

32/446(476) 2^{de}

**Structuur, methodiek en datamodel van het Geïntegreerd
Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor
Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS)**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**R.H. Kemmers
J. Roos
J. Kros
F.J.E. van der Bolt**

Rapport 476

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997



- 7 APR. 1997

in g35-763

REFERAAT

R.H. Kemmers, J. Roos, J. Kros, F.J.E. van der Bolt, 1997. *Structuur, methodiek en datamodel van het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS)*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 476. 40 blz.; 2 fig.; 26 ref.

Het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-instrumentarium voor Natuurontwikkelingsscenario's is gebaseerd op een samenhangende structuur van modellen die met elkaar communiceren via een database die is gekoppeld aan een geografisch informatiesysteem. De structuur, de methodiek en de werking van het datamodel worden beschreven. De modellen simuleren de regionale waterhuishouding, de zuur- en nutriëntenhuishouding en de vegetatieontwikkeling. Rekenresultaten worden weggeschreven naar het datamodel. Via het datamodel worden scenario's gegenereerd voor atmosferische depositie, regionale waterhuishouding en natuurontwikkeling. De scenario's worden geëvalueerd op kansrijkdom met een natuurtechnisch model dat natuurwaarden berekent. Rekenresultaten kunnen worden gepresenteerd op kaarten.

Trefwoorden: hydrologie, milieu, natuurontwikkeling, vegetatie, waterhuishouding

ISSN 0927-4499

Tevens verschenen als NBP-onderzoeksrapport 10

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 517

[Rap476.HM02.97]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 De structuur van het GREINS	15
2.1 Scenario's	15
2.1.1 Ruimtelijk integrale scenario's	15
2.1.2 Milieuscenario's	16
2.1.3 Hydrologische scenario's	16
2.1.4 Beheerscenario's	16
2.2 Relevante processen en modellen	17
2.2.1 Waterhuishouding	17
2.2.2 Nutriënten- en zuurhuishouding	19
2.2.3 Vegetatie-ontwikkeling	20
2.3 Ruimtelijke schematisatie	20
2.3.1 Ecosysteemconcept	20
2.3.2 Ruimtelijke schaal	21
3 Methodiek van het GREINS	23
3.1 Fysiotopenkaart	23
3.2 Natuurdoeltypenkaart	23
3.3 Vegetatiestructuurontwikkeling	25
3.4 Hydrologisch model	25
3.5 Standplaatsmodel	26
3.6 Ecotopen	26
3.7 Natuurwaardering	26
4 Het datamodel van het GREINS	27
4.1 Het GIS	27
4.2 De relationele database	30
4.2.1 Algemeen	31
4.2.2 Aansturing scenario's	31
4.2.3 Vegetatie-ontwikkelingsmodel	31
4.2.4 Scenario-resultaten voor vegetatie-ontwikkeling	32
4.2.5 Resultaten hydrologisch model	33
4.2.6 Resultaten standplaatsmodel	33
4.2.7 Resultaten natuurtechnisch model	34
5 Discussie	35
Literatuur	37

Woord vooraf

Op 6 november 1992 en 23 juli 1993 heeft de toenmalige Directie Wetenschap en Technologie van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij aan de Dienst Landbouwkundig Onderzoek opdracht verleend tot het uitvoeren van het verdiepend onderzoek naar de mogelijkheden van natuurontwikkeling. Dit onderzoek vindt plaats in het kader van het deelprogramma natuurontwikkeling, dat wordt uitgevoerd ten behoeve van de realisatie van het Natuurbeleidsplan.

De Drentse Aa vormt het proefgebied van het verdiepend onderzoek. De abiotische uitgangssituatie van het gebied wordt gekarakteriseerd op basis van een indeling in fysiotopen. Met behulp van (regionale) hydrologische modellen en modellering van abiotische en biotische processen op standplaatsniveau worden effecten van enkele inrichtings- en beheersvarianten op de landschapsontwikkeling beschreven. Deze modellen en de bijbehorende geografische informatiesystemen vormen tezamen het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS).

Een belangrijk basis voor het GREINS wordt gevormd door een samenhangende structuur voor de modellen in combinatie met een database die gekoppeld is aan een GIS. Zij vormen de bouwstenen van een datamodel waarmee natuurontwikkelings-scenario's kunnen worden gegenereerd en geëvalueerd.

DLO-Staring Centrum was verantwoordelijk voor het ontwerp en de realisatie van de structuur en het datamodel van het GREINS.

Samenvatting

Ter ondersteuning van het Natuurbeleidsplan (NBP) werd in het DLO-onderzoeksprogramma 'Natuurontwikkeling' een aantal verkennende studies verricht naar mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Bij deze verkenningen werd de behoefte gesignaleerd aan een algemeen bruikbare methode om op regionale schaal scenario's voor natuurontwikkeling te genereren en te evalueren afhankelijk van andere vormen van landgebruik en milieu-omstandigheden. De methode diende prioritair ontwikkeld te worden voor het beekdallandschap.

De verdiepende fase van het onderzoeksprogramma 'Natuurontwikkeling' heeft tot doel een instrument te ontwikkelen dat in staat is in ruimtelijke scenario's een evaluatie op te nemen van de kansrijkdom voor natuurontwikkeling op basis van standplaatsfactoren, vegetatie-eigenschappen en natuurwaarden, die met ecosysteemmodellen zijn berekend. Het instrument is in een methodische studie ontwikkeld via programmatische samenwerking tussen IBN-DLO en SC-DLO. Hiertoe werd in een vroeg stadium een project geformuleerd om de structuur te ontwerpen waarin de relaties tussen de verschillende modellen in samenhang met geografische componenten zijn verdisconteerd. Dit rapport vormt de rapportage van dit project.

De ecosysteemmodellen simuleren de ontwikkeling van de vegetatie in relatie tot de vocht-, nutriënten- en zuurhuishouding op lokale schaal over een tijdspanne van 100 jaar als functie van beheersscenario's en scenario's voor water- en milieubeleid op regionale schaal. De invoer- en uitvoergegevens van de modellen zijn ondergebracht in een centrale database, die gekoppeld is aan een geografisch informatiesysteem (GIS). De database wordt aangestuurd door een datamodel waarmee de scenario's worden gegenereerd en waarvan de resultaten via het GIS kunnen worden gepresenteerd. Deze benadering heeft als consequentie dat de ruimtelijke schematisaties van de verschillende modellen eenduidig op elkaar afgestemd moeten zijn en dat de structuur van de database moet aansluiten bij de gemeenschappelijk benodigde invoer- en uitvoergegevens van de verschillende modellen. Het datamodel verzorgt de communicatie tussen de benodigde invoer- en uitvoergegevens van de modellen.

Bij het ontwerp van de structuur van het GREINS (Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings Scenario's) hebben drie overwegingen een rol gespeeld: type scenario's, te beschouwen processen en modellen, en de ruimtelijke schematisatie.

Het instrument kan zowel ruimtelijke scenario's met integratie van verschillende sectorale vormen van ruimtegebruik, scenario's voor verzurende en vermestende stoffen en scenario's voor regionaal waterbeheer genereren en effecten evalueren op natuurwaarden. Daarnaast zijn verschillende scenario's voor natuurbeheer mogelijk waardoor de vegetatiestructuurontwikkeling wordt aangestuurd.

De gebruikte ecosysteemmodellen bestaan uit een kennismodel voor de vegetatiestructuur-ontwikkeling, een regionaal hydrologisch model, een deterministisch

standplaatsmodel gebaseerd op processimulaties van de lokale nutriënten- en zuurhuishouding en een natuurtechnisch model, waarmee effecten geëvalueerd kunnen worden op natuurwaarde. Via koppeling aan het regionale hydrologische model kunnen standplaatsmodellen gevoed worden met hydrologische variabelen die nodig zijn voor de processimulatie van de nutriënten- en zuurhuishouding. Via het regionale hydrologische model kunnen scenario's voor de waterhuishouding worden doorgerekend. De standplaatsmodellen nemen depositiescenario's in beschouwing en berekenen standplaatsfactoren in afhankelijkheid van bodemeigenschappen en de strooiselproductie van de zich ontwikkelende vegetatie. De biomassa van de vegetatie en de strooiselproductie zijn in een kennistabel vastgelegd en worden als invoergegeven gebruikt van het standplaatsmodel. De berekende standplaatsfactoren zijn bepalend voor de natuurwaarde (kwaliteit) van de vegetatie. De natuurwaarde wordt met het natuurtechnisch model bepaald.

De ruimtelijke structuur van het GREINS is gebaseerd op een fysiotopectypologie voor beekdallandschappen. Fysiotopectypen zijn kaartvlakken die homogeen zijn ten aanzien van bepaalde combinaties van de onafhankelijke ecosysteefactoren moedermateriaal, drainage basis en basenrijkdom van het grondwater. Door een overlay met de hydrologische eenheden waarmee het regionale hydrologische model rekent, ontstaan hyfy's. Hyfy's vormen in het GREINS de basale ruimtelijke rekeneenheid. Standplaatsfactoren (nutriëntentoestand, basentoestand, vochttoestand) die als gevolg van de vegetatieontwikkeling veranderen in de tijd worden berekend met het standplaatsmodel. Deze veranderlijke standplaatsfactoren zijn in combinatie met de vegetatiestructuur kenmerkend voor een ecotoop. De natuurwaardebepaling vindt plaats aan de hand van ecotoopkenmerken.

De methodiek van het GREINS bestaat uit een zevental stappen:

- 1 Opstellen van een fysiotopectypologie en -kaart.
- 2 Opstellen van een natuurdoeltypentypologie en -kaart.
- 3 Implementatie van een regionaal hydrologisch model.
- 4 Ontwikkelen van een model voor ontwikkelingsreeksen van de vegetatiestructuur.
- 5 De implementatie van een standplaatsmodel.
- 6 Het genereren van ecotopten.
- 7 Natuurwaardering van ecotopten.

Om de methodiek van het GREINS operationeel te maken is een datamodel ontwikkeld, waarmee de communicatie tussen de modellen via SQL-commando's wordt geregeld en de invoer en uitvoer van de modellen systematisch wordt vastgelegd. Het datamodel is geïmplementeerd in een relationele database (ORACLE), die gekoppeld is aan een GIS (ARC/INFO).

In het GIS is de geografische informatie van de hyfy's opgeslagen (polygonen), met als belangrijkste attribuut: 'het hyfynummer'. Dit nummer identificeert elke onderscheiden ruimtelijke eenheid en fungeert tevens als belangrijkste sleutel in de meeste tabellen van de database. Het hyfynummer is dus de verbindende schakel tussen het GIS en de relationele database. Voor de uitgangssituatie worden in het GIS per hyfy gegevens aangemaakt van het fysiotooptype en het vegetatiestructuurtype. Ruimtelijke scenario's voor natuurontwikkeling worden in het GIS

opgenomen door aan de natuurdoeltypenkaart een code te koppelen voor de beheersreeks die de vegetatieontwikkeling stuurt. In deze fase kunnen ook specifieke inrichtingsmaatregelen (plaggen, evt. hydrologische maatregel) in het GIS met een code worden aangegeven. De GIS-gegevens worden overgeheveld naar de relationele database. Omgekeerd worden ook de resultaten van de modelberekeningen weer naar het GIS gehaald.

Er is gekozen voor een relationele database, omdat de benodigde gegevens op alle mogelijke manieren met elkaar gecombineerd moeten kunnen worden. De feitelijke database bestaat uit zeven clusters van tabellen met informatie over:

- 1 administratieve gegevens,
- 2 aansturing scenario's,
- 3 vegetatie-ontwikkelingsmodel,
- 4 scenario-resultaten voor vegetatieontwikkeling,
- 5 resultaten hydrologisch model,
- 6 resultaten standplaatsmodel en,
- 7 resultaten natuurtechnisch model.

Alle resultaattabellen bevatten gegevens over de uitgangssituatie op $t=0$ (referentie) en de situatie na 10, 30 en 100 jaar. De natuurwaarden zijn het eindresultaat van het GREINS. In principe kan elk type resultaat naar het GIS worden overgeheveld om een kaart te presenteren.

1 Inleiding

Aanleiding

In de eerste fase van het DLO-onderzoeksprogramma 'Natuurontwikkeling' zijn de mogelijkheden voor natuurontwikkeling verkend in vier verschillende landschapstypen (Prins, 1993; Rademakers, 1993; Van der Hoek & Higler, 1993; Vertegaal et al., 1993). Daarbij is de behoefte gesignaleerd aan een algemeen bruikbare methode om op regionale schaal de mogelijkheden van natuurontwikkeling te verkennen afhankelijk van andere vormen van landgebruik en milieu-omstandigheden. Gegeven de complexiteit van deze problematiek voor de beekdalen is ervoor gekozen in de verdiepende fase van het onderzoeksprogramma deze methode prioritair te ontwikkelen voor dit landschapstype (DLO & RUG, 1992).

De te ontwikkelen methode diende een instrument op te leveren dat een hulpmiddel is bij het identificeren van natuurdoelen, randvoorwaarden en kansrijke gebieden op grond van ecologische kenmerken en bij het opstellen van inrichtings- en beheersrichtlijnen voor natuurontwikkeling bij verschillende scenario's van klimatologische, atmosferische en waterhuishoudkundige beïnvloeding (DLO & RUG, 1993). Gekozen werd voor een modelmatige aanpak op een regionaal schaalniveau met aandacht voor zowel het naasthogere als het naastlagere schaalniveau en een tijdspanne van tenminste 50 jaar. Het verkrijgen van inzicht in onderliggende processen werd belangrijker geacht dan toepassing van de resultaten in concrete projecten. Als studiegebied werd het stroomgebied van de Drentse Aa gekozen.

Probleemstelling

Scenario's voor natuurontwikkeling brengen het resultaat van alternatieve ontwikkelingsmogelijkheden voor natuur in beeld vanuit een actuele situatie. De alternatieven kunnen tot stand komen door denkbeeldige maar realistische ontwikkelingen in de maatschappij of meer concreet het gevolg zijn van verschillende beleidsvoornemens. Meestal bestaan er nog keuzevrijheden voor natuurdoelen en -allocaties. Het zijn globale verkenningen die de beleidsruimte voor natuurontwikkeling op regionale schaal aftasten via een doorgaans cyclisch ontwerpproces (Harms et al., 1991; Harms & Roos-Klein Lankhorst, 1994). Modellen die tot nu toe gebruikt zijn voor scenario-onderzoek zijn gebaseerd op kennis (knowledge-based) geordend in matrixstructuren, die door een datamodel worden aangestuurd en gekoppeld zijn aan een geografisch informatiesysteem (GIS). Zij zijn daardoor flexibel, maar tevens globaal van aard en eerder op te vatten als een planningsinstrument voor ruimtelijke ordening dan een accuraat hulpmiddel om effecten van beheersmaatregelen te voorspellen. De evaluatie van scenario-uitkomsten aan de hand van abiotische randvoorwaarden, vegetatie-kenmerken en daaraan te ontleenen natuurwaarden is tot nu toe echter nauwelijks mogelijk.

Doelstelling

Met het te ontwikkelen instrument (Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's: GREINS) wordt beoogd een stap verder te gaan en een evaluatiemethode te ontwikkelen van de kansrijkdom voor natuurontwikkeling op basis van standplaatsfactoren, vegetatie-eigenschappen en natuurwaarden, die met ecosysteemmodellen zijn berekend. Hiertoe moeten regionale analyses doorvertaald kunnen worden naar lokale schaal. Doel van het onderzoek waar dit rapport het verslag van vormt, was de consequenties van de gekozen methodiek te vertalen naar de ruimtelijke schematisatie en naar de structuur van de database, die het communicatiemedium vormt tussen de te gebruiken modellen. De ruimtelijke schematisatie moet consistent zijn, zodat de verschillende regionale en lokale modellen goed op elkaar aansluiten.

Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de modules van het GREINS, hun onderlinge samenhang, de structuur van de database waarin rekenresultaten van de modules worden opgeslagen en het datamodel dat is ontworpen, waarmee de database kan worden aangestuurd en waarmee resultaten van scenario's via het GIS kunnen worden gepresenteerd.

Na de inleiding gaat hoofdstuk 2 in op een aantal aspecten die bij het ontwerp van het GREINS een rol hebben gespeeld. In het kort wordt beschreven welk type scenario's in de studie zijn onderscheiden. Daarna worden de relevante processen in beschouwing genomen en de modellen besproken waarmee deze processen worden gesimuleerd. Tenslotte wordt behandeld hoe de ruimtelijke schematisatie tot stand is gekomen. Hoofdstuk 3 beschrijft de methodiek van het GREINS, waarbij de relaties tussen de modules, hun geografische componenten en de database worden aangegeven. Hoofdstuk 4 gaat in op de werking van het datamodel in relatie tot het GIS. Het datamodel vormt het centrale communicatiemedium tussen de modellen. In het laatste hoofdstuk (5) worden enkele aspecten van het GREINS ter discussie gesteld.

2 De structuur van het GREINS

Het GREINS is gebaseerd op de koppeling van een regionaal hydrologisch model, een deterministisch standplaatsmodel, een kennismodel voor de vegetatieontwikkeling en een natuurtechnisch model voor de evaluatie van natuurwaarden. Voor de interactie tussen de modellen en het genereren van scenario's zijn de invoer- en uitvoergegevens van de modellen ondergebracht in een centrale database, die gekoppeld is aan een GIS. Deze database kan worden aangestuurd door een datamodel, waarmee scenario's kunnen worden gegenereerd. Via het datamodel vindt communicatie plaats tussen de modellen. In dit hoofdstuk worden de drie uitgangspunten besproken die bij het ontwerpen van de structuur een rol hebben gespeeld:

- type scenario's,
- te beschouwen processen en modellen,
- ruimtelijke schematisatie.

2.1 Scenario's

Bij verkenningen van kansrijkdom voor natuurontwikkeling spelen naast veranderende milieuvoorwaarden ook maatschappelijke ontwikkelingen in andere vormen van landgebruik een belangrijke rol. Ook kunnen op een zelfde plek via alternatieve vormen van natuurbeheer verschillende natuurdoeltypen tot ontwikkeling komen.

2.1.1 Ruimtelijk integrale scenario's

Door concepten te ontwikkelen met verschillende natuurdoelen als uitgangspunt kan afhankelijk van gekozen alternatieven in maatschappelijke ontwikkelingen via een cyclisch proces gezocht worden naar kansrijke locaties voor natuurontwikkeling (Harms et al., 1991). Het te ontwikkelen instrument diende in principe geschikt te zijn voor de evaluatie van dergelijke zogenaamde ruimtelijk integrale scenario's (Kemmers, 1995).

Aan de basis van ruimtelijk integrale scenario's staan landschapsplannen waarin verschillende visies voor de ontwikkeling van een gebied zijn uitgewerkt in kaartbeelden. Aan het ruimtelijk integrale aspect is slechts beperkt aandacht besteed door gebruik te maken van de door de provincie Drente ontwikkelde gebiedsvisie (Meeuwissen et al., 1995). In de gebiedsvisie voor de Drentse Aa liggen locaties voor natuurontwikkeling reeds vast. Op hoofdlijnen zijn daarin ook de natuurdoeltypen opgenomen conform het handboek Natuurdoeltypen (Bal et al., 1995). De keuzevrijheid voor de methodiek blijft hierdoor beperkt tot variatie in gekozen natuurdoeltypen via aanpassing van beheer.

In het ruimtelijk scenario wordt uitgegaan van 'het streefbeeld voor de lange termijn' uit de gebiedsvisie. Hierin spelen zowel begeleid-natuurlijke, halfnatuurlijke als multifunctionele natuurdoeltypen een rol. Er is vanuit gegaan dat onmiddellijk bij het begin van de scenario-berekening alle beoogde gebieden voor natuurontwikkeling zijn aangekocht, eventuele bouwvoorverwijdering plaatvindt en het gedefinieerde beheer wordt uitgevoerd.

2.1.2 Milieuscenario's

Milieuomstandigheden zijn slechts tendele te beïnvloeden via het lokale terreinbeheer. Via inrichtingsmaatregelen kunnen bijvoorbeeld hydrologische randvoorwaarden geschikt worden gemaakt voor bepaalde natuurdoeltypen. Daarnaast zijn lokale milieuomstandigheden afhankelijk van regionaal waterbeheer (o.a. drinkwaterwinning) en atmosferische depositie van verzurende en eutrofiërende stoffen. Om maatschappelijke ontwikkelingen (vernattingsbeleid, terugdringen depositieniveaus) te kunnen evalueren, worden een aantal scenario's met maatregelen voor het generieke water- en milieubeleid in beschouwing genomen.

Het ruimtelijke scenario zal worden doorgerekend bij een stikstofdepositieniveau dat overeenkomt met Milieuverkenning 3 'Europese renaissance' tot het jaar 2010 en daarna twee alternatieven:

- constant niveau of,
- lineaire afname tot het generieke kritische depositieniveau in 2050.

2.1.3 Hydrologische scenario's

Het anti-verdrogingsbeleid wordt in het ruimtelijk scenario betrokken door:

- voortzetting van het huidig waterbeheer of,
- een ruimtelijk niet-gedifferentieerde peilverhoging van 20 cm.

Een meer realistisch scenario met een 'optimaal' waterbeheer, gebaseerd op de gewenste hydrologische situatie per natuurdoeltype, kon binnen het project nog niet worden gerealiseerd.

2.1.4 Beheerscenario's

Gewenste ontwikkelingen in de vegetatie in de richting van de natuurdoeltypen worden gestuurd via beheerscenario's. Binnen elk beheerscenario wordt een ontwikkelingsreeks van vegetatiestructuurtypen onderscheiden. Er worden vier beheerscenario's onderscheiden (Prins, 1995), die overeenkomen met de vier hoofdgroepen in het natuurbeleid (Bal et al., 1995).

2.2 Relevante processen en modellen

Bij de ontwikkeling van het evaluatie-instrument is gekozen voor simulatiemodellen die gebaseerd zijn op procesformuleringen voor de waterhuishouding, de nutriëntenhuishouding en de zuurhuishouding en op de betekenis daarvan voor de kwaliteit van de standplaats en de vegetatie (Steenvoorden et al., 1992). Voor de modellering van de vegetatie-ontwikkeling wordt uitgegaan van een kennismodel (Prins, 1995 en Prins et al., 1996).

2.2.1 Waterhuishouding

Voor ruimtelijk integrale verkenningen voor natuurontwikkeling is de ruimtelijke samenhang van het landschap via het grondwater een essentieel aspect. Gekozen is voor de inzet van het regionale hydrologisch model SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989; Van der Bolt, in voorb. 1997). SIMGRO is een niet-stationair pseudo-3D-model, waarin de verzadigde zone, de onverzadigde zone, het oppervlaktewatersysteem en het bodem-water-plant-systeem interactief zijn gekoppeld. Met het model kan de onderlinge beïnvloeding van deelgebieden met verschillend landgebruik of met verschillende doelstellingen voor het waterbeheer worden gesimuleerd.

Systeemeigenschappen

Om een dergelijk complex geheel adequaat te kunnen beschrijven zijn de deelsystemen relatief eenvoudig beschreven. Het te beschrijven gebied moet worden geschematiseerd naar ruimtelijk gepositioneerde rekeneenheden. De ondergrond wordt onderverdeeld in een sequentie van watervoerende en scheidende lagen (verticale schematisatie). In horizontale richting worden knooppunten met een invloedsoppervlak onderscheiden om het grondwatersysteem te beschrijven. Het bodem-water-plant-systeem en het oppervlaktewatersysteem wordt geschematiseerd tot deelgebieden die bestaan uit een verzameling van aangrenzende knooppunten. De deelgebieden worden verkregen door aggregatie op basis van eigenschappen die voor een regionale hydrologische studie belangrijk zijn:

- afwateringseenheden,
- grondwatertrap,
- bodem(fysische)eenheden,
- grondgebruik.

Voor de integrale simulatie van de waterhuishouding zijn veel ruimtelijk gebonden gebiedsgegevens nodig. Deze zijn direct afkomstig of afgeleid uit:

- geohydrologische kaarten,
- grondgebruikskaarten,
- de bodemkaart,
- de grondwatertrappenkaart,
- de hoogtepuntenkaart,
- waterlopenkaart.

Met behulp van vertaalslagen (transferfuncties) zijn waarden toegekend voor:

- bodemfysische eenheden,
- drainageweerstanden,
- afvoerrelaties,
- fysiotoopcode.

Invoer en uitvoer

De belangrijkste invoervariabelen betreffen gegevens van neerslag en verdamping in afhankelijkheid van vegetatiestructuur.

Als uitvoer berekent SIMGRO de potentialen en de fluxen per knooppunt per tijdstap voor het grondwatersysteem. SIMGRO rekent met tijdstappen van een dag. Voor het oppervlaktewatersysteem worden kleinere tijdstappen gebruikt. De waterbalanstermen van de wortelzone worden per dag per deelgebied berekend. De waterbalanstermen van het oppervlaktewatersysteem worden op dagbasis bijgehouden.

Het standplaatsmodel wordt gevoed met hydrologische variabelen afkomstig van regionaal hydrologische model om daarmee de nutriënten- en zuurhuishouding te kunnen simuleren. Voor de koppeling met SMART zijn de gemiddelde grondwaterstand en de neerslag, de transpiratie (per vegetatiestructuurtype), de wegzijging over de onderkant van de wortelzone, de opwaartse flux over de onderrand van de wortelzone, en het gemiddelde vochtgehalte in de wortelzone op jaarbasis naar het datamodel weggeschreven. Voor het Natuurtechnisch model worden de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) weggeschreven naar het datamodel evenals het absolute en het procentuele vochttekort in een 10% droog jaar.

Waterkwaliteit en stoftransport

Voor simulatie van de waterkwaliteit tijdens grondwaterstroming in termen van concentraties van macro-ionen is gekozen voor vaste onderrandvoorwaarden voor het standplaatsmodel. Deze randvoorwaarden zijn afgeleid uit geografische informatie die werd verkregen uit een ecohydrologische systeemanalyse (Kemmers en Van der Bolt, 1997). Door koppeling van deze vaste onderrandvoorwaarden aan de onderkant van de wortelzone in het standplaatsmodel kan de aanvoer van basen variëren als functie van de door het hydrologische model berekende kwelflux. De uit geografische informatie afgeleide variabelen voor de waterkwaliteit zijn geverifieerd via analyse van watermonsters die steekproefsgewijs werden verzameld per deelgebied (Klap et al. (in voorb., 1997)

Bij modellering van de regionale waterhuishouding is afgezien van de simulatie van stoftransport, zodat effecten van bemesting, uitspoeling en transport van stoffen als stikstof niet kunnen worden geëvalueerd.

2.2.2 Nutriënten- en zuurhuishouding

Voor het voorspellen van effecten van atmosferische depositie op Europese schaal is het model SMART ontwikkeld (De Vries et al., 1989; De Vries en Kros, 1991). Dit eendimensionale bodemverzuringmodel is voor GREINS aangepast aan natte omstandigheden door integratie van een hydrologische module en voorzien van een eenvoudige procesformulering voor de nutriëntencyclus in een eenlagig bodemsysteem (de wortelzone) en rekent met tijdstappen van een jaar (SMART2; Kros et al., 1995). SMART2 gaat uit van een onveranderlijk vegetatie. Voor GREINS is het model voorzien van een veranderlijke vegetatie door koppeling met een vegetatie-ontwikkelingsmodel. Tijdens de vegetatieontwikkeling verandert de strooiselproductie, de netto groei en de daaraan gerelateerde nutriëntenopname in afhankelijkheid van de vegetatiestructuur. De strooiselproductie en de biomassa worden op discrete tijdstappen die gekoppeld zijn aan het ontwikkelingsstadium van de vegetatie, opgelegd aan het standplaatsmodel (forcing function). De belangrijkste uitvoergegevens van SMART2 hebben betrekking op de pH, de stikstofmineralisatie en de basentoestand van de standplaats.

Voor de modelberekeningen is een groot aantal gegevens nodig, die deels afhankelijk zijn van bodem- en vegetatie-eigenschappen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen invoervariabelen en systeemeigenschappen. De systeemeigenschappen zijn voor een deel gebaseerd op veldwaarnemingen (Klap et al., in voorb., 1997) en voor een deel op literatuurbronnen (Kros et al., 1995).

Invoervariabelen

De belangrijkste inputvariabelen zijn gerelateerd aan de depositiescenario's, de hydrologische scenario's en de natuurbeheersscenario's. Bij de depositiescenario's worden gegevens ingevoerd voor depositie van SO_x , NO_x en NH_x die ruimtelijk niet zijn gedifferentieerd. Voor de twee hydrologische scenario's krijgt SMART2 van het model SIMGRO gegevens aangeleverd van:

- jaargemiddelde neerslag voor het studiegebied,
- jaargemiddelde transpiratie per hyfy afhankelijk van het vegetatiestructuurtype,
- jaargemiddelde kwelflux per hyfy aan de onderzijde van de wortelzone,
- jaargemiddelde vochtgehalte van de wortelzone.

Tenslotte zijn afhankelijk van het ecotooptype (combinatie van fysiotooptype en vegetatiestructuurtype) gegevens nodig van:

- bovengrondse biomassa,
- strooiselval en,
- dikte van de wortelzone.

Deze laatste gegevens zijn beschreven in Prins (1995).

Systeemeigenschappen

Voor de systeemeigenschappen vraagt het model gegevens over:

1 fysiotoopafhankelijke factoren:

- bodemvariabelen (bulkdichtheid, organische stof, calciumcarbonaatgehaltes N, P, Al, CEC, uitwisselbare basen etc.),

- grondwatersamenstelling (ionenconcentraties, pH EGV),
 - snelheids- en evenwichtconstanten van bodemprocessen (ionenwisseling, verwerking denitrificatie, sorptie etc.);
- 2 vegetatiestructuurafhankelijke krooninteractie-factoren:
- filteringfactoren voor zwavel- en stikstofcomponenten,
 - droge depositie,
 - interceptiefactor, bladopname;
- 3 nutriëntenkringloopfactoren:
- verhoudingen bovengronds/ondergrondse elementen,
 - mineralengehalten in blad, wortel, strooisel;
- 4 groeifactoren;
- 5 mineralisatiefactoren:
- labiele humus,
 - stabiele humus.

2.2.3 Vegetatie-ontwikkeling

De vegetatie wordt gedefinieerd als een structuurtype, dat zich gedurende een successie kan ontwikkelen in andere structuurtypen afhankelijk van het gevoerde of gekozen beheer (Prins, 1995). Elk structuurtype kent een bepaalde strooiselproductie als functie van de biomassa. In eerste instantie is in een kennistabel aangegeven hoe een vegetatiestructuurtype bij een gegeven beheer zich ontwikkelt. In tweede instantie zijn beslisregels geformuleerd, waarbij rekening wordt gehouden met ruimtelijke wisselwerking tussen vegetatiestructuurtypen (Prins et al., 1996). Een natuurdoeltype is het eindpunt van een vegetatiestructuurreeks. De vegetatiestructuurtypen en de beheersvormen sluiten zoveel mogelijk aan bij de indelingen van Bal *et al.* (1995). De vegetatiestructuurtypen vormen tenslotte ook het kader waarbinnen met het natuurtechnisch model op basis van floristische kenmerken en standplaatsfactoren die door SMART2 worden berekend, natuurwaarden zullen worden toegekend.

2.3 Ruimtelijke schematisatie

2.3.1 Ecosysteemconcept

Voor de ruimtelijke schematisatie van het GREINS is uitgegaan van een ecosysteemconcept, waarbij primaire en secundaire standplaatsfactoren worden onderscheiden (Jenny, 1961). Primaire factoren zijn onafhankelijk van de ecosysteemontwikkeling en daardoor in de tijd onveranderlijk. Geografische informatie over deze factoren wordt weergegeven met een fysiotoopkaart. Fysiotopen zijn homogene ruimtelijke eenheden van bepaalde combinaties van primaire factoren. De legenda van de fysiotoopenkaart is gebaseerd op een fysiopotentypologie voor beekdalen (Kemmers en Van der Bolt., 1997). De fysiotoopenkaart vormt de geografische basis van het GIS. Als belangrijkste primaire factoren van de fysiotoopenkaart zijn onderscheiden: moedermateriaal, drainagebasis en basenrijckdom van het grondwater. Geografische

informatie over deze factoren is ontleend aan een ecohydrologische systeemanalyse van het gebied.

Secundaire standplaatsfactoren (pH, basentoestand, stikstofmineralisatie) veranderen tijdens de ecosysteemontwikkeling, zodat zij afhankelijk zijn van het gevoerde beheer en het successiestadium. Ecotopen zijn ruimtelijk homogene combinaties van secundaire factoren en successiestadium. Binnen een fysiotoop kunnen daarom afhankelijk van de gekozen beheersstrategie verschillende ecotopen tot ontwikkeling komen met uiteenlopende waarden voor de secundaire standplaatsfactoren.

2.3.2 Ruimtelijke schaal

Een fundamenteel probleem bij het GREINS is dat de verschillende modulen processen beschrijven die op verschillende schaalniveaus opereren (Olf, 1992). Het schaalniveau waarop de modulen simulatieberekeningen uitvoeren is daarbij eveneens gebaseerd op de beschikbaarheid van ruimtelijke gegevens. Het regionaal hydrologische model hanteert daarbij de kleinste schaal ($1 < 100\ 000$). Het standplaatsmodel is gebaseerd op vlakdekkend beschikbare gegevens van de bodemkaart ($1 : 50\ 000$). Het vegetatieontwikkelingsmodel is op eenzelfde schaal gebaseerd. Het natuurtechnisch model is geijkt met vegetatiegegevens die op zeer gedetailleerde schaal zijn verzameld ($1 > 10\ 000$). De schaal waarop de resultaten gepresenteerd zullen worden is vastgesteld op een regionaal gebiedsdekkend karakter van $1 : 50\ 000$. In deze context betekent dit dat het hydrologische model te grove gegevens levert aan het standplaatsmodel dat op zijn beurt te grof is voor het natuurtechnisch model. Bij de toepassing van het natuurtechnisch model wordt met deze schaaldiscrepancie rekening gehouden door de natuurwaarde afhankelijk te stellen van het fysiotooptype.

3 Methodiek van het GREINS

De methodiek is schematisch weergegeven in figuur 1. Het schema geeft de relatie tussen de modellen aan, via welke variabelen de modellen zijn gekoppeld, welke geografische informatie daarbij betrokken is en naar welke tabellen de modeluitkomsten worden weggeschreven. Daarnaast is aangegeven op welk punten scenario's voor water- en milieubeleid kunnen worden gekoppeld aan het GREINS.

De ontwikkelde methode bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Opstellen van een fysiotoptypologie en -kaart.
- 2 Opstellen van een natuurdoeltypologie en -kaart.
- 3 Ontwikkelen van een model voor ontwikkelingsreeksen van de vegetatiestructuur.
- 4 Implementatie van een regionaal hydrologisch model.
- 5 De implementatie van een standplaatsmodel.
- 6 Het genereren van ecotopen.
- 7 Natuurwaardering van ecotopen.

3.1 Fysiotoptenkaart

Via een ecohydrologische systeemanalyse wordt een gebiedsschematisatie ontwikkeld die gebaseerd is op een fysiotoptypologie voor stroomgebieden van beekdalen (Kemmers & Van der Bolt, 1997, zie ook 2.3.1). De uitgangssituatie wordt vastgelegd in een fysiotoptenkaart. Alle geografische componenten zijn in een GIS ondergebracht op basis van polygonen.

3.2 Natuurdoeltypenkaart

Via een landschapsplan worden streefbeelden van een ruimtelijk scenario vertaald naar een natuurdoeltypenkaart (Prins, 1995). De natuurdoeltypenkaart vormt een geografische component. Voor elk natuurdoeltype kan in principe een gewenste hydrologische situatie worden aangegeven. Indien de hydrologische uitgangssituatie (op basis van primaire factor) niet in overeenstemming is met de gewenste hydrologie voor een natuurdoeltype op een bepaalde locatie, kunnen eenmalige hydrologische inrichtingsmaatregelen worden genomen. Deze maatregelen vormen de basis voor het doorrekenen van hydrologische scenario's. In de huidige studie is gekozen voor een ruimtelijk niet-gedifferentieerde peilverhoging van 20 cm.

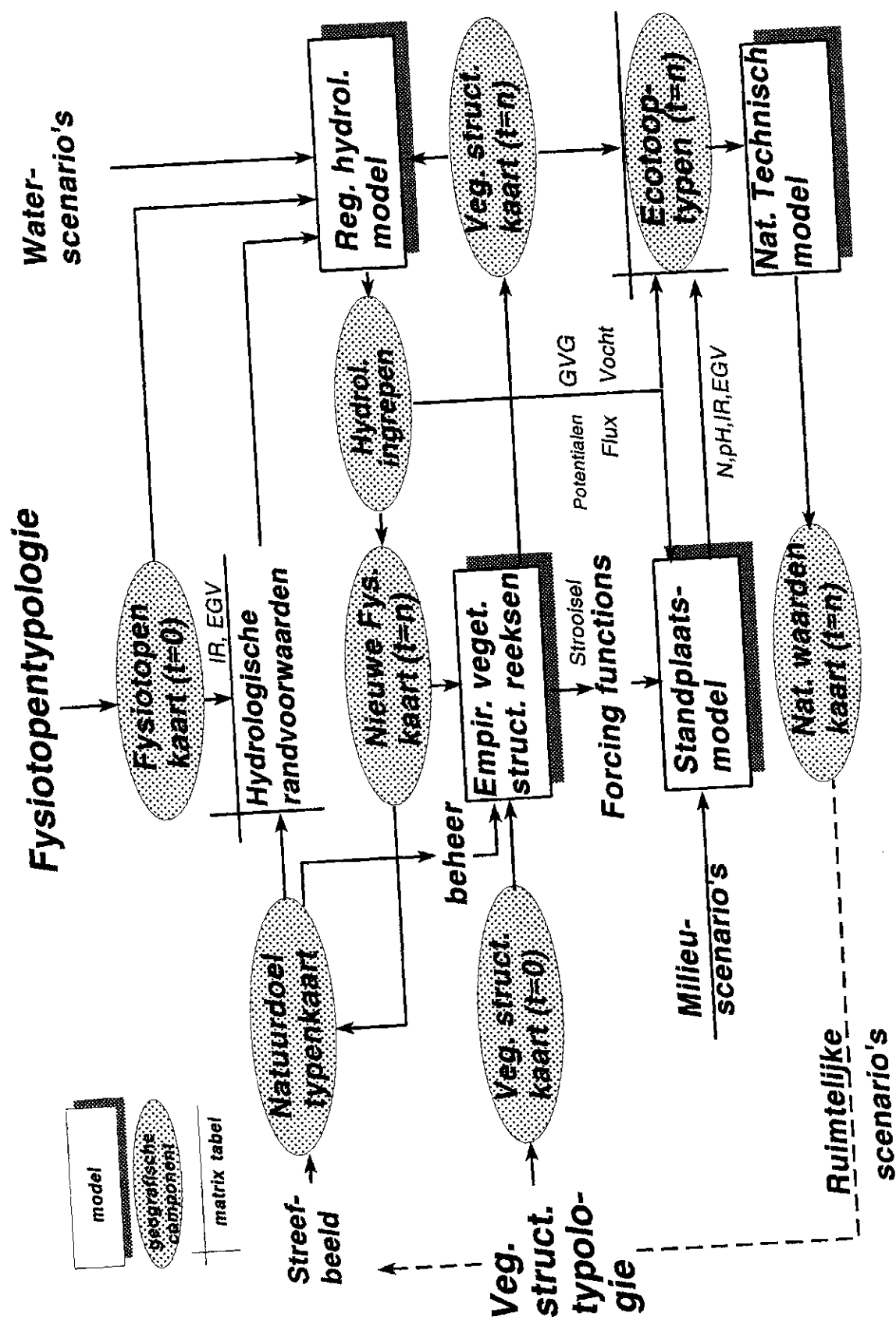


Fig. 1 Structuur en werking van het GREINS

3.3 Vegetatiestructuurontwikkeling

De vegetatiestructuurontwikkeling is gebaseerd op het onderscheiden van structuurtypen, waartoe een typologie is opgesteld. De vegetatiestructuurontwikkeling wordt met een kennismodel via rekenregels gesimuleerd (Prins, 1995; Prins et al., 1996). Dit kennismodel is gebaseerd op tijdreeksen. Voordat de vegetatieontwikkeling kan worden gesimuleerd, moet de natuurdoeltypenkaart vertaald worden naar een beheersvormenkaart. De beheersvormen sturen de vegetatieontwikkeling aan. Gestart wordt met de vegetatiestructuurkaart voor de uitgangssituatie. Vervolgens wordt via het kennismodel de vegetatieontwikkeling gesimuleerd, afhankelijk van fysiotoop, beheersvorm en uitgangssituatie. Via een overlayprocedure wordt de vegetatiestructuurkaart gekoppeld aan de fysiotopenkaart, zodat tijdens het natuurontwikkelingstraject zowel het vegetatiestructuurtype als het fysiotootype geografisch zijn vastgelegd. Het resultaat is een set vegetatiestructuurtypekaarten na discrete tijdstappen. Deze resultaten kunnen in principe teruggekoppeld worden naar het regionaal hydrologisch model. Hierdoor worden de consequenties van het ontstaan van een veranderend verdampingsgedrag (bos vs. grasland) tijdens natuurontwikkeling betrokken in de regionale hydrologie.

Vanuit het vegetatieontwikkelingsmodel wordt bovendien het standplaatsmodel per discrete tijdstap aangestuurd met gegevens over strooiselproductie en biomassa van de vegetatie.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat het vegetatiestructuurtype geografisch niet exact is vastgelegd. Wel is bekend welke vegetatiestructuurtypen voorkomen in een fysiotoop, en met welk aandeel, maar het is niet bekend waar die structuurtypen precies liggen en of het bijvoorbeeld tien kleine snippers zijn of een aangesloten element. Binnen GREINS wordt daarom gesproken van vegetatiestructuurelementen.

3.4 Hydrologisch model

De huidige of gewenste hydrologische randvoorwaarden dienen als invoer voor het regionale hydrologische model. Voor de berekeningen is het studiegebied opgesplitst in hydrologische cellen. De ruimtelijke resolutie van het hydrologische cel is in de meeste gevallen kleiner dan die van de fysiotopen. Voor de ruimtelijke schematisatie van het gebied is daarom een overlay gemaakt van de fysiotopenkaart en de hydrologische cellen. Hierdoor ontstaan de zgn. hyfy's (hydrologische cel en fysiotoop), die de basiseenheid vormen voor de standplaatsmodellering. In zijn algemeenheid blijken de hyfy's in de beekdalen echter kleiner te zijn dan de hydrologische cellen, wat tot problemen leidt bij de toekenning van hydrologische rekenuitkomsten (fluxen, GVG etc.) aan hyfy's.

Zowel voor de calibratie van de uitgangssituatie als voor de hydrologische scenario's kunnen modelberekeningen in principe leiden tot een resultaat op basis waarvan de fysiotopenkaart moet worden bijgesteld. Dit is het geval als de berekende drainagetoestand of de basenrijkdom van het grondwater niet overeenstemt met de

toestand die de fysiotopenkaart aangeeft. Dit kan leiden tot overschrijding van een klassegrens van een fysiotootype op een bepaalde plaats, zodat bijstelling mogelijk is. Desgewenst kan in deze fase worden teruggekoppeld naar de natuurdoeltypenkaart, als de aangepaste fysiotopenkaart zou leiden tot niet- realiseerbare natuurdoeltypen. In de huidige studie zijn dergelijke bijstellingen niet uitgevoerd.

3.5 Standplaatsmodel

Voor alle hyfy's worden afhankelijk van fysiotootype, ontwikkelingsstadium en vegetatiestructuurtype met het standplaatsmodel SMART2 standplaatsfactoren berekend. In de praktijk betekent dit dat voor alle van toepassing zijnde successiereksen berekeningen worden gemaakt onder invloed van milieuscenario's. Hiertoe krijgt het standplaatsmodel hydrologische informatie aangeleverd van het regionale hydrologische model en vanuit het kennismodel van de vegetatie-ontwikkeling informatie over de bovengrondse biomassa en de strooiselininput als bron voor de organische stof. Omdat de strooiselininput niet kan worden berekend, wordt er een waarde voor deze input opgelegd (forcing function, zie fig. 1).

3.6 Ecotopen

Op basis van de berekeningen met het standplaatsmodel kunnen op elk moment tijdens het ontwikkelingstraject voor elk vegetatiestructuurtype afhankelijke standplaatsfactoren berekend worden. Hiermee wordt per standplaats ecotoop-informatie berekend, die wordt vastgelegd in een tabel van de database, welke als invoer gebruikt wordt voor het natuurtechnisch model. Door koppeling aan de vegetatiestructuurkaart is tevens bekend in welke hyfy een ecotootype voorkomt (zie paragraaf 3.3).

3.7 Natuurwaardering

Via een 'natuurtechnisch model' (Schouwenberg et al., in voorb., 1997) wordt de geografisch bepaalde ecotoopinformatie beoordeeld op natuurwaarde. Hiertoe is informatie over de floristische structuur van het ecotootype nodig (Van der Sluis, 1996). Van elk scenario is op elk moment een natuurwaardekaart te produceren. Bij onbevredigende resultaten kan de procedure opnieuw gestart worden via een alternatief landschapsplan of een alternatieve gebiedsvisie.

4 Het datamodel van het GREINS

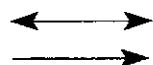
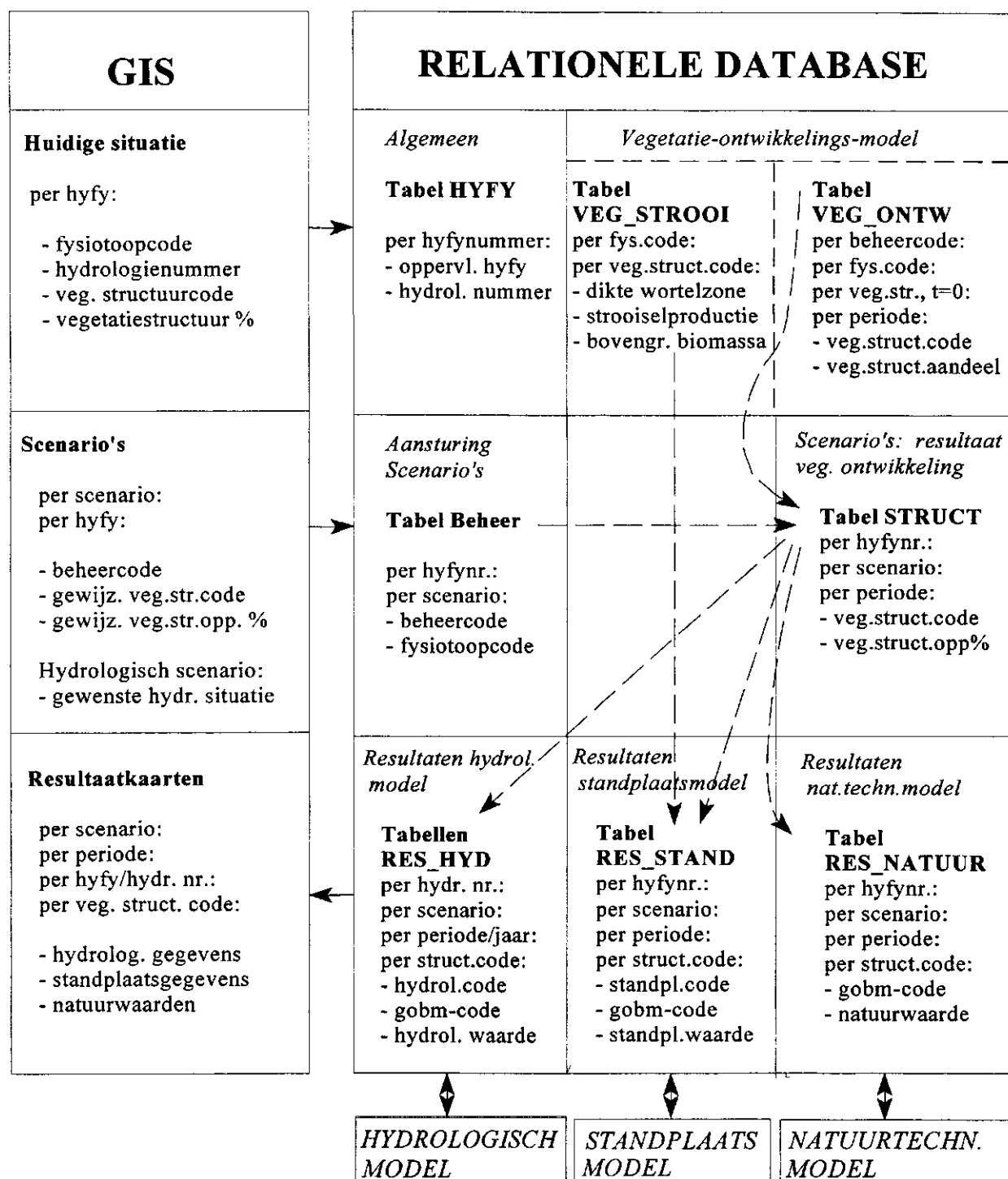
Om de methodiek van het GREINS operationeel te maken is een datamodel ontwikkeld, waarmee de communicatie tussen de modellen wordt geregeld en de invoer en uitvoer van de modellen systematisch wordt vastgelegd. Het datamodel is geïmplementeerd in een relationele database, die is gekoppeld aan een GIS. Er is gekozen voor een relationele database, omdat de benodigde gegevens op alle mogelijke manieren met elkaar gecombineerd moeten kunnen worden. De wisselwerking tussen de modeluitkomsten is nog onzeker, en kan zeer complex van aard zijn. Een tekort aan flexibiliteit mag derhalve geen belemmering vormen bij het analyseren van de betrekkingen tussen de modeluitkomsten. Uitgaande van de beschikbare software in de betrokken onderzoeksinstellingen is gekozen voor het databasepakket ORACLE en het GIS-pakket ARC/INFO. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van het datamodel.

4.1 Het GIS

Het GIS bevat de ruimtelijke gegevens van de huidige situatie en van de ruimtelijke scenario's (in de studie over de Drentse Aa: de gebiedsvisie). Om als invoer gebruikt te kunnen worden voor de diverse modellen, moet een conversieslag plaatsvinden van het kaartmateriaal naar het relationele datamodel. De verbinding tussen het GIS en de relationele database wordt gevormd door de hyfy. De hyfykaart wordt verkregen door een overlay van de fysiotopenkaart met de hydrologische eenhedenkaart, die als basis dient van het hydrologische model SIMGRO (zie par. 2.2.1). In het GIS is de geografische informatie van de hyfy's opgeslagen (polygonen), met als belangrijkste attribuut: het 'hyfynummer'. Dit nummer identificeert elke onderscheiden ruimtelijke eenheid en fungeert tevens als belangrijkste sleutel (key) in de meeste tabellen van de database. Het hyfynummer is dus de verbindende schakel tussen het GIS en de relationele database. Daarnaast heeft elke hyfy een 'hydrologienummer' (het identificatienummer van de hydrologische eenheid waarvan de hyfy deel uitmaakt).

De huidige situatie

De huidige situatie wordt in het GIS per hyfy vastgelegd met de attributen 'fysiotopocode', 'vegetatiestructuurcode' en 'oppervlaktepercentage per vegetatiestructuurcode'. Het attribuut fysiotopocode wordt verkregen tijdens het creëren van de hyfy's, middels een overlay van fysiotopenkaart en hydrologische eenhedenkaart. De vegetatiestructuurattributen worden verkregen via een overlay van de vegetatiestructuurkaart en de hyfykaart, waarbij de hyfy als ruimtelijke eenheid fungeert. Omdat er meerdere vegetatiestructuurtypen per hyfy kunnen voorkomen, wordt ook het oppervlaktepercentage per type opgeslagen. De oppervlakte van het vegetatiestructuurtype is met name van belang voor de berekening van de verdamping in het hydrologische model.



Datastromen tussen GIS, database en modellen



Invloed van data binnen het datamodel

Fig. 2 GREINS-datamodel

De vegetatiestructuurkaart wordt afgeleid van een vegetatiekaart, indien voorhanden, en anders van de topografische kaart. (Voor het studiegebied van de Drentse Aa is deze kaart afgeleid van de milieukartering van de provincie Drente, gebaseerd op opnamen uit de periode 1974-1978, Dijkstra et al., 1992 en aangevuld met topografische gegevens; de afleiding is beschreven in: GREINS-VEG0; Prins, 1995).

De in het GIS aangemaakte gegevens zijn samengevat in figuur 2. Resumerend worden er voor de huidige situatie de volgende gegevens in het GIS aangemaakt per hyfy:

- hyfynummer (1 per hyfy),
- fysiotoopcode (1 per hyfy),
- hydrologienummer (1 per hyfy),
- vegetatiestructuurcode (één of meerdere per hyfy),
- oppervlaktepercentage per vegetatiestructuurcode (één of meer per hyfy).

Belangrijk is erop te wijzen dat in het datamodel alleen de gemeenschappelijke gegevens van de huidige situatie van het GREINS zijn opgenomen. Daarnaast heeft elk model (SIMGRO, SMART etc.) specifieke gegevens nodig ten behoeve van de modelparameterisatie.

Ruimtelijke scenario's

De ruimtelijke scenario('s) kunnen zijn opgenomen in het GIS, als een landschapsplan, uitgedrukt in natuurdoeltypen. Voor de koppeling met het vegetatie-ontwikkelingsmodel moeten de natuurdoeltypen echter worden vertaald naar beheersreeksen, die de vegetatie-ontwikkeling aansturen. (De vertaling van de gebiedsvisie Drentse Aa naar beheersreeksen is beschreven in GREINS-VEG0, Prins, 1995.) Voor de koppeling met het datamodel is het tevens noodzakelijk dat het beheer per hyfy bekend is. Indien het plan het toelaat, is het raadzaam per hyfy maar 1 beheersreeks toe te kennen, om de complexiteit van de data beperkt te houden. Voor de Drentse Aa zijn na een overlay van de hyfykaart met de beheerskaart handmatig een aantal extra grenzen getrokken (er zijn dus een aantal hyfy's bijgekomen) om ervoor te zorgen dat het ruimtelijke beeld van de beheerskaart voldoende terugkomt in de hyfykaart. Er wordt gewerkt met 1 beheersreeks per hyfy.

Daarnaast kunnen er per landschapsplan inrichtingsmaatregelen worden voorgesteld, om bepaalde natuurdoelen te kunnen bereiken. Zo wordt er in de gebiedsvisie Drentse Aa plaatselijk afplaggen voorgesteld en bouwvoorverwijdering (deels al in uitvoering), om de intensief bemeste bovengrond op voormalige landbouwgronden te verwijderen, vóórdat natuurontwikkeling plaatsvindt (Prins et al., 1996). Dit heeft gevolgen voor de huidige vegetatiestructuur (korte vegetaties worden verwijderd). Ook wordt er op diverse plaatsen een bepaalde hydrologische situatie nagestreefd die afwijkt van de huidige. Deze gewenste situatie wordt ook wel aangeduid als 'hydrologische scenario's'. Hoewel deze gegevens via een overlay met de hyfykaart aan de hyfynummers moeten worden gekoppeld, is hiervan afgezien in de huidige studie. Gekozen is voor een generieke maatregel, waarbij de openwaterpeilen in het hele gebied worden verhoogd met 20 cm (zie par. 2.1.3). Daarnaast worden milieuscenario's onderscheiden. Indien deze ruimtelijk gedifferentieerd worden,

moeten ook deze via het GIS worden ingevoerd (voor het Drentse-Aa-onderzoek zijn alleen generieke milieuscenario's doorgerekend (zie par. 2.1.2), d.w.z. dat zij ruimtelijk niet zijn gespecificeerd).

Resumerend worden er in het GIS, per ruimtelijk scenario de volgende gegevens aangemaakt (zie figuur 2).

Per hyfy binnen het plangebied:

- hyfynummer (1 per hyfy),
- beheerscode (lieft 1 per hyfy).

Indien er sprake is van inrichtingsmaatregelen worden per hyfy met geplande maatregelen de volgende gegevens aangemaakt:

- code voor de gewijzigde vegetatiestructuur (bijvoorbeeld door bouwvoorverwijdering),
- gewijzigde oppervlaktepercentages van de vegetatiestructuur.

Voor eventuele hydrologische scenario's (inrichtingsmaatregelen) worden per hyfy met geplande hydrologische maatregelen de volgende gegevens aangemaakt :

- de gewenste hydrologische situatie (bijv. in grondwatertrappen)

(Eventueel kunnen hier gegevens aan toe worden gevoegd voor ruimtelijk gedifferentieerde milieuscenario's)

Al deze gegevens worden vervolgens overgeheveld naar de diverse tabellen van de relationele database. Omgekeerd, zullen de in de database opgeslagen 'resultaten' van de modelberekeningen weer naar het GIS moeten worden gehaald om de gegevens op kaart te kunnen presenteren. Hierbij zullen de hyfynummers zorgen voor de koppeling met de ruimtelijke eenheden: de hyfy's (polygonen).

4.2 De relationele database

De database bevat zowel gegevens van de huidige situatie als de uitkomsten van de verschillende modellen. Door de huidige situatie in het model als de startsituatie van een referentiescenario (of 0-scenario) te beschrijven, kunnen de gegevens van de uitgangssituatie op precies dezelfde wijze in de tabellen worden ondergebracht als de berekende gegevens van de "echte" scenario's. Het referentiescenario geeft dan de toestand weer bij handhaving van de huidige situatie, d.w.z. voortzetting van het huidige beheer. Dit referentiescenario is ook onderzoekstechnisch wenselijk, om de uitkomsten van de scenario's te kunnen vergelijken met een 0-optie.

Daarnaast bevat de database een (niet-ruimtelijke) kennistabel VEG_STROOI, die specifieke invoer levert voor het standplaatsmodel (zie forcing function in figuur 1) en een set rekenregels voor de vegetatiestructuurontwikkeling. Tezamen vormen zij het 'vegetatie-ontwikkelingsmodel' (Prins, 1995). Met de rekenregels (VEG_ONTW) wordt per hyfy de huidige vegetatiestructuur, afhankelijk van het beheer en het fysiotoop, vertaald naar de toekomstige vegetatiestructuur (na bijvoorbeeld 10, 30 en 100 jaar). Het resultaat van deze berekeningen wordt in de tabel VEG_STRUKT opgeslagen, die wel ruimtelijke gegevens bevat. In deze tabel

worden de vegetatiestructuurgegevens per hyfy, per scenario en per tijdsperiode vastgelegd.

Voor de initialisatie van het hydrologische model en het standplaatsmodel is er ook een 'negatieve' tijdsperiode nodig, waarin de ontwikkeling vanuit het verleden wordt doorgerekend. In deze periode (van $t = -4$ tot $t = 0$) wordt voor het referentiescenario de huidige toestand constant gehouden. Vanaf $t = 0$ is vervolgens het hydrologische scenario in werking getreden, inclusief inrichtingsmaatregelen als bouwvoorverwijdering. De hydrologische output op $t = 0$ is daardoor voor alle scenario's gelijk.

De relationele database bestaat uit zeven clusters met tabellen (zie figuur 2).

4.2.1 Algemeen

Tabel HYFY

Een administratieve tabel, o.a. voor de koppeling met het hydrologisch model met gegevens per hyfynummer van:

- oppervlakte,
- hydrologienummer.

Deze tabel wordt meteen in het begin gevuld, vanuit het GIS

4.2.2 Aansturing scenario's

Tabel BEHEER

Deze tabel wordt gebruikt voor de aansturing van de scenario's (beheer en maatregelen) en vormt de invoer voor het vegetatie-ontwikkelingsmodel. Per hyfynummer en per scenario zijn gegevens opgenomen van:

- beheerscode,
- fysiotoopcode (huidig of gewenst).

Deze tabel wordt in het begin, vanuit het GIS gevuld voor:

- het 0-scenario met voor alle hyfy's een fysiotoop-code (dat beschrijft dan de huidige situatie in fysiotoopen),
- de overige scenario's met voor alle hyfy's binnen het plangebied de gewenste beheer-code,
- de overige scenario's met alleen de fysiotoopen die door hydrologische maatregelen worden veranderd. De tabel kan gevuld worden vanuit het GIS (is dan opgelegd), maar kan eventueel worden gewijzigd na berekening door het hydrologische model (indien de gewenste hydrologische situatie niet haalbaar blijkt).

4.2.3 Vegetatie-ontwikkelingsmodel

Het vegetatie-ontwikkelingsmodel bestaat uit een kennistabel en uit een set rekenregels, die vóór de modelberekeningen in de database moeten zijn opgenomen. Het zijn opzoektabellen die geen ruimtelijke gegevens bevatten, maar verbanden leggen.

Tabel VEG_STROOI

Voor het aangeven van het verband tussen fysiotoop, vegetatiestructuur en strooiselproductie en biomassa bevat de tabel gegevens per fysiotoopcode en per vegetatiestructuurcode van:

- dikte van de wortelzone,
- strooiselproductie,
- bovengrondse biomassa.

Deze tabel wordt door het standplaatsmodel als invoer gebruikt om per standplaats per ontwikkelingsperiode de zuur- en stikstofhuishouding te berekenen, afhankelijk van het fysiotooptype en de vegetatiestructuur.

VEG_ONTW

Voor het aangeven van het verband tussen beheer, fysiotooptype, vegetatiestructuur en ontwikkelingsperiode zijn rekenregels geformuleerd afhankelijk van beheerscode, fysiotoopcode, vegetatiestructuurcode ($t=0$) en periode ($t = n$) van:

- vegetatiestructuurcode (na $t = n$),
- vegetatiestructuuraandeel (na $t = n$).

Met deze rekenregels wordt de huidige vegetatiestructuur (per hyfy) vertaald naar de te verwachten vegetatiestructuur. Het structuuraandeel geeft het aandeel van het betreffende vegetatiestructuurtype in een mozaïek aan (dat ontstaat onder begrazingsbeheer). Als de ontwikkelde vegetatiestructuur geen mozaïek is, dan is het aandeel 100%. Dit aandeel wordt bepaald via regels die rekening houden met ruimtelijke wisselwerking tussen structuren (zie GREINS-VEG1, Prins et al., 1996). Het vegetatiestructuuraandeel wordt gebruikt om de oppervlaktepercentages van de te verwachten vegetatie-structuurtypen per hyfy te berekeningen.

4.2.4 Scenario-resultaten voor vegetatie-ontwikkeling

Tabel VEG_STRUKT

Voor het vastleggen van de vegetatiestructuur-ontwikkeling in de scenario's (uitvoer van het vegetatie-ontwikkelingsmodel en invoer voor het hydrologisch en standplaatsmodel) bevat de tabel gegevens per hyfy, per scenario en per periode van:

- vegetatiestructuurcode,
- vegetatiestructuur-oppervlaktepercentage.

Deze tabel wordt in het begin vanuit het GIS gevuld voor:

- het 0-scenario voor de periode $t=0$ (dit scenario beschrijft dan de huidige vegetatiestructuur),

- de overige scenario's voor de periode $t=0$, voor zover de vegetatiestructuur is veranderd door eventuele inrichtingsmaatregelen.

De tabel wordt na berekening van de vegetatie-ontwikkeling per periode verder ingevuld. Dit moet gebeuren vóór de berekeningen van het hydrologische model en het standplaatsmodel.

4.2.5 Resultaten hydrologisch model

Tabellen RES_HYD

Voor het vastleggen van de resultaten van het hydrologische model worden twee tabellen gebruikt: één met de resultaten per jaar (invoer voor het standplaatsmodel) en één per periode (bijv. -20, 0, 10, 30 en 100 jaar), als invoer voor het natuurtechnisch model en voor de presentatie van de resultaten. De tabellen bevatten gegevens per hydrologienummer, per scenario, per periode of per jaar, per vegetatiestructuur-code van:

- hydrologiecode (o.a. kwelflux, vochttekort, GVG),
- gobm-code (gemiddeld, ondergrens, bovengrens, mediaan),
- hydrologiewaarde (in m onder maaiveld).

Deze tabellen worden succesievelijk gevuld na elke berekeningsronde van het hydrologische model. Hierin komen de resultaten van de doorrekening van het referentiescenario en van de ruimtelijke en hydrologische scenario's. De hydrologiecode geeft aan van welk type gegeven de erbij horende waarde(n) zijn. Door per type gegeven een aparte code te gebruiken, kunnen van elk (deel)gebied, scenario en/of project verschillende hydrologische gegevens worden opgeslagen in het zelfde datamodel. De typen hydrologische gegevens (hydrologische codes) die in de Drentse-Aa-studie zijn gebruikt zijn:

- S : vochtvoorraad in de wortelzone,
- P : neerslag op de bodem,
- E : verdamping,
- K : kwelflux,
- W : wegzijgingsflux,
- V : vochttekort,
- GVG, GLG, GHG.

Van sommige resultaten wordt daarnaast ook het gemiddelde, de ondergrens, de bovengrens, en/of de mediaan opgeslagen. Door in het datamodel ook een aparte code hiervoor in te bouwen kan de tabel flexibel worden ingevuld: òf één waarde òf meerdere waarden per resultaattype. Om de resultaten van het hydrologisch model geschikt te maken als invoer voor het standplaatsmodel en het natuurtechnisch model, moet de algemene tabel HYFY gebruikt worden om bij de gegevens per hydrologienummer de juiste hyfynummers te zoeken; beide modellen rekenen per hyfy.

4.2.6 Resultaten standplaatsmodel

Tabel RES_STAND

Voor het vastleggen van de resultaten van het standplaatsmodel bevat de tabel gegevens per hyfynummer, per scenario, per periode en per vegetatiestructuur-code van:

- standplaatscode (pH, N-mineralisatieflux, N-doorvalflux, ionenratio, EGV),
- gobm-code (gemiddeld, ondergrens, bovengrens, mediaan),
- standplaatswaarde (incl. num: aantal waarnemingen waarop gemiddelde etc. is gebaseerd).

De tabel wordt succesievelijk gevuld na elke berekeningsronde van het standplaatsmodel. Hierin komen de resultaten van de doorrekening van het referentiescenario en van de ruimtelijke, hydrologische en milieuscenario's. De standplaatscode geeft aan om welk type resultaat het gaat. De waarden vormen de invoer voor het natuurtechnisch model. Evenals bij het hydrologische model worden van alle resultaten het gemiddelde, de ondergrens, de bovengrens, en de mediaan berekend en opgeslagen.

4.2.7 Resultaten natuurtechnisch model

Tabel RES_NATUUR

Voor het vastleggen van de resultaten van het natuurtechnisch model bevat de tabel gegevens per hyfynummer, per scenario, per periode en per vegetatiestructuur-code van:

- gobm-code (gemiddeld, ondergrens, bovengrens, mediaan),
- natuurwaarde.

De tabel wordt succesievelijk gevuld na elke berekeningsronde van het natuurtechnisch model. Hierin komen de resultaten van de doorrekening van het referentiescenario en van de ruimtelijke, hydrologische en milieuscenario's. De natuurwaarden zijn het eindresultaat van het GREINS-model.

De resultaten die men in kaartvorm wil presenteren, moeten tenslotte naar het GIS worden overgeheveld (zie figuur 2).

5 Discussie

Er is gekozen voor een benadering waarbij het rekenwerk van de deterministische simulatiemodellen is losgekoppeld van het datamodel. De uitvoergegevens van de simulatiemodellen worden weggeschreven naar een database. De database is gevuld met tijdreeksen van rekenuitkomsten voor de verschillende denkbare scenario's. Bij het genereren van een scenario haalt het datamodel via SQL-commando's de juiste gegevens op, die vervolgens via een GIS in de vorm van kaartbeelden kunnen worden gepresenteerd. De database en het datamodel vormen hierdoor samen een kennismodel.

Het perspectief van een dergelijk kennismodel is dat het kan uitgroeien tot een kennissysteem gebaseerd op invoer-uitvoerrelaties van modelberekeningen. Het voordeel daarvan is dat, eenmaal gevuld, scenario's snel gegenereerd kunnen worden zonder dat eerst langdurige rekenprocedures moeten worden doorlopen. Het nadeel van deze methode is dat het datamodel zeer goed en logisch georganiseerd en de data-base geheel gevuld moet zijn. Dit vraagt een grote inspanning en een zeer intensief overleg in het ontwikkelingstraject dat vooraf gaat aan de feitelijke doorrekening van scenario's. Als de database eenmaal goed georganiseerd is dan kunnen gegevens van nieuwe modelberekeningen worden toegevoegd. Dit houdt in dat de methodiek als zodanig goed extrapoleerbaar is naar andere gebieden, maar dat het datamodel altijd gevuld zal moeten worden met gebiedspecifieke gegevens.

Een belangrijk probleem blijft de schaal waarop de basisinformatie voor de ruimtelijke schematisatie wordt verkregen. Het verschil in schaal kan gemakkelijk ertoe leiden dat vegetatie en fysiotoop niet bij elkaar passen. Voorbeelden hiervan zijn natte vegetatietypen die zijn aangetroffen op een droog fysiotooptype of basische vegetatietypen op zure fysiotooptypen. Binnen het droge fysiotooptype komen in Drente op een fijner schaalniveau talrijke snippers 'nat' voor in de vorm van vennen of vochtige laagten. Ook komt het voor dat fysiotopen op een grotere schaal bodemkundig minder homogeen blijken te zijn, waardoor 'zure' en 'basenrijke' eigenschappen in een fysiotooptype verenigd kunnen worden. Consequentie hiervan is dat een oplossing moet worden gevonden in de vorm van een zekere mate aan karakteristieke variabiliteit van de fysiotopen. Voor een belangrijk deel hangt deze variabiliteit samen met de hoogteverdeling van het maaiveld binnen het fysiotoop. De oplossing voor de schaalproblematiek die samenhangt met de factor vocht kan zijn dat bij de hydrologische berekeningen de hoogteverdeling (gebaseerd op de 1 : 10 000 hoogtepuntenkaart) wordt verdisconteerd in de resultaten. De uitkomst voor een fysiotoop bestaat dan niet uit een unieke waarde maar uit een range.

De structuur van het GREINS is in principe erop gericht dat ervanuit de vegetatieontwikkeling een terugkoppeling kan optreden naar het hydrologische model en naar het standplaatsmodel. Bij bosontwikkeling kan de verdamping toenemen, wat niet alleen consequenties heeft voor de regionale waterhuishouding maar ook voor de lokale waterhuishouding. Dit regionale effect zal in de toekomst in het GREINS daadwerkelijk geoperationaliseerd worden.

Tevens kan lokaal in een tijdreeks waarbij bosontwikkeling plaatsvindt, een overschrijding van een klassegrens van de GLG optreden, waardoor een ander fysiotooptype zou ontstaan. In de organisatie van de databasestructuur bleek het niet mogelijk deze 'breuk' in de ontwikkelingsreeks op een bevredigende manier op te nemen. Daar de belangrijkste gebieden met bosontwikkeling voorkomen op fysiotooptypen met de laagste klasse voor de drainagebasis heeft deze 'breuk' geen ernstige consequenties voor de modelberekeningen.

Het GREINS voorziet in een terugkoppeling van het vegetatie-ontwikkelingsmodel naar de berekeningen van het standplaatsmodel. Deze terugkoppeling vindt plaats via zgn. 'forcing-functions'. In het vegetatiemodel kan na een bepaald ontwikkelings-traject een discontinue verandering optreden in de structuur, waardoor een andere strooiselproductie ontstaat. Deze informatie wordt opgelegd aan het standplaatsmodel, dat daardoor een andere input aan strooisel ontvangt, wat op zijn beurt consequenties heeft voor de nutriënten- en zuurhuishouding. Deze terugkoppeling heeft tot gevolg dat standplaats eigenschappen tijdens de ecosysteemontwikkeling veranderen en afhankelijk zijn van de vegetatie. Een nadeel van de gekozen werkwijze is dat de opgelegde strooiselproductie gebaseerd is op literatuurbronnen of deskundigeninschatting en niet geverifieerd is. In een afzonderlijk project wordt door het AB-DLO een model ontwikkeld dat de strooiselproductie daadwerkelijk simuleert als functie van de vegetatiesamenstelling.

Literatuur

Bal, D., H.M. Beye, Y.R. Hoozeveld, S.R.J. Jansen & P.J. van der Reest, 1995. Handboek natuurdoeltypen in Nederland. Wageningen, Informatie- en Kenniscentrum Natuurbeheer, Min. L.N.V.

Bolt, F. J.M. van der, in voorb., 1997. Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-Scenario's (GREINS); regionale hydrologische modellering van het stroomgebied van de Drentse Aa. Wageningen. DLO Staring Centrum. Rapport 519.

Dijkstra, A.C.J., J.J.H. Oudega-Schokker & J.C. Smittenberg, 1992. Milieukartering Drenthe, 1974-1978. Deel IV. Vegetatiekaart. Assen, Rapport Provincie Drenthe, Dienst Ruimte en Groen.

Harms, W.B., J.P. Knaapen & J. Roos-Klein Lankhorst, 1991. Natuurontwikkeling in de centrale open ruimte. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 138.

Harms, W.B. & J. Roos-Klein Lankhorst, 1994. Toekomst voor de natuur in de Gelderse Poort. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 298.1.

Hoek, W. van der & B. Higler, 1993. Natuurontwikkeling in beken en beekdalen; verkennende studie naar de mogelijkheden van natuurontwikkeling in beek- en beekdalsystemen. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 3.

Jenny, H., 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 25,5.

Kemmers, R.H., 1995. Naar een methode voor regionale scenario-studies voor natuurontwikkeling. Het Drentse Aa onderzoek. In: Job. F. Th. Schout et al. (eds), Waarheen met het landelijk gebied. Alphen aan de Rijn, Samson H.D. Tjeenk Willink.

Kemmers, R.H., P.C. Jansen & P. Mekking, 1995. Humus form profiles and ecohydrological systemsanalysis. In: Schoute, J.F.Th. et al. (eds), Scenario studies for the rural environment. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Kemmers, R.H. & F.J.E. van der Bolt, 1997. Fysiotopentypologie voor beekdallandschappen; een ruimtelijke schematisatie van het beekdallandschap voor het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrument voor Natuurontwikkelings Scenarios (GREINS). Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 502. NBP-onderzoeksrapport 11.

Klap, J.M., J. Kros & W.A. de Boer, in voorb., 1997. De chemische samenstelling van bodem en grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa. Wageningen. DLO Staring centrum. Rapport.

Klijn, F., en H.A. Udo de Haes, 1990. Hierarchische ecosysteemclassificatie; voorstel voor een eenduidig begrippenkader. *Landschap* 7(4): 215-233.

Kros, J., G.J. Reinds, W. de Vries, J.B. Latour & M. Bollen, 1995. Modelling abiotic site factors in response to atmospheric deposition and upward seepage. In: Schoute, J.F.Th. et al. (eds), *Scenario studies for the rural environment*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Kros, J., G.J. Reinds, D.A. Prins, F.J.E. van der Bolt & R.H. Kemmers, in voorbereiding, 1997. Modelling the response of terrestrial ecosystems to changes in vegetation structure, atmospheric deposition and hydrology; results of the soil module of the GREINS model. Wageningen. DLO Staring Centrum. Rapport

Meeuwissen, T., C. Anker, E. Dijkema, R. Sinke & J. Smittenberg, 1995. Drentse Aa; gebiedsvisie natuur, bos en landschap. Assen. Provincie Drenthe.

Oloff, H., 1992. Deelprogramma natuurontwikkeling; een verkenning van modellen. Wageningen, CABO-DLO, IBN-DLO, NBP-onderzoeksrapport 1.

Prins, A.H., 1993. Laagvenen; een verkenning van mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 5.

Prins, A.H., 1995. Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrument voor natuurontwikkelings Scenario's (GREINS); vegetatiemodule: GREINS-VEG0. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 6.

Prins, A.H., V. Joosten & G. van Wirdum, 1996. Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrument voor natuurontwikkelings Scenario's (GREINS); vegetatiemodule: GREINS-VEG1. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 8.

Querner, E.P. en P.J.T. van Bakel, 1989. Description of the regional groundwaterflow model SIMGRO. Wageningen, SC-DLO. Report 7.

Rademakers, J.G.M., 1993. Natuurontwikkeling uiterwaarden & ecologische onderzoek; een verkennende studie. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 2.

Schouwenberg, E.P.A.G., A.H. Prins & G. van Wirdum, in voorbereiding, 1997. Natuurtechnisch model (NTM). A. Formulering en ijking aan floristische natuurwaardering. NBP-onderzoeksrapport

Sluis, T. van der, 1996. Vegetatiekundige natuurwaardebepaling. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 7.

Vertegaal, C.T.M., N.M. van Gelderen, E.G.M. Louman & G. van Ommering, 1993. Natuurontwikkeling in de duinen; kennis en kennislacunes. Wageningen, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. NBP-onderzoeksrapport 4.

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

Vries, W. de & J. Kros, 1991. Assessment of critical loads and the impact of deposition scenarios by steady state and dynamic soil acidification models. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Report 36.

Niet-gepubliceerde bronnen

DLO & RUG, 1992. Deelprogramma natuurontwikkeling; de as van de ecologische hoofdstructuur; verdiepende fase. Wageningen. DLO/Rijksuniversiteit Groningen, Interne notitie.

DLO & RUG, 1993. Deelprogramma natuurontwikkeling; onderzoeksvragen voor de verdiepende fase. Wageningen, DLO/Rijksuniversiteit Groningen, Interne notitie.

Steenvoorden, J., P. Groenendijk, R. Kemmers, J. Knaapen, H. Kros, & E. Querner, 1992. Modellering ten behoeve van regionale natuurontwikkeling; een visie op wenselijke modelontwikkeling. Wageningen, SC-DLO. Interne Mededeling 198.