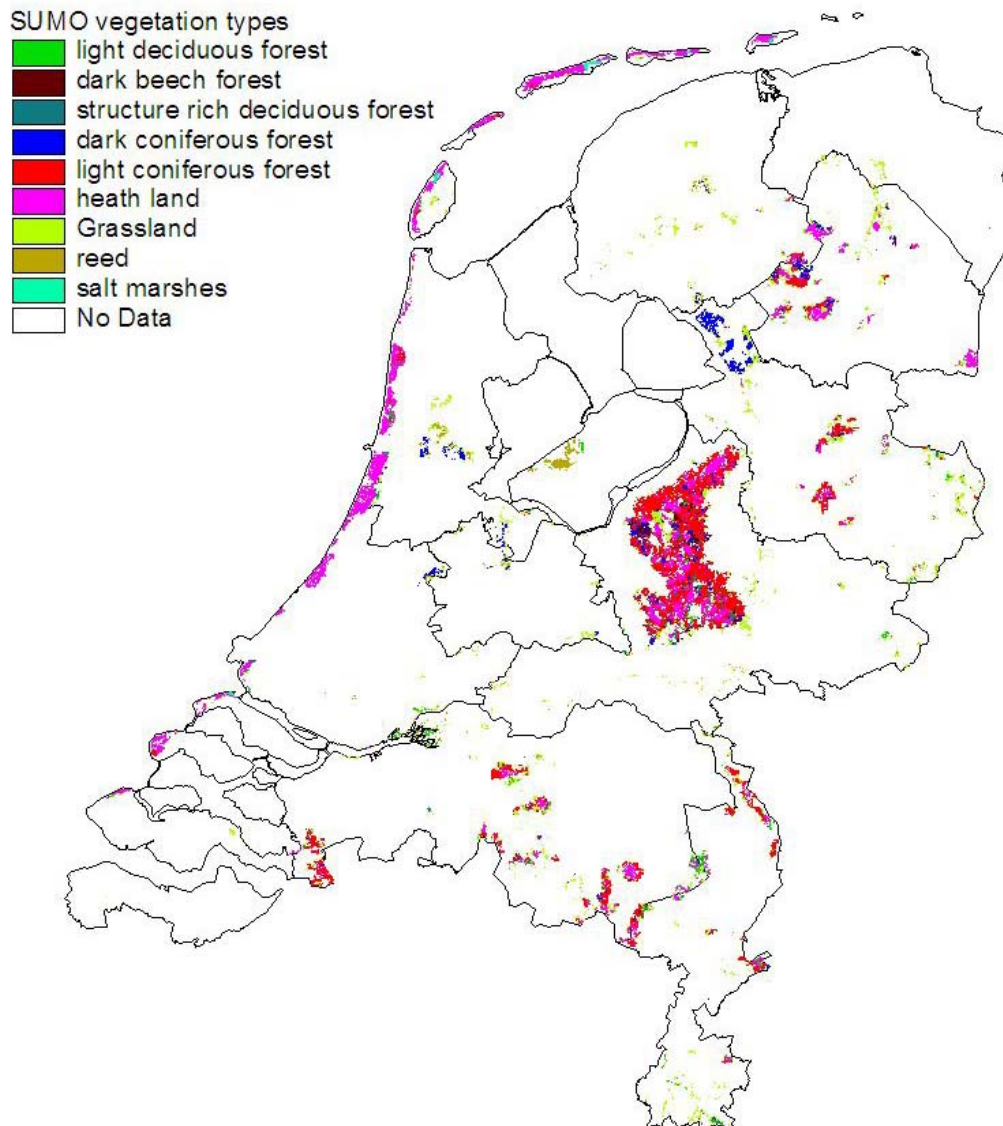
Uiteindelijk moet dit project antwoord geven op de volgende vragen:

- Welke effecten heeft de voorziene klimaatverandering in Nederland, uitgedrukt in een andere neerslag en temperatuur en CO₂ concentratie, via hydrologische processen en de groei van planten op de soortensamenstelling van natuurdoeltypen?
- Kunnen deze effecten worden ondervangen door gebiedsgerichte maatregelen en zo ja, op welke manier?

In deze eerste rapportage wordt beschreven wat de effecten van vier scenario's zijn op de vegetatie. Deze eerste test is uitgevoerd zonder rekening te houden met klimaatverandering, maar wel met de effecten van zuur- en stikstofdepositie. De uitkomsten van deze eerste verkennende studie kunnen dan vergeleken worden met de later te draaien klimaatscenario's.

2 Materiaal en Methode

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee dynamische modellen SMART2 (bodemmodellering, Kros et al., 1995) en SUMO2 (vegetatiemodellering, Wamelink et al., 2009a), waarbij de vochttoestand van de bodem is gesimuleerd met het model Wattbal. Met behulp van scenarioanalyses is onderzocht hoe de EHS (figuur 1) reageert op klimaatverandering. In de paragrafen hieronder worden de modellen kort beschreven, net als de gebruikte scenario's.



Figuur 1 Overzicht van de met SMART2-SUMO2 doorgerekende vegetatietypen van de EHS. Per 250*250m gridcel wordt het dominante vegetatietype weergegeven; per grid cell kunnen verschillende vegetatietypen voorkomen die doorgerekend zijn. DBEE: dark beech forest, DCON: dark coniferous forest, GRS: grassland, HEA: heathland, LCON: light coniferous forest, LDEC: light deciduous forest, MARSH: salt marshes, REED: reed, SRDEC: structure rich deciduous forest (de vegetatieindeling volgt de in SUMO2 gebruikte typen).

2.1 SMART2

Het SMART2-model (Kros et al., 1995) bestaat uit een set van massabalans-vergelijkingen, welke 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 (CO_2 -evenwichten, carbonaatverwerking, silikaatverwerking, oplossen van Al-hydroxides en kationenomwisseling). De volgende processen zijn niet meegenomen:

- N-fixatie and NH_4^+ -adsorptie,
- opname, immobilisatie en reductie van SO_4^{2-} ,
- complexatie van Al^{3+} met OH^- , SO_4^{2-} 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 silikaatverwerking) of door evenwichtsreacties (bijv. carbonaat- en Al-hydroxideverwerking en kationenomwisseling) beschreven. Beïnvloeding van omgevingsfactoren zoals de pH op verwerkingssnelheden en kationenomwisseling zijn buiten beschouwing gelaten. Stoftransport 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).

SMART2 is o.a. voor dit onderzoek aangepast, zie hiervoor Mol-Dijkstra et al. (2009).

Tabel 1 Processen en procesbeschrijving in het model SMART2

Processen	Ion	Procesbeschrijving
<i>Input</i>		
Totale depositie	SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , $\text{BC}^{2+ \ 1)}$, Na^+ , K^+	Input
Kwel	SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , $\text{BC}^{2+ \ 1)}$, Na^+ , K^+	Input
<i>Snelheidsreacties</i>		
Bladopname	NH_4^+	Lineair evenredig met de totale depositie
Bladuitloging	$\text{BC}^{2+ \ 1)}$, K^+	Gelijk aan bladopname
Bladval	$\text{BC}^{2+ \ 1)}$, K^+ , NH_4^+ , NO_3^-	Logistische groeicurve
Wortelsterfte	$\text{BC}^{2+ \ 1)}$, K^+ , NH_4^+ , NO_3^-	Lineair evenredig met de strooiselproductie
Mineralisatie	$\text{BC}^{2+ \ 1)}$, K^+	1 ^e -orde-reactie en functie van pH, NH_4^+ , NO_3^- 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	$\text{BC}^{2+ \ 1)}$, K^+ , NH_4^+ , NO_3^-	Logistische groeicurve
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^+ , K^+	0 ^e -orde-reactie
<i>Evenwichtsreacties</i>		
Dissociatie/associatie	HCO_3^-	CO_2 -evenwicht
Carbonaatverwerking	BC^{2+}	Carbonaatevenwicht
Al-hydroxide-verwerking	Al^{3+}	Gibbsietevenwicht
Kationenomwisseling	$\text{H}^{+ \ 2)}$, Al^{3+} , BC^{2+}	Gaines-Thomasvergelijking
Sulfaatsorptie	H^+ , SO_4^{2-}	Langmuirvergelijking

¹⁾ BC^{2+} staat voor divalente basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+})

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

2.2 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 simuleert de biomassaontwikkeling voor vijf verschillende functionele typen (kruiden en grassen, dwergstruiken, struiken en twee boomsoorten) als gevolg van beheer (maaïen, grazen, dunnen/kappen, plaggen en branden), nutriënten- en vochtbeschikbaarheid en klimaatgerelateerde factoren als temperatuur en kooldioxide

concentratie in de lucht. Per functioneel type wordt de biomassaontwikkeling voor drie organen gesimuleerd, wortels, stam/tak en blad. Voor elk orgaan wordt een volledige nutriëntencyclus gemodelleerd (N, P, K, Mg, Ca). Beschikbaarheden van de nutriënten wordt gegeven door SMART2, terwijl SUMO2 SMART2 voorziet van gegevens over biomassa die afsterft en in de strooisellaag terecht komen, inclusief het nutriëntengehalte. Op basis van de biomassaverdeling over de functionele typen bepaald SUMO2 welk vegetatietype geacht wordt aanwezig te zijn. Bij veranderingen in die verdeling kan successie optreden; het vegetatietype veranderd. Het effect van klimaatverandering vindt direct plaats op de maximale groei van de functionele typen; de maximale groeisnelheid is afhankelijk van de gemiddelde jaartemperatuur en de CO₂ concentratie. Indirect kan het klimaat effect hebben op de groei, o.a. via de door SMART2 geleverde stikstofbeschikbaarheid. Deze is afhankelijk van o.a. de stikstofdepositie, maar ook van de temperatuur via beïnvloeding van de mineralisatiesnelheid.

SUMO2 draait op een nationale schaal, wat tot beperkingen lijdt. In principe wordt er op een gridschaal van 250*250m gesimuleerd, hoewel zowel SMART2 als SUMO2 puntmodellen zijn en in principe dus schaal onafhankelijk.

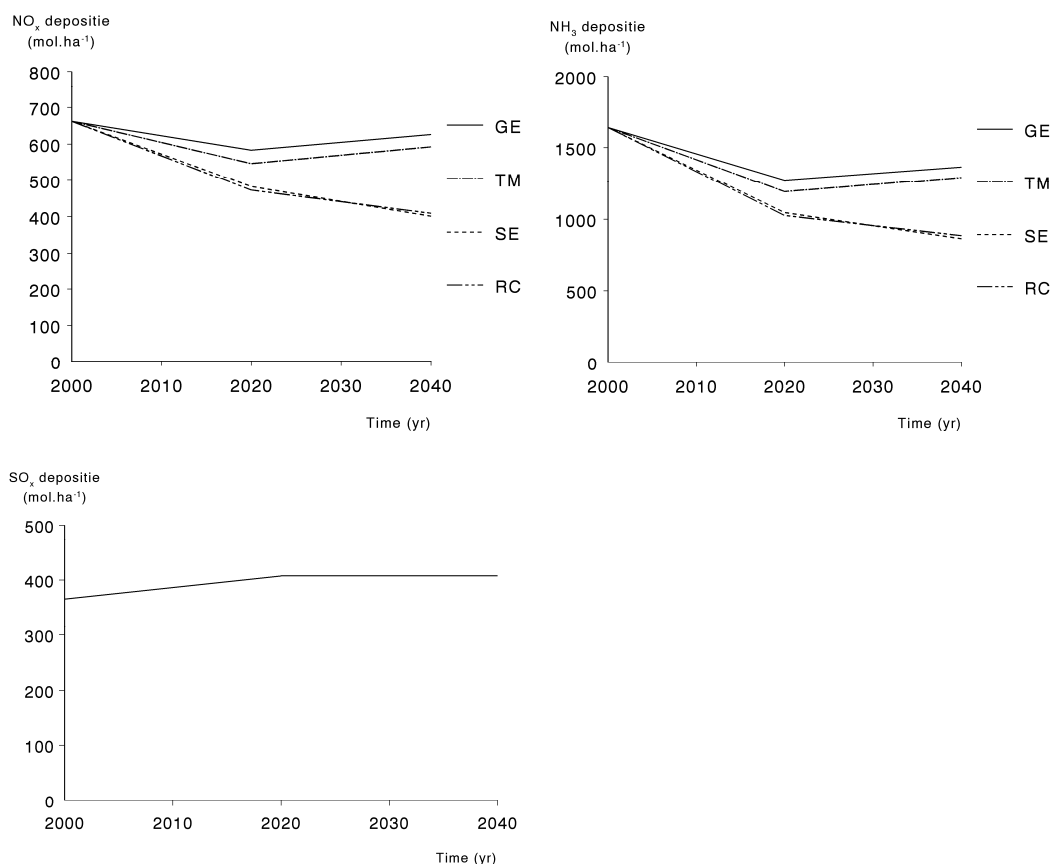
SUMO2 is niet aangepast voor de berekeningen in dit project.

2.3 NTM

Het model NTM (Wamelink et al., 2003) is in deze analyse nog niet gebruikt. In een later stadium zal worden besloten of dit model alsnog wordt toegepast of dat gebruik wordt gemaakt van de abiotische eisen voor vegetatietypen uit het BO project abiotische condities (projectleider Pieter Slim, zie ook www.abiotic.wur.nl en Wamelink et al., 2007).

2.4 Scenario

Met de modelketen zijn vier stikstof depositiescenario's doorgerekend. De scenario's zijn Global Economy (GE), Regional Communities (RC), Strong Europe (SE) en Transatlantic Market (TM) en aangeleverd door het PBL (voorheen MNP, Lejour, 2003; Riedijk et al., 2007). De verschillen tussen de scenario's, gebaseerd op 'realistische' voorspellingen, zijn relatief klein voor de SMART2 invoer gegevens NH₃ en NO_x depositie (Figuur 2). Vooral de verschillen tussen SE en TM zijn erg klein, maar ook de verschillen tussen GE en RC zijn gering. Het GE scenario geeft de hoogste stikstof depositie, terwijl het SE en TM de laagste depositie geven. Alle vier scenario's geven een knikpunt in de depositie bij het jaar 2020, daar waar voor het SE en TM scenario de depositie verder daalt, zij het minder dan daarvoor, geven de GE en RC scenario's een trendbreuk weer met na 2020 weer een stijgende stikstof depositie. De SO_x depositie is voor alle vier de scenario's gelijk (Figuur 2). De effecten van de vier verschillende scenario's op de bodemparameters pH, N-beschikbaarheid (N-availability), N uitspoeling (N-output) en de biomassa van de vegetatie zijn met elkaar vergeleken.



Figuur 2 Gemiddelde NH₃, NO_x en SO₂ depositie voor alle locaties van de vier verschillende scenario's.

2.5 Analyse resultaten

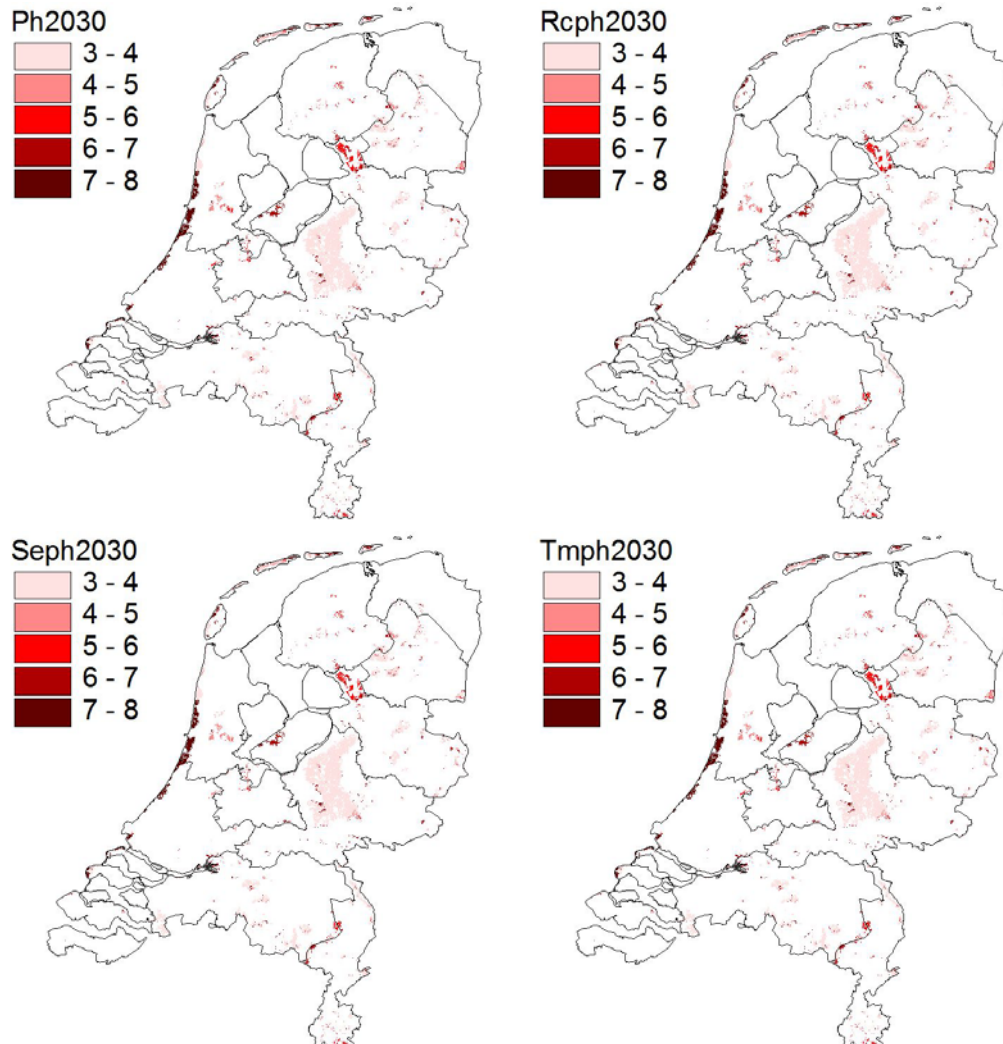
Voor alle EHS locaties (zie figuur x) zijn vier verschillende depositie scenario's doorgerekend van 2000 tot 2030. Voor 2030 worden de resultaten weergegeven in een aantal overzichtsfiguren. Omdat de verschillen gering zijn in de uitkomsten worden van de voorliggende jaren geen resultaten gepresenteerd. De weergegeven parameters zijn de pH, N-beschikbaarheid, totale biomassa van de vegetatie en de N-uitspoeling.

Als eerste zijn kaarten gemaakt van de bodemparameters voor het jaar 2030 waarbij verwacht mag worden dat de verschillen tussen de scenario's het grootst zullen zijn (figuren xx t/m xx).

Omdat uit deze kaarten nauwelijks verschillen tussen de scenario's waarneembaar zijn, zijn per SUMO vegetatietype, ook frequentieverdelingen gemaakt van de verschillen tussen de scenario's ten opzichte van het uitgangsscenario (GE) (figuren xx t/m xx). Van de bodemparameters N-beschikbaarheid en N-uitspoeling die de grootste verschillen tussen de scenario's laten zien, zijn ook nog cumulatieve frequentieverdelingen gemaakt (figuur xx t/m xx).

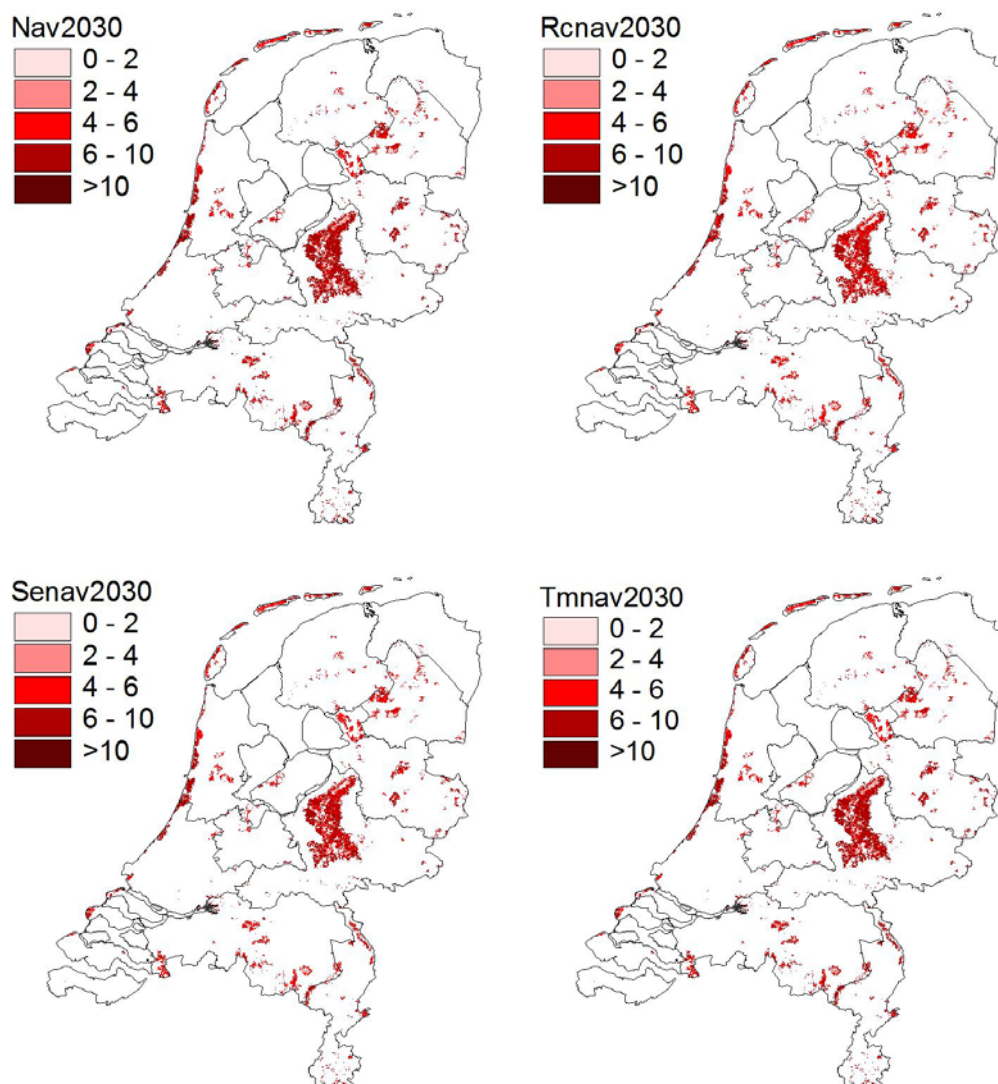
Ten slotte zijn de absolute resultaten van de vier bodemparameters per SUMO vegetatietype ook nog in een tabel weergegeven (tabel xx t/m xx).

3 Resultaten



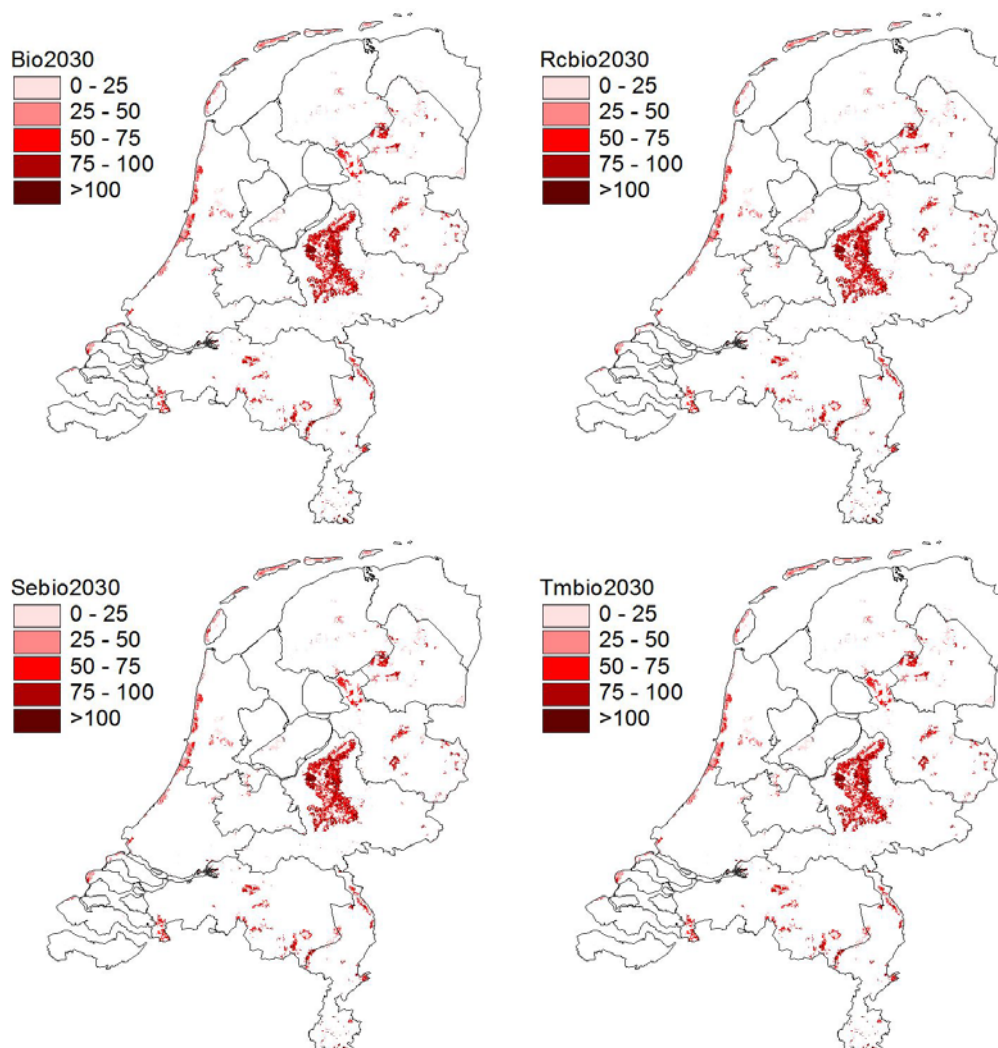
Figuur 3 pH van de locaties berekend met vier verschillende depositie scenario's (GE links boven, RC rechts boven, SE links onder en TM rechts onder).

De gesimuleerde bodem pH voor 2030 volgt grofweg het verwachtingspatroon. Hoge pH waarden worden vooral gesimuleerd voor de duingebieden, zwak zure tot neutrale gebieden worden vooral gesimuleerd voor de nattere veenachtige gebieden in het binnenland en Zuid-Limburg en deels op de klei, lage pH waarden komen vooral voor in de zandgebieden (o.a. de Veluwe). De verschillen tussen de vier scenario's zijn uitermate gering en in ieder geval niet in beeld te brengen voor landelijke overzichten (Figuur 3). Ook voor de scenario's die het grootste verschil in stikstofdepositie hebben (GE versus en SE/TM) is er ruimtelijk geen groot verschil zichtbaar.



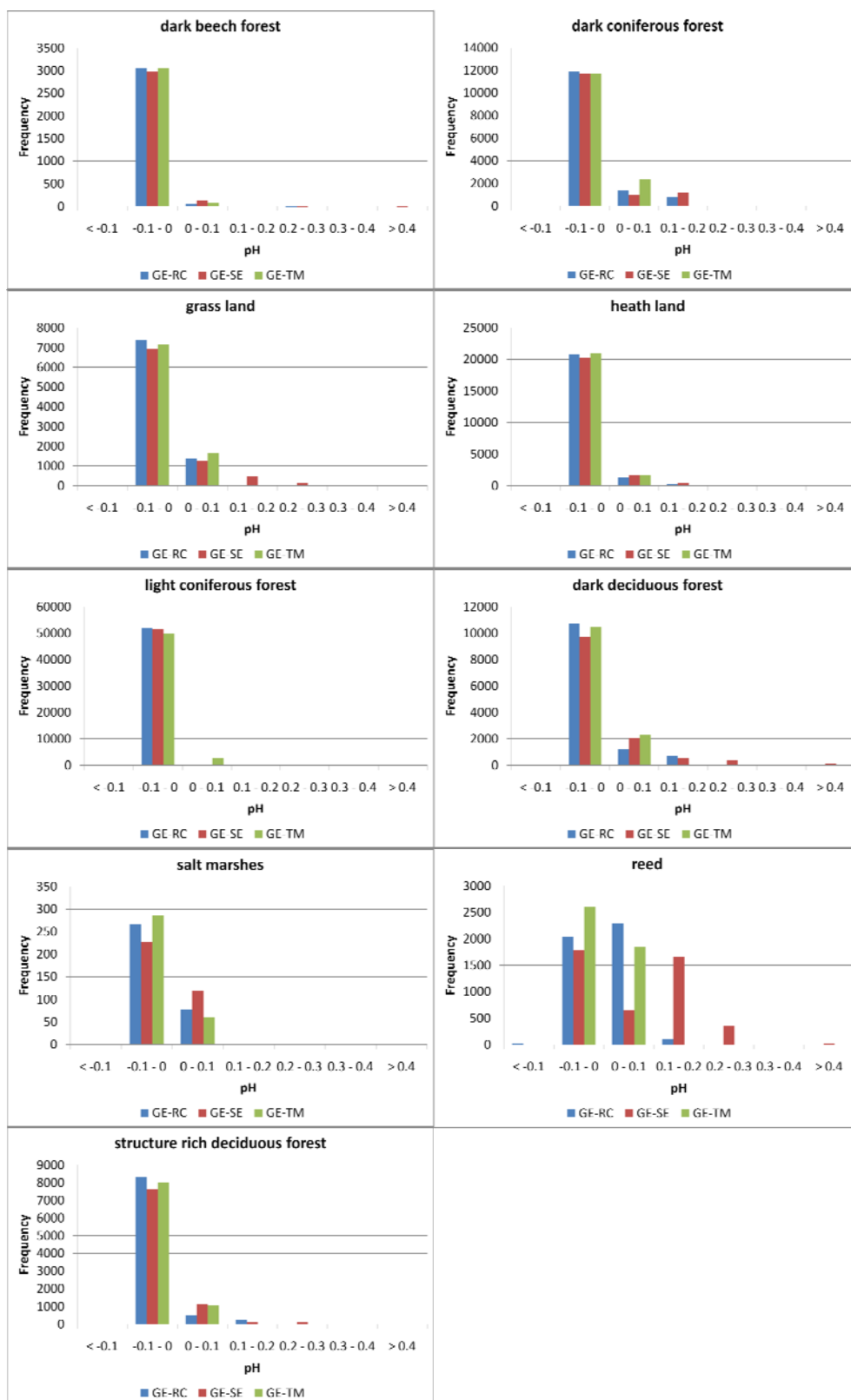
Figuur 4 N-availability (mol/ha) van de locaties berekend met vier verschillende depositie scenario's (GE links boven, RC rechts boven, SE links onder en TM rechts onder).

Net als voor de bodem pH zijn de verschillen tussen de scenario's voor de gesimuleerde stikstofbeschikbaarheid gering (Figuur 4). De landelijke overzichten geven geen zichtbare verschillen weer. Hoge stikstof beschikbaarheden worden vooral gesimuleerd voor bossen, wat ook zonder stikstofdepositie het geval zou zijn geweest. Opvallend is wel dat op veel plaatsen de hoogste waarden worden gesimuleerd aan de randen van bosgebieden, althans daar waar ze grenzen aan agrarisch gebied. Dit is een direct gevolg van de NH_3 emissie en de 'goede' invang eigenschappen voor stikstof door bossen. Dit patroon is echter voor alle scenario's gelijk.



Figuur 5 Total biomassa (ton/ba) van de locaties berekend met vier verschillende depositie scenario's (GE links boven, RC rechts boven, SE links onder en TM rechts onder).

Ook het landelijke overzicht voor de totale biomassa voor de vegetaties geeft geen zichtbare verschillen (Figuur 5). Er is uiteraard wel variatie binnen Nederland, maar die wordt veroorzaakt door het verschil in vegetatietype, beheer, bodem enz. De geringe verschillen zijn in overeenstemming met de geringe verschillen in stikstofbeschikbaarheid zoals getoond in Figuur 5. Op het eerste gezicht blijkt het effect van verschil in stikstofdepositie op deze wijze gepresenteerd gering. Echter hier worden totaal verschillende vegetatietypen op een hoop gegooid en per vegetatietype kunnen wel verschillen aanwezig zijn. Dit was een belangrijke reden om de resultaten ook nog op andere wijzen te presenteren en evalueren.



Figuur 6 Frequentie verdeling van het verschil in pH in het jaar 2030 van het GE scenario ten opzichte van de overige scenario's voor de 9 SUMO vegetatie typen voor de doorgerekende grids

Tabel 2 Gemiddelde pH in 2030 per SUMO vegetatietype voor de vier verschillende scenario's

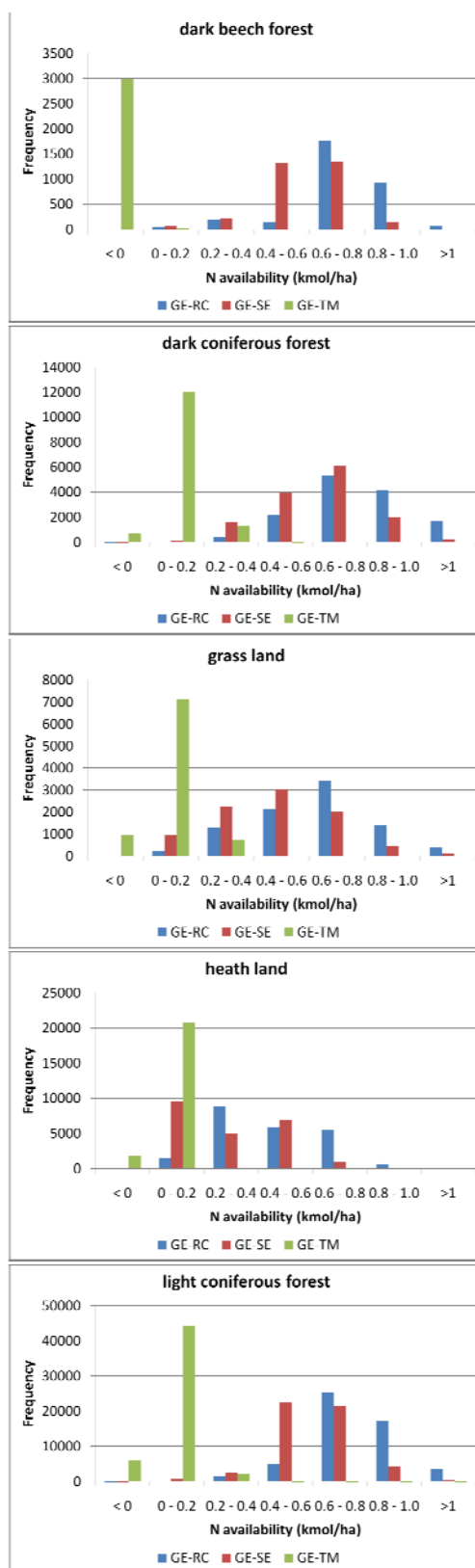
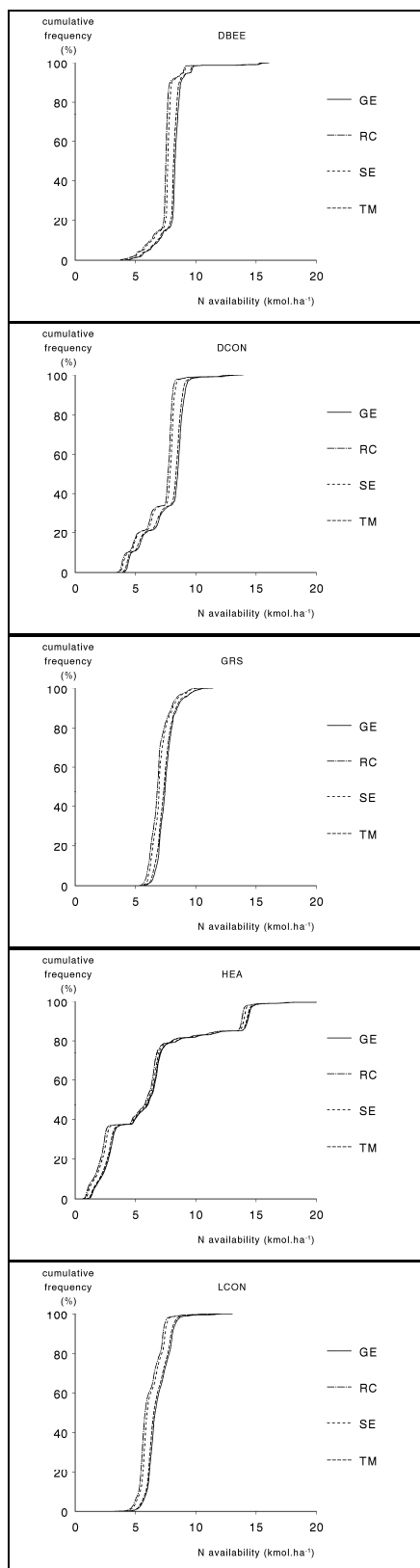
	GE	RC	SE	TM
GRS	4.54	4.57	4.55	4.54
HEA	4.79	4.81	4.80	4.79
DCON	4.16	4.18	4.16	4.16
LDEC	4.59	4.60	4.58	4.59
LCON	3.92	3.95	3.94	3.92
DBEE	4.05	4.09	4.07	4.05
SRDEC	4.35	4.37	4.36	4.35
REED	5.35	5.33	5.27	5.34
MARSH	5.96	5.97	5.96	5.96

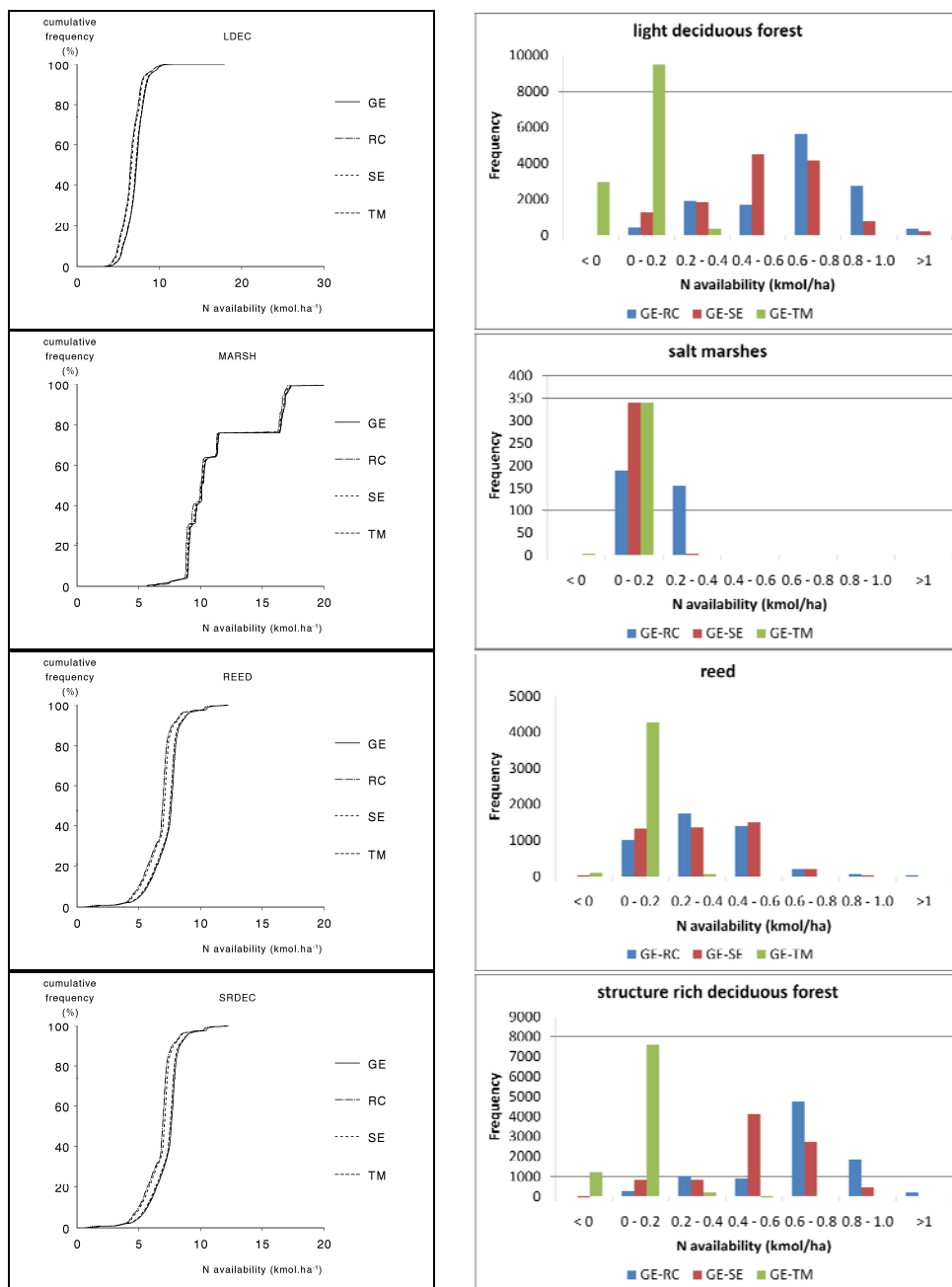
In Figuur 6 wordt per SUMO vegetatietype de frequentieverdeling gegeven van de verschillen in bodem pH voor de scenario's ten opzichte van het GE-scenario (het scenario met de hoogste stikstofdepositie). Ook hier komt naar voren dat de verschillen gering zijn, de meeste grids geven ten opzichte van het GE scenario een iets hogere pH (in de categorie -0.1 – 0). Een deel geeft een lagere bodem pH, al is ook daar het verschil zeer gering. De relatieve hoeveelheid grid cellen die een iets lagere pH geven verschilt wel per type. Verhoudingsgewijs bevindt een gering aantal grids zich in deze categorieën voor donker beuken bos en heide, terwijl relatief veel grids een iets lagere pH laten zien voor zoute moerassen en riet. Maar de absolute verschillen zijn zeer gering. Dit komt ook tot uiting als de overall gemiddelden voor Nederland per vegetatietypen worden berekend (Tabel 2). De verschillen zijn verwaarloosbaar; het grootste verschil is slechts 0.07 pH eenheid.

De verschillen tussen de scenario's zijn voor de meeste vegetatietypen ook gering (Figuur 6). Dit geldt niet voor het type riet, waar het SE scenario nogal afwijkt van de andere scenario's. Voor het SE scenario worden relatief veel lagere pH waarden gesimuleerd ten opzichte van het GE-scenario.

Tabel 3 Gemiddelde N-beschikbaarheid (kmol/ha) in 2030 per SUMO vegetatietype voor de vier verschillende scenario's

	GE	RC	SE	TM
GRS	7.57	6.93	7.08	7.46
HEA	6.49	6.03	6.18	6.42
DCON	7.78	7.00	7.15	7.64
LDEC	7.23	6.57	6.68	7.15
LCON	6.91	6.13	6.29	6.80
DBEE	8.25	7.50	7.65	8.13
SRDEC	7.37	6.69	6.82	7.28
REED	7.79	7.43	7.47	7.71
MARSH	11.57	11.37	11.47	11.53





Figuur 7 Cumulatieve frequentie verdeling van de N-availibility (links) (ton/ha) in het jaar 2030 en de frequentie verdeling in klassen (rechts) van het verschil in N-availibility (ton/ha) in het jaar 2030 van het GE scenario ten opzichte van de overige scenario's voor de 9 SUMO vegetatie types

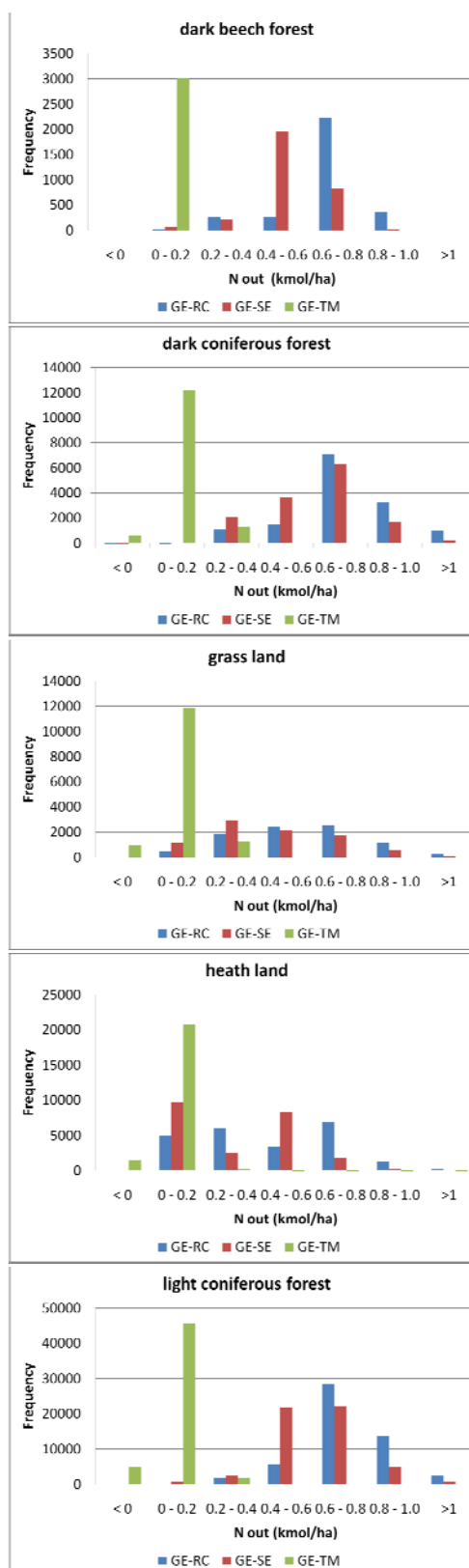
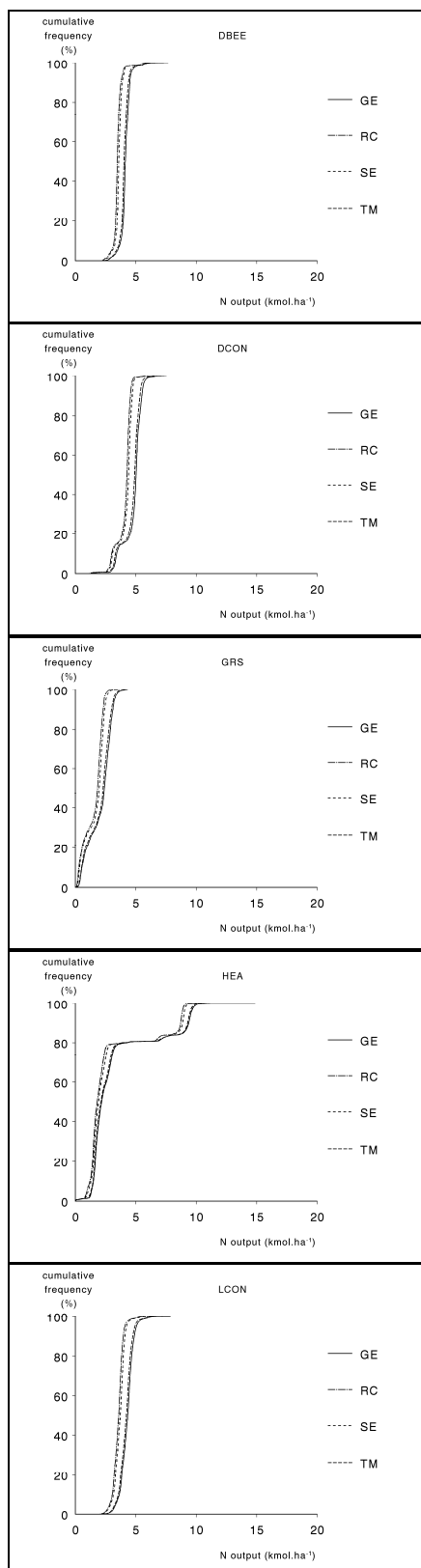
Voor de stikstofbeschikbaarheid in de bodem zijn er wel verschillen aanwezig. In de cumulatieve frequentieverdelingen voor de vegetatietypen is dit al zichtbaar, al lijken de verschillen soms (zeer) gering. De frequentieverdelingen bevestigen dit beeld deels, vooral de verschillen tussen het GE en TM-scenario zijn gering. Dit is ook wel volgens verwachting gezien het toch relatief geringe verschil tussen beide depositiescenario's. De andere twee scenario's vertonen wel verschillen met het GE-scenario. Deze verschillen zitten voor de meeste typen rond de 10 procent van de beschikbaarheid, maar grotere verschillen komen regelmatig voor bij alle typen, behalve bij kwelders. Er zijn ook verschillen aanwezig tussen de SE en RC scenario's, ondanks het nagenoeg afwezige verschil in stikstofdepositie. De verschillen lijken groter dan alleen door het verschil in depositie verklaard kan worden. Het SE-scenario geeft over het algemeen een kleiner verschil met het GE-scenario dan het RC-scenario. Dit zou erop duiden dat het RC-scenario het gunstigste scenario zou kunnen zijn voor de vegetatie en het GE-scenario als het slechtste scenario.

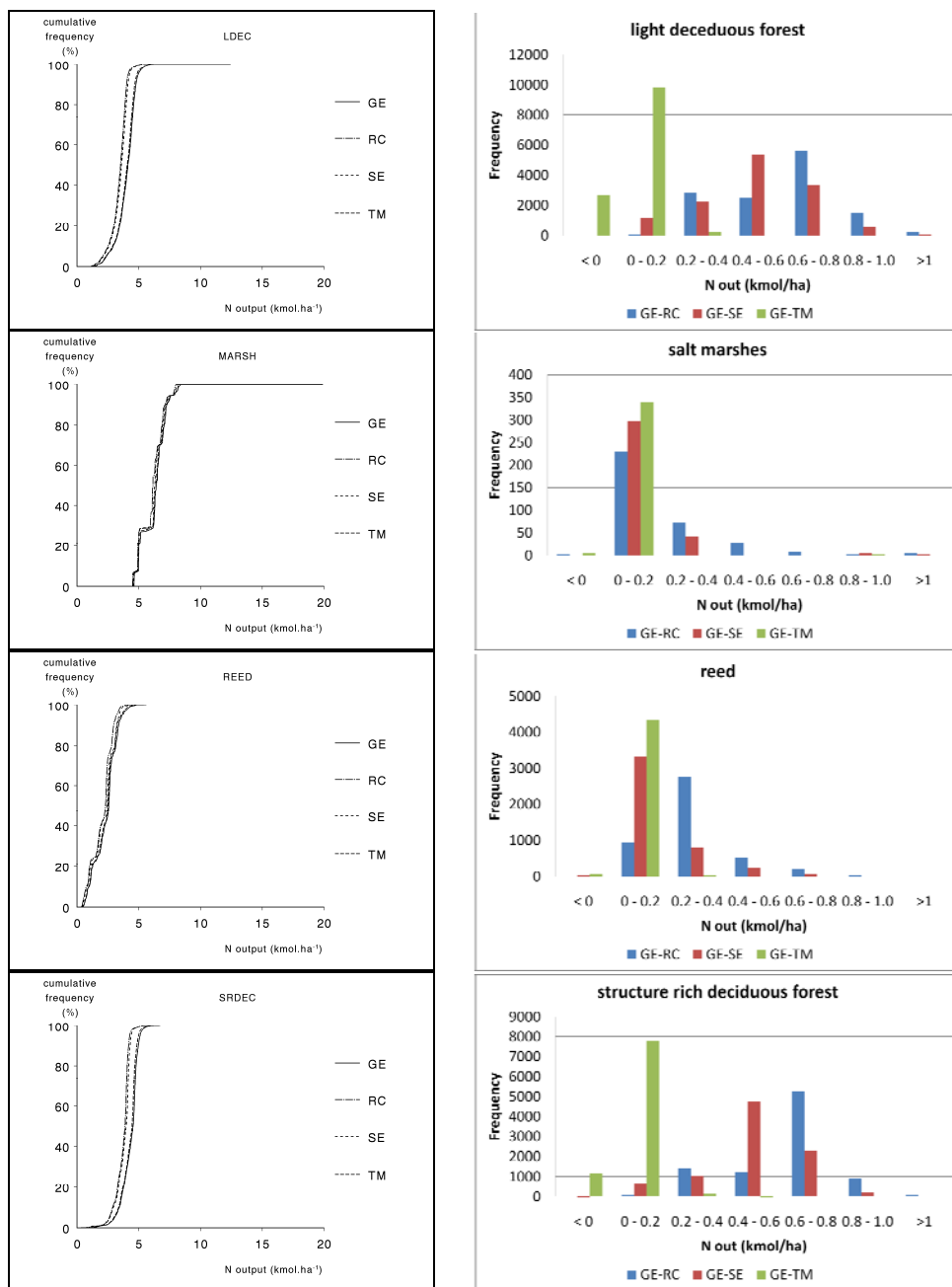
De gemiddelde stikstofbeschikbaarheid voor alle doorgerekende gebieden laat ook wel verschillen zien, al zijn die kleiner dan uit de figuren naar voren komt (Tabel 3 en Figuur 7). Voor moeras en rietland zijn de verschillen tussen de scenario's gering, voor de overige typen ligt het verschil tussen het scenario met de hoogste depositie (GE) en de laagste depositie (RC) rond de 10%. Het RC scenario geeft in alle gevallen de laagste gemiddelde stikstofbeschikbaarheid.

Tabel 4 Gemiddelde N-uitspoeling (kmol/ba) in 2030 per SUMO vegetatietype voor de vier verschillende scenario's

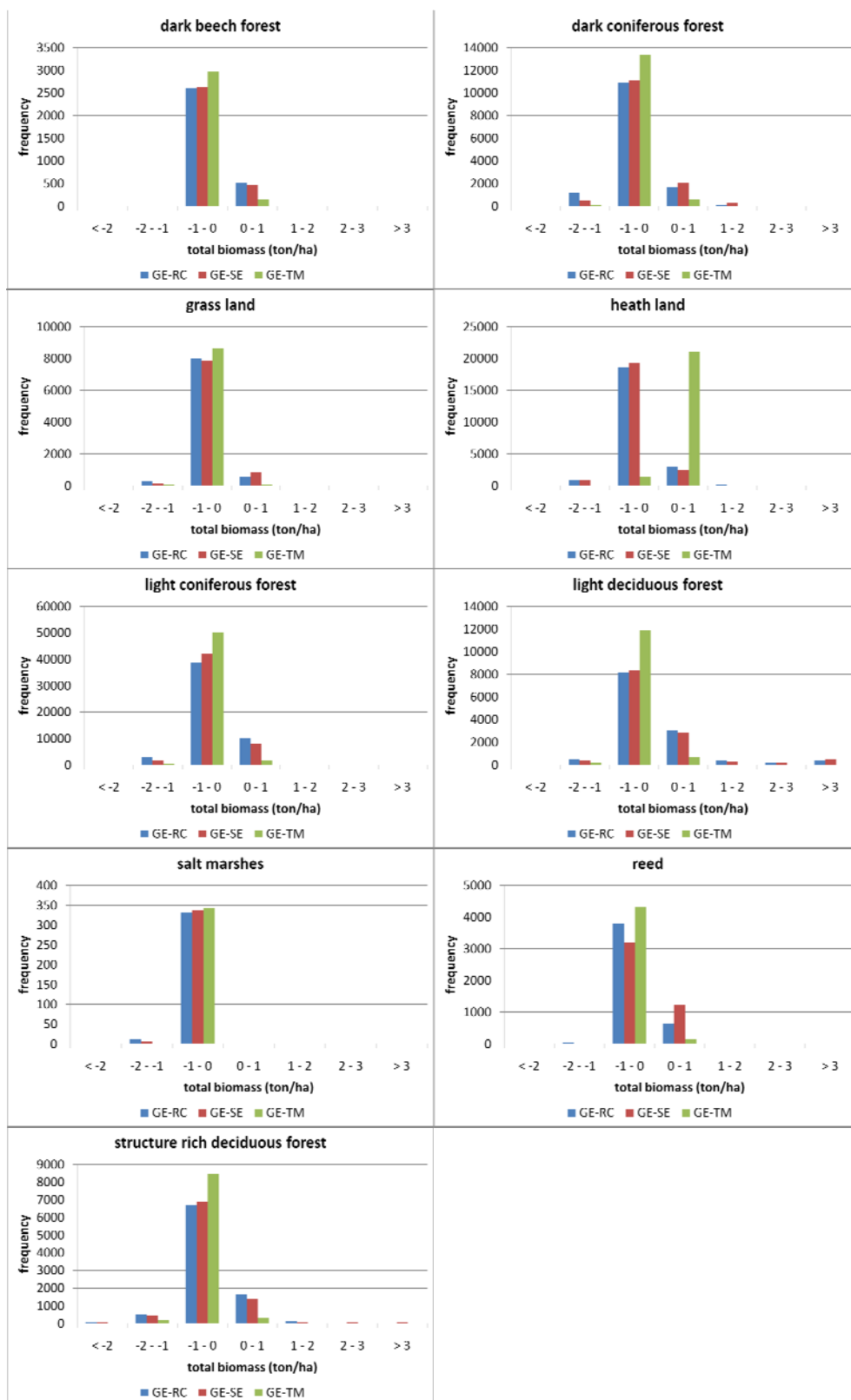
	GE	RC	SE	TM
GRS	2.11	1.54	1.66	2.02
HEA	3.50	3.05	3.17	3.43
DCON	4.84	4.11	4.23	4.72
LDEC	4.03	3.44	3.52	3.96
LCON	4.30	3.56	3.68	4.20
DBEE	4.16	3.50	3.62	4.06
SRDEC	4.33	3.71	3.81	4.25
REED	2.36	2.05	2.18	2.29
MARSH	6.33	6.13	6.20	6.29

In Figuur 8 en Tabel 4 worden frequentieverdelingen voor de verschillen tussen het GE en de andere scenario's en de gemiddelde voor de stikstofuitspoeling gegeven. Over het algemeen bevestigen die het beeld voor de stikstofbeschikbaarheid, daar waar de stikstofbeschikbaarheid relatief hoog is, is de uitspoeling ook relatief hoog. Het GE-scenario is dan het ongunstigst (hoogste uitspoeling), het RC-scenario is het gunstigst (laagste uitspoeling). De gemiddelde uitspoeling is het laagst voor graslanden en rietland en het hoogst voor de donkere naaldbossen. Opvallend is de hoge uitspoeling voor de kwelders, die nog hoger is dan voor de bossen.





Figuur 8 Cumulatieve frequentie verdeling van de N output (links) (ton/ha) in het jaar 2030 en de frequentie verdeling in klassen (rechts) van het verschil in N output (ton/ha) in het jaar 2030 van het GE scenario ten opzichte van de overige scenario's voor de 9 SUMO vegetatie types



Figuur 9 Frequentie verdeling van het verschil in biomassa (ton/ha) in het jaar 2030 van het GE scenario ten opzichte van de overige scenario's voor de 9 SUMO vegetatie types

Tabel 5 Gemiddelde totale biomassa (ton/ha) in 2030 per SUMO vegetatietype voor de vier verschillende scenario's

	GE	RC	SE	TM
GRS	11.26	11.23	11.19	11.26
HEA	21.31	21.21	21.24	21.30
DCON	123.15	123.07	122.99	123.12
LDEC	87.47	86.98	86.95	87.44
LCON	61.00	60.85	60.87	60.98
DBEE	100.61	100.44	100.45	100.56
SRDEC	76.76	76.61	76.60	76.75
REED	12.62	12.48	12.34	12.59
MARSH	16.61	16.64	16.63	16.61

De verschillen in de stikstofbeschikbaarheid zijn absoluut niet terug te vinden in de biomassa van de vegetatie (Figuur 9 en Tabel 5). Er zijn wel verschillen aanwezig en de meeste grids geven een iets lagere biomassa voor de scenario's vergeleken met het GE-scenario. Het verschil is niet in verhouding tot de verschillen in stikstofbeschikbaarheid. Dit blijkt ook uit de gemiddelde waarden per vegetatietype. Opvallend is ook dat voor een groot aantal vegetatietypen het SE-scenario een iets lagere biomassa geeft. Dit terwijl juist het RC-scenario een lagere stikstofbeschikbaarheid geeft, waardoor verwacht mag worden dat dit scenario ook de laagste biomassa zou geven.

Om dit onverwachte resultaat te duiden is het verschil tussen de stikstofbeschikbaarheid de uitspoeling berekend. Dit geeft de door de vegetatie opgenomen stikstof. De resultaten hiervan staan vermeld in Tabel 6.

Tabel 6 Verschil tussen de stikstofbeschikbaarheid en de stikstof uitspoeling per vegetatietype per scenario (in kmol/ha/j).

	GE	RC	SE	TM
GRS	5.46	5.39	5.42	5.44
HEA	2.99	2.98	3.01	2.99
DCON	2.94	2.89	2.92	2.92
LDEC	3.2	3.13	3.16	3.19
LCON	2.61	2.57	2.61	2.6
DBEE	4.09	4	4.03	4.07
SRDEC	3.04	2.98	3.01	3.03
REED	5.43	5.38	5.29	5.42
MARSH	5.24	5.24	5.27	5.24

Het blijkt dat de hoeveelheid stikstof die door de plant wordt opgenomen voor alle scenario's per vegetatietype nagenoeg hetzelfde is. Dit verklaart de geringe verschillen tussen de verschillende scenario's met betrekking tot de biomassa die in 2030 aanwezig is. De verschillen zijn zo gering dat het al verbazingwekkend is dat er verschillen in biomassa gesimuleerd worden.

4 Discussie

De resultaten laten over het algemeen kleine verschillen zien. De verschillen tussen de scenario's zijn het grootst voor de stikstofbeschikbaarheid en vrijwel afwezig voor de bodem pH en de biomassa. De kleine verschillen voor de biomassa worden verklaard doordat de vegetaties voor alle scenario's allemaal maximaal stikstof opnemen, de rest spoelt uit. Daarom worden er wel verschillen gevonden voor de uitspoeling, maar niet voor de biomassa. De berekening van de stikstofopname door de vegetatie laat voor alle scenario's per vegetatietype dezelfde opgenomen hoeveelheid zien. Voor de totale stikstofbeschikbaarheid en de uitspoeling geldt dat de resultaten zijn zoals mag worden verwacht: het scenario met de hoogste depositie geeft ook de hoogste stikstofbeschikbaarheid en de hoogste uitspoeling, al zijn de verschillen niet heel groot. Als de verschillen tussen de scenario's klein zijn, zijn ook de verschillen tussen de stikstofbeschikbaarheid klein. De verschillen tussen het SE en RC scenario zijn voor stikstofdepositie zo klein dat het weinig zinvol lijkt om beide scenario's wat betreft stikstofdepositie te handhaven.

Of het effect van de biomassa op de verschillen in stikstofdepositie een modelartefact of realistisch is, dient nader te worden uitgezocht voordat er ook met de klimaatscenario's wordt gewerkt.

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. Dit in tegenstelling tot extreme onrealistische scenario's die resultaten geven die zeer waarschijnlijk nooit voor zullen komen. Nadeel van de realistische scenario's is dat de verschillen tussen de scenario's soms zeer gering zijn, waardoor ook de uitkomsten zeer gering verschillen. Dit is ook gevonden in dit onderzoek. Het is dan moeilijker te duiden in welke richting de effecten, van in dit geval de ontwikkeling van stikstofdepositie, zullen gaan. Het voordeel van de extreme scenario's is dat de richting van de ontwikkelingen vaak wel duidelijk zijn, al zullen ze waarschijnlijk nooit zo optreden. Toch kunnen extreme scenario's soms meer informatie geven dan realistische scenario's. 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).

In dit onderzoek zijn vier scenario's gebruikt. Deze vallen eigenlijk uiteen in twee groepen (GE en TM scenario's en RC en SE scenario's). De verschillen in de scenario's voor de hier gebruikte invoer (stikstofdepositie) zijn zo gering of in het geval van RC en SE afwezig, dat het niet zinvol is om alle vier de scenario's te draaien. Ook de uitkomsten geven geen aanleiding om alle vier scenario's te draaien. Daarom wordt aanbevolen om alleen de twee uiterste scenario's te gebruiken voor de berekening van de effecten van klimaatverandering. Dit heeft ook een praktische reden, omdat het aantal te draaien scenario's voor klimaatverandering hierdoor beperkt blijft. Het gaat dan om het GE-scenario en het RC-scenario.

De modellen kunnen in principe meer vegetatietypen doorrekenen dan hier nu is gebeurd, veel cellen gaven als uitkomst dat er data ontbraken (waarschijnlijk in een van de kaarten) om een berekening uit te kunnen voeren. Dit dient voor de klimaatrun te worden uitgezocht.

In dit onderzoek is geen gebruik gemaakt van het model NTM, dat iets zegt over de biodiversiteit. Als alternatief zou gebruik gemaakt kunnen worden van de abiotische randvoorwaarden voor natuurtypen (bijvoorbeeld de beheertypen of plantenassociaties; zie Wamelink et al. 2007 en www.abiotic.wur.nl). Om uiteindelijk ook iets over de biotiek van de EHS en de effecten van klimaatverandering daarop te kunnen zeggen zal een van beide of beide methoden moeten worden toegepast. Een keuze dient hierin nog te worden gemaakt, want aan beide methoden kleven nadelen. Voor NTM moeten Ellenberg getallen worden berekend, waardoor een grote onzekerheid wordt geïntroduceerd (Ellenberg et al., 1991; Wamelink et al., 2002; Wamelink et al., 2003). De abiotische randvoorwaarden hebben als nadeel dat die niet beschikbaar zijn voor stikstofbeschikbaarheid en dat de onzekerheid in afgeleiden daarvan, bijvoorbeeld NO_3 of NH_4 concentratie, nog zeer onzeker zijn. SMART2 is wel in staat om NO_3 concentratie in het bodemvocht te modelleren.

Literatuur

De Vries, W., M. Posch and 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.

Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner & D. Paulißen, 1991. *Zeigewerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobotanica 18, Göttingen, Erich Goltze.

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

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 & W. de Vries, 2009. *Modelling soil carbon sequestration of intensively monitored forest plots in Europe by three different approaches*. *Forest Ecol. Manage.*, In press.

Pussinen, A., G.J. Nabuurs, R. Wieggers, G.J. Reinds, G.W.W. Wamelink, J. Kros, J.P. Mol-Dijkstra & 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.* In press.

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

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

Wamelink, G.W.W., V. Joosten, H.F. van Dobben & F. Berendse, 2002. *Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements*. *J. Veg. Sci.* 13 (2), 269-278.

Wamelink, G.W.W., C.F.J. ter Braak & H.F. van Dobben, 2003. *Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental economic scenarios*. *Landscape Ecol.* 18 (5), 513-527.

Wamelink, G.W.W., P.W. Goedhart, J.Y. Frissel, R.M.A. Wegman, P.A. Slim & H.F. van Dobben, 2007. *Response curves for plant species and phytosociological classes*. Wageningen, Alterra. Alterra report 1489.

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

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

Wamelink, G.W.W., H.J.J. Wieggers, G.J. Reinds, J. Kros, J.P. Mol-Dijkstra, M. van Oijen & 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. In Press.



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