

# **Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor NatuurontwikkelingsScenario's (GREINS)**

**Koppeling van ecologische modellen aan de hand van een voorbeeldstudie  
in het stroomgebied van de Beerze-Reusel**

**H.F. van Dobben  
J.A. Klijn  
F.J.E. van der Bolt  
J. Kros  
A.H. Prins  
E.P.A.G. Schouwenberg  
P. Verburg**

**Alterra-rapport 407**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001**

## REFERAAT

Dobben, H.F. van, J.A. Klijn, F.J.E. van der Bolt, J. Kros, A.H. Prins, E.P.A.G. Schouwenberg, P. Verburg, 2001. *Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor NatuurontwikkelingsScenario's (GREINS); Koppeling van ecologische modellen aan de hand van een voorbeeldstudie in het stroomgebied van de Beerze-Reusel*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 407. 46 blz. 8 fig.; 9. tab.; 27 ref.

GREINS is een set van gekoppelde procesmodellen die geografisch expliciete informatie bewerken, teneinde uitspraken te doen over de kansrijkdom van natuurontwikkeling op regionale schaal. Vier modellen worden gebruikt om de ontwikkelingen in resp. hydrologie, bodem, vegetatie en natuurbehoudswaarde te beschrijven. Deze modellen zijn gekoppeld middels een centrale database. De modelinvoer bestaat uit de regionale abiotiek (bodemkaart, geologische kaart, hoogtekaart, depositie, vegetatiestructuur, beheer); de uitvoer geeft de 'natuurbehoudswaarde', een gegeneraliseerde maat voor de botanische biodiversiteit. Dit rapport beschrijft op globale wijze een aantal verbeteringen die zijn aangebracht in het GREINS model. Deze verbeteringen betreffen vooral: het ruimtelijk oplossend vermogen, de technische efficiëntie van de koppeling tussen de modellen, en de detaillering van het effect van abiotische condities. Als voorbeelden van mogelijke uitvoer worden kaarten gegeven van een aantal ecologische toestandsvariabelen in het Beerze-Reusel gebied, zoals berekend voor de huidige situatie.

Trefwoorden: ecologische modellen; biodiversiteit; natuurontwikkeling; ruimtelijk oplossend vermogen; hydrologie; verzuring; vermessing; begrazing

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 16 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 407. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [postkamer@alterra.wag-ur.nl](mailto:postkamer@alterra.wag-ur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd 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

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Probleemstelling	11
1.2 Koppeling van ruimtelijke data en proceskennis	11
1.3 GREINS2 als opvolger van GREINS1 (Drentse Aa studie)	13
1.4 Onderzoeksdoelen van GREINS	13
2 Methoden	15
2.1 Modelstructuur van GREINS	15
2.2 Oplossend vermogen en ruimtelijke interactie	17
2.3 Celgrootte	17
2.4 Tijstappen	19
2.5 Samenhang tussen de modellen	19
2.6 Korte beschrijving van de modellen	20
2.6.1 SIMGRO	20
2.6.2 SMART2	21
2.6.3 VEG2	24
2.6.4 NTM3	27
2.7 Invoer van ruimtelijke gegevens	28
2.8 Scenario's in GREINS2	29
2.8.1 Hydrologisch scenario	29
2.8.2 Depositie scenario	29
2.8.3 Beheersscenario	29
3 Resultaten	31
3.1 Hydrologie	31
3.2 Bodem	31
3.3 Natuurwaarde	36
4 Discussie	37
4.1 Oplossend vermogen	37
4.2 Betrouwbaarheid	38
4.2.1 Validatie	39
4.2.2 Onzekerheidsanalyse	39
4.3 Conclusies	40
4.4 Toepassingsmogelijkheden elders	40
4.5 Aanbevelingen	41
Literatuur	43



## Woord vooraf

Dit rapport beschrijft een stap in de ontwikkeling van methoden voor het schatten van de kansrijkdom van natuurontwikkeling op regionale schaal. Het ontwikkelen van zulke methoden werd actueel met het verschijnen van het Natuurbeleidsplan in 1990. De offensieve strategie in het natuurbeheer vroeg om actief ingrijpen in abiotische omstandigheden. Bij de meestal dure maatregelen die daarmee gemoeid zijn is een schatting van de effecten vooraf op zijn plaats. In tegenstelling tot veel andere initiatieven is in dit project geen gebruik gemaakt van expertkennis maar van gekoppelde dynamische modellen en geografisch expliciete informatie. In de jaren 1992 - 1997 werd geëxperimenteerd met het indirect koppelen van hydrologische, bodemkundige en ecologische modellen door de uitvoer van het ene model als invoer voor het volgende te gebruiken. Dit werd gedaan aan de hand van een voorbeeldgebied in de Drentse Aa. Over deze studie is reeds uitvoerig gerapporteerd. In 1998 werd besloten hieraan een vervolg te geven, gericht op technische verbetering van de modelkoppeling door middel van een centrale database. Er werd gekozen voor een nieuw voorbeeldgebied, de Beerze-Reusel. Hoewel op het gebied van de scenario-analyse de beoogde resultaten niet geheel werden gerealiseerd, is ook dit project weer een flinke stap vooruit gezet, in de richting van praktisch toepasbare modelketens. Inmiddels is op het resultaat van dit project voortgebouwd in een aantal andere projecten, onder andere voor de ontwikkeling van het MRE (Modellen Raamwerk Ecologie) en projecten over modelonzekerheid. In zekere zin is het GREINS project hiermee reeds achterhaald. Omdat het nuttig leek de techniek van dit stadium van modelkoppeling goed te documenteren is toch besloten het voorliggende rapport uit te brengen.



## Samenvatting

GREINS is een set van gekoppelde procesmodellen die geografisch expliciete informatie bewerken. Doel is het voorspellen van de effecten van ingrepen in de abiotische omstandigheden op de ontwikkeling van de botanische biodiversiteit. Dergelijke ingrepen zijn bij voorbeeld het verhogen van de waterstand, het verminderen van de atmosferische depositie of veranderingen in het beheer. Om de effecten van zulke ingrepen te voorspellen zijn vier modellen gebruikt: SIMGRO (hydrologie), SMART2 (bodemchemie), VEG2 (vegetatie ontwikkeling) en NTM3 (natuurbehoudswaarde). De modelinvoer bestaat uit de regionale abiotiek (bodemkaart, geologische kaart, hoogtekaart, depositie, vegetatiestructuur, beheer), de uitvoer geeft de 'natuurbehoudswaarde', een gegeneraliseerde maat voor de botanische biodiversiteit. De afzonderlijke modellen worden hier kort beschreven; zij worden uitvoerig beschreven in afzonderlijke deelrapporten.

In GREINS2 werden de volgende verbeteringen ten opzichte van GREINS1 gerealiseerd: (1) verbeterde ruimtelijke schematisatie door de overschakeling van polygonen naar een 25 m grid, (2) stroomlijning van de technische koppeling van de modellen door het toevoegen van een centrale database die in invoer, uitvoer en uitwisseling van de gegevens verzorgt, (3) verbetering van het ruimtelijk oplossend vermogen van SIMGRO door een neerschakelingsprocedure met behulp van de 1:10.000 hoogtekaart, (4) verdere detaillering van het effect van voedselrijkdom door in VEG2 de groei afhankelijk te stellen van de N-beschikbaarheid, en (5) verdere detaillering van het effect van standplaatscondities door in NTM3 de indeling in klassen te vervangen door een continue schaal.

Door de verbeterde ruimtelijke schematisatie wordt het ruimtelijk oplossend vermogen van het model niet langer bepaald door het model zelf, maar door de ruimtelijke detaillering van de in- en uitvoer. De bodemkaart is hierbij veelal de belangrijkste beperkende factor. In de praktijk wordt daardoor het oplossend vermogen beperkt tot ca. 250 meter. Dit betekent dat het kan voorkomen dat kleine gebiedjes met afwijkende abiotische omstandigheden en hoge natuurwaarden worden 'weggegeneraliseerd'. Echter, in deze versie bestaat dit probleem niet wanneer lokaal meer gedetailleerde informatie beschikbaar is.

In GREINS2 werd gekozen voor een nieuw studiegebied, het Beerze-Reusel gebied in midden Brabant. Voor dit gebied zijn doorrekeningen gedaan voor de huidige situatie. Dit rapport geeft voor deze situatie kaarten van een aantal ecologische toestandsvariabelen (grondwaterstand pH van de bodem, N-beschikbaarheid) en natuurbehoudswaarde, zoals die zijn berekend uit de beschikbare gegevens. De beschikbare tijd liet het uitvoeren van scenarioberekeningen, validatie en onzekerheidsanalyse niet toe, maar deze acties zijn wel in vervolgprijzen uitgevoerd.





# 1 Inleiding

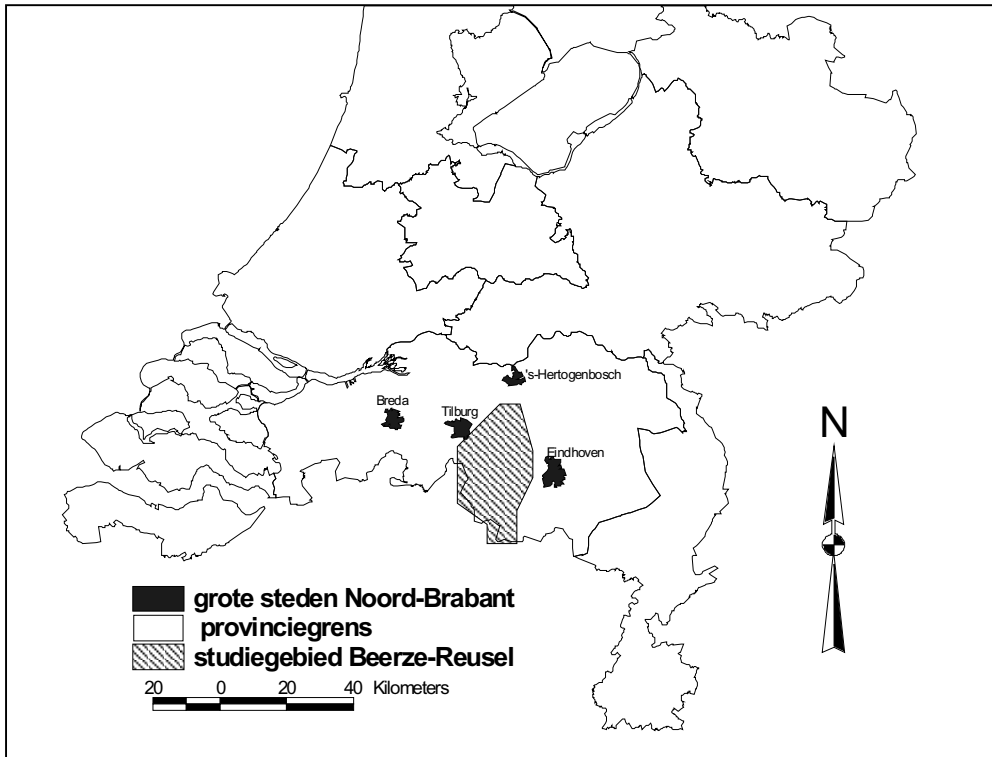
## 1.1 Probleemstelling

Regionale plannen voor natuurherstel en -ontwikkeling gaan uit van veranderingen in ruimtegebruik en -beheer. Zulke plannen omvatten bijvoorbeeld een uitbreiding van de natuur ten koste van het areaal aan landbouw, een waterbeheer dat is aangepast aan natuurdoelen, of een gewijzigd beheer van bestaande natuurterreinen. Ook is reductie van de atmosferische depositie aan de orde, hetzij door gericht terugdringen van emissies uit de regio zelf, hetzij door generiek beleid dat de aanvoer van stikstof of zuurvormende stoffen verlaagt. Veranderingen in ruimtegebruik, in milieucodities of in beheer werken door in de vegetatie en de fauna. De tijdsduur die daarmee gemoeid is varieert van jaren tot decennia of langer.

Voor de beleidsmakers die deze plannen ontwikkelen is het van groot belang een schatting te maken van de effecten van voorgenoemde maatregelen in zowel ruimte als tijd. Hoewel men het idee heeft dat maatregelen als verhoging van de grondwaterstand, verlaging van de depositie, en het opheffen van ruimtelijke barrières op termijn gunstige effecten op de natuur hebben, is er grote behoefte aan kwantitatieve schattingen. Omdat er budgettaire beperkingen zijn moeten er afwegingen gemaakt worden. Het gaat dus om een optimalisatievraagstuk: hoe krijg ik het meeste rendement van een investering in termen van biodiversiteit? Om aan deze vraag tegemoet te komen werd GREINS ontwikkeld. In deze modelketen is getracht alle aspecten van grondwater, bodemchemie en beheer in relatie tot biodiversiteit kwantitatief te beschrijven, waarbij zowel de ruimtelijke als de temporele aspecten zijn meegenomen. Hierbij is gebruik gemaakt van een reeks van modellen, deels berustend op expliciete procesbeschrijvingen, deels op tabellen met expertkennis.

## 1.2 Koppeling van ruimtelijke data en proceskennis

Regionale natuurherstel- en ontwikkelingsplannen zijn gebaat bij een ruimtelijk gedifferentieerde onderbouwing (wat is waar en wat kan waar?), en bij een schatting van de gevolgen van ingrepen op de langere termijn (wat gebeurt er als...?). Voor de eerste categorie (de 'waar' vragen) is een adequate opslag en verwerking van ruimtelijke data vereist, voor de dynamische aspecten in de tweede categorie (de 'wat als' vragen) zijn voorspellingstechnieken passend bij ruimtelijke en beheersscenario's vereist. Deze voorspellingstechnieken berusten meestal op modellen waarin de beschikbare procesinformatie is geïmplementeerd.



*Figuur 1: ligging van het studiegebied*

De ruimtelijke aspecten en de procesaspecten moeten in samenhang worden beschouwd. Daarom is de koppeling van ruimtelijke informatie aan modeluitkomsten essentieel: wat kunnen we waar aan natuurwaarden verwachten als het hydrologisch systeem, de stoffenbelasting via grondwater of atmosfeer, of het beheer in bepaalde mate verandert? De ruimtelijke schaal (regionaal), de tijdschaal (jaren, decennia), de biotische en abiotische variabelen en hun interactie (ruimte, waterkwantiteit en -kwaliteit, bodem, vegetatiestructuur, beheer, atmosferische depositie), en de 'stuurvariabelen' van de planner of beheerder (landgebruik, inrichting, beheer) bepalen tezamen welke informatie vereist is om beslissingen te onderbouwen. Dat het hier om zeer complexe zaken gaat is duidelijk: de gebiedsopbouw van een regio is gedifferentieerd en interacties tussen componenten verlopen via allerlei gecompliceerde processen. De opgave is om alle beschikbare informatie zodanig te ordenen en in onderling verband te beschouwen dat de gevraagde uitkomst op een navolgbare, onderbouwde wijze valt te leveren.

Voor GREINS is getracht een algemene data-architectuur op te zetten die dienst kan doen in verschillende gebieden. Dit maakt opslag en verwerking van ruimtelijke informatie in een GIS-omgeving noodzakelijk. Een tweede belangrijke voorwaarde is het zodanig koppelen van de modellen die de afzonderlijke processen beschrijven dat zij voor de gebruiker als een samenhangend geheel functioneren. De aansturing van de modellen en de uitwisseling van gegevens zijn hierbij cruciaal.

### 1.3 GREINS2 als opvolger van GREINS1 (Drentse Aa studie)

In het GREINS-project, een samenwerking van IBN en SC-DLO (inmiddels samengebracht in Alterra) is gepoogd aan bovenstaande uitdagingen gevolg te geven. GREINS staat voor Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie Instrumentarium voor Natuurontwikkelingsscenario's. Een eerste studie (GREINS1) is uitgevoerd in het gebied van de Drentse Aa. Over de resultaten daarvan is uitgebreid gerapporteerd (zie Heijmans, 1996, Kemmers et al., 1997, Prins et al., 1997, Schouwenberg et al., 1997, Liefveld et al., 1998, Kros et al., 2001). De ervaringen in die studie leidden tot aanpassingen op het gebied van: (1) data-architectuur en de onderlinge samenhang van de modellen, en (2) de mate van geografisch detail ('ruimtelijk oplossend vermogen'). Voor GREINS2 werd bovendien een nieuw studiegebied gekozen: de stroomgebieden van de Beerze en Reusel, met een totaal oppervlak van ca. 45.000 ha (Figuur 1).

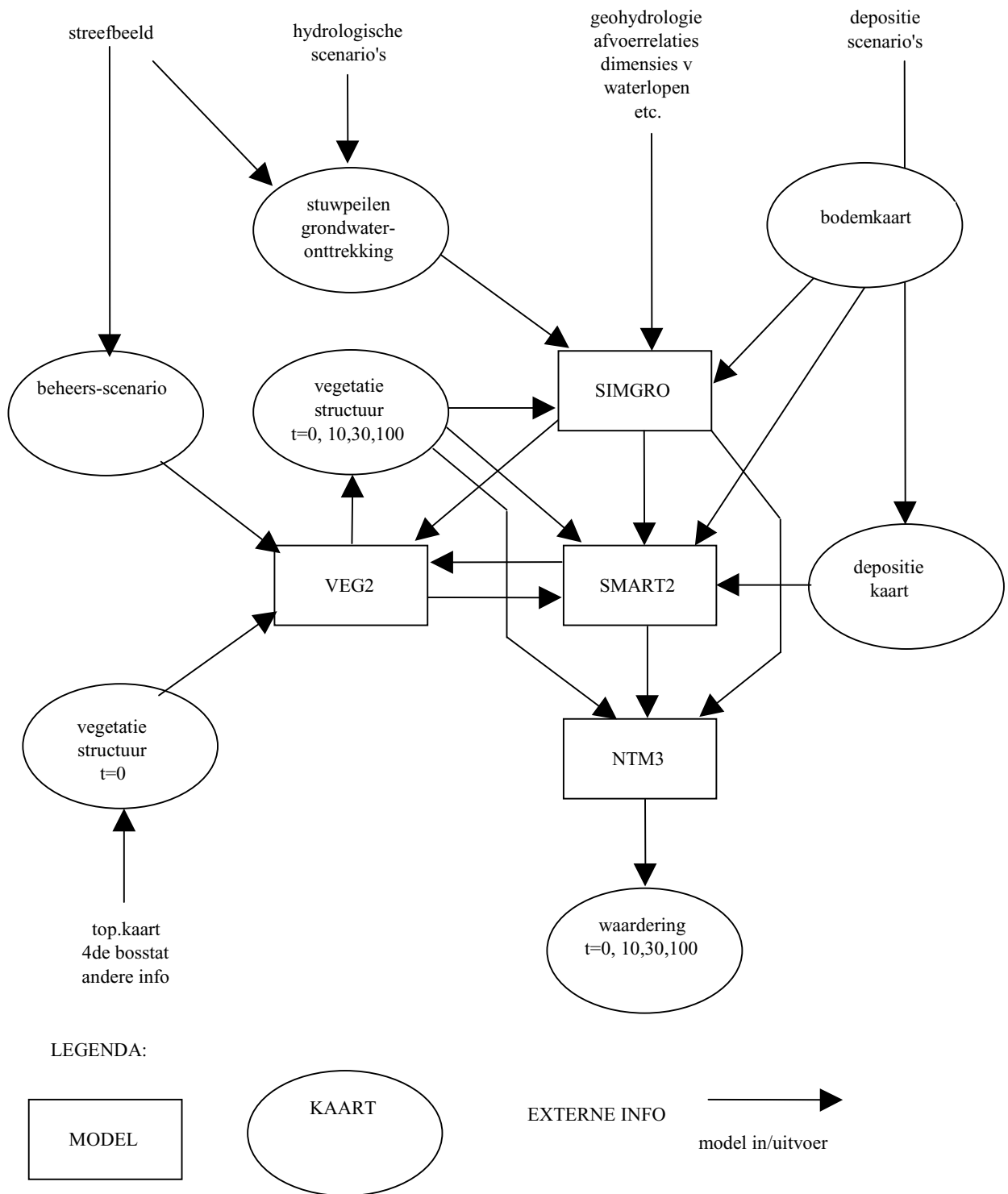
### 1.4 Onderzoeksdoelen van GREINS

Het algemene doel van GREINS kan worden omschreven als: **het ontwikkelen van een instrument, zoveel mogelijk gebaseerd op geografisch expliciete gegevens en dynamische modellen, ter ondersteuning van de regionale ruimtelijke planning en beheersplanning, om scenario's voor natuurherstel en -ontwikkeling te evalueren.** Optimalisatie van inrichting en beheer vindt in GREINS dus niet plaats; slechts de gevolgen op biodiversiteit van gegeven scenario's worden doorgerekend.

Uit het voorgaande zijn de volgende doelen en voorwaarden voor het onderzoek af te leiden:

1. ga uit van beschikbare ruimtelijke gegevens;
2. ga uit van proceskennis in bestaande modellen;
3. ontwikkel bijpassende data-architectuur en modelkoppelingen;
4. toets de werking aan de hand van een aantal scenario's met voor de hand liggende keuzes met betrekking tot bestemming of beheer;
5. geef de toepassingsmogelijkheden elders aan.

Van deze doelen is in het huidige project doel 4 (toetsing aan de hand van scenario's) slechts ten dele gerealiseerd, omdat de toetsing alleen heeft plaatsgevonden voor de huidige situatie.



Figuur 2: datastromen binnen GREINS2

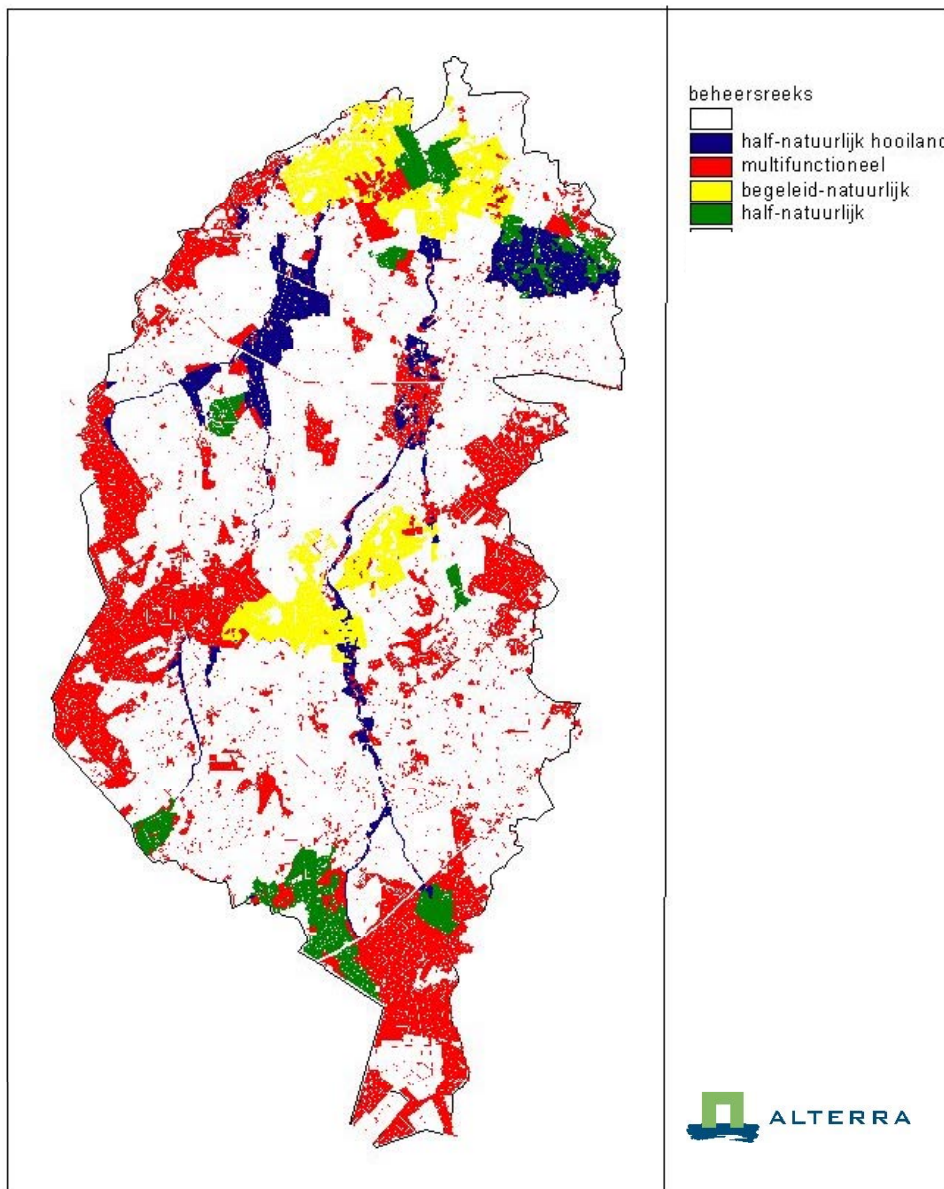
## 2 Methoden

### 2.1 Modelstructuur van GREINS

Het doel van GREINS kan kort worden samengevat als: het doen van ruimtelijk expliciete voorspellingen van 'natuurwaarde' op grond van scenario's. GREINS maakt hiervoor gebruik van vier gekoppelde modellen: SIMGRO (hydrologie), SMART2 (bodemprocessen), VEG2 (vegetatieontwikkeling) en NTM3 (natuurwaarde). Figuur 2 geeft schematisch de samenhang tussen de modellen en de gegevensstromen binnen GREINS. Zowel de invoer- als de uitvoergegevens van GREINS bestaan uit ruimtelijke informatie. Een deel van de invoer bestaat uit scenario's met beschrijvingen van (1) vegetatiebeheer, (2) waterbeheer, en (3) atmosferische depositie. Het vegetatiebeheer wordt afgeleid uit regionale streefbeeld. Veranderingen in het waterbeheer kunnen verkennend op deze streefbeeld aansluiten of kunnen concrete voorgenomen veranderingen beschrijven. De atmosferische depositie wordt afgeleid uit landelijke of Europese economische scenario's. Figuur 3 geeft een voorbeeld van wat een scenario zou kunnen inhouden: het beheer voor een scenario waarin gestreefd is naar het maximaal haalbare met betrekking tot biodiversiteit (naar Verburg, 1999). Naast invoer in de vorm van scenario's wordt GREINS gevoed met gebiedsspecifieke, ruimtelijke gegevens, bijvoorbeeld de bodemkaart. Bovendien ligt een grote hoeveelheid niet-ruimtelijke informatie aan GREINS ten grondslag in de vorm van parameters en procesbeschrijvingen in de afzonderlijke modellen.

Het eindresultaat van GREINS is een kaart met de botanische natuurwaarde voor het gedefinieerde scenario. Wanneer van natuurwaarde wordt gesproken moet hiervoor eigenlijk worden gelezen: potentiële natuurwaarde. GREINS doet namelijk alleen uitspraken over de vraag of de abiotische standplaatsfactoren geschikt zijn om een bepaalde natuurwaarde te realiseren, en niet over de vraag of deze ook feitelijk wordt gerealiseerd. Dat laatste hangt, behalve van de abiotische condities, ook af van biotische factoren als zaadverspreiding, waarmee in GREINS geen rekening wordt gehouden.

Modellen die uitspraken doen over een in de toekomst te bereiken situatie zijn moeilijk te valideren. Een belangrijke test is het 'voorspellen' van de huidige situatie van de afhankelijke variabelen (vegetatie, natuurwaarde) op grond van gegeven conditionele factoren (bodem, hydrologie, depositie, beheer). Dit is immers de enige situatie waarvoor voldoende gegevens beschikbaar zijn. Wanneer de huidige situatie goed wordt 'voorspeld' geeft dit vertrouwen in de voorspellingen op grond van scenario's. Voor GREINS2 waren oorspronkelijk berekeningen gepland voor  $t=0$  (de huidige situatie), en de ontwikkeling bij verschillende scenario's voor  $t=10$ , 30 en 100 jaar. De voorliggende rapportage beperkt zich tot  $t=0$ , de huidige situatie.



*Figuur 3: beheer: het 'natuur'scenario (naar Verburg, 1999)*

## 2.2 Oplossend vermogen en ruimtelijke interactie

Het is essentieel de ruimtelijke schaal (ruimtelijke resolutie ofwel de kleinste ruimtelijke eenheid) waarop gerekend wordt af te stemmen op (1) de ruimtelijke resolutie (kaartschaal en -detaillering) van de beschikbare gegevens en (2) de gewenste resolutie in ruimte en tijd van de uitvoer. Daarbij dient rekening gehouden te worden met fysieke beperkingen in dataopslag en -verwerking bij grote gebieden, grote ruimtelijke resolutie, veel parameters, veel dynamische relaties, of korte tijdstappen. Een ruimtelijk model deelt het beschouwde gebied doorgaans op in cellen die als intern homogeen worden beschouwd. Veranderingen in deze cellen worden berekend op grond van autonome ontwikkelingen bij onveranderd beheer (bijvoorbeeld bodemontwikkeling, vegetatieontwikkeling) en invloeden van buitenaf (depositie, waterhuishoudkundige ingrepen, beheer). Voor elk model kunnen deze invloeden van buitenaf worden opgelegd door scenario's, waarin per cel de invloeden worden gespecificeerd, of door veranderingen in naburige cellen (bijvoorbeeld in de waterhuishouding) die de cel in studie beïnvloeden. In het laatste geval spreekt men van ruimtelijke interactie. Meenemen van de ruimtelijke interactie via de waterstroming is uitgangspunt geweest in GREINS. Dit stelt eisen aan het te gebruiken hydrologisch model.

Voor GREINS geldt dat ieder model op eigen wijze met schaal en interacties omgaat. Alleen SIMGRO beschrijft ruimtelijke interacties. SMART2 en NTM3 zijn 'puntmodellen' waarin de cellen elkaar niet beïnvloeden. In VEG2 worden de cellen initieel (op  $t=0$ ) als homogeen beschouwd, maar bij begrazing kan een cel in de loop van de tijd heterogeen worden. In dat geval kan een deel van een cel die op  $t=0$  uit grasland bestaat, zich tot bos ontwikkelen, terwijl een ander deel grasland blijft. Er treedt differentiatie op, die echter niet ruimtelijk expliciet is: we kennen wel de procentuele verdeling van gras en bos over de cel, maar niet de ligging daarvan binnen de cel. Ook wordt geen rekening gehouden met ontwikkelingen in aangrenzende cellen.

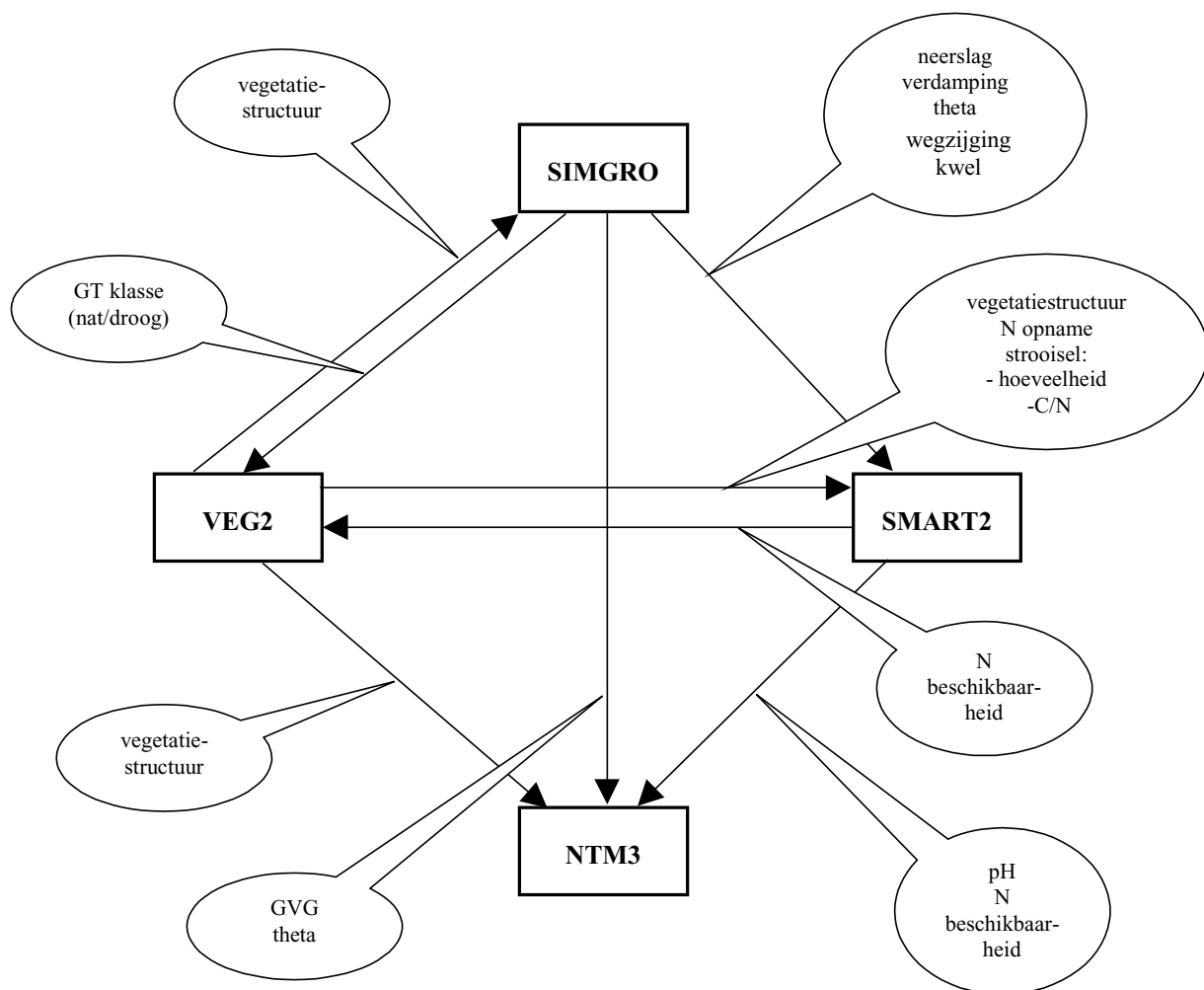
## 2.3 Celgrootte

In GREINS1 (Drentse A gebied) werd gewerkt met polygonen: alle cellen hadden verschillende vorm en grootte. Bezwaar hiervan is dat, om tot homogene cellen te komen, 'overlays' gemaakt moeten worden van verschillende polygonenkaarten (bijvoorbeeld hydrologie, bodem, vegetatie). Deze procedure leidt uiteindelijk tot een onhanteerbare kaart, die bovendien te weinig ruimtelijke resolutie kent voor ecologische toepassingen. Daarom is in GREINS2 gekozen voor een ander concept, namelijk een raster met een grotere ruimtelijke resolutie. Hierbij zijn alle cellen gelijk van vorm en grootte ( $25 \times 25 \text{ m}^2$ ). Aan elke cel kan dan in principe een oneindig aantal kenmerken worden toebedeeld zonder dat de kaart zelf hierdoor ingewikkelder wordt. De celgrootte van  $25 \times 25 \text{ m}^2$  wordt geacht de op dit moment maximaal haalbare mate van detaillering te representeren. Voor regionale toepassingen is deze detaillering voldoende. In wezen laat de celgrootte al meer detail toe dan met het

merendeel van de huidige invoergegevens mogelijk is, zoals uit het onderstaande overzicht blijkt:

- hydrologie:** SIMGRO is een waterbalansmodel, dat de grondwaterstand berekent in punten van een netwerk. In GREINS2 is de onderlinge afstand van deze knooppunten 100 meter in de beekdalen en groter daarbuiten. Een grotere mate van detail is bereikt door 'neerschaling' naar vlakken van  $25 \times 25 \text{ m}^2$  via interpolatie en het gebruik van de hoogtepuntenkaart 1:10.000. Deze kaart bevat 2 tot 3 punten per ha (in natuurgebieden minder). Op basis van deze punten is een Digitaal Terrein Model (DTM) met continue hoogteinformatie gemaakt. Met dit DTM is de gemiddelde hoogte per knoop (SIMGRO) en cel (GREINS) bepaald.
- bodem:** de schaal van de bodemkaart (1:50.000) is voor GREINS een belangrijke beperkende factor. In de landelijke modellering (zoals in de Natuurplanner) wordt gewerkt met hokken van  $250 \times 250 \text{ m}^2$ . Bij deze verrastering gaat echter informatie verloren. Voor GREINS2 is de bodemkaart daarom verrasterd tot  $25 \times 25 \text{ m}^2$ . Men dient echter te bedenken dat deze kaart nog steeds de oorspronkelijke informatiedichtheid van 1:50.000 heeft! Dit betekent dat het kleinst waarneembare detail ongeveer 250 m is (5 mm op de kaart). Dit is dan ook de feitelijke schaal waarop de resultaten van GREINS worden weergegeven.
- vegetatie:** Voor de stroomgebieden van de Beerze en Reusel is geen vegetatiekaart beschikbaar. De vegetatiestructuur is daarom afgeleid uit het LGN3 bestand, dat een rasterbestand is met cellen van  $25 \times 25 \text{ m}^2$ , gebaseerd op satellietwaarnemingen. Voor de bossen is het onderscheid tussen licht en donker naaldbos gemaakt op grond van gegevens van de vierde bosstatistiek. Deze zijn verzameld op het niveau van opstand, en vervolgens verrasterd naar  $500 \times 500 \text{ m}^2$ . In naaldbossen is daarom een gelijk vegetatietype toegekend aan clusters van  $20 \times 20$  cellen (het onderscheid loofbos / naaldbos / lage vegetatie komt uit LGN3 en heeft wel een hoog oplossend vermogen).
- depositie:** de thans gebruikte landelijke depositiemodellen OPS (Van Jaarsveld, 1995) en DEADM (RIVM, 1995) zijn gebaseerd op een raster van  $5 \times 5 \text{ km}^2$  resp.  $1 \times 1 \text{ km}^2$ . Dit is dus zeer grof in vergelijking tot de andere basisgegevens, maar er kan hiermee worden volstaan omdat depositie veel minder scherpe ruimtelijke gradiënten heeft dan de hydrologie, bodem en vegetatie. De ruwheid van de vegetatie bepaalt de mate waarin stoffen worden ingevangen. Daarom is een nadere differentiatie in de depositie aangebracht op grond van de vegetatiestructuur.





Figuur 4: samenhang tussen de modellen in GREINS2

## 2.4 Tijdstappen

Het doel van GREINS is het doen van lange-termijn voorspellingen (10-100 jaar) van effecten op de vegetatie. VEG2 schat deze effecten voor vier punten in de tijd ( $t=0$ , 10, 30 en 100 jaar), op grond van jaargemiddelde waarden van standplaatscondities. SMART2 werkt met tijdstappen van een jaar. SIMGRO gebruikt kleinere tijdstappen omdat de hydrologie niet is te simuleren op grond van jaargemiddelde waarden. Deze kleinere tijdstap komt dus voort uit eisen van SIMGRO zelf, en niet van GREINS.

## 2.5 Samenhang tussen de modellen

SIMGRO levert hydrologische gegevens (GVG [gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand] en vochttekort) toe aan SMART2, VEG2 en NTM3. SMART2

berekent vervolgens de pH en N-beschikbaarheid van de standplaats. VEG2 voorspelt op grond van de gegevens uit SMART2 en uit SIMGRO de ontwikkeling van de vegetatiestructuur in vier tijdstappen ( $t=0, 10, 30, 100$ ). NTM3 voorspelt voor deze tijdstappen de (potentiële) natuurwaarde op grond van vegetatiestructuur (uit VEG2), pH en N-beschikbaarheid (uit SMART2) en GVG (uit SIMGRO). Er zijn terugkoppelingen van VEG2 naar SMART2 (via strooiselhoeveelheid en N-gehalte) en van VEG2 naar SIMGO (via verdamping en interceptie).

Figuur 4 schematisch geeft de samenhang tussen de vier modellen en hun in- en uitvoer. Technisch wordt de samenhang verzorgd door een achterliggende database waarin elk model per tijdstap (jaar) en per gridcel toestandsvariabelen ophaalt of wegschrijft. De modellen uit de keten worden hieronder nader beschreven. Voor meer details wordt verwezen naar afzonderlijke rapportages per model (Prins, 1999, Schouwenberg 2001, Kros et al., 2001).

## 2.6 Korte beschrijving van de modellen

### 2.6.1 SIMGRO

SIMGRO (Veldhuizen et al., 1998) is een model dat de regionale hydrologie beschrijft. Waterstromen worden gesimuleerd in drie compartimenten:

- de verzadigde zone. Deze wordt in het verticale vlak opgedeeld in watervoerende pakketten en scheidende lagen;
- de onverzadigde zone;
- het oppervlaktewater. Dit systeem wordt opgedeeld in een primair systeem (bijvoorbeeld het Wilhelminakanaal), een secundair systeem (de waterlopen in beheer bij het waterschap), en een tertiair systeem (de overige waterlopen, buisdrainage en greppels).

SIMGRO simuleert de grondwaterstanden voor een net van 'knooppunten', waarvan de dichtheid is afgestemd op de regionale gesteldheid en de gewenste detaillering. In de beekdalen, waar de sterkste gradiënten voorkomen, is de onderlinge afstand tussen de knooppunten 100 m. Deze afstand neemt naar de grenzen van de afwateringseenheden toe tot 300 m. De begrenzing van het modelgebied is ruim buiten het GREINS studiegebied genomen om de effecten van opgelegde randvoorwaarden te minimaliseren. Buiten het studiegebied neemt de afstand tussen de knooppunten toe tot 700 m. Na de simulatie van de hydrologie vindt nog een zogenaamde neerschaling plaats tot op het niveau van een cel van  $25 \times 25 \text{ m}^2$ . Dit is gedaan met behulp van de 1:10.000 hoogtekartaart. Hiertoe is per GREINS cel het verschil berekend tussen de voor de cel gemiddelde maaiveldhoogte en de hoogte van de grondwaterstand op 1 april (GVG) en de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand). Met de SIMGRO-resultaten is ook de waterbalans van de wortelzone opgesteld. Daarbij is de kwel naar de wortelzone berekend als de resultante van doorval (netto neerslag), verdamping, wegzijging en verandering van de vochtvoorraad in de wortelzone. De berekende kwel is derhalve de flux die de wortelzone aan de onderkant binnenkomt. SIMGRO levert de gevraagde

kwantitatieve hydrologische gegevens (GVG, de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand, de grondwatertrap en het vochttekort) aan SMART2, VEG2 en NTM3. Tabel 1 geeft de in- en uitvoergegevens van SIMGRO.

Tabel 1: in- en uitvoergegevens van SIMGRO

<b>INVOER:</b>	<b>uit:</b>
neerslag	weerdata referentiejaar
verdamping	weerdata + vegetatiestructuur
bodemgebruik	LGN3
maaiveldhoogte	TOP10vector
bodemkundige data	digitale bodemkaart
geohydrologische data	digitale geologische kaart
afvoerrelaties	gegevens van de waterschappen
stuwpeilen	gegevens van de waterschappen
dimensies van de waterlopen	gegevens van de waterschappen, top.kaart, ontwerpvoorschriften
drainageweerstanden	berekend uit bodemeigenschappen
drink- en industiewateronttrekkingen	gegevens van waterwinbedrijven
berekening	gegevens van provincies
buisdrainage	eigen data en berekend uit GT- en landgebruikskaarten
<b>UITVOER:</b>	<b>naar:</b>
doorval	SMART
verdamping	SMART
kwelflux	SMART
wegzijing	SMART
GVG	SMART, NTM
GLG	gebruikt om GT te berekenen
GHG	gebruikt om GT te berekenen
berging	gebruikt om theta te berekenen
vochttekort <sup>1)</sup>	NTM
<b>AFGELEIDE UITVOER:</b>	<b>naar:</b>
GT-klasse (5 klassen)	SMART
GT-klasse (2 klassen, nat/droog)	VEG
theta <sup>2)</sup>	SMART

1) Het vochttekort is voor  $t=0$  (de uitgangssituatie) gedefinieerd als het verschil tussen potentiële en actuele verdamping voor het jaar 1990.

2) berekend als  $\text{berging} / \text{dikte wortelzone}$ ; het laatste gegeven komt uit VEG.

## 2.6.2 SMART2

SMART2 (Kros et al., 1995, Kros et al., 2001) is een éénlagig bodemmodel, dat het gedrag van waterstromen en de kat- en anionen in de vaste en vloeibare fase simuleert. Het bestaat uit een set van massabalansvergelijkingen die de input/outputrelaties van de bodem beschrijven, en een set vergelijkingen voor de beschrijving van de snelheids- en evenwichtsprocessen in de bodem. Het model bevat alle macro-ionen uit de ladingsbalans. Na en Cl worden als inert verondersteld en doen alleen mee in de ladingsbalans. H (en daarmee pH) wordt als een balansterm berekend. De laagdikte is gelijk gesteld aan de dikte van de wortelzone en is dus variabel. Tabel 2 geeft een overzicht van de in SMART2 beschouwde processen en de daarbij betrokken ionen.

Tabel 2: processen en procesbeschrijvingen in SMART2.

Proces	Ion	Procesbeschrijving
<i>Input</i>		
Totale depositie	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , BC <sup>2+</sup> 1), Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	Input
Kwel	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , BC <sup>2+</sup> 1), Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	Input
<i>Snelheidsreacties</i>		
Bladopname	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Lineair evenredig met de totale depositie
Bladuitfloging	BC <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup>	Gelijk aan bladopname
Bladval	BC <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Logistische groeicurve
Wortelsterfte	BC <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	lineair evenredig met de strooiselproductie
Mineralisatie	BC <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1 <sup>e</sup> -orde-reactie en functie van pH, GVG en C/N-ratio
N-immobilisatie	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Evenredig met de N-depositie en een functie van de C/N-ratio
Groeiopname	BC <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	evenredig aan de biomassatoename, lineair verdeeld over de beschouwde periode
Nitrificatie	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Evenredig met de netto-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Denitrificatie	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Evenredig met de netto NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -input en een functie van de pH, GVG en C/N-ratio
Silicaatverwerking	Al <sup>3+</sup> , BC <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	0 <sup>e</sup> -orde-reactie
<i>Evenwichtsreacties</i>		
Dissociatie/associatie	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> -evenwicht
Carbonaatverwerking	BC <sup>2+</sup>	Carbonaatevenwicht
Al-hydroxide-verwerking	Al <sup>3+</sup>	Gibbsietevenwicht
Kationenomwisseling	H <sup>+</sup> 2), Al <sup>3+</sup> , BC <sup>2+</sup>	Gaines-Thomasvergelijking
Sulfaatsorptie	H <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Langmuirvergelijking

<sup>1)</sup> BC<sup>2+</sup> staat voor divalente basische kationen (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)

<sup>2)</sup> H<sup>+</sup> wordt impliciet, via de ladingsbalans, door alle processen beïnvloed.

De ecosysteemprocessen zijn in SMART2 beperkt gehouden tot de essentiële: netto input vanuit de atmosfeer (depositie) en het grondwater (kwel), kronendakinteracties, nutriënten cyclus processen, en de geochemische interacties in de bodem en de bodemoplossing (CO<sub>2</sub>-evenwichten, carbonaatverwerking, silicaatverwerking, oplossen van Al-hydroxides en kationenomwisseling). De volgende processen zijn niet meegenomen: N-fixatie en NH<sub>4</sub> adsorptie; opname, immobilisatie en reductie van SO<sub>4</sub>; complexatie van Al met OH, SO<sub>4</sub> en organische anionen.

SMART2 werkt met een generalisatie van de bodemkaart waarbij in het studiegebied acht bodemtypen worden onderscheiden: basenarm zand, baserijk zand, lemig zand, zand met cultuurdek, beekbegeleidende zandgrond, klei, löss, veen. Effecten van bemesting kunnen niet met SMART2 worden doorgerekend en bemeste gronden worden daarom in GREINS buiten beschouwing gelaten. Er wordt van uitgegaan dat hier de natuurwaarde altijd zeer laag zal zijn. De vegetatie wordt in SMART2

gegeneraliseerd tot vijf typen: grasland, heide, loofbos, licht naaldbos, donker naaldbos. Van deze vegetatietypen wordt donker naaldbos in GREINS niet doorgerekend, omdat ervan wordt uitgegaan dat hiervan de natuurwaarde altijd zeer laag is.

Tabel 3 geeft een overzicht van de in- en uitvoergegevens van SMART. Van SIMGRO krijgt SMART2 de grondwaterstand (als GVG), het vochtgehalte van de bodem (theta, in  $m^3.m^{-3}$ ), en de termen van de waterbalans: de over het jaar gesommeerde bruto kwel en bruto wegzijging, en de doorval en verdamping. Er wordt rekening gehouden met de kwaliteit van het kwelwater, deze wordt geschat in vier klassen (regenwater, grondwater, brak water, mengwater; dit kenmerk is afkomstig uit LKN en wordt door SMART2 vertaald naar concentraties van basische kationen). De depositie krijgt SMART2 van de RIVM modellen OPS (voor de scenario's, procesmodel met een oplossend vermogen van  $5*5 km^2$ ) en DEADM (voor de huidige toestand, regressiemodel met een oplossend vermogen van  $1*1 km^2$ ). De door deze modellen aangeleverde depositiewaarden worden vermenigvuldigd met een filterfactor die afhangt van het vegetatietype. Tabel 4 geeft de vertaling van de vegetatietypologie uit VEG2 naar de vegetatietypologie van SMART.

Tabel 3: in- en uitvoergegevens van SMART2

<b>INVOER:</b>	<b>uit:</b>
doorval	SIMGRO
verdamping	SIMGRO
kwelflux	SIMGRO
type kwel	LKN
wegzijging	SIMGRO
theta	SIMGRO en VEG
GT	SIMGRO
depositie	DEADM (actueel), OPS (scenario)
bodentype	bodemkaart
vegetatietype	VEG
biomassa boven- en ondergronds	VEG
C/N ratio boven- en ondergronds	VEG
strooiselproductie	VEG
C/N van strooisel	VEG
dikte wortelzone	VEG
<b>UITVOER:</b>	<b>naar:</b>
N beschikbaarheid	VEG, NTM
pH	NTM

De opname van N door de vegetatie wordt door SMART2 berekend uit de toename van de biomassa tussen twee tijdstappen, en de C/N verhouding in de biomassa. De opname van basische kationen is afhankelijk van de biomassa en het vegetatietype. Omdat SMART2 zich beperkt tot beschrijving van de processen die zich in de wortelzone afspelen, is de dikte van deze laag van belang. De onderkant van de wortelzone is de systeemgrens, uitspoeling wordt op deze grens berekend. De dikte van de wortelzone krijgt SMART2 toegeleverd uit VEG.

Tabel 4: vegetatiestructuurtypen in VEG, en de vertaling naar SMART-NTM vegetatiestructuurtypen. Verklaring van de SMART-NTM typen: G = grasland; H = heide; L = loofbos; N = naaldbos; R = restgroep; 0 = niet doorrekenen. Verklaring van de NIS-typen: 1 = natuurgebied, 0 = geen natuurgebied, - = niet relevant. Verklaring van de typologie op grond van de 4de bosstatistiek in Tabel 5. Verklaring van de beheersreeksen in Tabel 6.

code	GREINS-VEG type	SMART-NTM type	LGN3 type	NIS type	beheersreeks op t=0
P	pioniervegetatie	R	komt in de huidige situatie niet voor		
R	ruigte	R	komt in de huidige situatie niet voor		
CG	cultuurgrasland	G	grasland	0	0
NG	soortenrijk grasland	G	grasland	1	IIIh
NW	soortenrijke weide	G	komt in de huidige situatie niet voor		
BL	bouwland	0	bouwland	0	0
M	mais	0	mais	0	0
A	akker	0	bouwland	1	III
H	heide	H	heide	1	III
Z	zandverstuiving	H	zand	1	III
S	struweel	R	komt in de huidige situatie niet voor		
L	loofbos	L	loofbos		III
DN	donker naaldbos	0	bepaald ogv de 4de bosstatistiek		IV
LN	licht naaldbos	N	bepaald ogv de 4de bosstatistiek		IV
W	open water	0	open water	-	0
BG	bebouwd gebied	0	bebouwd gebied	-	0

### 2.6.3 VEG2

VEG2 (Prins, 1999) is een kennismodel, dat de vegetatieontwikkeling voorspelt uitgaande van de huidige vegetatiestructuur, het bodemtype, de grondwatertrap (in 2 klassen: nat/droog), de beschikbaarheid van stikstof (in 3 klassen: arm, matig rijk, rijk), en het beheer (in 4 klassen: begeleid natuurlijk, halfnatuurlijk, hooiland, multifunctioneel). VEG2 doet uitsluitend uitspraken op het niveau van vegetatiestructuur, en dus niet op het niveau van soorten. De vegetatiestructuur wordt gegeneraliseerd in 16 typen (Tabel 4); hiervan worden er 6 niet doorgerekend omdat de verwachte natuurwaarde hier zeer laag is. De initiële vegetatiestructuur is verkregen op grond van het LGN3 bestand (landgebruik op 25\*25 m<sup>2</sup>), het NIS bestand (eigendomsbestand voor natuurgebieden) en -voor naaldbossen- op grond van gegevens uit de vierde bosstatistiek. Tabel 5 geeft de generalisatie van hoofdboomsoort uit de vierde bosstatistiek naar vegetatietype. De vier beheerstypen worden toegelicht in Tabel 6. Deze typen zijn gebaseerd op de beheersreeksen uit het Natuurbeleidsplan (Ministerie van LNV, 1990), met dien verstande dat beheersreeks I (nagenoeg natuurlijk) in het studiegebied niet voorkomt, en beheersreeks III (halfnatuurlijk) gesplitst is in hooilandbeheer en overig halfnatuurlijk beheer.

Tabel 5: vertaling van hoofdboomsoorten uit de vierde bosstatistiek naar vegetatiestructuurtypen.

LICHTE naaldboomsoorten (structuurtype N)	DONKERE naaldboomsoorten (wordt niet doorgerekend)	loofboomsoorten (structuurtype L)
grove den	Douglas	Larix
cors. den	Picea abies	alle loofbomen
oostenrijkse den	Sitkaspar	
Wymouth den	Picea omorica	
Pinus contorta	Picea overige	
Pinus rigida	Tsuga	
Pinus maritima	Thuja	
Pinus overige	Abies grandis	
jeneverbes	Abies alba	
overige naaldbomen	Chamaecyparis	

Tabel 6: beheersreeksen in VEG

beheers reeks	omschrijving	beheer	verwachte ontwikkeling
I	nagenoeg natuurlijk	geen, alleen inrichtingsmaatregelen	komt in het studiegebied niet voor
II	begeleid natuurlijk	zeer extensieve begrazing (landbouwhuisdieren, reeën)	bos wordt structuurrijk loofbos; graslanden, akkers en heide worden een mozaik van bos, struweel en open plekken.
III	half-natuurlijk	omvorming van bos; plaggen van heide; extensieve begrazing van grasland en heide	bos wordt natuurlijker bos; graslanden worden een mozaik van soortenrijke weide, struweel en bos; heide blijft heide
IIIh	half-natuurlijk hooilandbeheer	maaien en afvoeren	grasland wordt soortenrijk grasland
IV	multifunctioneel	bestaand beheer	geen veranderingen
0	niet doorgerekend	niet relevant	geen veranderingen (geldt voor cultuurland en donker naaldbos)

Tabel 7: in- en output van VEG

INVOER:	uit:
vegetatiestructuur op t=0	LGN3, NIS, 4de bosstatistiek
Gt klasse (nat/droog)	SIMGRO
beheer	veg. structuur (t=0), streefbeeld (t>0)
N beschikbaarheid (arm/matig/rijk)	SMART
UITVOER:	naar:
geaggregeerde vegetatiestructuur	SMART, SIMGRO, NTM
biomassa boven- en ondergronds	SMART
C/N ratio boven- en ondergronds	SMART
strooiselproductie	SMART
C/N van strooisel	SMART
dikte wortelzone	SMART

Tabel 7 geeft de in- en uitvoer van VEG. De vegetatieontwikkeling is beschreven middels een aantal eenvoudige regels, die gebruikt zijn om een tabel te vullen die de vegetatie geeft op de drie tijdstippen (t=10, 30, 100). Hierbij worden bodemtype en

beheer in de tijd constant verondersteld, maar grondwatertrap en beschikbaarheid van stikstof kunnen in de tijd variëren. De veranderingen in vegetatiestructuur bij elk beheerstype wordt globaal gegeven in Tabel 6. Bij beheerstype IV (multifunctioneel) treedt geen successie op; in feite is het beheer hier gericht op het handhaven van de huidige situatie. Bij beheerstype IIIh (hooilandbeheer in natuurgebieden) gaat cultuurgrasland over in soortenrijk grasland. Bij de beheerstypen II en III is de beschrijving van de successie wat ingewikkelder. In deze gevallen is sprake van begrazing van grote gebieden (in type III intensiever dan in type II). Daardoor treedt ruimtelijke differentiatie op: cellen die eerst homogeen waren qua vegetatiestructuur kunnen heterogeen worden. Over de successie en de daarmee gepaard gaande mate van heterogeniteit zijn aannamen gedaan op grond van literatuuronderzoek en expertkennis. Tabel 8 vat deze aannamen samen.

Tabel 8: vegetatieontwikkeling bij beheerstypen II en III (schematisch). De getallen geven de percentages per cel van elk structuurtype op de drie tijdstippen. 'Open' staat voor de structuurtypen Z, P, H en NG (Tabel 4).

beheer	vocht- klasse	bodem type	open			struweel			bos		
			t=10	t=30	t=100	t=10	t=30	t=100	t=10	t=30	t=100
II	nat	alle	90	70	0	10	30	0	0	0	100
II	droog	alle	95	85	30	5	15	20	0	0	50
III	nat	zand arm	90	70	0	10	30	0	0	0	100
III	droog	zand arm	100	85	50	0	15	25	0	0	25
III	nat	veen, zand rijk, klei	90	70	0	10	30	0	0	0	100
III	droog	veen, zand rijk, klei	100	79	30	0	21	30	0	0	40

VEG2 berekent voor SMART2 biomassa en C/N quotiënt van de boven- en ondergrondse delen, de strooiselval als percentage van de totale biomassa, het C/N quotiënt van het strooisel, en de dikte van de wortelzone. Deze gegevens zijn per structuurtype geschat op grond van gegevens uit de literatuur. De biomassa is afhankelijk gesteld van het structuurtype en de N-beschikbaarheid. Bij lage N-beschikbaarheid ( $< 65 \text{ kg N ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ ) is de biomassa met 10% verminderd, en bij hoge N-beschikbaarheid ( $> 130 \text{ kg N ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ ) met 10% vermeerderd ten opzichte van de oorspronkelijke schattingen uit GREINS1. Groei wordt door VEG2 dus alleen indirect gesimuleerd (namelijk bij veranderingen in vegetatiestructuur of N-beschikbaarheid). Vochtbeschikbaarheid en bodemtype bepalen de successie, onder andere via de begrazingsintensiteit: onder natte omstandigheden is een lagere begrazingsintensiteit aangenomen, waardoor in dat geval de successie naar bos sneller en vollediger verloopt (Tabel 8). De grens tussen 'nat' en 'droog' is gelegd bij GVG  $< 70$  cm en vochttekort  $< 8\%$ . Als aan deze beide voorwaarden is voldaan wordt klasse 'nat' toegekend. Wanneer vocht- of N-beschikbaarheid in de tijd veranderen wordt overgegaan naar de betreffende rij in Tabel 8; de voorgeschiedenis speelt dus geen rol. Een aantal variabelen die door VEG2 worden doorgegeven aan SMART2 en aan



SIMGRO zijn afhankelijk van het structuurtype. Wanneer een cel door successie heterogeen wordt qua structuurtype is dus een extra rekenslag nodig om voor deze variabelen eenduidige waarden per cel te berekenen. In principe kan dit op twee wijzen: door gewogen middeling of door de waarde voor het 'dominante' (=meest voorkomende) type toe te kennen. Omdat slechts doorrekeningen gedaan zijn voor de huidige situatie speelde deze afweging thans geen rol.

#### 2.6.4 NTM3

NTM3 (Schouwenberg 2002) is een regressiemodel dat 'natuurwaarde' voorspelt op grond van de bodemfactoren vocht, pH en N-beschikbaarheid. Het model wordt gekalibreerd met een trainingsset van opnamen. Hiertoe wordt aan elke opname van de trainingsset een natuurwaarde toegekend. Bovendien worden voor elke opname uit de trainingsset de abiotische omstandigheden geschat op grond van de Ellenbergwaarden van de er in aanwezige soorten. Voor het gebruik van NTM3 binnen GREINS dienen bovendien de schattingen van de abiotische factoren, die SIMGRO en SMART2 leveren in 'fysische' grootheden (N-beschikbaarheid in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ , zuurgraad als pH, en GVG in cm) vertaald te worden naar 'Ellenberg' grootheden (verwacht gemiddeld Ellenberg getal per opname). Ook dit gebeurt door regressie, ditmaal met een trainingsset van vegetatieopnamen waarin de waarden van abiotische factoren gemeten zijn.

De calibratie is een essentiële stap in NTM. Deze gebeurt in een aantal fasen, die globaal als volgt kunnen worden omschreven:

1. aan elke soort wordt een IWN (IndicatieWaarde voor Natuurbehoud) toegekend op grond van (1) nationale en internationale zeldzaamheid, (2) achteruitgang tussen 1950 en 1980, en (3) het vegetatietype waarvoor de soort kenmerkend is;
2. aan elke opname van de calibratieset wordt een NBW (NatuurBehoudsWaarde) toegekend als de som van de IWN's van de soorten, met correcties voor aantal soorten en hoeveelheid per soort (stappen 1 en 2 staan bekend als de 'Gelderland methode', Hertog & Rijken, 1992);
3. de calibratieset wordt gesplitst in subsets voor de 'SMART-typen' Gras, Heide, Loofbos en Naaldbos (Tabel 4). Dit wordt gedaan met behulp van het opname determinatie programma ASSOCIA (Van Tongeren, in prep.), en samenvoegen van door dit programma geïndiceerde typen;
4. aan elke vondst (= soort / opname combinatie) wordt de NBW van de opname toegekend (Y waarde), en de Ellenbergwaarden voor F, R en N (=resp. vocht, zuurgraad en voedselrijkdom) van de soort (X waarden);
5. voor elk vegetatietype wordt een regressie uitgevoerd van NBW op F, R en N met behulp van 'spline' functies (Eilers & Marx, 1996). Deze functies laten een zekere mate van niet-lineaire respons toe, waarbij de mate van niet-lineariteit van te voren moet worden ingesteld. In de hier gebruikte versie is deze zo ingesteld dat er één of hooguit twee lokale maxima of minima in de respons kunnen optreden;

6. op grond van de puntendichtheid in de calibratieset wordt voor elke combinatie van F, R en N een mate van betrouwbaarheid voor de geschatte NBW afgeleid; hiermee wordt een 'geldigheidsgebied' voor de transferfunctie bepaald.

Met de zo afgeleide transferfuncties kan de verwachte natuurwaarde bij een gegeven combinatie van F, R en N worden bepaald (Tabel 9). Met nadruk moet gesteld worden dat dit de potentiële natuurwaarde is, d.w.z. de maximale natuurwaarde die de gegeven abiotiek toelaat.

Tabel 9: in- en uitvoer van NTM3

INVOER:	uit:
GVG	SIMGRO
pH	SMART
N beschikbaarheid	SMART
UITVOER:	naar:
NBW	eindkaart

Voor de toepassing van NTM3 in GREINS2 zijn drie calibratiesets getest. Er is een 'landelijke' set die speciaal voor calibratiedoeleinden is samengesteld, en geacht wordt een representatief beeld te geven van de vegetatie van Nederland (ruim 160.000 vegetatieopnamen). Van deze set is een subset gemaakt van opnamen uit de fysisch-geografische regio 'Hoge Zandgronden' (bijna 56.000 opnamen). Verder is een calibratieset samengesteld van opnamen uit het studiegebied zelf die aanwezig zijn in het bestand van het project 'Plantengemeenschappen' (Schaminee et al., 1995) (ca. 1000 opnamen). Van deze calibratiesets bleek die uit het studiegebied te klein voor een betrouwbare calibratie, en leverden de beide andere sets slechts weinig verschillende transferfuncties. Daarom is uiteindelijk de landelijke set (die een betere spreiding in abiotiek heeft) gebruikt. Voor de presentatie zijn de berekende natuurwaarden ingedeeld in drie klassen (Figuur 8).

## 2.7 Invoer van ruimtelijke gegevens

GREINS heeft de volgende ruimtelijke invoer (kaarten) nodig:

- geologische kaart
- bodemkaart
- initiële vegetatiestructuur (afgeleid uit LGN3, NIS en de vierde bosstatistiek)
- topografie van het oppervlaktewatersysteem (afgeleid uit de topografische kaart)
- waterbeheer (stuwpeilen en grondwaterwinningen)
- vegetatiebeheer (afgeleid uit initiële vegetatiestructuur [t=0] en streefbeeld (t>0))
- atmosferische depositie

Van deze invoervariabelen zijn de eerste vier een vast gegeven, en de laatste drie kunnen gevarieerd worden. Dat laatste gebeurt in scenario's.

## 2.8 Scenario's in GREINS2

Voor het doen van voorspellingen zijn scenario's het vertrekpunt. Een scenario bevat een set van verwachtingswaarden voor invoervariabelen in de toekomst. De scenario's in GREINS2 bestaan feitelijk uit drie onderling onafhankelijke scenario's voor waterbeheer, vegetatiebeheer en depositie. Variabelen zijn: (1) de hydrologische situatie, die afhangt van klimaat, ontwatering, waterwinning, en grondgebruik en vegetatieontwikkeling (die de verdamping beïnvloedt), (2) veranderingen in landgebruik (bijvoorbeeld uitbreiding oppervlak natuurgebied) en beheer (zoals kappen, maaien of begrazen) en (3) depositie van zuurvormende stoffen en nutriënten (vooral N-verbindingen). Dit leidt tot een groot aantal mogelijke scenario's waaruit een keuze moet worden gemaakt. In GREINS2-project was gepland twee scenario's door te rekenen:

- een 'business-as-usual' scenario (voorzetting van de huidige toestand);
- een 'optimaal natuur' scenario, waarin alle variabelen op waarden gezet worden die geacht worden een gunstige uitwerking op de natuur te hebben.

In het natuur scenario is uitgegaan van gunstige, maar niet geheel onrealistische veronderstellingen. Zo is uitgegaan van een volledige realisatie van de EHS, realisatie van een gunstige grond- en oppervlaktewatersituatie, en van het terugdringen van de depositie van zuur en stikstof. De onderdelen per scenario worden hieronder kort besproken.

### 2.8.1 Hydrologisch scenario

Omdat doel van het scenario is het testen van GREINS is gekozen voor een eenvoudig te definiëren scenario met een groot verwacht effect: verhogen van de peilen binnen het hele studiegebied. Definiëren van realistischer scenario's waar rekening wordt gehouden met de ruimtelijke inrichting vraagt meer inspanning en vraagt samenwerking met beleidsmakers en uitvoerders uit het gebied.

### 2.8.2 Depositiescenario

Er is maar één depositiescenario, het EC scenario, overgenomen uit de vierde Nationale Milieuverkenning (Anonymus, 1997). De depositie in dit scenario is gebaseerd op verwachtingen omtrent economische ontwikkelingen. Zowel voor de huidige toestand als voor de scenario's zijn deposities van  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  en  $\text{NH}_y$  geschat uit concentratievelden van  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  en  $\text{NH}_3$  die gebaseerd zijn op metingen (huidige toestand) of verwachte emissies (scenario's). Dit is buiten GREINS gebeurd met resp. de modellen DEADM en OPS die worden beheerd door het RIVM.

### 2.8.3 Beheersscenario

Voor het 'business-as-usual' scenario is aan elke vegetatiestructuurtype een beheerstype voor de huidige situatie toegekend (Tabel 4). Voor het 'natuur' scenario

is de toestand complex omdat er in de regio geen consensus bestaat over de meest wenselijke toekomstige ontwikkelingen (bij GREINS1 was dat wel het geval, hier kon het door de provincie Drente ontwikkelde streefbeeld worden gebruikt). Het scenario is daarom ontwikkeld op grond van een groot aantal regionale beleids- en beheersplannen (Verburg, 1999). Hierbij is uitgegaan van een volledige realisatie van de EHS, zoals die inmiddels formeel is vastgesteld. De verdeling van de beheerstypen over het gebied is dan globaal als volgt (zie ook Figuur 3):

**Beheerstype II:**

- de Kampina en de Oisterwijkse bossen en vennen (behalve de grote open heide van de Kampina) en aangrenzende reservaatgebieden
- de Mispelindse, Neterselsche en Landschotsche heide en aangrenzende reservaatgebieden

**Beheerstype III:**

- de grote, open heide van de Kampina
- de bosgebieden in de Mortelen
- de Prangen
- de Kleine Oisterwijkse heide
- Annanina's Rust
- de Spekdonken
- de Belevensche heide
- de Kroonvensche heide
- de Cartierheide
- het Goor en de aangrenzende reservaatgebieden

**Beheerstype IIIh:**

- de beekdalen van de Reusel, de Beerze, de Grootte Beerze, de Kleine Beerze, het Dalemstroompje, het Spruitenstroompje, de Roodloop, de Aa, de Belevensche Loop, de Goorloop, de Achterste Stroom, de Oude Leij en de Raamsloop
- de vochtige graslanden in de Mortelen

**Beheerstype IV:**

- naaldbossen die in eigendom zijn van gemeenten
- Landgoed de Utrecht
- kleine snippers naald- en loofbos
- de Beekse bergen
- boswachterij de Hapert
- de graslanden die in het Voorontwerp Begrenzingsplan Beerze-Reusel als beheersgebieden zijn begrensd.

## 3 Resultaten

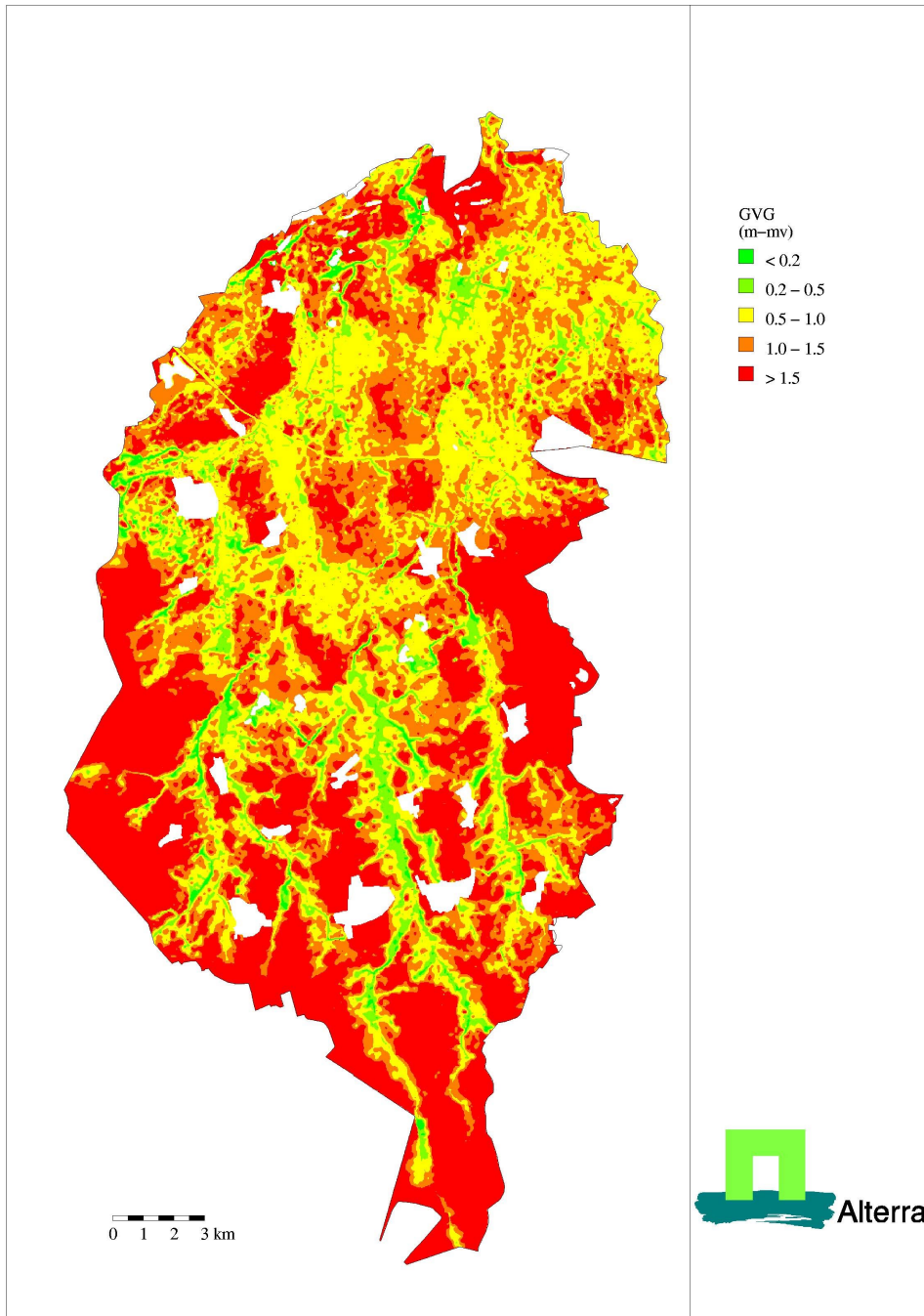
Zoals reeds gesteld in de inleiding is het oorspronkelijke projectplan van GREINS2 niet volledige tot uitvoering gebracht. Er zijn geen toekomstscenario's doorgerekend. In plaats daarvan is het gebouwde modelinstrumentarium gevalideerd op de huidige situatie.

### 3.1 Hydrologie

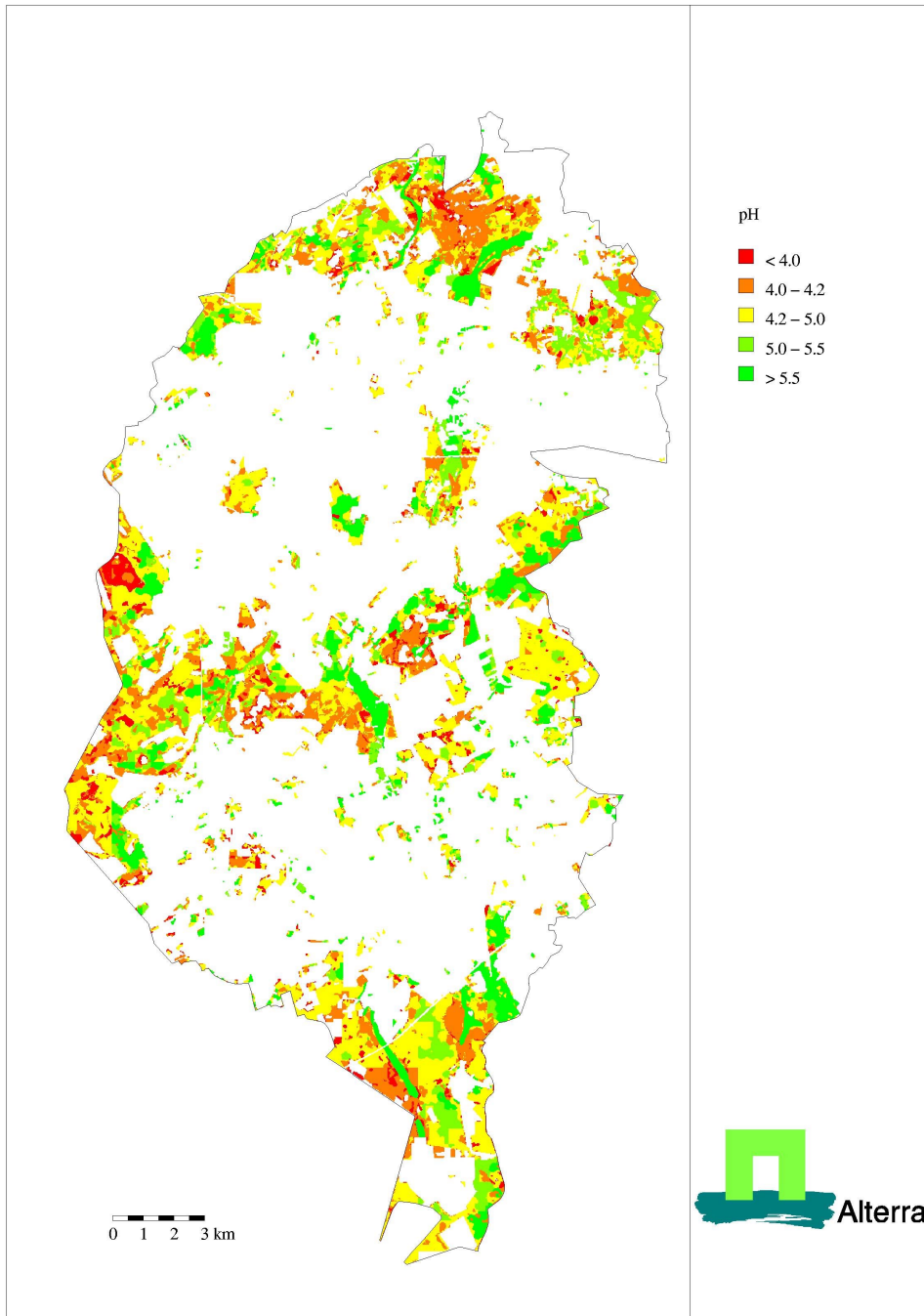
In GREINS wordt de GVG (Figuur 5) gebruikt als verklarende standplaatsfactor om de grondwaterstanden te karakteriseren. De GVG is sterk gecorreleerd aan de GHG. De berekende GHG's zijn vergeleken met de GHG's volgens de grondwater-trappenkaart (Teunissen van Manen et al., 1985) en de door Kleijer (1993) geactualiseerde GHG-kaart. De eerste indruk was dat de simulatieresultaten 'te droog' zijn. Echter, een vergelijking van de GHG-kaart op basis van de bodemkaart (situatie '1980') en de GHG volgens de actualisatie van Kleijer (situatie '1990') laat zien dat gedurende die periode een snelle verdroging is opgetreden. Deze tendens heeft zich waarschijnlijk het afgelopen decennium doorgezet. Dit blijkt onder andere uit het feit dat bij de pas afgeronde actualisatie van de Gt-kaart voor het proefgebied Mark en Weerijns (Brabant) voornamelijk Gt's VI en VII zijn aangetroffen, ook in de beekdalen. Waarschijnlijk is daarom de gesimuleerde verdroging inderdaad opgetreden, maar gegevens om dit te toetsen ontbreken.

### 3.2 Bodem

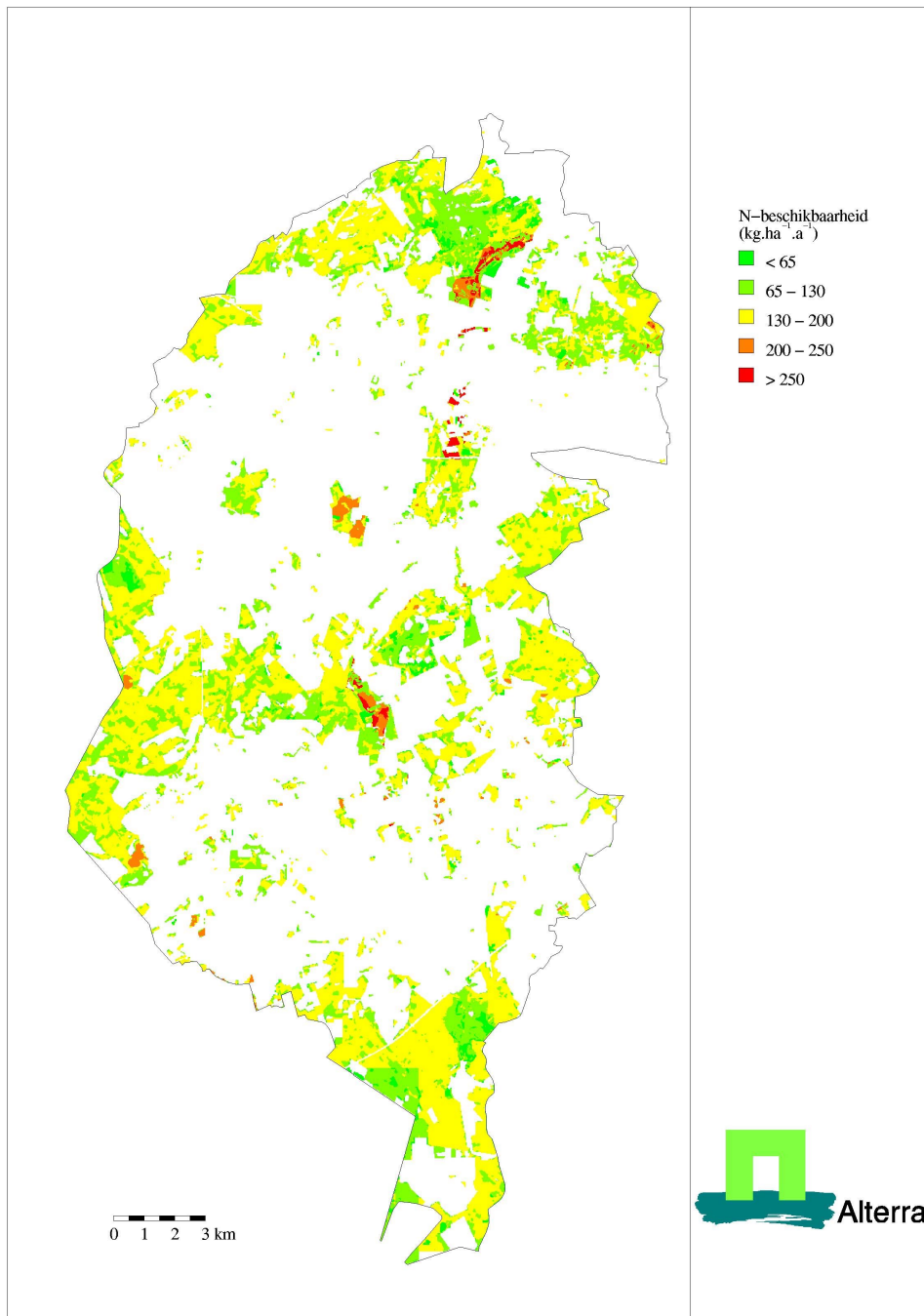
Figuur 6 geeft de door SMART2 gesimuleerde pH voor de huidige situatie. De witte vlekken zijn bemeste (voornamelijk agrarische) gebieden die niet zijn doorgerekend. De figuur laat zien dat gebieden met hoge pH ( $\text{pH} > 5,5$ ) veelal corresponderen met de laaggelegen gebieden in de beekdalen (vergelijk Figuur 5). De hoge pH in deze gebieden wordt met name geïnduceerd door de aanwezige (i.c. door SIMGRO berekende) kwelflux. Voor deze gebieden wordt het verzurende effect van de hoge zure depositie, voor het Beerze Reusel gebied gemiddeld  $4400 \text{ mol}_e \text{ zuur ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ , vrijwel volledig gebufferd door een combinatie van aanvoer van basenrijke kwel, denitrificatie, verwering en kationenuitwisseling. De gebieden met een gematigde pH ( $4,2 < \text{pH} < 5,5$ ) zijn de wat rijkere gronden, welke niet of nauwelijks onder invloed van het grondwater staan. Voor deze systemen wordt de zuurgraad met name gebufferd door kationenuitwisseling en mineraalverwering. Gebieden met lage pH ( $< 4,2$ ) zijn de arme zandgronden, welke niet door het grondwater worden beïnvloed. Voor deze systemen wordt de zuurgraad voor groot gedeelte bepaald door de (grote) zure depositie. Vaak zijn deze gronden ook nog begroeid met (donker) naaldbos, waardoor als gevolg van een grote invang de depositie beduidend groter is dan gemiddeld.



*Figuur 5: gesimuleerde GVG voor de huidige situatie*

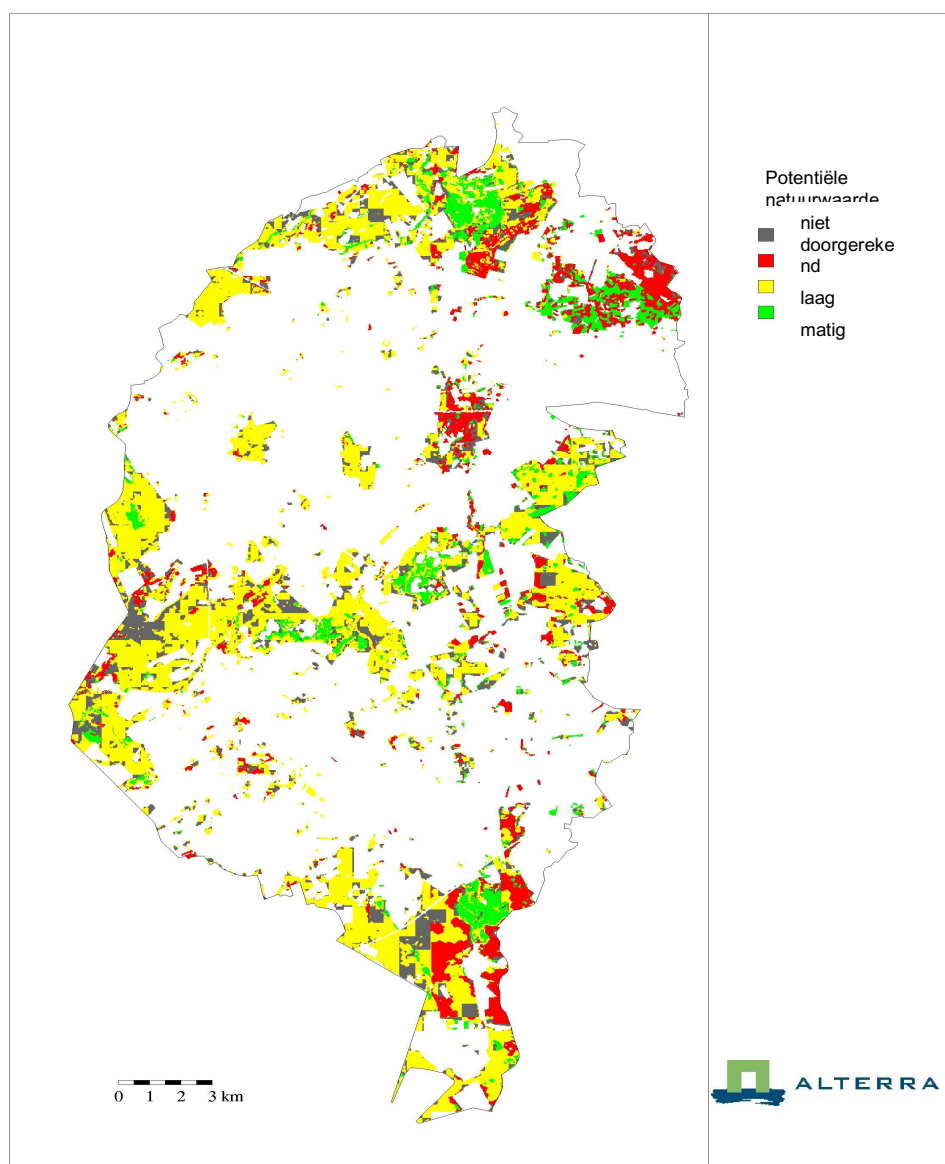


*Figuur 6: gesimuleerde pH voor de huidige situatie*



*Figuur 7: gesimuleerde N-beschikbaarheid voor de huidige situatie*





*Figuur 8: gesimuleerde (potentiële) natuurwaarde voor de huisige situatie.*

Het ruimtelijk beeld van de N-beschikbaarheid wordt gegeven in Figuur 7. De N-beschikbaarheid betreft de som van mineralisatie en atmosferische input. Deze figuur laat zien dat voor het leeuwendeel van het gebied de N-beschikbaarheid ligt tussen de 130-200 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Dit betreft met name de multifunctionele gebieden (voornamelijk loof- en naaldbossen). De depositie via doorval in bossen bedraagt in het Beerze Reusel gebied 40-60 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Dit betekent dus dat er een bruto N-mineralisatie wordt berekend van 80-150 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Dit komt goed overeen met in de literatuur genoemde mineralisatiesnelheden in bossen. Zo vond Tietema (1992) mineralisatiesnelheden in een Nederlands eiken-beukenbos van ruim 100 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. In het studiegebied komt ook nog een relatief groot areaal voor met een N-

beschikbaarheid in de klasse 65-130 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Hierbij gaat het met name om heiden. In deze gebieden ligt de N-beschikbaarheid lager doordat de mineralisatiesnelheid lager is, en doordat de invang van atmosferische N input lager ligt dan in bossen. Opvallend is dat er een aantal gebiedjes is met een N-beschikbaarheid groter dan 250 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Deze hoge cijfers worden veroorzaakt door een grote strooiselproductie met als gevolg een hoge N-mineralisatieflux. Tenslotte zijn er nog een aantal kleine gebiedjes met extreem lage N-beschikbaarheid (< 65 kg N ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>). Omdat deze waarde overeenkomt met de gemiddelde N depositie, betekent dit dat in deze gebiedjes de bruto N mineralisatie zeer gering is. In deze gebieden is dus sprake van een flinke N accumulatie.

### 3.3 Natuurwaarde

Figuur 8 geeft de gesimuleerde (potentiële) natuurwaarde in drie klassen (laag, intermediair, hoog). Het beeld van de potentiële natuurwaarden in het gebied komt grotendeels overeen met de verwachting. De potentiële natuurwaarden voor het gebied als geheel zijn relatief laag (lager dan de gemiddelde waarde van de landelijke calibratieset). Dit is vooral het gevolg van de hoge N-beschikbaarheid en de lage grondwaterstanden, waardoor veel droge, voedselrijke standplaatsen, met in de huidige situatie (t=0) een lage potentiële natuurwaarde worden geïndiceerd. De potentiële natuurwaarde neemt in het algemeen toe bij hogere vochtgehalten (GVG), hogere zuurgraad (pH) en lagere N-beschikbaarheid. Hoge potentiële natuurwaarden worden daarom voornamelijk gevonden in de heideterreinen (zoals de heideterreinen van de Kampina, de Landschotsche, Neterselsche, Mispelindse Heide en de Cartierheide), en in vochtige soortenrijke graslanden (zoals de graslanden van De Mortelen). De potentiële natuurwaarden van de vegetatiestructuurtypen heide en open landschapselementen zijn onder gelijke abiotische omstandigheden hoger dan van de loof- en naaldbossen. De loop van de beekdalen en de beekdalgraslanden zijn niet duidelijk herkenbaar op de resulterende natuurwaardenkaart. Oorzaak hiervan is dat een groot deel niet is doorgerekend, omdat het (nog) in agrarisch gebruik is.

## 4 Discussie

In GREINS2 is aangetoond dat koppeling van ruimtelijke procesmodellen via een achterliggende database een levensvatbaar concept is. Thans wordt dit concept verder uitgewerkt in het 'Modellen Raamwerk Ecologie' (MRE; Van Dobben et al., 2002). Wel zijn in het GREINS2 project de technische problemen aanvankelijk onderschat. Dit leidde er uiteindelijk toe dat alleen een doorrekening kon worden gedaan voor de huidige toestand. Deze onderschatting had met twee factoren te maken: (1) de grootte van de database, en (2) het in de tijd heterogeen worden van de cellen. Het eerste probleem is inmiddels opgelost binnen het MRE project. Het tweede probleem is eigen aan VEG2, en omdat dit model in MRE geen rol meer speelt inmiddels feitelijk niet relevant meer. In MRE wordt de ontwikkeling van de vegetatiestructuur gesimuleerd door SUMO, dat een procesmodel is in plaats van een kennismodel. In SUMO hebben aanpassingen plaatsgevonden die het mogelijk maken met dit model effecten van grootschalige begrazing te simuleren.

### 4.1 Oplossend vermogen

Een belangrijk winstpunt van GREINS2 ten opzichte van GREINS1 is het feit in GREINS2 het oplossend vermogen van de uitvoer wordt bepaald door het oplossend vermogen van de invoer, en niet door het model zelf. Het oplossend vermogen van de invoer legt echter wel belangrijke beperkingen op. Dit is het name het geval voor de bodemkaart. Deze heeft een schaal van 1:50.000, hetgeen betekent dat het kleinst waarneembare detail (ca. 5 mm op de kaart) in het veld een grootte heeft van ca. 250 m. Het oplossend vermogen van de bodemkaart is dus klein in vergelijking tot de mate van ruimtelijk detail die GREINS2 toelaat (25 m). Om schijnnaauwkeurigheid te vermijden moet de uitvoer van GREINS2 dus ook weer tot de schaal van de bodemkaart worden gegeneraliseerd.

Voor de overige ruimtelijke invoergegevens zijn de beperkingen minder groot. De afstand tussen de knooppunten van SIMGRO is op de plaatsen waar de sterkste gradiënten zijn te verwachten (de beekdalen) 100 m. Een verdere verfijning is in principe mogelijk door een neerschalingprocedure waarbij de maaiveldhoogte wordt verkregen uit het AHN bestand. Dit bestand, dat verkregen wordt door laseraltimetrie, heeft een oplossend vermogen van 25 m. Omdat dit echter nog niet beschikbaar was kon daarvan in GREINS2 nog geen gebruik gemaakt worden. Voor de vegetatiestructuur zijn gegevens met een oplossend vermogen van 25 m beschikbaar, althans voor zover deze uit LGN3 komen. Alleen de gegevens uit de vierde bosstatistiek hebben een oplossend vermogen van 500 m, maar deze zijn slechts gebruikt voor het onderscheid tussen licht en donker naaldbos.

Omdat het eindresultaat van GREINS een kaart van natuurwaarde is, dient hier ook aandacht besteed te worden aan de ruimtelijke verdeling van natuurwaarden. De praktijk wijst uit dat hoge natuurwaarden vaak beperkt zijn tot kleine gebiedjes met

enigszins afwijkende abiotische omstandigheden. De kans is groot dat deze gebiedjes met de huidige invoer van GREINS2 worden 'weggegeneraliseerd'. De oorzaak hiervan is vooral gelegen in het feit dat de kaartvlakken op de bodemkaart een gegeneraliseerd beeld geven van wat te velde een heterogeen patroon kan zijn. In het algemeen kan gesteld worden dat kaartvlakken op de bodemkaart tot ca. 30% zogenaamde kaartonzuiverheid bevatten. Zonder het specifiek invoeren van dergelijke, van het globale patroon afwijkende situaties, zal dit probleem altijd doorwerken in de uitvoer van GREINS. Aan zo'n expliciete invoer zou bijvoorbeeld gedacht kunnen worden bij kleine vennetjes, of in andere gevallen waarin het voorkomen van bijzondere situaties bekend is, maar niet op de bodemkaart tot uiting komt.

Het ruimtelijk oplossend vermogen van het model zelf wordt in GREINS2 bepaald door het oplossend vermogen van de afzonderlijke deelmodellen. Omdat SMART2, VEG2 en NTM puntmodellen zonder ruimtelijke interactie zijn, wordt het oplossend vermogen voor die modellen slechts beperkt door grootte en aantal van de cellen, in feite dus door de fysieke beperkingen van het computersysteem. Voor SIMGRO legt het model zelf wel beperkingen op aan de mate van ruimtelijk detail. Dit is in het kader van GREINS niet onderzocht, maar in een ander project bleek dat in Hilver (met een gedetailleerdere schematisering en andere geohydrologische data voor de bovenste pakketten) zeer lokale, sterk afwijkende hydrologische situaties goed door het model worden gesimuleerd (Van der Bolt en Runhaar, 1999). Het ruimtelijk onderscheidend vermogen van SIMGRO lijkt daarom groot genoeg om qua waterhuishouding afwijkende, ecologisch interessante locaties te kunnen onderscheiden.

## 4.2 Betrouwbaarheid

Naar de betrouwbaarheid van modeluitspraken is binnen het GREINS2 project geen onderzoek verricht. Formeel zijn er op dit vlak dus geen uitspraken mogelijk. De vraag is echter gerechtvaardigd of het koppelen van modellen niet zal leiden tot een onaanvaardbare opeenstapeling van fouten. Naar deze vraag is in 1999 buiten GREINS onderzoek verricht, deels aan modellen die ook binnen GREINS een rol spelen. Enkele van de resultaten van dit onderzoek zullen hieronder worden samengevat, en de consequenties voor GREINS aangegeven.

Om een uitspraak te kunnen doen over betrouwbaarheid van modellen zijn twee typen analyse noodzakelijk:

- validatie: het confronteren van modeluitspraken met waarnemingen;
- onzekerheidsanalyse: het vaststellen hoe de onzekerheid in invoer- en parameterwaarden doorwerkt in onzekerheid in de uitvoer.

Er is in 1999 een validatie uitgevoerd voor de keten SMART-SUMO-MOVE (Wamelink et al., 2001), en een onzekerheidsanalyse voor de keten SMART-SUMO-NTM. (Schouwenberg et al., 2000). Hoewel het model SUMO geen deel uitmaakt van GREINS (SUMO is een procesmodel dat de kennistabellen uit VEG2 vervangt), geven deze analyses toch enig inzicht in de betrouwbaarheid van GREINS.

### 4.2.1 Validatie

Bij het valideren van een voorspellend model doet zich het principiële probleem voor dat van de toekomst nog geen feitelijke gegevens beschikbaar zijn. Validatie kan dus alleen plaatsvinden door met historische gegevens de huidige situatie te voorspellen. Omdat zulke historische gegevens beperkt beschikbaar zijn kan validatie in het algemeen slechts voor een beperkt aantal situaties plaatsvinden. Voor de keten SMART-SUMO-MOVE heeft deze validatie plaatsgevonden voor enkele sites op de Veluwe en in Groningen, en -op globalere wijze- voor bos en heide op de Veluwe, en op landelijk niveau (Wamelink et al., 2001). Uit deze studie bleek dat de keten SMART-SUMO in staat is een aantal sleutelparameters van het bodemvegetatiesysteem (pH, gehalte aan organische stof, biomassa, etc.) met een redelijke betrouwbaarheid te voorspellen. De betrouwbaarheid van de voorspellingen op het niveau van soorten (met het model MOVE) bleek echter gering. De slechte prestatie van de modelketen op het niveau van soorten kan twee oorzaken hebben: (1) een onjuiste schatting van de respons per soort in Ellenberg eenheden, of (2) onnauwkeurigheden in de vertaling van fysische meetgrootheden naar Ellenberg eenheden.

Hoewel strikt genomen deze resultaten niet van toepassing zijn op GREINS is er wel reden om aan te nemen dat hier een vergelijkbare situatie geldt. De hogere zandgronden uit het Beerze-Reusel gebied zijn vergelijkbaar met die van de Veluwe. De calibratie van SUMO is voor een deel met dezelfde gegevens uitgevoerd als die van VEG, en dus zijn de resultaten enigszins vergelijkbaar. En tenslotte is NTM3 dat onderdeel is van GREINS, in een aantal opzichten vergelijkbaar met MOVE. Beide zijn vegetatiemodellen die invoer gebruiken in termen van Ellenberg waarden, en die zijn gecalibreerd op dezelfde set van vegetatieopnamen. Echter, omdat NTM3 geen uitspraken doet op het niveau van soorten is de betrouwbaarheid waarschijnlijk wel groter dan van MOVE.

### 4.2.2 Onzekerheidsanalyse

Bij onzekerheidsanalyse dient rekening gehouden te worden met drie typen onzekerheid, veroorzaakt door onzekerheid in resp. (1) de invoergegevens, (2) de modelparameters, en (3) de procesbeschrijvingen in het model (de 'intrinsieke onzekerheid'). Uit een in 1999 uitgevoerde analyse voor de keten SMART-SUMO-NTM kwamen twee belangrijke bronnen van onzekerheid naar voren: de intrinsieke onzekerheid van NTM, en de onzekerheid in de parameters van de vertaalfuncties van fysische meetgrootheden naar Ellenbergwaarden (Schouwenberg et al., 2000). Dat de intrinsieke onzekerheid van NTM3 groot blijkt te zijn wordt vooral veroorzaakt door het feit dat NTM3 een statisch model is dat berust op regressievergelijkingen. Hierdoor is er direct zicht op de onzekerheid in de uitvoer gegeven een bepaalde invoer. Bij procesmodellen als SMART2 is deze intrinsieke onzekerheid gelegen in onjuistheden of weglatingen in procesbeschrijvingen, en hierop bestaat geen direct zicht. De resultaten van de validatie wijzen er echter op dat de intrinsieke modelonzekerheid van SMART2 binnen acceptabele grenzen ligt.

### 4.3 Conclusies

GREINS2 blijkt in staat voor de huidige situatie ruimtelijke beelden te genereren van potentiële botanische biodiversiteit. Hoewel binnen het huidige project geen scenario-berekeningen zijn uitgevoerd is GREINS2 geschikt om hiervoor te worden gebruikt. De gebruikte schematisering (raster van 25 m) is zodanig dat de invoergegevens, en niet het model zelf, beperkend zijn voor de mate van detail in de uitvoer. Ook lokale afwijkende situaties kunnen worden doorgerekend, mits invoergegevens hiervoor beschikbaar zijn. Mogelijk moeten daartoe ecologisch bijzondere locaties expliciet in het model worden ingevoerd.

Validatie en onzekerheidsanalyse op gekoppelde modellen, uitgevoerd buiten het GREINS2 project, hebben geen aanwijzingen opgeleverd dat het gebruik van gekoppelde modellen zal leiden tot een onacceptabele opeenstapeling van onzekerheden. Dit geldt temeer daar modellen als GREINS vooral ingezet worden voor scenariostudies. Hierbij gaat het niet om absolute uitkomsten, maar om de vergelijking van scenario's. Fouten in de uitkomst zijn voor een belangrijk deel het gevolg zijn van fouten in generieke invoer (bodemkaart e.d.) en basale procesformuleringen, en zullen daarom onder verschillende scenario's dezelfde kant op werken. Hierdoor zal de relatieve uitkomst bij vergelijking waarschijnlijk betrouwbaarder zijn dan de absolute uitkomst.

De zwakke punten van een modelbenadering als in GREINS zijn momenteel eerder gelegen in de invoergegevens en modelparameters dan in de procesformuleringen of de technische koppeling van de modellen. Dit betreft voor de ruimtelijke invoer dan vooral de bodemkaart, en voor de parameters vooral de respons per soort op gegeven abiotische omstandigheden. Voor de ruimtelijke invoer zal een oplossing gezocht moeten worden die in de richting gaat van het expliciet invoeren van kleine eenheden met afwijkende abiotische omstandigheden. De abiotische respons per soort kan beter in kaart worden gebracht door (1) het bijeenbrengen en integreren van bestaande gegevens, en (2) gerichte veldwaarnemingen. Hieraan wordt thans in andere projecten gewerkt (Sanders et al., 2000).

### 4.4 Toepassingsmogelijkheden elders

Van de afzonderlijke modellen zijn SMART en NTM landelijk toepasbaar. Voor SMART geldt daarbij nog de beperking dat effecten van bemesting niet kunnen worden gesimuleerd, zodat de toepassing beperkt blijft tot natuurgebieden. De kennistabellen in VEG2 zijn in principe ook landelijk toepasbaar, hoewel in gebieden die sterk verschillen van het huidige (bijvoorbeeld op zeeklei) wel aanpassingen nodig zullen zijn. Bij vervanging van VEG2 door SUMO wordt de generaliseerbaarheid groter. De huidige versie van SUMO is -evenals VEG2- in staat de effecten van begrazing te simuleren, zonder dat hierbij ruimtelijk interactie expliciet is meegenomen. Voor toepassingen elders is waarschijnlijk de benodigde nieuwe parametrisatie en calibratie van SIMGRO de grootste beperking.

## 4.5 Aanbevelingen

- verricht een studie naar de onzekerheid in de invoer en de wijze waarop deze doorwerkt in de uitvoer;
- verzamel meer gegevens met betrekking tot respons per soort op abiotische omstandigheden.
- probeer een koppeling tot stand te brengen met landsdekkende hydrologische modellen





## Literatuur

- Anonymus, 1997. Nationale Milieuverkenning 1997-2020. RIVM, Bilthoven, 261 p.
- Bolt, F.J.E. van der, Runhaar, J., 1999. Ecologische effectvoorspelling met NATLES. Rapport Staring Centrum, reeks Hydrologische systeemanalyse "De Hilver" 6, 47 p.
- Dobben, H.F. van, Van Elswijk, M., Grobben, M.S., Groenendijk, P., Houweling, H., Jansen M.J.W., Mol-Dijkstra, J.P., Otjens, A.J., te Roller, J.A, Schouwenberg, E.P.A.G., Wamelink, G.W.W. 2001. Technische Documentatie Modellen Raamwerk Ecologie: herstructurering van het modelinstrumentarium voor integrale analyse van de ecologische effecten van milieumaatregelen, veranderend landgebruik en waterbeheer op regionale schaal. Rapport Alterra, in prep.
- Eilers, P.H.C., Marx, B.D., 1996. Flexible smoothing with B-splines and penalties. *Statistical Science* 11:89-121.
- Heijmans, M.M.P.D., 1996. NBP-deelprogramma natuurontwikkeling: Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelingsscenario's (GREINS): Floristische natuurwaardering, gerelateerd aan vegetatiestructuurtypen en fysiotooptypen. NBP-onderzoeksrapport 9, 75 p.
- Hertog, A.J., Rijken, M., 1996. Geautomatiseerde bepaling van natuurbehoudswaarde in vegetatie-opnamen. In: *Natuur, achtergronddocument bij de omgevingsplannen*, 53-57. Rapport provincie Gelderland.
- Jaarsveld, H.J.A. van, 1995. Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. Diss. Utrecht, 235 p.
- Kemmers, R.H., Roos, J., Kros, J., 1997. Structuur, methodiek en datamodel van het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS). Rapport Staring Centrum 476, 39 p.
- Kleijer, H., 1993. De kartering van de grondwaterklassenkaart voor de herclassificatie van het Waterschap de Dommel en de Zandleij. Rapport Staring Centrum, 22 p.
- Kros, J., Reinds, G.J., De Vries, W., Latour, J.B., Bollen, M.J.S., 1995. Modelling of soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology. Rapport Staring Centrum / RIVM 95, 90 p.
- Kros, J., Reinds, G.J., Prins, A.H., Van der Bolt, F.J.E., Kemmers, R.H. 2001. Modelling the response of terrestrial ecosystems to changes in vegetation structure, atmospheric deposition and hydrology, Wageningen, Report Winand Staring Center 143.

Liefveld., W.M., Prins, A.H., Van Wirdum, G., 1998. Natuurtechnisch Model (NTM-2) B: kwantificering van de indicatieschalen aan de hand van de modeloutput van SMART2 en SIMGRO. NBP-onderzoeksrapport 15, 161 p.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer, en Visserij., 1990. Natuurbeleidsplan - regeringsbeslissing. 2de kamer vergaderjaar 1989-1990 21 149 nrs 2-3.

Prins, A.H., Joosten, V., Van Wirdum, G., 1996. Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor NatuurontwikkelingsScenario's (GREINS): Vegetatiemodule: GREINS-VEG1. NBP-Onderzoeksrapport 8, 105 p.

Prins, A.H., van Wirdum, G., Liefveld, W.M., 1997. Natuurtechnisch Model (NTM-2) C: Toepassing en vergelijking van de doorgerkende scenario's. NBP onderzoeksrapport 16, 68 p.

Prins, A.H., 1999. GREINS2-VEG2: vegetatiemodule en beheersscenario's voor het stroomgebied van de Beerze en de Reusel (Midden-Brabant). Rapport IBN-DLO 446, 71 p.

RIVM, 1995. Milieubalans 95: het Nederlandse milieu verklaard. Samson, Alphen a/d Rijn.

Sanders, M.E., Van Dobben, H.F., Raterman, B.W., Kros, J, Hendriks, C.M.A. 2000. Op weg naar een kennissysteem natuurgerichte randvoorwaarden. Rapport Alterra 148, 83 p.

Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F., Westhoff, V., 1995. De vegetatie van Nederland I. inleiding tot de plantensociologie: grondslagen, methoden en toepassingen. Opulus Press, Uppsala, 296 p.

Schouwenberg, E.P.A.G., Houweling, H., Jansen, M.J.W., Kros, J., Mol-Dijkstra, J.P. 2000. Uncertainty propagation in model chains: a case study in nature conservancy. Rapport Alterra 001, 90 p.

Schouwenberg, E.P.A.G., Prins, A.H., van Wirdum, G., 1997. Natuurtechnisch Model (NTM-2) A: Formulering en ijking aan floristische natuurwaardering. NBP-onderzoeksrapport 14, 69 p.

Schouwenberg, E.P.A.G. 2002. Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor NatuurontwikkelingsScenario's - Beerze-Reusel: NatuurTechnisch Model (NTM 3.0). Rapport Alterra, in prep.

Teunissen van Manen, T.C., Steur, G.G.L., Heijink, W., 1985. Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij de kaartbladen 50 Oost Tilburg en 51 West Eindhoven. Stiboka, Wageningen.

Tietema, A., 1992. Nitrogen cycling and soil acidification in forest ecosystems. Diss Amsterdam, 140 p.

Veldhuizen, A.A., Poelman, A., Stuyt, L.C.P.M., 1998. Software documentation for SIMGRO V3.0: regional water management simulator. Technical Document Winand Staring Centre 50, 289 p.

Verburg, P., 1999. Invulling van de EHS in het stroomgebied van de Beerze en de Reusel. stageverslag IAHL / IBN-DLO.

Wamelink, G.W.W., van Oene, H., Mol-Dijkstra, J.P., Kros, J., van Dobben, H.F., Berendse, F. 2001. Validatie van de modellen SMART2, SMART2-SUMO 1, NUCOM en MOVE op site, regionaal en nationaal niveau. Rapport Alterra 065, 120 p.

