

Modellering van begrazing in SUMO

Verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner

G.W.W. Wamelink

R.M.A. Wegman

P.A. Slim

J. Dirksen

J.P. Mol-Dijkstra

H.F. van Dobben

Alterra-rapport 368

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

REFERAAT

Wamelink, G.W.W., R.M.A. Wegman, P.A. Slim, J. Dirksen, J.P. Mol-Dijkstra en H.F. van Dobben, 2001. *Modellering van begrazing in SUMO; Verklaring van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 368. 96 blz. 11 fig.; 4 tab.; 56 ref.

In samenwerking met het RIVM en WU wordt het vegetatievoorspellingsmodel SUMO ontwikkeld. Het model vormt een integraal onderdeel met SMART en wordt onder andere gebruikt in de natuurplanner van het RIVM. Om de modellering van de effecten van begrazing op de vegetatieontwikkeling en successie mogelijk te maken is aan SUMO de begrazingsmodule Animal toegevoegd. De module en de wijzigingen in andere modules (m.n. lichtonderschepping en lengtegroei) en enkele modelberekeningen worden in dit verslag beschreven.

De modellering van de begrazing vindt plaats vanuit het gezichtspunt van de plant. De grazers worden hierbij beschouwd als 'maaimachines' die met een bepaalde voorkeur eten van de in SUMO gemodelleerde organen (wortels, houtige delen en blad) en functionele typen (kruiden en grassen, dwergstruiken, struiken, pionierbomen en climaxbomen). Het aantal grazers wordt initieel opgelegd, maar kan deels variëren als gevolg van het voedselaanbod. Er is een terugkoppeling met SMART gemaakt om de uitwerpselen van de grazers beschikbaar te laten komen in de stikstofpool voor de volgende run. In totaal kan het effect van 15 verschillende soorten grazers worden gemodelleerd, zowel gedomesticeerde als 'wilde' grazers. Het effect van begrazing op de vegetatie kan in combinatie met plaggen, maaien en bosbeheer worden berekend. Testruns laten zien dat de effecten van begrazing goed voorspeld kunnen worden. Vooral het verschil tussen beheren en niet beheren van bossen is vrij groot. Het niet beheren van bossen (middels dunnen) leidt uiteindelijk tot zeer soortenarme bossen. De trend van het uitbeheer nemen van bossen op de zandgronden zal er op de midden lange termijn toe leiden dat er zeer eenvormige bossen ontstaan, tenzij er gaten ontstaan door catastrofes. Het zo gewenste structuurrijk loofbos is hierin voor veel gebieden slechts een fase in de successie en zal niet gehandhaafd blijven zonder ingrepen. Een zelfde beeld laten de simulaties voor de heide zien. Begrazing alleen is niet in staat om successie van heide naar bos te voorkomen, plaggen of een combinatie van plaggen en begrazen voorkomt volgens de simulaties van SUMO wel dat er bos ontstaat.

Trefwoorden: SUMO, Natuurplanner, vegetatie, model, successie, begrazing, grazer

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 48,00 (€22) over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 368. 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

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 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

1	Inleiding	5
	1.1 Achtergronden	5
	1.2 SMART2	5
	1.3 SUMO	7
	1.4 Doelstellingen	8
	1.5 Opzet van het onderzoek	9
2	Modellering van SUMO2	11
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Formularium en beschrijving	11
	2.2.1 Formularium van Animal	12
	2.2.2 Berekeningen in Animal	17
	2.3 Parameterisatie van de begrazing	19
	2.4 Invoer voor Animal	21
	2.5 Veranderingen in SMART2	22
	2.6 Overige veranderingen	22
	2.6.1 Subroutine lengte	22
	2.6.2 LAI-berekening	24
	2.6.3 Herformulering van lichtonderschepping	25
3	Test van SUMO	29
	3.1 Voorbeelden in Zuid-Limburg	29
	3.2 Voorbeelden in Gelderland	31
4	Discussie	41
	4.1 Successie en graasdruk	41
	4.2 Beschikbaarheid van metingen voor de parameterisatie	43
	4.3 Toekomstige ontwikkelingen	44
5	Conclusies	45
	Literatuur	47

Bijlagen

1	Verslag van de workshop ten behoeve van de modellering van het begrazingsbeheer in SUMO	53
2	Lijst met variabelen voor de subroutine Animal.	57
3	Testfile voor Animal.	61
4	Literatuurgegevens gebruikt voor de bepaling van de hoeveelheid gegeten biomassa (in ton/ha/j) per grazer	63
5	Voorkeur van grazers voor bepaalde organen en functionele typen als gehalten t.o.v. het totaal uit de literatuur	65
6	Stikstof- en fosfaatgehalte in mest	69
7	Hoeveelheid mest (vast en vloeibaar) per beest in kg	71
8	Inhoud van de file lengteparam.txt.	73

9	Inhoud van de file biommin.txt.	75
10	Programma listing van Animal	77
11	Inhoud van de file Poep.txt.	83
12	Inhoud van de file graas.txt.	85
13	Listing van de subroutine Licht.for.	91

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

Bestuurders in Nederland hebben behoefte aan meer kennis over de effecten van het huidige en toekomstige beleid op de natuur. Voor het voorspellen van deze effecten zijn modellen bij uitstek geschikt. De Natuurplanner (Latour et al., 1997) is een modellentrein die de effecten van zowel nationaal als regionaal beleid op de natuur kan voorspellen. SMART2/SUMO2/MOVE/BIODIV zal in de Natuurplanner de standaard-modellentrein vertegenwoordigen. Het model SUMO2 (Wamelink et al., 2000a en 2000b) is een geïntegreerd onderdeel van het model SMART2 (Kros et al., 1995). Naast de integratie en dus veelvuldige gegevensuitwisseling met SMART2 geeft SUMO2 informatie over de vegetatiestructuur door aan het model MOVE (Latour & Reiling, 1991). Dit model voorspelt op basis van abiotische eigenschappen (vocht- en stikstofbeschikbaarheid, en zuurgraad van de bodem) de kans op het voorkomen van plantensoorten. Koppeling met SUMO2 geeft MOVE de mogelijkheid om in bos alleen de kans op het voorkomen van bossoorten te voorspellen. Daarnaast is SUMO2 gekoppeld aan het model LARCH (Foppen & Chardon, 1998). SUMO2 geeft de vegetatiestructuur en de veranderingen daarin door aan LARCH. LARCH bepaalt mede op basis van de SUMO2-gegevens het duurzaam voorkomen van dierpopulaties in een bepaald gebied.

Voor een beter begrip van de modellen worden SMART2 en SUMO2 hieronder eerst kort beschreven, daarna wordt ingegaan op de specifieke doelstellingen van dit rapport.

1.2 SMART2

SMART2 is ontwikkeld om effecten van beleidsmaatregelen (o.a. atmosferische depositiescenario's) op abiotische factoren in natuurlijke ecosystemen te kwantificeren (Kros et al., 1995 en Kros, 1998). SMART2 is een uitbreiding van het bodemverzuringmodel SMART (De Vries et al., 1989). Ten opzichte van SMART is een volledige nutriëntencyclus toegevoegd, hetgeen betekent dat in SMART2 ook terugkoppeling met de strooiselproductie plaatsvindt, en is de modellering van kwel toegevoegd. In 1998 is op het voormalige IBN-DLO de successiemodule SUMO ontwikkeld, welke is geïntegreerd in het model SMART2 (Wamelink et al., 2000a).

SMART2 bestaat uit een set van massabalansvergelijkingen, welke de input-output-relaties van een bodemcompartiment beschrijven, en een set van vergelijkingen voor de beschrijving van de snelheids- en evenwichtsprocessen in de bodem. Het model bevat alle macro-elementen uit de ladingsbalans. Na^+ en Cl^- zijn slechts aanwezig als indifferente ionen en zitten alleen in de ladingsbalans. Omdat het model toepasbaar moet zijn op nationale schaal worden processen op een eenvoudige manier beschreven (Kros, 1998).

De netto elementinput bestaat uit atmosferische depositie, waarbij rekening gehouden wordt met kronendakinteractie en kwel. Verder wordt de bodemchemie beïnvloed door nutriëntencyclus-processen en de geochemische interacties in de bodem en bodemoplossing (CO₂-evenwichten, carbonaatverwerking, silicaatverwerking, oplossing van Al-hydroxides en kationenomwisseling). De volgende processen zijn niet meegenomen:

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

In SMART2, zónder SUMO, zijn de interacties tussen bodemoplossing en vegetatie niet meegenomen. Groei en strooiselproductie zijn opgelegd via een logistische groeicurve. Nutriëntenopname wordt slechts beperkt wanneer er sprake is van een tekort in de bodemoplossing. In SMART2-SUMO1 is de logistische groeicurve vervangen door SUMO en is er interactie tussen de N-beschikbaarheid en N-opname, vegetatieontwikkeling en strooiselproductie (Wamelink et al., 2000a).

Het bodemorganisch materiaal wordt verdeeld over de minerale laag en de strooisellaag. Het organisch materiaal in de minerale laag wordt niet afgebroken en wordt alleen gebruikt om de C/N-verhouding te berekenen t.b.v. immobilisatie. Het organisch materiaal in de strooisellaag wordt verdeeld in een makkelijk afbreekbaar deel (vers strooisel) en in een langzaam afbreekbaar deel (oud strooisel). De afbraak van vers strooisel wordt berekend als een fractie van de strooiselproductie. Vers strooisel dat niet in het eerste jaar wordt afgebroken gaat naar de oud-strooiselpool, welke afbreekt met een 1^e-orde reactie. Dood hout komt niet in het bodemorganisch materiaal terecht en wordt in het model verder buiten beschouwing gelaten.

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

In SMART2 worden 7 bodemtypen en 5 vegetatiestructuurtypen onderscheiden. De bodemtypen zijn:

- SP : arm zand (sand poor)
- SR : rijk zand (sand rich)
- SC : kalkrijk zand (sand calcareous)

- CN : kalkloze klei (clay non-calcareous)
- CC : kalkrijke klei (clay calcareous)
- LN : löss (loess non-calcareous)
- PN : veen (peat non-calcareous)

De vegetatiestructuurtypen zijn:

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

De invoerparameters voor SMART2 zijn gekoppeld aan bodemtype, vegetatiestructuurtype of aan een combinatie van beide. In regionale toepassingen worden altijd de nominale waarden gehanteerd. Dit zijn per bodem- en vegetatietype gemiddelde waarden die zijn afgeleid van een grote set meetgegevens over heel Nederland (de Vries en Leeters, 1998 en Klap et al., 1998). Bij een toepassing op puntniveau kunnen plaats specifieke waarden worden gebruikt. In SMART2 zonder SUMO worden vegetatieafhankelijke parameters gekoppeld aan het aanwezige (en gelijkblijvende) vegetatiestructuurtype gedurende de gehele simulatie.

1.3 SUMO

In 1998 is door het voormalige IBN-DLO (nu Alterra), in samenwerking met de Wageningen Universiteit en het RIVM, begonnen met de ontwikkeling van SUMO (Wamelink et al., 2000a). Het model is een subroutine van SMART2 en bedoeld om:

1. De vegetatieontwikkeling en daarmee samenhangende processen beter te modelleren dan in SMART2 gebeurde.
2. De modellering van de invloed van beheer op de vegetatie mogelijk te maken.
3. Terugkoppeling van de vegetatieontwikkeling (successie) naar de bodem mogelijk te maken.
4. De vegetatiestructuur te modelleren ten bate van MOVE en LARCH.

Dit moet leiden tot een verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner. De belangrijkste uitwisseling van gegevens tussen SMART2 en SUMO2 zijn de stikstofbeschikbaarheid (SMART2=>SUMO2), de biomassa (SUMO2=>SMART2), de stikstofopname (SUMO2 =>SMART2), de strooiselproductie (SUMO2=>SMART2) en het vegetatiestructuurtype (SUMO2=>SMART2). De drijvende kracht in SUMO2 is de biomassaontwikkeling. Biomassagroei wordt voorspeld op basis van stikstofbeschikbaarheid, lichtbeschikbaarheid, grondwaterstand en beheer. In SUMO2 concurreren vijf functionele typen elkaar om stikstof en licht. De groei kan bovendien worden beperkt door een lage grondwaterstand en door het beheer. De vijf functionele typen zijn: climaxbomen, pionierbomen, struiken, dwergstruiken en kruiden (inclusief grassen). Voor elk type worden drie organen gesimuleerd: wortels, houtige niet fotosynthetiserende delen en bladeren. De vijf functionele typen onderscheiden zich

onder andere van elkaar in de manier waarop nieuwe biomassa over de organen wordt verdeeld en welk deel van de organen per jaar sterft.

De concurrentie om stikstof tussen de typen vindt plaats op basis van de aanwezige wortelbiomassa (hoe meer wortelbiomassa, hoe meer stikstofopname). De stikstofopname is echter gebonden aan een maximum, dat wordt bepaald door het quotiënt van de maximale groeisnelheid en het maximale stikstofgehalte. De concurrentie om licht tussen de typen vindt plaats op basis van de lengte (de hoogste vangt eerst licht) en de bladbiomassa (hoe meer bladbiomassa, hoe meer licht er wordt onderschept). Om dit mogelijk te maken wordt van elk functioneel type de lengte gesimuleerd. Voor de bomen wordt dit per boomsoort gedaan, waarbij op basis van aanplant of successie de soorten zijn gekozen.

Bij successie bepalen de bodemomstandigheden (bodemtype en voorjaarsgrondwaterstand) de boomsoort. De lengtegroei van de boomsoorten wordt gesimuleerd met behulp van een polynoom op basis van Jansen & Sevenster (1996). De uiteindelijke jaarlijkse lengtegroei varieert tussen een minimum en een maximum en is afhankelijk van de nieuw gevormde biomassa. Voor de overige functionele typen wordt geen onderscheid gemaakt in soorten. Voor de struiken is voor de lengtegroei van een zelfde type groeicurve als voor de bomen gebruik gemaakt, waarbij een maximale lengte van ongeveer zeven meter bereikt kan worden. De lengte van de dwergstruiken en kruiden is uitsluitend afhankelijk van de biomassa in het betreffende functionele type. De hoeveelheid biomassa die per functioneel type aanwezig is, bepaalt het voorspelde vegetatiestructuurtype. Hierdoor wordt het mogelijk successie te voorspellen. Zo kan een grasland dat wordt gemaaid na staken van het beheer zich ontwikkelen naar een bos.

Door SUMO2 worden 12 structuurtypen gemodelleerd. In elk structuurtype zijn de vijf functionele typen aanwezig, al kan de hoeveelheid biomassa gering zijn (bijv. struiken in grasland). De modellering van het beheer is beperkt tot maaien, plaggen en bosbeheer. De maaifrequentie is te variëren, evenals de plagfrequentie. Het bosbeheer bestaat uit de simulatie van traditioneel beheer (kaalkap met dunning, zie Wamelink et al., 2000b) en niets doen.

1.4 Doelstellingen

Eén van de belangrijkste knelpunten in SUMO2 is de modellering van begrazing. Het gaat hierbij om begrazing door zowel wilde als gedomesticeerde grazers. In dit rapport wordt beschreven hoe het knelpunt van de begrazing is opgelost. De modellering van de ruimtelijke effecten van grazers zal in een ander project opgelost moeten worden.

De begrazing van natuurgebieden door landbouwhuisdieren is in opmars en wordt door veel beheerders gezien als een maatregel om op natuurlijke wijze een grote variatie en dus biodiversiteit in een terrein te verkrijgen en te behouden. Dit beheer is echter al eeuwen oud. Ook in het verleden werd vee ingeschaard in bijvoorbeeld

bossen, waarbij niet alleen van extensieve begrazing sprake was, maar soms zelfs van overbegrazing (van Wieren et al., 1997). De min of meer 'wilde' grazers als Schotse hooglander en hekrund, maar ook paard en schaap worden ingezet ter vervanging van de ooit in Nederland voorkomende grote grazers zoals wisent, reuzenhert en mammoet (Vera, 1997).

Doel van dit onderzoek is om op een eenvoudige wijze een begin te maken met de modellering van begrazing in SUMO2. Alleen de simulatie van begrazing door grazers in afgebakende gebieden wordt in deze fase ingebouwd. Hierbij wordt in de opzet rekening gehouden met latere uitbreidingen voor het effect van ruimtelijke interactie.

1.5 Opzet van het onderzoek

Om de opzet van begrazing te bepalen werd een workshop georganiseerd (zie bijlage 1). De effecten van begrazing zijn gemodelleerd vanuit het perspectief van de vegetatie. De grazer wordt beschouwd als een selectieve maaimachine, die een soortafhankelijke hoeveelheid biomassa van een bepaald orgaan eet. Een deel van deze gegeten biomassa komt vervolgens via mest weer beschikbaar. Deze biomassa wordt vervolgens in SMART2 verder gemodelleerd. De stikstof uit de feces komt weer vrij en is dus weer beschikbaar voor de vegetatie. Doordat verschillende grazers van verschillende organen van verschillende functionele typen eten hebben zij een soortspecifiek effect op de biomassaontwikkeling en daarmee op de vegetatieontwikkeling.

Het begrazingsbeheer is opgenomen als een aparte module, genaamd 'Animal' en wordt aangeroepen vanuit de module beheer van SUMO2. Tijdens de ontwikkeling van Animal bleek dat de methode voor de lichtonderschepping niet langer voldeed. De lichtonderschepping is daarom binnen dit project aangepast, ook hiervan wordt in dit rapport verslag gedaan. Daarnaast zijn er aanpassingen in de berekeningen van de lengte van de functionele typen en is er een kleine module toegevoegd die de leaf area index (LAI) berekent. De beschrijving van deze veranderingen is ook opgenomen.

2 Modelling van SUMO2

2.1 Inleiding

Het effect van begrazing op de vegetatie wordt gemodelleerd in een subroutine van SUMO2. De subroutine Animal wordt aangeroepen vanuit de subroutine beheer. Dit gebeurt nadat de effecten van een eventueel maaibeheer en plaggen zijn berekend. Het voordeel hiervan is dat er een combinatie van begrazing met een ander beheer mogelijk is en ook als er geen actief beheer is kunnen er begrazingseffecten worden gemodelleerd. In de subroutine wordt geen onderscheid gemaakt tussen natuurlijke grazers en gedomesticeerde grazers, de gegevens worden op dezelfde manier ingelezen en dezelfde berekeningen worden uitgevoerd, met soortspecifieke parameters.

Een uitzondering hierop is de terugkoppeling van de voedselbeschikbaarheid op de grazers. Bij een voedseltekort of -overschot wordt het aantal 'wilde' grazers aangepast aan het voedselaanbod (met een bovengrens). Het aantal gedomesticeerde grazers wordt niet aangepast.

Naast de toevoeging van Animal aan SUMO2 zijn een aantal subroutines licht gewijzigd en is de subroutine 'licht' ingrijpend gewijzigd. Naast de aanroep (in 'beheer') betreft dit het doorgeven van variabelen die ingelezen en uitgevoerd worden. Een beschrijving van deze en andere parameters, mede ten bate van opname in het MRE (van Elswijk et al., 2001), zijn te vinden in bijlage 2. In de subroutine 'licht' is de manier waarop de concurrentie tussen de functionele typen gemodelleerd wordt, gewijzigd.

In paragraaf 2.1 wordt een beschrijving gegeven van de gebruikte formules, in paragraaf 2.2 wordt de parameterisatie beschreven, paragraaf 2.3 geeft de benodigde invoer. Paragraaf 2.4 geeft de wijzigingen in SMART2. Met de komst van de begrazingsmodule was het noodzakelijk om een aantal andere subroutines aan te passen. In paragraaf 2.5.1 worden de wijzigingen in de module voor de lengteberekening beschreven, in paragraaf 2.5.3 de wijzigingen in de module voor lichtonderschepping. In verband met de koppeling van SWAPLite aan SMART2-SUMO2 is er een module voor de berekening van de LAI toegevoegd, deze staat beschreven in paragraaf 2.5.2.

2.2 Formularium en beschrijving

De modellering van Animal valt uiteen in drie delen. In het eerste deel wordt op basis van de voorkeur van de grazer voor bepaalde organen van bepaalde functionele typen en de aanwezige verhouding van biomassa tussen alle organen. Dit bepaald hoeveel elke grazer van elk orgaan zal eten. In het tweede deel wordt berekend hoeveel elke grazer eet op basis van de beschikbaarheid en wordt aanwezige biomassa verminderd met de gegeten biomassa. Op basis van de gegeten biomassa wordt de hoeveelheid mest berekend. De totale hoeveelheid mest en het

stikstofgehalte van de mest worden berekend en doorgegeven aan SMART2, waar het wordt gemineraliseerd. In het laatste deel wordt bepaald of de draagkracht van de vegetatie meer of minder grazers toelaat. Op basis hiervan vindt er een correctie plaats van het aantal wilde grazers.

2.2.1 Formularium van Animal

Een uitgebreide beschrijving van de formules is te vinden in paragraaf 2.1.2. De verklaring van de gebruikte symbolen wordt gegeven in het uiklapvel.

Berekening van het aantal grootvee-eenheden

$$GVE_t = ru_t + ho_t + jo_t + wi_t * 2 + pa_t + po_t + sc_t / 5 + el_t + re_t / 9 + ed_t / 3 + da_t / 4 + mo_t / 5 + zw_t / 4 \quad [1]$$

Berekening van de totale beschikbare hoeveelheid biomassa (2) en per orgaan (3)

$$bbb_{ijt} = bm_{ijt} - bmm_{ij} \quad [2]$$

$$\begin{aligned} \text{als } bbb_{ijt} < 0 \text{ dan } bbb_{ijt} &= 0 \\ \text{als } lcb_t > 1,5 \text{ m dan } bbb_{4,3t} &= 1,5 * bl_{4,3t} \text{ en } bbb_{5,3t} = 1,5 * bl_{5,3t} \\ \text{als } lcb_t > 10 \text{ m dan } bbb_{4,3t} &= 0,1 * 1,5 * bl_{4,3t} \text{ en } bbb_{5,3t} = 0,1 * 1,5 * bl_{5,3t} \\ \text{als } cb \text{ of } pb = \text{naaldboom dan } bbb_{4,3t} &= 0,5 * 1,5 * bl_{4,3t} \text{ en } bbb_{5,3t} = 0,5 * 1,5 * bl_{5,3t} \end{aligned}$$

$$bv_{jt} = bbb_{ijt} / \sum_{i=1,5} bm_{jt} \quad [3]$$

Berekening van de voorkeur van grazer op basis van het aanbod en omrekening van de voorkeur grazer naar 100%

$$ev_{ijgt} = bv_{ijt} * vg_{ijg} / \sum_{i=1,5 j=1,3} (bv_{ijt} * vg_{ijg}) \quad [4]$$

Berekening van de benodigde biomassa per orgaan voor alle grazers (5), of er voldoende voedsel aanwezig is (6) en de hoeveelheid gegeten biomassa (7, 8, 9, 10)

$$ng_{ijgt} = ev_{ijgt} * vb_{ijgt} * aa_{gt} \quad [5]$$

$$no_{ijt} = \sum_{g=1,15} ng_{ijgt} \quad [6]$$

Als: $bbb_{ijt} \geq no_{ijt}$

$$gg_{ijgt} = no_{ijt} \quad [7]$$

Als: $bbb_{ijt} < no_{ijt}$

$$gg_{ijgt} = bbb_{ijt} * (ng_{ijgt} / no_{ijt}) \quad [8]$$

Het tekort wordt opgeteld bij de behoefte van het volgende functionele type.

$$ng_{i+1jgt} = ng_{i+1jgt} + (ng_{ijgt} - gg_{ijgt}) \quad [9]$$

Als de beschikbare biomassa in de wortels of de houtige delen op is wordt die opgeteld bij de behoefte aan bladbiomassa van de kruiden.

$$ng_{1,3gt} = ng_{1,3gt} + (ng_{5,jgt} - gg_{5,jgt}) \quad [10]$$

Omdat er een tekort aan te eten biomassa kan ontstaan voor blad, maar er nog wel voldoende voedselaanbod is in een voorgaand functioneel type in het orgaan blad worden in een 'tweede ronde' formule 6 tmt 9 herhaald en formule 5 vervangen door onderstaande formule 12. Hierbij wordt de beschikbare hoeveelheid biomassa eerst verminderd met de al gegeten biomassa.

Berekening hoeveel er nog over is [11] en wat er in de tweede ronde gegeten moet worden door grazers [12]

$$bbr_{ijt} = bbb_{ijt} - \sum_{g=1,15} gg_{ijt} \quad [11]$$

$$ngr_{1,3gt} = ng_{5,3gt} - gg_{5,3gt} \quad [12]$$

Verlagen aantal grazers (alleen voor wilde grazers)

Als: $ngr_{ijgt} - gg_{ijgt} > 0$

$$tg_{gt} = (\sum_{i=1,5, j=1,3} ng_g - \sum_{i=1,5, j=1,3} gg_{gt}) / \sum_{i=1,5, j=1,3} ng_g \quad [13]$$

$$aa_{gt+1} = aa_{gt} - (tg_{gt} * aa_{gt} * d) \quad [14]$$

Verhogen aantal grazers (alleen voor wilde grazers)

Als: $\sum_{i=1,5, j=1,3, g=1,15} bbb_t > db * \sum_{i=1,5, j=1,3, g=1,15} gg_t$

$$f = db * (\sum_{i=1,5, j=1,3} bbb_t - \sum_{i=1,5, j=1,3} gg_t) / \sum_{i=1,5, j=1,3} ng_g \quad [15]$$

$$aa_{gt+1} = aa_{gt} + (aa_{gt} / \sum_{g=8,15} aa_t) * f \quad [16]$$

Biomassacorrectie voor gegeten biomassa

$$bm_{ijt} = bm_{ijt} - \sum_{g=1,15} gg_{ijt} \quad [17]$$

Berekening hoeveelheid feces en N-gehalte

$$po_t = \sum_{i=1,5, j=1,3, g=1,15} (gg_t * pg_g) \quad [18]$$

$$np_t = \sum_{g=1,15} (nb_g * \sum_{i=1,5, j=1,3} gg_{gt}) / po_t \quad [19]$$

Beschrijving van de symbolen in de formules, ingelezen parameterwaarden worden cursief weergegeven:

i	=	functioneel type; 1=kruiden en grassen, 2=dwergstruiken, 3=struiken, 4= pionierbomen, 5=climaxbomen
j	=	orgaan; 1=wortels, 2=houtige biomassa, 3=blad
g	=	grazer; 1=rund, 2=Schotse hooglander, 3=jongvee, 4=wisent, 5=paard, 6=pony, 7=schaap, 8=eland, 9=ree, 10=edelhert, 11=damhert, 12=moeflon, 13=wild zwijn, 14=gans, 15=konijn
t	=	tijdstip

ru = rund, ho = schotse hooglander, jo = jongvee, wi = wisent, pa = paard, po = pony, sc = schaaap, el = eland re = ree, ed = edelhert, da = damhert, mo = moeflon, zw = wild zwijn (voor alle geldt het aantal dieren)

aa	=	aantal grazers
bbb	=	beschikbare biomassa voor begrazing per orgaan (ton/ha)
bbr	=	beschikbare biomassa in de tweede ronde grazen (in formules 6 - 9 te gebruiken i.p.v. bbb) (ton/ha)
bl	=	bladbiomassa per lengte eenheid en per vegetatietype (ton/ha/m)
bm	=	biomassa per orgaan (ton/ha)
bmm	=	niet-beschikbare biomassa voor begrazing per orgaan (ton/ha)
bo	=	biomassa per orgaan (ton/ha)
bv	=	verhouding tussen de aanwezig biomassa per orgaan
cb	=	matsfactor (1,1)
ch	=	matsfactor (0,5)
cl	=	matsfactor (1,2)
ev	=	eetverhouding; de verhouding waarmee de grazers van de aanwezige biomassa in de organen eten
f	=	vermenigvuldigingsfactor
gg	=	gegeten biomassa per orgaan en per grazer (ton/ha)
lcb	=	lengte van de climaxboom (m)
nb	=	N-gehalte van de mest per diersoort
ng	=	benodigde hoeveelheid biomassa per orgaan en per grazer (ton/ha)
ngr	=	benodigde biomassa per orgaan en per grazer in de tweede ronde (ton/ha)
no	=	biomassa per orgaan voor begrazing (ton/ha)
np	=	N-gehalte van de totale hoeveelheid mest
pg	=	mestgehalte van de gegeten biomassa per grazer
po	=	hoeveelheid mest voor alle grazers tezamen (ton/ha)
tg	=	aantal grazers dat er teveel is
vb	=	voedselbehoefte per orgaan per grazer (ton/ha)
vg	=	voorkeur grazer; initiële verhouding waarmee de grazers van de aanwezige biomassa in de organen eten

2.2.2 Berekeningen in Animal

De initiële graasdruk wordt in Animal opgelegd en ingelezen van de kaart (zie bijlage 3). Daarnaast worden de parameters voor te eten biomassa per grazer (zie tabel 1), de graasvoorkeur (zie tabel 2), hoeveelheid mest (zie tabel 3) en N-gehalte daarvan (zie tabel 4) ingelezen. Per grazer wordt de relatieve voorkeur voor elk orgaan van elk functioneel type ingelezen (voor de bepaling van die verhouding zie 2.2). Voor de bepaling van de effecten van begrazing op de lengtegroei wordt het aantal GVE (grootvee-eenheden) berekend, waarbij de gegeten hoeveelheid biomassa bepalend is voor het aantal GVE (formule [1]).

In Animal wordt er van uitgegaan dat iedere grazer weliswaar zijn eigen voorkeur heeft voor bepaalde organen van bepaalde functionele typen (bijv. blad van kruiden en grassen), maar dat de aanwezige verhouding tussen de organen van de functionele typen ook een rol speelt in de voedselkeuze. De initieel ingelezen voedselkeuze wordt daarom gecorrigeerd voor het voedselaanbod (formule [2] - [4]). Hiertoe wordt de voorkeur per beest en per orgaan van een functioneel type vermenigvuldigd met de aanwezige verhouding van dat orgaan t.o.v. de totale aanwezige biomassa (formule [4]). De som van de producten wordt vervolgens weer op 1 gesteld. Feitelijk monitoren grazers niet alleen op het aanbod van biomassa, maar ook op het N-gehalte van die biomassa. Op het ogenblik wordt daar echter nog geen rekening mee gehouden.

Per orgaan wordt bepaald hoeveel biomassa er beschikbaar is voor begrazing (formule [2]). Dit is ook voor blad niet de volledig aanwezige bladbiomassa. Dit is om technische redenen (anders zou al snel alle vegetatie opgegeten worden en er geen biomassa overblijven) en ook in het veld is niet alle biomassa bereikbaar voor grazers, er blijft altijd een deel achter. Een uitzondering is hierop misschien een paardenwei, maar die wordt dan zo intensief begraasd dat dat niets meer met natuurbeheer te maken heeft. De hoeveelheid biomassa die niet gegeten kan worden wordt ingelezen uit een file (biommin.txt), de waarden staan vermeld in bijlage 9. De beschikbaarheid van biomassa wordt gecorrigeerd voor de lengte van het functionele type. Er wordt van uitgegaan dat bladbiomassa boven 1,5m boven het maaiveld niet meer bereikbaar en dus beschikbaar is voor grazers. Er wordt tevens van uitgegaan dat bomen boven 10m een sterk verminderde hoeveelheid blad beneden de 1,5m hebben. Om de betreffende hoeveelheid biomassa te bepalen, wordt gebruik gemaakt van een parameter die wordt berekend in de nieuwe lichtmodule (voor een uitgebreide beschrijving hiervan zie paragraaf 2.5.3). Daarin wordt de biomassa per lengte eenheid berekend. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de betreffende bomen en struiken hun blad als een cilinder rond de stam verdeeld hebben. Voor bomen groter dan 1,5m is de beschikbaarheid van bladbiomassa voor grazers 1,5 maal de bladbiomassa per m. Voor bomen met een lengte van meer dan 10m is de beschikbare biomassa 0,15 maal de de bladbiomassa per m (10% van de bladbiomassa die beschikbaar is van bomen met een lengte tussen 1,5 en 10,0m). Verder wordt er nog gecorrigeerd voor naaldbomen. Voor de meeste grazers is dit geen voorkeursvoedsel. Omdat er alleen parameters zijn voor de voorkeur van grazers voor functionele typen, maar niet voor boomsoorten wordt met de afkeer

voor naaldbomen bij de beschikbaarheid rekening gehouden. Als de boomsoort een naaldboom is dan wordt de beschikbare bladbiomassa gehalveerd.

Per orgaan wordt vervolgens bepaald hoeveel biomassa er nodig is bij de aanwezige graasdruk (formule [5]). Als er genoeg biomassa is wordt alle benodigde biomassa opgegeten. De gegeten biomassa wordt in mindering gebracht van de aanwezige biomassa (formule [17]) en de subroutine wordt afgesloten.

Als er te weinig biomassa van een orgaan aanwezig is wordt er gegeten wat er beschikbaar is (formule [8]) en bepaald of er van een ander orgaan van een ander functioneel type nog wel voldoende voedsel beschikbaar is (formule [9]). Als er te weinig wortel - of houtige biomassa aanwezig is, wordt er alleen gekeken of dit kan worden gecompenseerd door bladbiomassa (formule [10]). Om technische redenen wordt dit in twee rondes bepaald (formules [11] en [12]) voor de tweede ronde). De controle of er genoeg eetbare bladbiomassa is wordt in de volgorde kruiden, dwergstruiken, struiken, pionier- en climaxbomen bepaald. Als er te weinig eetbare bladbiomassa van pionierbomen is, wordt het tekort voor de grazer opgeteld bij de behoefte van de grazer aan climaxboom bladbiomassa (formule [9]). Als hier ook te weinig van is dan gaat dat tekort de tweede ronde in. Het is immers mogelijk dat er nog wel voldoende eetbare bladbiomassa in bijvoorbeeld de kruiden aanwezig is. Alle functionele typen worden hierop nogmaals gecontroleerd voor beschikbare bladbiomassa. Feitelijk vindt hier een achterafcorrectie (de tweede) plaats van beschikbare biomassa ten opzichte van de voorkeur van de grazers. Als er dan alsnog genoeg bladbiomassa aanwezig is wordt dit gegeten en wordt de subroutine afgesloten.

Als er te weinig eetbare biomassa is dan gaan in de praktijk dieren dood of gaan ze ergens anders grazen. Animal heeft daarom een correctie voor het aantal wilde grazers bij een voedseltekort. Het teveel aan wilde grazers wordt bepaald aan de hand van het tekort aan eetbare biomassa. Het aantal wilde grazers wordt evenredig verminderd (formules [13] en [14]). Deze reductie kan in principe doorgaan tot er geen wilde grazers meer zijn. Er is besloten de gedomesticeerde grazers niet op deze wijze te verminderen. Er is aangenomen dat men deze kuddes stabiel houdt. Bij successie naar bos zou het echter te overwegen zijn om of het aantal gedomesticeerde grazers drastisch te verminderen of zelfs geheel te verwijderen.

Mocht het aantal grazers nul zijn geworden dan blijft dit niet voor de rest van de run zo. Als er weer eetbare biomassa aanwezig is dan wordt het aantal grazers weer opgehoogd. Dit gebeurt ook als de beschikbare biomassa groter is dan de hoeveelheid plus 10% die de grazers nodig hebben. Het aantal wilde grazers wordt dan opgehoogd (evenredig verdeeld over de soorten die (initieel) aanwezig zijn, formule [15] en [16]). Het aantal grazers wordt maximaal tweemaal zo groot als de initiële hoeveelheid.

Naast het verminderen van de aanwezige biomassa met de gegeten biomassa (formule [17]) wordt de totale hoeveelheid mest berekend (formule [18]) en het N-gehalte daarvan (formule [19]). Voor beide berekeningen wordt gebruik gemaakt van

parameters die de hoeveelheid mest geven als een fractie van de hoeveelheid gegeten biomassa en het N-gehalte daarvan. De hoeveelheid mest en het N-gehalte zijn invoer voor SMART2, waar dit wordt gemineraliseerd en de stikstof daardoor weer beschikbaar komt voor de planten. De volledige subroutine Animal wordt gegeven in bijlage 10.

2.3 Parameterisatie van de begrazing

De gebruikte parameters voor Animal zijn gebaseerd op gegevens uit de literatuur. De resultaten van het literatuuronderzoek staan voor de drogestofconsumptie in tabel 1, de voorkeur van de grazer voor organen en vegetatietypen in tabel 2, de hoeveelheid mest in tabel 3 en de stikstofgehaltenes van mest in tabel 4. Aan die laatste tabel is ook het fosfaatgehalte toegevoegd, hoewel dit op het ogenblik in SUMO2 nog geen rol speelt.

De uiteindelijke waarden voor de parameters in Animal zijn het gemiddelde van de literatuurwaarden. Hierop zijn een aantal uitzonderingen. Voor de wisent is de waarde van 4500 kg voor drogestofconsumptie aangehouden, de overige waarden uit de literatuur worden als veel te hoog beschouwd (pers. med. G.W.T.A. Groot-Bruinderink, 2000). De gegevens uit de literatuur over de mestproductie en het N-gehalte daarvan is voor niet-gedomesticeerde grazers erg summier of afwezig. Daarom zijn gegevens gebruikt van gedomesticeerde grazers om de hoeveelheid mest per grazer te berekenen. Hierbij is rekening gehouden met de hoeveelheid voedsel die een grazer eet. De stikstofgehaltenes zijn zonder meer overgenomen.

Tabel 1. Drogestofconsumptie van grazers in Animal (in ton/ha/j). Weergegeven worden de gemiddelde waarden (avg) met standaarddeviatie (sd) van de literatuurgegevens. De literatuurwaarden staan in bijlage 4.

grazer	n	avg	sd
ree	2	239	16
edelhert	3	708	69
pony	1	1462	-
rund	1	2288	-
wild zwijn	1	522	-
damhert	1	513	-
moefflon	2	365	81
schaap	5	525	129
gans	1	2,8	-
eland	1	2007	-
wisent	1	4500	-
Schotse hooglander	1	2490	-
jongvee	2	2464	129

Tabel 2. Voorkeur van de grazers in Animal in verhouding tot elkaar (het totaal is een) voor de verschillende functionele typen (gemiddelden) met standaarddeviatie (sd) op basis van literatuurgegevens. Tenzij anders vermeld gaat het hierbij om blad. De literatuurgegevens staan vermeld in bijlage 5.

grazer	n	grassen/ kruiden	sd	dwerg- struiken	sd	struiken	sd	loof- bomen	sd	naald- bomen	sd	dierlijk	sd	mast	sd	wortels	sd
damhert	4	0,43	0,20	0,05	0,11	0,30	0,23	0,06	0,04	0,06	0,09			0,09	0,10		
edelhert	4	0,48	0,24	0,17	0,13			0,28	0,24	0,03	0,04						
konijn	3	0,91	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03						
moeflon	2	0,41	0,01	0,19	0,11			0,02	0,03	0,39	0,13						
paard	1	0,95	-		-		-	0,06	-		-						
pony	2	0,90	0,12	0,01	0,01			0,08	0,08	0,03	0,04						
ree	5	0,48	0,19	0,08	0,17	0,20	0,19	0,17	0,15	0,01	0,02			0,06	0,08		
rund	2	0,87	0,11			0,03	0,04	0,11	0,15								
Schotse hooglander	1	0,53	-	0,01	-	0,03	-	0,28	-	0,15	-	-	-		-		
wild zwijn	1	0,41	-	0,04	-		-		-		-	0,03	-	0,44	-	0,08	-
wisent	2	0,79	0,16					0,22	0,16								

Voor wisent geldt dat het deel loofbomen deels bestaat uit een bast. Dit is ook zo gemodelleerd in Animal.

Tabel 3. De gemiddelde hoeveelheid mest die grazers per jaar uitscheiden (in ton/ha/j) en het gemiddelde mestgehalte van de gegeten biomassa. De biomassa's komen uit tabel 1. De literatuurgegevens staan in bijlage 7.

grazer	mest	gegeten	gehalte mest
Rund	1577	2288	0.69
Pony	1282	1462	0.88
Schaap	152	480	0.32
gemiddelde percentage			0.63
standaarddeviatie			0.29

Tabel 4. N- en P-gehalten van mest. In Animal is het N-gehalte voor varkens gebruikt voor zwijnen. De literatuurgegevens staan vermeld in bijlage 6.

grazer	n	N	sd	P	sd
vee	6	0.0070	0.0017	0.0125	0.0151
varkens	2	0.0075	0.0000	0.0090	0.0000
Schaap	1	0.0210	-	0.0090	-
Ganzen	1	0.0440	-	0.0450	-

2.4 Invoer voor Animal

Met de komst van Animal is ook de invoer in SUMO2 uitgebreid. De parameters voor de gegeten hoeveelheid voedsel, het gehalte mest per eenheid gegeten biomassa, het stikstofgehalte van de mest en het stikstofgehalte van de urine (wordt nog niet gebruikt) per grazer wordt ingelezen uit de file 'mest.txt'. De parameters staan vermeld in bijlage 11. De voorkeuren van de grazers voor de organen van de functionele typen staan vermeld in bijlage 5. Deze worden ingelezen uit de file 'graas.txt' (bijlage 12). De gegevens over de niet-beschikbare biomassa worden ingelezen uit de file 'biommin.txt' en staan vermeld in bijlage 9.

Naast deze parameters heeft Animal informatie nodig over welke (aantallen) grazers aanwezig zijn per grid en per vegetatietype. Deze worden tegelijk met de overige kaartgegevens ingelezen. De invoerfile met gegevens per rekeneenheid en vegetatietype, vegtyp.txt, is hiervoor uitgebreid met 15 kolommen. Per grazer wordt het aantal per hectare ingelezen. Dit getal kan gelijk aan of groter dan nul zijn en mag een decimaal getal zijn. Door alle grazers op nul te zetten wordt er zonder begrazing gemodelleerd; deze subroutine wordt in dat geval overgeslagen. Feitelijk kan op deze manier SUMO2 worden gedraaid met en zonder de effecten van begrazing.

Om SUMO2 goed te kunnen laten voorspellen is het van groot belang dat er gegevens over de soorten en aantallen grazers op een landelijke schaal bekend zijn en in een kaart verwerkt worden. Op het ogenblik is zo'n kaart echter niet beschikbaar en het is de vraag of die wel te maken valt. Voor de grote grazers die bewust ingezet worden bij het beheer zijn deze gegevens waarschijnlijk wel aanwezig. Over de aanwezigheid en dichtheid van wilde grazers zijn op zijn best alleen grove schattingen aanwezig. Daarbij kan het aantal beesten als gevolg van vegetatiesuccessie nogal variëren. Om toch het effect van wilde grazers te kunnen modelleren wordt het aantal afgestemd op het aanbod van beschikbare biomassa, behalve voor de eerste jaar van de run. Hierdoor worden enige effecten benaderd van de ruimtelijke

dimensie die begrazing heeft. Als in de ene cel het voedselaanbod vermindert, wordt het aantal grazers vermindert, terwijl in een naburige cel het aanbod misschien hoger en daarmee het aantal grazers hoger wordt.

2.5 Veranderingen in SMART2

De mest en urine die de grazers uitscheiden komen in de bodem terecht, waardoor enige aanpassingen in de bodemmodule nodig zijn. SUMO2 berekent de totale hoeveelheid mest (en urine) die door de grazers wordt geproduceerd en het gemiddelde N-gehalte hierin. SMART2 berekent de hoeveelheid stikstof die via de mest (en urine) binnenkomt (formule [24]). Omdat SUMO2 in andere eenheden rekt dan SMART2 wordt in SUMO2 de totale hoeveelheid mest omgerekend van ton/ha naar kg/ m².

$$\text{anitex} = \text{amex} * \text{ctnitex} * \text{cvnit} * 100 \quad [24]$$

waarin:

anitex = totale hoeveelheid stikstof in mest (mol_c/m²)

amex = hoeveelheid mest (kg/m²)

ctnitex = N-gehalte in mest (%)

cvnit = conversiefactor voor omrekening van % naar mol_c/m² (=0,71)

Er wordt van uitgegaan dat de stikstof aanwezig is in de vorm van ammonium, omdat bij mineralisatie van organische stof stikstof in de vorm van ammonium vrijkomt. Deze extra ammoniuminput wordt bij de 'normale' ammoniuminput opgeteld en vervolgens op dezelfde manier behandeld als de rest van de ammonium in SMART2. Ammonium kan nitrificeren en vervolgens denitrificeren. Uiteindelijk levert dit een lichte toename van de N-beschikbaarheid op. Er wordt geen rekening gehouden met eventuele toename van organische stof.

2.6 Overige veranderingen

In deze paragraaf staan een aantal veranderingen beschreven die, nadat het laatste rapport (Wamelink et al., 2000b) verschenen is, zijn uitgevoerd. Het gaat hierbij om veranderingen in de subroutine 'licht.for', 'lengte.for' en de toevoeging van een subroutine om de LAI te berekenen, 'Laindex.for'.

2.6.1 Subroutine lengte

In de subroutine 'lengte.for' is de modellering van de lengtegroei van de bomen (pionier en climax) bij geen beheer aangepast. In de oude versie nam de lengte van de bomen al toe terwijl er geen biomassagroei gesimuleerd werd. In de verbeterde versie is ook de lengtegroei van de bomen bij geen beheer gekoppeld aan de houtige biomassa die aanwezig is in de struiken of bomen. Hierdoor wordt beneden de drempelwaarde (0,25 ton/ha) de lengtegroei steeds teruggebracht naar de initiële

lengte (lengte voor kiemplanten). Komt de biomassa boven de drempelwaarde dan wordt de lengte van de bomen gesimuleerd volgens de groeicurven in SUMO2 (zie verder Wamelink et al., 2000a). Voor een voorbeeld zie figuur 1.

Het effect van begrazing op de lengte wordt ook in deze subroutine gemodelleerd. Hiervoor wordt het aantal grootvee-eenheden (GVE) bepaald op basis van de gegeten hoeveelheid voedsel. Jongvee, rund, Schotse hooglander, eland, paard en pony zijn 1 GVE, een wisent is 2 GVE, een schaap is 0,25 GVE, een ree is 0,11 GVE, een edelhert is 0,33 GVE, een damhert is 0,25 GVE, een moeflon is 0,2 GVE en een wild zwijn is 0,25 GVE. Als het totale aantal GVE groter is dan 1,5 dan wordt de leeftijd van de bomen en struiken een jaar teruggezet, hetgeen erin resulteert dat er geen lengtegroei plaats vindt. In de praktijk betekent dit dat er in 'overbegraasde' weilanden geen successie naar bos optreedt en de lengte van de bomen en struiken niet het juveniele stadium overstijgt (zie bijv. fig. 5h).

Daarnaast is het inlezen van de parameters voor de berekening van de lengtegroei gewijzigd. Deze parameters stonden in de code van de subroutine en worden nu ingelezen uit een file; 'lengteparam.txt'. De inhoud van de file staat vermeld in bijlage 8.

Voor een beter bepaling van de hoogte van de functionele typen kruiden en dwerstruiken wordt deze nu berekend afhankelijk van de biomassa. De lengte van zowel de kruiden als de dwergstruiken is gelijk aan 0,1 maal de totale biomassa (ton/ha) in het functionele type. Daarnaast is het 'tijdstip' waarop de lengtegroei van de bomen begint aangepast. Dit gebeurt op het moment dat er een drempelwaarde wordt overschreden in de houtige biomassa van struiken, pionierbomen en climaxbomen. De drempelwaarde is verhoogd van 0,10 naar 0,25 ton/ha.

Wanneer de lengten van de verschillende vegetatietypen maar een paar cm verschillen moeten ze dus eigenlijk niet op basis van lengte, maar alleen op basis van de bladbiomassa zouden concurreren. Dit probleem is ook opgelost en staat beschreven in paragraaf 2.5.3.

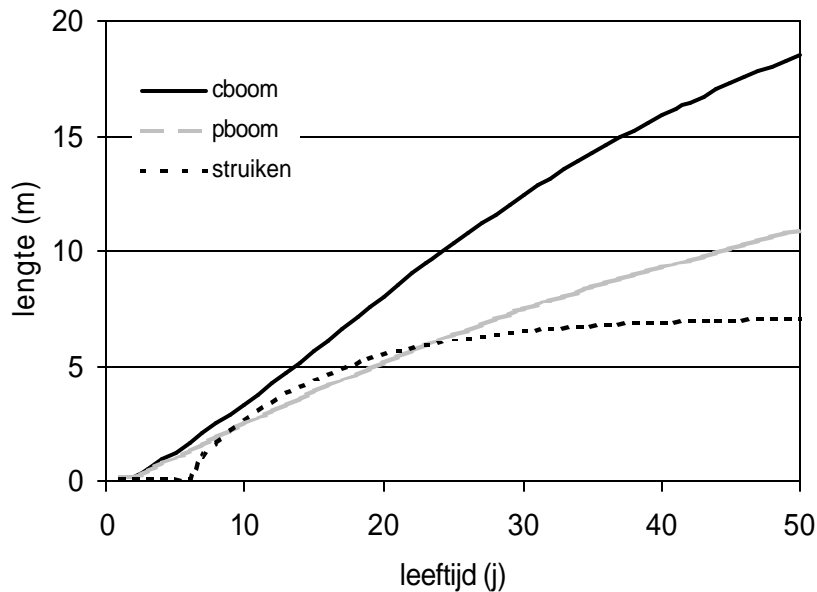


Fig. 1. Lengtegroei van de climaxboomsoort (cboom), pionierboomsoort (pboom) en struiken op een droge rijke zandbodem en een stikstofdepositie van 50 kg/ha zonder begrazing. Er is geen initiële boomsoort opgelegd, het model simuleert onder deze omstandigheden een eikenbeukenbos. Om praktische redenen is de lengte van de dwergstruiken en kruiden niet weergegeven, zij is wel gemodelleerd.

2.6.2 LAI-berekening

De subroutine 'Laindex.for' is toegevoegd aan SUMO2 in het kader van de inbouw in het MRE (Modellen Raamwerk Ecologie, van Elswijk et al., 2001). In dit modellenraamwerk zijn de modellen SWAPLite (Groenendijk et al., 1999), SMART2, SUMO2 en NTM3 (Wamelink et al., 1998) gekoppeld. Het model SWAPLite berekent de vochtinhouding van de bodem. Voor de verdamping heeft dit model o.a. de leaf area index (LAI) nodig. De LAI wordt door SUMO2 berekend en doorgegeven aan SWAPLite.

SUMO2 berekent de LAI op basis van de bladbiomassa (formules [20] – [22]). Hiertoe wordt de bladbiomassa van alle functionele typen gesommeerd. Deze totale bladbiomassa dient als basis voor de berekening van de LAI. Bij de berekening wordt onderscheid gemaakt tussen de vegetatietypen. De LAI voor de vegetatietypen grasland, heide, riet, kwelder en hoogveen wordt berekend volgens formule [20], voor licht loofbos, donker eiken- en beukenbos, donker beukenbos, structuurrijk loofbos en struweel volgens formule [21] en voor licht- en donker naaldbos volgens formule [22]. Voor alle berekeningen geldt dat er een ondergrens voor de LAI is ingebouwd van 0,1 (formule [23]).

Voor grasland, heide, riet, kwelder en hoogveen.

$$LAI_t = (0,4425 * bt_t) - 0,3982 \quad [20]$$

Voor licht loofbos, donker eiken- en beukenbos, donker beukenbos, structuurrijk loofbos en struweel.

$$LAI_t = bt_t \quad [21]$$

Voor licht - en donker naaldbos.

$$LAI_t = 0,5 * bt_t \quad [22]$$

Als: $LAI_t < 0,1$

$$LAI_t = 0,1 \quad [23]$$

met:

LAI : Leaf Area Index op tijdstip t
bt : totale bladbiomassa in ton/ha
t : tijdstip (jaar)

Formule [20] is volgens Cusack et al., (1999), voor de andere formules zijn gebaseerd op expertkennis (pers. comm. P. Groenendijk, 2000). De berekening van de LAI is opgesplitst voor drie groepen omdat deze groepen soorten bevatten die grote verschillen vertonen in Specific Leaf Area (SLA). De formules zijn slechts gebaseerd op een kort literatuuronderzoek, dat alleen bruikbare resultaten opleverde voor niet-bossystemen. Als de LAI een belangrijkere rol gaat spelen binnen SUMO2 of binnen het MRE is het belangrijk om een uitgebreidere literatuurstudie te doen. Mogelijk kan er dan een relatie worden gevonden voor elk door SUMO2 onderscheiden vegetatietype (dus bijvoorbeeld voor grasland, riet of structuurrijk loofbos).

2.6.3 Herformulering van lichtonderschepping

Tijdens de ontwikkeling van de begrazingsmodule bleek dat de modellering van de lichtonderschepping problemen opleverde. Tot nu toe werd de lichtonderschepping gemodelleerd op basis van de hoogte van de vegetatie en de bladbiomassa. De hoogte werd en wordt berekend op basis van de aanwezige biomassa en groeicurven (voor de wijzigingen in de modellering van de lengtegroei zie 2.5.1). Elk jaar werd bepaald welke functioneel type het hoogste was. De hoogste onderschepte als eerste licht op basis van de aanwezige bladbiomassa en dan volgde de op een na hoogste, enz. In de praktijk is het echter zo dat functionele typen overlap vertonen, waardoor de bladbiomassa zich deels in dezelfde ruimte bevindt. Met andere woorden, blad van bijvoorbeeld pionierbomen en climaxbomen concurreren voor het overgrote deel direct met elkaar omdat zij zich op dezelfde hoogte bevinden. In de oude situatie kon het voorkomen dat de climaxboom slechts een paar centimeter hoger was dan de pionierboom, waardoor de climaxboom eerst met alle biomassa licht onderschepte en daarna pas de pionierboom.

Om bovenstaande probleem op te lossen zijn alle functionele typen opgedeeld in overlappende stukken. Een voorbeeld hiervan voor een jong bos wordt gegeven in figuur 2. Het laagste functionele type (in fig. 2 de dwergstruiken) concurreert met zijn bladbiomassa met de bladbiomassa van de andere functionele typen die zich in hetzelfde 'blok' bevinden. De ondergrens van dit blok is de bodem, de bovengrens de hoogte van de dwergstruiken. In het volgende blok concurreren de functionele typen kruiden en grassen, struiken, pionierbomen en climaxbomen met elkaar op basis van de bladbiomassa. De ondergrens van het blok wordt gevormd door de lengte van de dwergstruiken (is de bovengrens van het onderliggende blok) en de bovengrens door de hoogte van de kruiden en struiken. Dit patroon herhaalt zich verder tot het hoogste functionele type (in dit geval de pionierbomen). Hierdoor ontstaan er steeds vijf blokken. De indeling binnen de blokken en de lengte van de blokken ligt niet vast. Het kan voorkomen dat grassen en kruiden het hoogste zijn en dan alleen in het bovenste blok zitten en in alle andere blokken die eronder zitten, samen met andere functionele typen. Per blok en functioneel type wordt berekend hoeveel bladbiomassa er aanwezig is. Hiervoor wordt elk functioneel type voorgesteld als een cilinder met een evenredige verdeling van het blad over de lengte. Per lengte-eenheid (m) wordt de bladbiomassa berekend, waarna met behulp van de lengte van een blok de bladbiomassa in dat blok wordt berekend. Per blok wordt de totale bladbiomassa berekend, welke wordt gebruikt om de lichtonderschepping in dat blok te bepalen (het hoogste blok onderschept als eerste licht; voor de gebruikte formule zie Wamelink et al., 2000a, formule 3 p. 23). De lichtonderschepping van het functionele type per blok wordt berekend op basis van de aanwezige bladbiomassa en de uitdovingcoëfficiënt (evenredige verdeling). Vervolgens wordt per functioneel type de totale lichtonderschepping berekend (zie voor een voorbeeld fig. 3). Deze wordt gebruikt om de potentiële groeisnelheid van het functionele type te bereken (formule 4 p. 23 uit Wamelink et al., 2000a). Voor de boomsoorten vindt er een correctie plaats als de bomen een lengte hoger dan 10m bereiken. Er wordt dan aangenomen dat er zich beneden de 2 m geen blad meer bevindt. De bladbiomassa beneden de 2m komt terecht in het blok erboven. In principe zou dit een extra blok opleveren in het blok dat rond om de 2m ligt. Hier wordt echter geen rekening mee gehouden, de biomassa komt in het bovenliggende blok en binnen dit blok concurreren deze bomen met de overgebleven bladbiomassa om licht. De volledige subroutine licht wordt gegeven in bijlage 13.

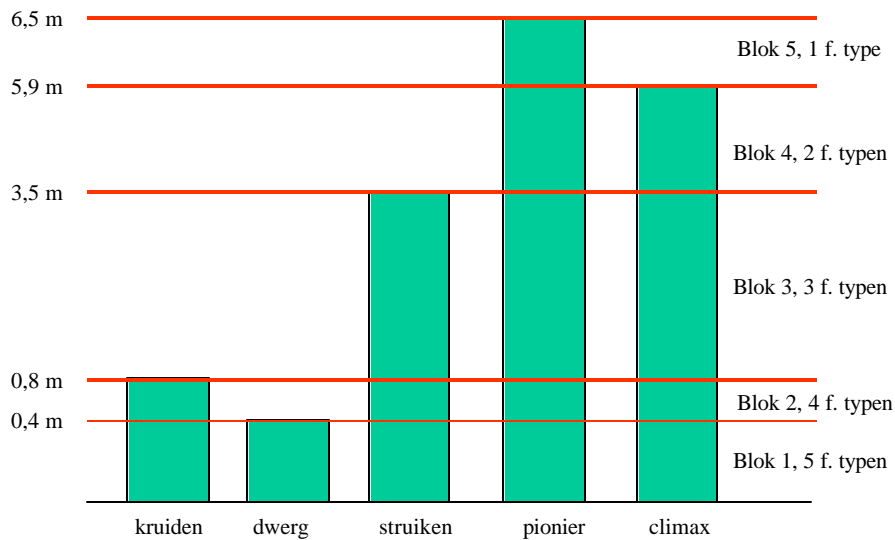


Fig 2 Indeling van de functionele typen in blokken op basis van de hoogte van de functionele typen. De bladbiomassa wordt over deze blokken verdeeld, waarna per blok de lichtinterceptie wordt berekend. Links staat de hoogte van de functionele typen, die tevens de bovengrens van een blok vormen. Rechts staat het bloknummer en het functionele type (f. typen).

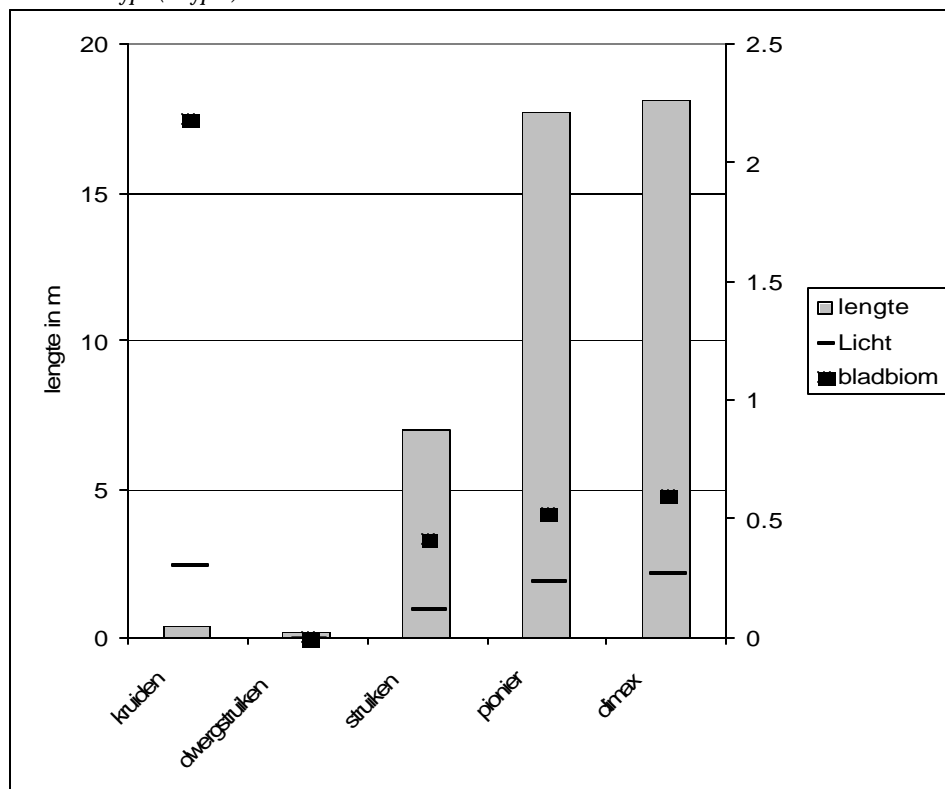


Fig 3. De linker-as geeft de lengte van de vijf functionele typen (kruiden en grassen, dwergstruiken, struiken, pionierbomen en climaxbomen) voor een 50 jaar oude vegetatie in Zuid-Limburg (GT=5, bodemtype=niet kalkrijke klei), waar successie vanaf de kale grond heeft plaatsgevonden. De door SUMO voorspelde boomsoorten zijn els en es. De rechter as geeft de lichtinterceptie (fractie, totaal = 1) van de typen en de bladbiomassa (in ton/ha).

3 Test van SUMO

In dit hoofdstuk wordt een aantal figuren die gebruikt zijn voor het testen en parameteriseren van de veranderingen in SUMO2 weergegeven. De gebruikte invoer staat in bijlage 3. Het bostype is in geen van de gevallen opgelegd. SUMO2 voorspelt op basis van de gvg (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) en bodemtype voor alle voorbeelden in Zuid-Limburg een natuurlijk loofbos met als boomsoorten els en es. Voor alle voorbeelden in Gelderland is dit licht loofbos met als boomsoorten grove den en eik. Een uitzondering wordt gevormd door de intensief begraasde graslanden (fig. 5g voor Zuid-Limburg en fig. 8g voor Gelderland). Hier wordt wel biomassa voorspeld voor boomsoorten en struiken, maar hier vindt geen successie naar bos plaats. Het vegetatietype blijft grasland. De biomassa in de bomen bestaat vooral uit houtige biomassa die langzaam opgebouwd wordt.

3.1 Voorbeelden in Zuid-Limburg

Grasland met maaien en grazen

Fig. 4 geeft een voorbeeld van een grasland zonder (fig. 4a-4d) en met begrazing (fig. 4e-4g). Fig. 4a en 4b geven de biomassaontwikkeling en de hoogte van de vegetatie zonder beheer, fig. 4c en 4d bij eenmaal per jaar maaien en fig. 4e en fig. 4g bij eenmaal per jaar maaien met begrazing. Het aantal grazers staat in fig. 4g. Een aantal dingen valt op bij de onderlinge vergelijking van de figuren. De voorspelde biomassa wordt lager naarmate het beheer intensiever wordt. Nu de hoogte van de kruiden en grassen ook afhankelijk is gemaakt van de biomassa komt dit ook tot uiting in de hoogte van de vegetatie die dramatisch afneemt. Het maaien en afvoeren van biomassa heeft een groter effect (8 ton/ha minder) dan begrazen (4 ton/ha minder) bij de gebruikte graasdruk. De graasdruk zou echter nog verder opgevoerd kunnen worden, waardoor de gegeten biomassa uiteraard ook hoger wordt.

Grasland met begrazing

In figuur 5 is de initiële graasdruk steeds verder opgevoerd. Fig. 5a-5c geven de biomassaontwikkeling, de hoogte van de vegetatie en het aantal grazers bij een lichte begrazing, fig. 5d-5f bij matig intensieve begrazing en fig. 5g-5i bij intensieve begrazing. Bij een lichte en matig intensieve begrazing ontstaat er uiteindelijk bos. Deze ontwikkeling gaat sneller naarmate de graasdruk groter wordt. De concurrentiepositie van jonge bomen en struiken wordt in het model sterker naarmate er meer begrazing plaatsvindt. Dit komt doordat alle grazers bij voorkeur kruiden en grassen eten. De lengtegroei van de bomen komt, na de veranderingen in de modellering hiervan (zie 2.5.1 en fig. 7h), ongeveer gelijk op gang met de biomassatoename van de bomen. Fig. 5c laat zien dat zodra de bosontwikkeling op gang komt het voedselaanbod voor de grazers afneemt en dat als gevolg daarvan het aantal wilde grazers afneemt. De initiële graasdruk in de run weergegeven in fig. 5d-5f is aan de hoge kant voor deze vegetatie. Het aantal wilde grazers daalt heel snel naar

nul (fig. 5f), temeer daar het voedselaanbod ook al snel minder wordt als gevolg van de snelle bosontwikkeling.

Hier wordt goed duidelijk wat het effect is van het niet-variëren van de hoeveelheid gedomesticeerde grazers afhankelijk van het voedselaanbod. Er blijft geen voedsel over voor de wilde grazers. Deze verdwijnen langzaam. De hoeveelheid gegeten biomassa is echter ook kleiner dan de behoefte van het aantal gemodelleerde grazers. De Schotse hooglanders in dit voorbeeld zullen dus bijgevoerd moeten worden willen ze blijven leven in deze dichtheid. Bijvoeren wordt niet gemodelleerd, maar wordt dus wel impliciet gesuggereerd. de extra hoeveelheid mest die dat op levert komt niet in het systeem terecht.

De graasdruk in fig. 5g-5f ligt boven de 1,5 GVE (fig. 5i). Net als in het vorige voorbeeld vindt hier overbegrazing plaats. Omdat de GVE hier boven de 1,5 ligt kan de bosontwikkeling niet op gang komen. Toch neemt heel langzaam de biomassa in de bomen en struiken toe. Het gaat hierbij om de houtige biomassa. Als in dit voorbeeld ook het aantal gedomesticeerde grazers zou worden aangepast aan het aanbod, dan zou het aantal snel dalen, tot onder de 1,5 GVE en zou er ook bosontwikkeling worden voorspeld.

Kale grond met bosbeheer en begrazing

Successie vanaf nagenoeg kale grond wordt door SUMO2 duidelijk anders gesimuleerd dan vanuit grasland. Fig. 6 geeft drie voorbeelden met een verschillend bosbeheer. Voor bosbeheer is gekozen omdat in alle simulaties er vanaf kale grond snel bos ontstaat. Afhankelijk van het beheer zijn er wel duidelijk verschillen in de biomassaontwikkeling van de functionele typen. Als er geen beheer en geen begrazing is dan is er na 100 jaar ongeveer evenveel biomassa aanwezig voor pionieren en climaxbomen en zijn de functionele typen kruiden en grassen, en struiken ook gedurende lange tijd goed vertegenwoordigd (fig. 6a). Bij begrazing liggen de verhoudingen tussen de functionele typen dramatisch anders en zit vrijwel alle biomassa in de climaxbomen (fig. 6e). Voor de grazers wordt voorspeld dat alleen de konijnen en de reeën zich (lang) kunnen handhaven (fig. 6e). Wanneer de begrazing wordt gecombineerd met bosbeheer (klassiek bosbeheer; dunnen met kaalkap) dan handhaven de pionierbomen zich beter (deze worden niet gedund beneden een houtige biomassa van 10 ton/ha). Ook wordt door het beheer de concurrentiepositie van de overige functionele typen versterkt, wat resulteert in een voorspelling van een hogere biomassa (fig. 6f). Dit valt ook te zien aan het aantal grazers dat hoger is dan bij geen bosbeheer (fig. 6h).

De voorspellingen leiden tot een aantal interessante conclusies over het beheer van bossen. Bossen die niet begraasd en beheerd worden geven een beeld dat overeenkomt met een structuurrijk bos, waar alle functionele typen langdurig goed vertegenwoordigd zijn. De simulatie laat ook zien dat er uiteindelijk een eenvormig bos zal ontstaan met één hoofdboomsoort. Verder voorspelt SUMO2 dat het dunnen en kappen in combinatie met begrazing een structuurrijker bos kan geven dan alleen begrazen van het bos. Op de lange duur zal het bos zelfs structuurrijker

worden dan een niet-beheerd en begraasd bos. De draagkracht van de vegetatie voor grazers is groter bij dunnen en kappen dan zonder beheer.

3.2 Voorbeelden in Gelderland

Heide met plaggen en begrazen

In fig. 7 wordt een aantal simulaties voor heidevelden gegeven. Het beheer bestaat uit plaggen met natuurlijke begrazing (fig. 7a-7c), plaggen met natuurlijke begrazing en schapenbegrazing (fig. 7d-7f) en natuurlijke begrazing en schapenbegrazing (fig. 7g-7i). Het plaggen veroorzaakt een periodieke ineenstorting van de biomassa (fig. 7a en fig. 7d). Wanneer het plaggen achterwege blijft ontstaat er, ondanks de begrazing, bos (fig. 7g). Het voorspelde effect van de begrazing naast plaggen is dat de dwergstruiken uiteindelijk dominant worden. Binnen een plagperiode neemt de biomassa in de functionele typen struiken, pionier- en climaxbomen toe. Plaggen blijft volgens SUMO2 naast begrazen dus nodig om de heide in stand te houden. Het verwijderen van de bosopslag kan een alternatief zijn. Net als bij de graslanden en bossen wordt het aantal wilde grazers minder als de graasdruk van gedomesticeerde grazers toeneemt (fig. 7c, 7f en 7i).

Grasland met begrazing

De stikstofbeschikbaarheid in de bodem die door SMART2 wordt voorspeld is voor een deel afhankelijk van het bodemtype. Omdat de voorspellingen in SUMO2 weer voor een groot deel afhankelijk zijn van de stikstofbeschikbaarheid worden er ook een aantal voorbeelden gegeven voor een arme zandgrond in Gelderland. In vergelijking met de rijke situatie in Zuid-Limburg (fig. 5) zijn er veel overeenkomsten, maar ook een aantal verschillen (fig. 8). Voor beide standplaatsen wordt een successie naar bos voorspeld, tenzij de graasdruk boven de 1,5 GVE uit komt (fig. 8g-8i), neemt het aantal grazers af bij successie naar bos en zorgt overbegrazing door gedomesticeerde grazers voor het verdwijnen van de wilde grazers (fig. 8c, 8f en 8i). Echter, bij alleen natuurlijke begrazing duurt het onder de armere Gelderse omstandigheden (fig. 8a) langer voordat successie naar bos plaatsvindt en is de climaxboom wat dominantier aanwezig. Dit laatste is ook het geval bij een intensievere begrazing. De successie vindt echter op ongeveer hetzelfde tijdstip plaats. De grotere dominantie van de climaxbomen onder de armere omstandigheden wordt veroorzaakt door de boomkeuze door SUMO2 (Gelderland grove den met eik, Zuid-Limburg els met es) en de daarbij behorende vegetatietypen (licht loofbos voor Gelderland, structuurrijk loofbos voor Zuid-Limburg). In licht loofbos zijn de parameters iets meer afgesteld op bosbouw, waar de climaxboom wat dominantier aanwezig is dan in structuurrijk loofbos zonder bosbouwkundige functie.

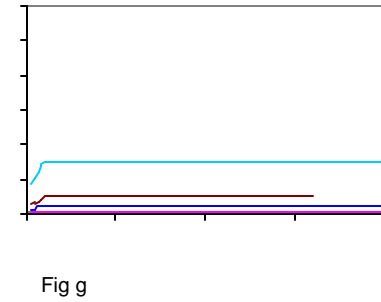
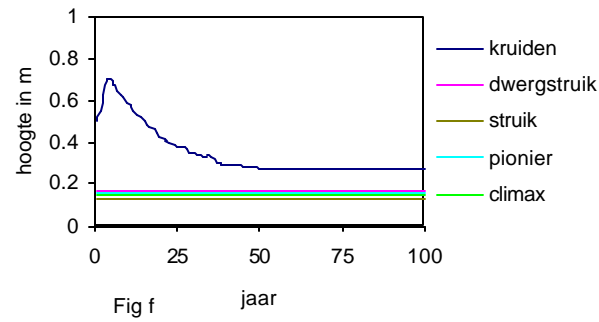
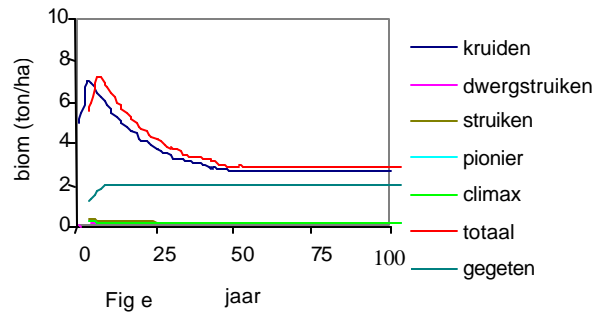
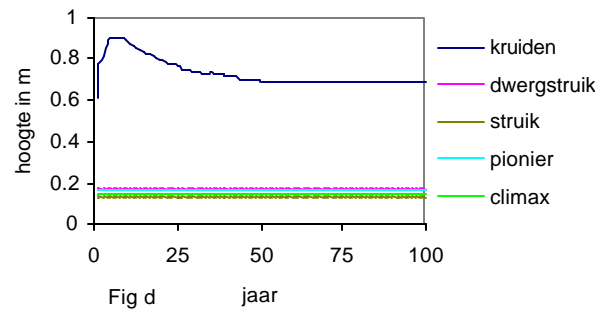
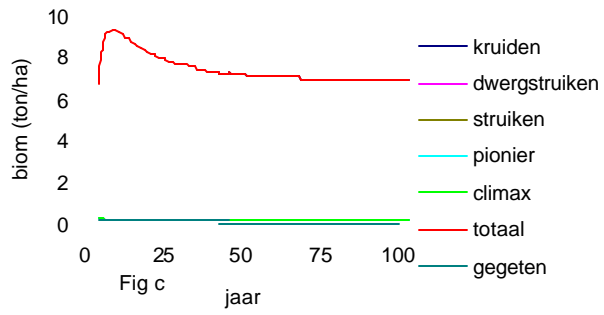
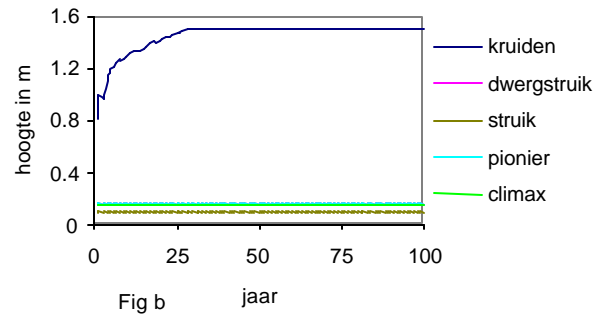
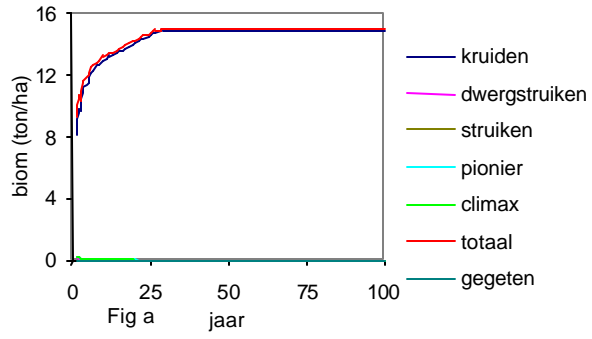
Kale grond met en zonder bosbeheer en begrazing

Fig. 9 geeft de successie van een kale zandgrond in Gelderland naar een bos, waarbij al dan niet bosbeheer wordt gepleegd (traditioneel beheer, dunnen en kappen). Tijdens de run wordt de leeftijd waarop gekapt wordt niet bereikt. De successie zonder beheer geeft in de eerste periode een gelijk opgaand beeld voor pionier- en climaxbomen, waarna de climaxbomen uiteindelijk dominant worden (fig. 9a). Dat

beeld wijzigt drastisch als er bosbeheer en begrazing als beheersmaatregelen worden gemodelleerd. De climaxbomen zijn zeer dominant aanwezig, het bosbeheer heeft ook nauwelijks invloed op de concurrentiepositie van de overige functionele typen (fig. 9c). Het aantal wilde grazers is in het begin vrij hoog, maar aan het einde van de run kunnen alleen een aantal konijnen zich handhaven (fig. 9e). Het beeld wordt vooral veroorzaakt door de begrazing. Hierdoor wordt de concurrentiepositie van de functionele typen, uitgezonderd de climaxbomen, zodanig verzwakt dat ze na het dalen van de graasdruk niet meer terug kunnen komen door vooral lichtconcurrentie van de climaxbomen.

Kale grond met natuurlijk bosbeheer en begrazing

In het kader van een ander project wordt gewerkt aan de modellering van natuurlijk bosbeheer (wel dunnen, niet kappen). De eerste resultaten hiervan worden weergegeven in fig. 10. Zonder begrazing lijkt de ontwikkeling (fig. 10a) van de biomassa en de successie naar bos erg op de ontwikkeling zonder beheer in fig. 9a. Climaxbomen en pionierbomen groeien gelijk op, waarna uiteindelijk de climaxbomen dominant worden. Wanneer ook begrazing wordt gemodelleerd (fig. 10c) dan lijken de voorspellingen sterk op die voor het traditionele beheer (fig. 9c e.v.). Dit geeft aan dat het modelleren van natuurlijk beheer nog verder ontwikkeld dient te worden.



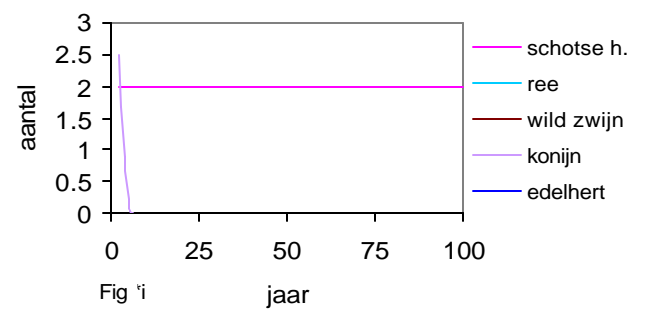
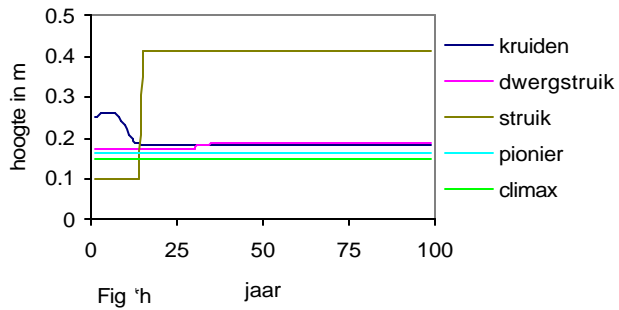
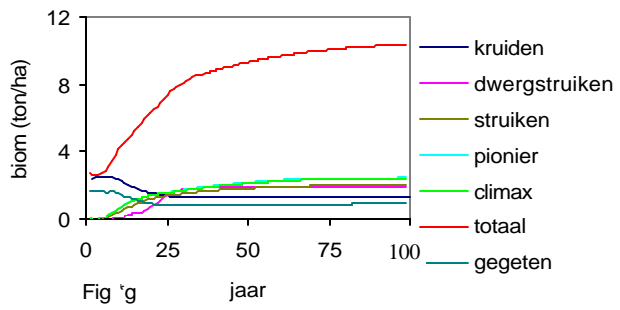
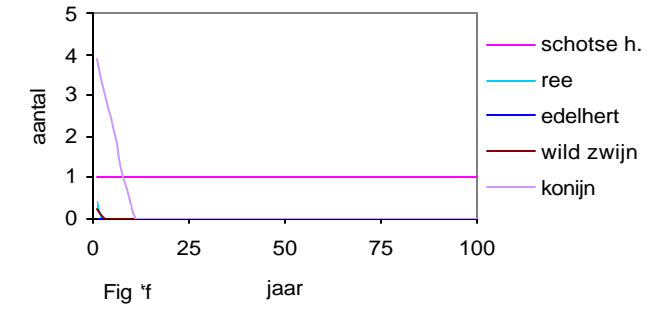
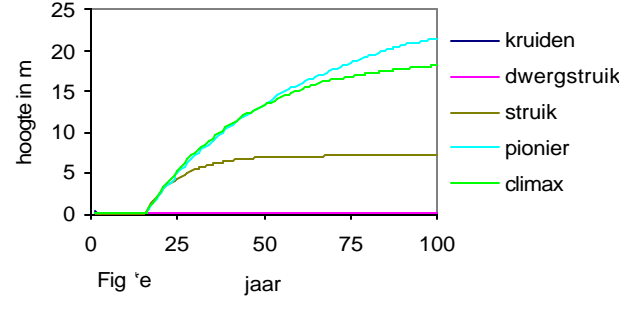
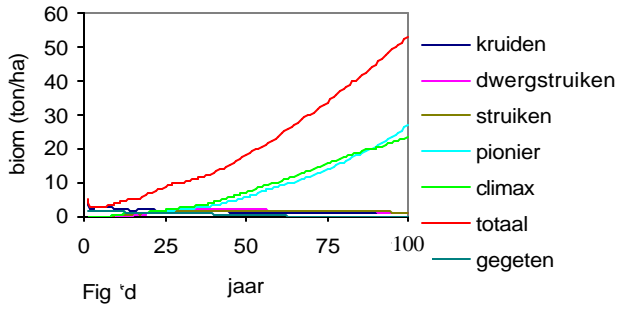
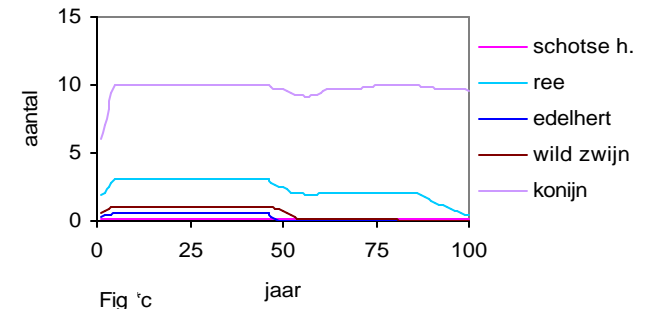
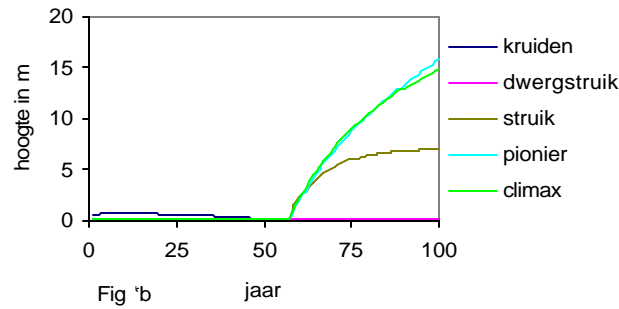
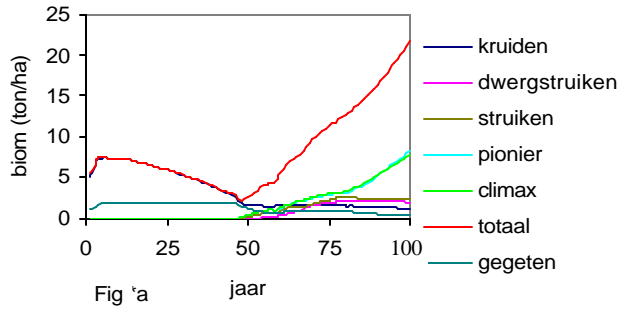


Fig. 5 a tmt i. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroei en graasdruk in een grasland in Zuid Limburg op kalkarme kleigrond. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling met een lichte begrazing, fig. b de bijbehorende lengtegroei, fig. c het aantal grazers. Fig. d geeft de biomassa ontwikkeling met een matig intensieve begrazing, fig. e de bijbehorende lengtegroei en fig. f het aantal grazers. Fig. g geeft de biomassa ontwikkeling met een intensieve begrazing, fig. h geeft de bijbehorende lengtegroei en fig. i geeft het aantal grazers.

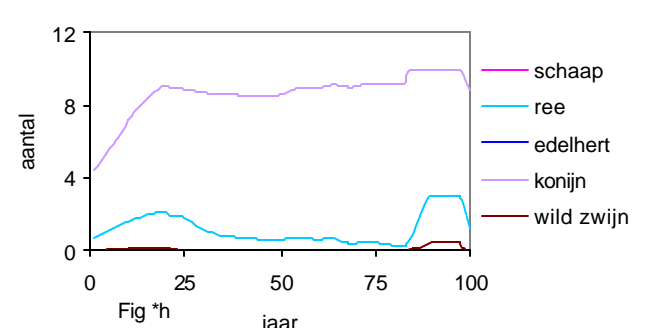
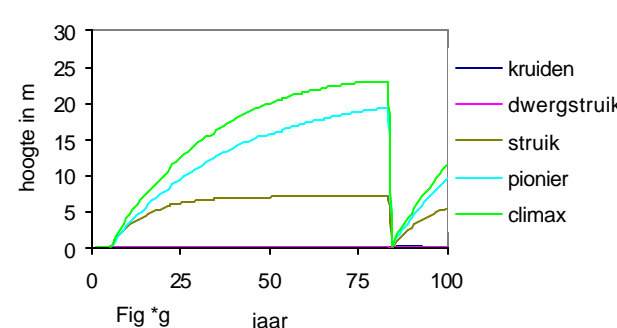
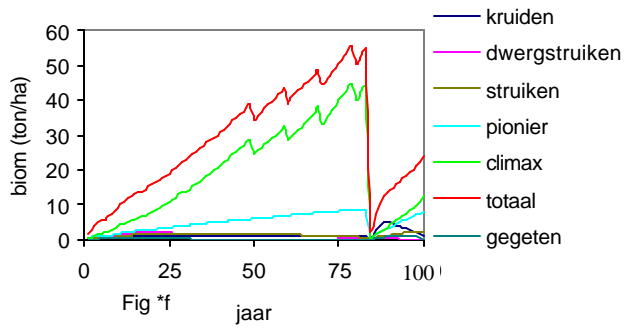
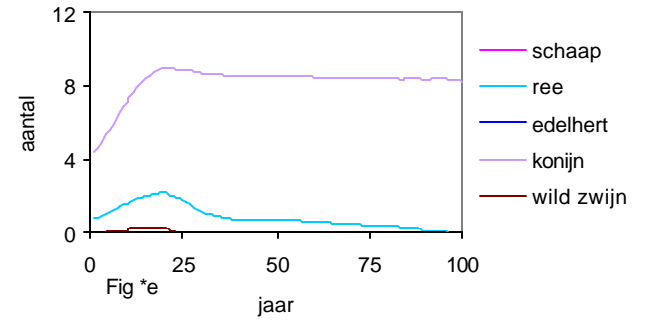
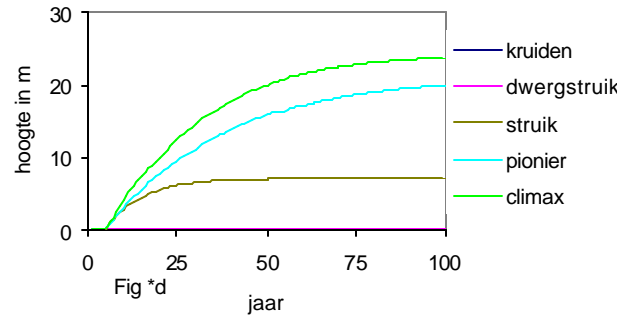
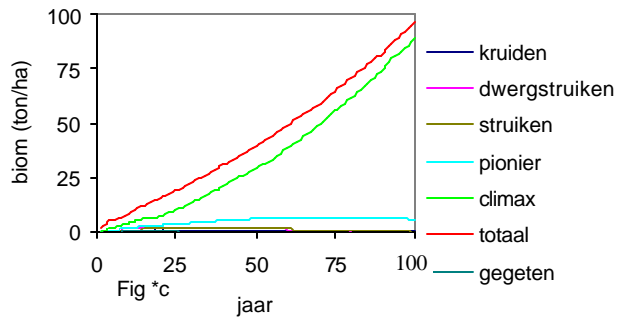
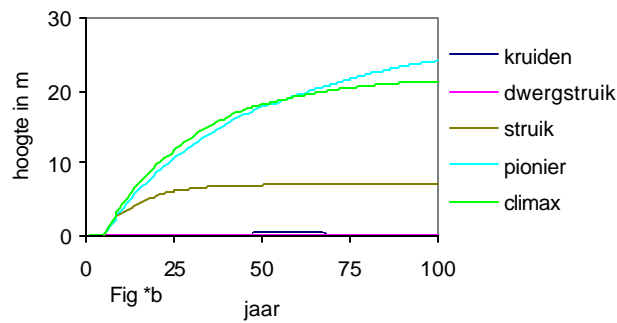
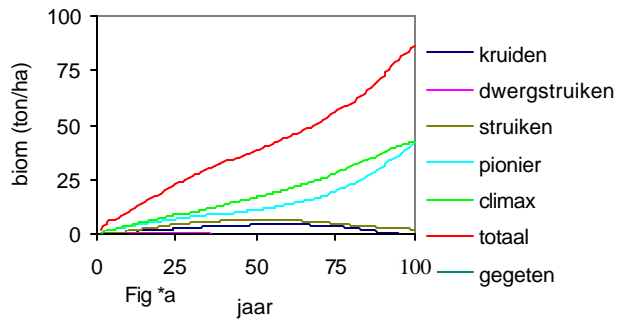


Fig. 6 a tmt i. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroei en graasdruk op een kale grond in Zuid Limburg op kalkarme kleigrond. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling zonder beheer, fig. b de bijbehorende lengtegroei. Fig. c geeft de biomassa ontwikkeling met natuurlijke begrazing, fig. d de bijbehorende lengtegroei en fig. e het aantal grazers. Fig. f geeft de biomassa ontwikkeling natuurlijke begrazing en traditioneel bosbeheer, fig. g geeft de bijbehorende lengtegroei en fig. h geeft het aantal grazers.

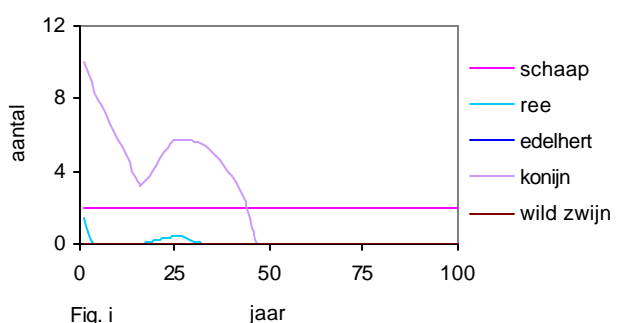
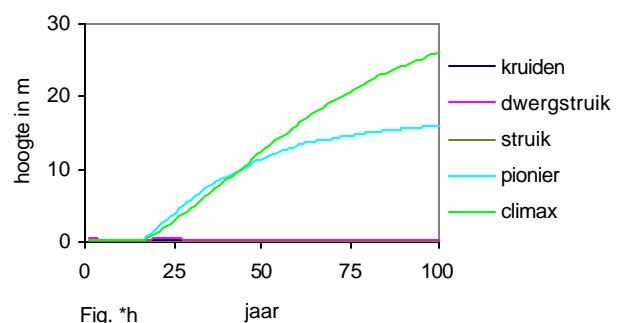
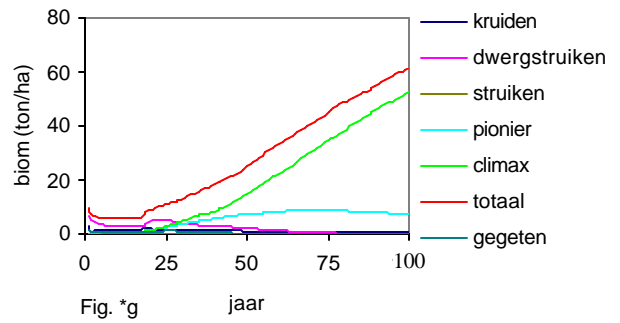
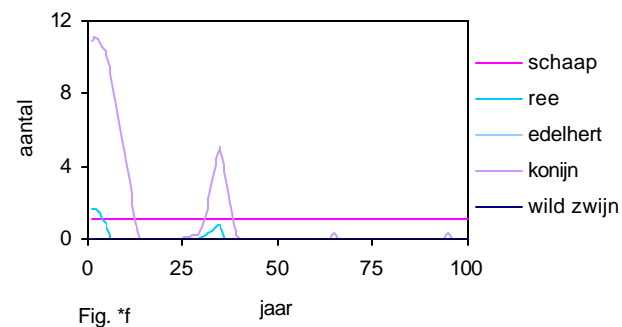
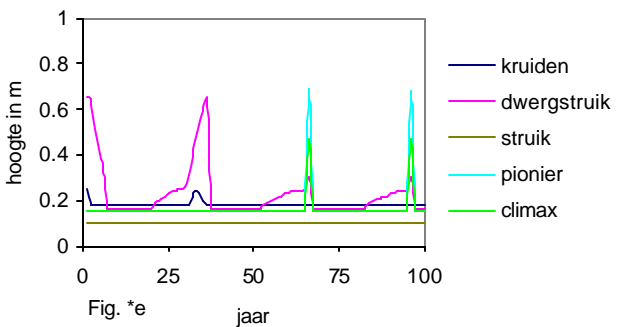
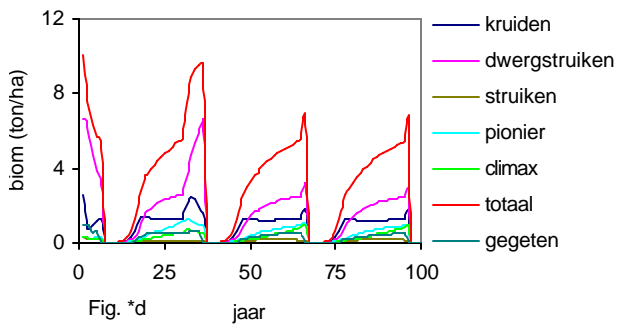
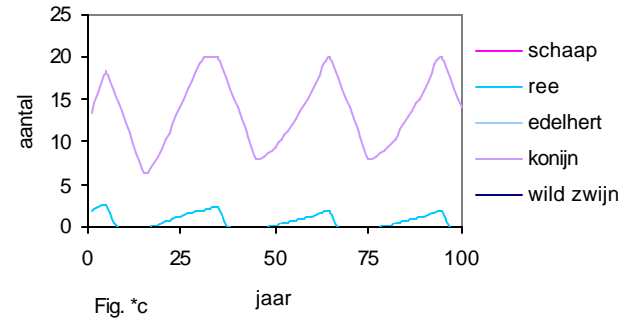
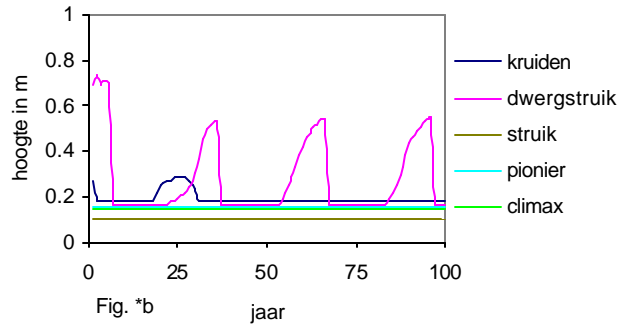
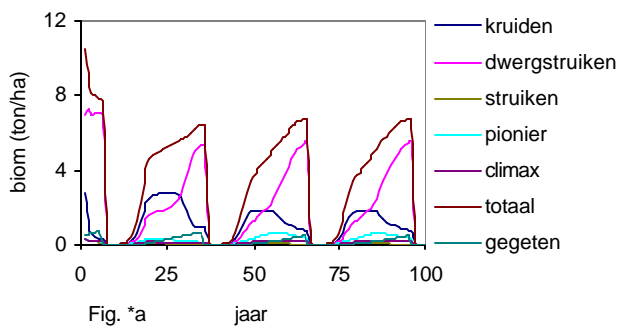


fig. 7 a tmt i. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroei en graasdruk in een heideveld in Gelderland op arme zandgrond. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling met een natuurlijke begrazing n plaggen elke 30 jaar, fig. b de bijbehorende lengtegroei, fig. c het aantal grazers. Fig. d geeft de biomassa ontwikkeling met een lichte begrazing met schapen en plaggen, fig. e de bijbehorende lengtegroei en fig. f het aantal grazers. Fig. g geeft de biomassa ontwikkeling met een matig intensieve begrazing zonder plaggen, fig. h geeft de bijbehorende lengtegroei en fig. i geeft het aantal grazers.

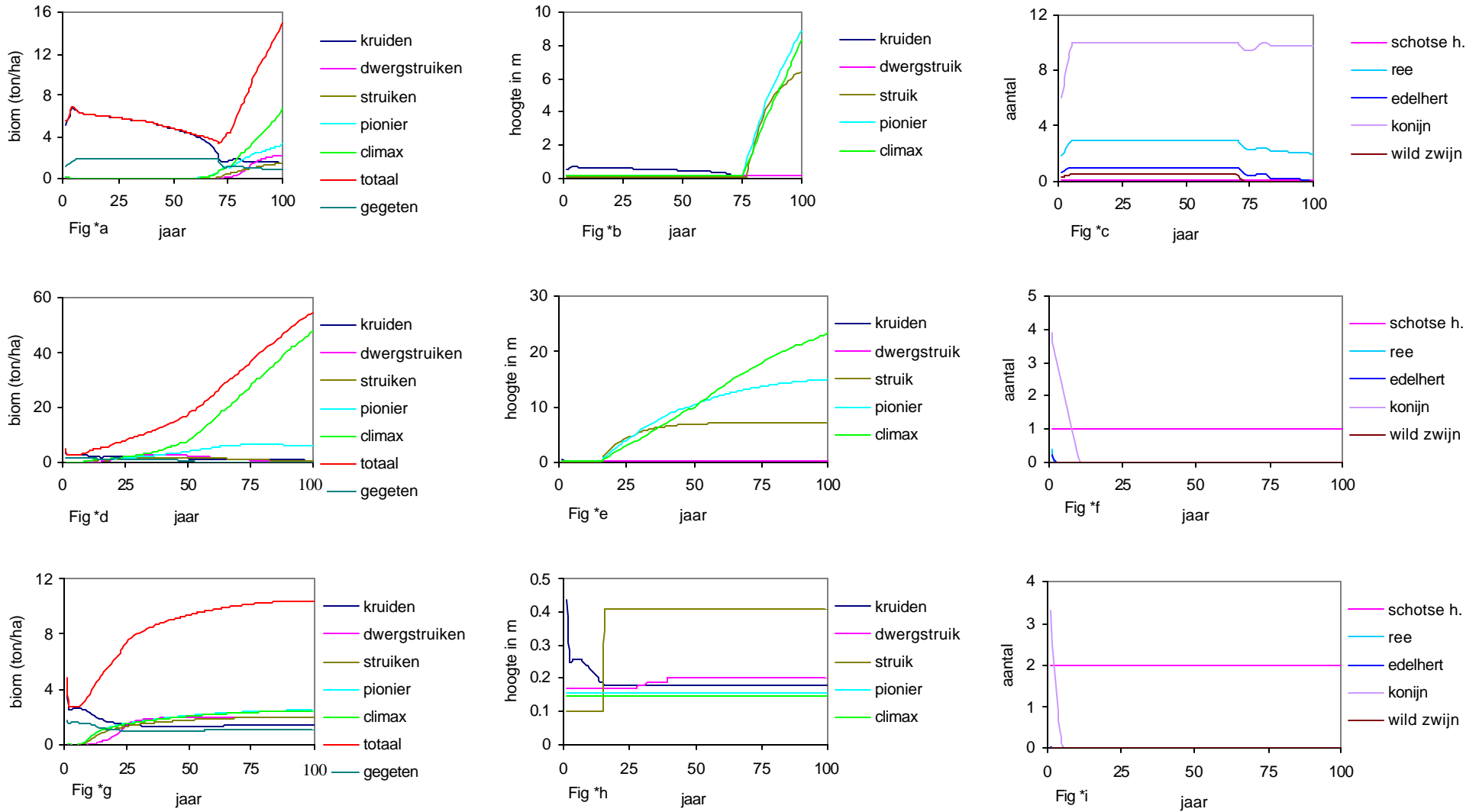


fig. 8 a tmt i. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroei en graasdruk in een grasland in Gelderland op ame zandgrond. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling met een lichte begrazing, fig. b e bijbehorende lengtegroei, fig. c het aantal grazers. Fig. d geeft de biomassa ontwikkeling met een matig intensieve begrazing, fig. e de bijbehorende lengtegroei en fig. f het aantal razers. Fig. g geeft de biomassa ontwikkeling met een intensieve begrazing, fig. *h geeft de bijbehorende lengtegroei en fig. i geeft het aantal grazers.

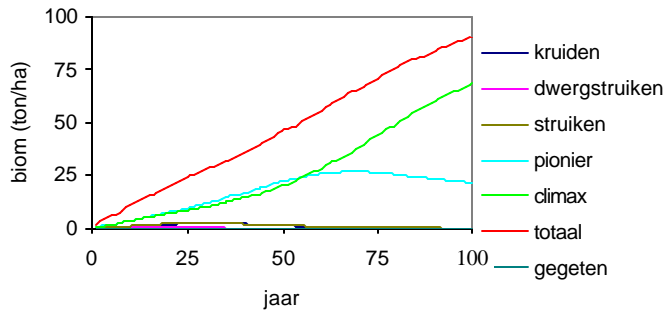


Fig. *a

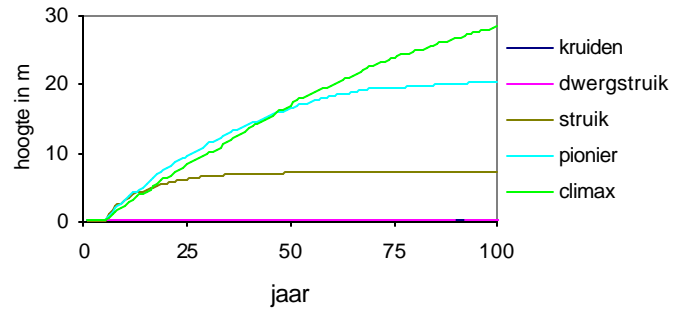


Fig. *b

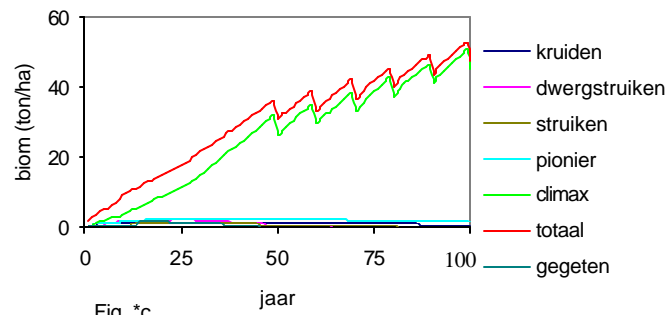


Fig. *c

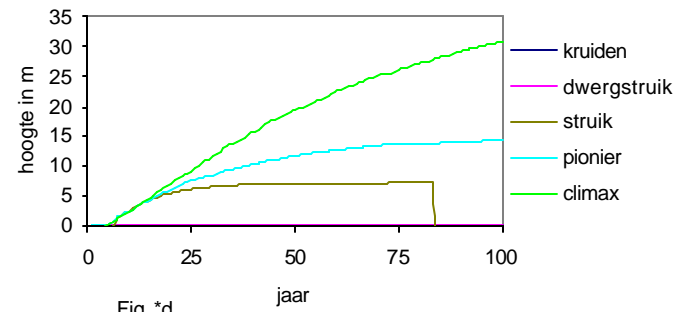


Fig. *d

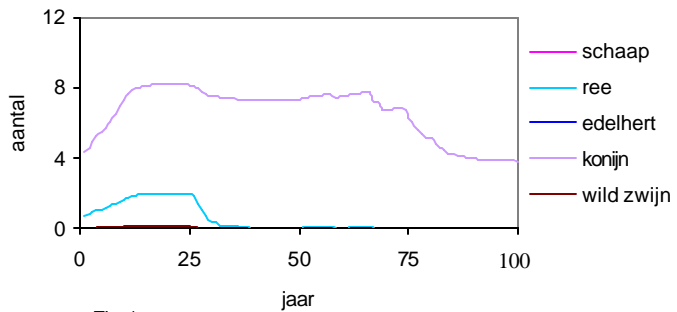


Fig. *e

Fig. 9 a tmt e. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroeï en graasdruk op een kale grond in Gelderland op arme zandgrond. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling zonder beheer, fig. b de bijbehorende lengtegroei. Fig. c geeft de biomassa ontwikkeling met natuurlijke begrazing en traditioneel bosbeheer, fig. d de bijbehorende lengtegroei en fig. e het aantal grazers.

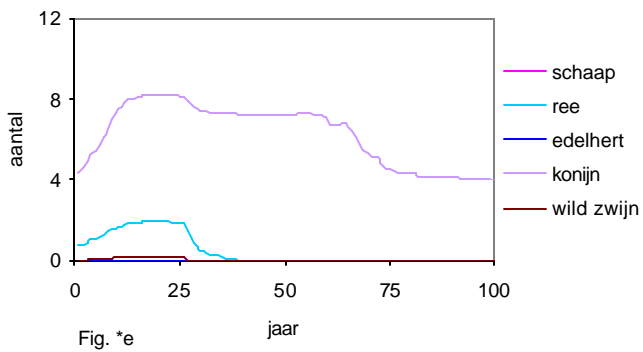
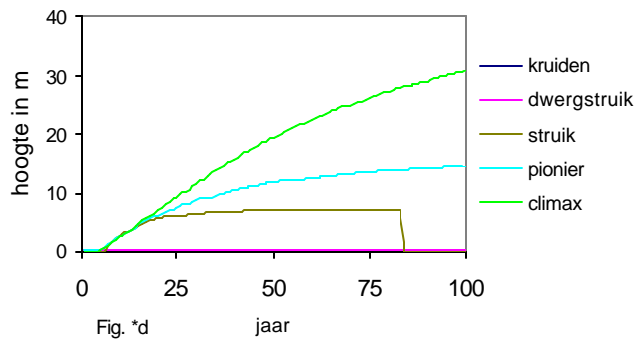
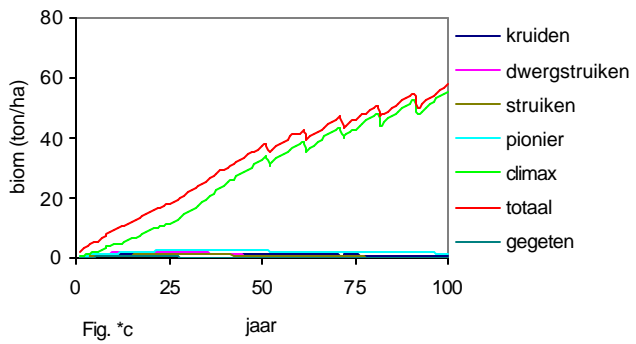
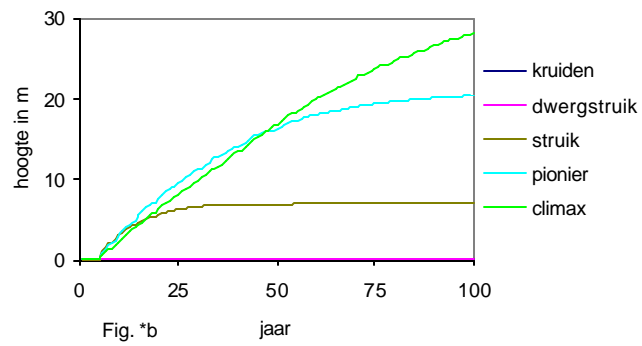
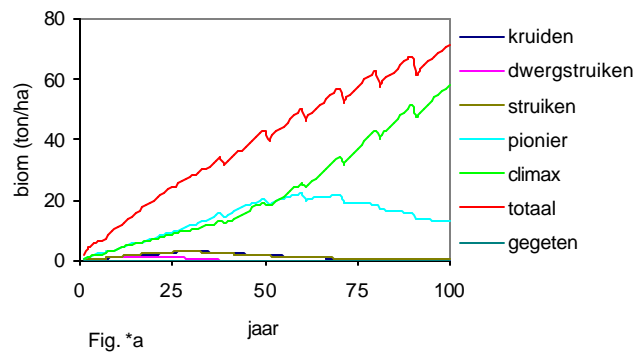


Fig. 10 a tmt e. Biomassa ontwikkeling, hoogtegroei en graasdruk op een kale arme zandgrond in Gelderland. Fig. a geeft de biomassa ontwikkeling met natuurlijk bosbeheer zonder begrazing, fig. b de bijbehorende lengtegroei. Fig. c geeft de biomassa ontwikkeling met natuurlijke begrazing en natuurlijk bosbeheer, fig. d de bijbehorende lengtegroei en fig. e het aantal grazers.

4 Discussie

4.1 Successie en graasdruk

De voorspellingen van SUMO2 blijken in hoge mate te worden beïnvloed door het al dan niet modelleren van begrazing. Vooral de tegenstelling wel of niet begrazing lijkt een grote invloed te hebben, groter dan het verhogen van het aantal grazers, behalve wanneer het aantal boven de 1,5 GVE komt. Echter, er wordt hier slechts een beperkt aantal voorbeelden gegeven. Als de graasdichtheid langzaam wordt opgevoerd dan is de overgang wel of niet begraasd kleiner dan de figuren in dit rapport aangeven. Wel zeer abrupt is de overgang waarbij er geen successie naar bos meer voorspeld kan worden, welke ligt bij 1,5 GVE. Ruimtelijk gezien zal bij een grotere graasdichtheid een steeds kleiner oppervlak successie naar bos door maken. Hierbij spelen twee aspecten een belangrijke rol die nu niet door SUMO2 kunnen worden gemodelleerd.

1. Het aantal grazers waarbij wel of geen bos ontstaat is afhankelijk van o.a. de aanwezige vegetatie, het type grazers, de vegetatie in de omgeving en abiotische factoren.
2. Het ruimtelijke effect. SUMO2 is een puntmodel en kan dus in principe geen ruimtelijke beelden geven binnen het grid waarvoor het rekt. Het kan dus niet aangeven hoeveel procent bij een bepaalde graasdruk grasland blijft en wat bos wordt.

De graasdruk is in SUMO2 deels afhankelijk gemaakt van de aanwezige vegetatie. Het aantal 'wilde' grazers wordt gevarieerd. Het aantal gedomesticeerde grazers blijft constant. Deze laatste worden altijd door beheerders ingezet en onder controle gehouden. Er wordt nu van uitgegaan dat de beheerder de begrazing afstemt op het aanbod. Situaties als in de Oostvaardersplassen waar ook de aantallen gedomesticeerde grazers mogen variëren kunnen nu dus niet gemodelleerd worden. Als dit wenselijk zou zijn is het wel zeer eenvoudig in te bouwen. Doordat het aantal gedomesticeerde grazers niet varieert wordt hun concurrentie positie ten opzichte van de 'wilde' grazers beïnvloed. Bij een tekort aan voedsel zal het aantal 'wilde' grazers steeds verder afnemen. De 'wilde' grazers worden als het ware weggeconcurrerd. Het is daarom erg belangrijk om de initiële hoeveelheid gedomesticeerde grazers voor het model goed te schatten. Bij successie kunnen in verband hiermee ook problemen ontstaan. Vaak neemt bij successie (van grasland naar bos) de eetbare biomassa af. Dit kan tot gevolg hebben dat er minder grazers te eten hebben en dat het aantal naar beneden of zelfs naar nul zou moeten worden voor gedomesticeerde grazers. Dit wordt nu niet gemodelleerd. Het voedselaanbod kan zover dalen dat er ook voor de wilde grazers niet meer genoeg te eten is en dat deze dieren bijgevoerd zouden moeten worden. Dit modelleert het model niet expliciet (er wordt niet aangegeven hoeveel er bijgevoerd moet worden), maar wel door het aantal gedomesticeerde grazers constant te houden.

De voorspellingen voor begraasde graslanden laten zien dat door SUMO2 een combinatie van begrazen en maaien goed kan worden voorspeld. Onder de gemodelleerde omstandigheden (kleigrond in Zuid-Limburg) ontwikkelt een grasland dat niet gemaaid en begraasd wordt zich niet tot een bos maar blijft het een 'grasland' met zeer veel biomassa, wat duidt op een zeer ruige situatie. Wanneer er wel begrazing plaats vindt ontwikkelt de vegetatie zich tot bos, waarbij bij een lichte begrazing de successie onder de relatief rijke omstandigheden in Zuid-Limburg sneller verloopt dan onder de relatief arme omstandigheden in Gelderland. Bij een hogere graasdruk verdwijnt dit verschil en uiteindelijk is er geen successie meer naar bos mogelijk. Het principe dat de successie van grasland naar bos sneller verloopt onder rijkere omstandigheden wordt door intensievere begrazing tenietgedaan. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat in SUMO2 de concurrentiekracht van de grassen en kruiden sneller afneemt dan die van de bomen bij een toenemende graasdruk. De totale bladbiomassa van de grassen en kruiden neemt sneller af dan die van de bomen.

De effecten van het wel of niet beheren van bossen is vrij groot op de biomassaontwikkeling in de vijf functionele typen. Hierbij speelt begrazing ook een belangrijke rol. Hierbij valt op dat over het algemeen het beheren van een bos een langer en grotere variatie te zien zal geven dan wanneer het bos niet beheerd wordt. Dit is logisch omdat met beheer er ingegrepen wordt in de ontwikkeling van de functionele typen en daarmee ook in de concurrentiekracht van de typen, waardoor er verschuivingen optreden in de hoeveelheid biomassa in de typen. Uiteindelijk zullen veel bossen op de zandgronden echter gedomineerd worden door bomen. In veel gevallen zal het hierbij gaan om de beuk. De dominantie van de climaxboomssoort gaat ten koste van de andere functionele typen en daarmee waarschijnlijk ook ten koste van de plant-biodiversiteit. Daarnaast is er ook minder te eten voor grazers, die dus ook in aantal zullen afnemen. Het zo gewenste structuurrijke bos lijkt dus slechts een successiefase te zijn in het Nederlandse bos die zonder beheersingrepen niet te handhaven is, tenzij catastrofes als brand en storm de kans op boomsterfte significant vergroten. Dit laatste is in Nederland, vooral voor brand, echter niet waarschijnlijk, mogelijk dat deze invloed op de zeer lange termijn (meer dan honderd jaar) wel enige invloed heeft. Voor het behoud van de plant-biodiversiteit lijkt het blijvend beheren van de bossen, ten minste de komende honderd jaar, noodzakelijk.

Voor heidevelden geldt hetzelfde, hier is begrazing alleen niet instaat om de heide in stand te houden, bij een redelijke graasintensiteit ontstaat er uiteindelijk toch bos, heide met alleen natuurlijke begrazing zal zeker een successie naar bos doormaken (simulaties niet gegeven). Dit beeld komt overigens goed overeen met de successie die een deel van de Edesche heide door aan het maken is. Daar is een deel van de heide al een tijd niet geplagd en beginnen bomen en struiken dominantier te worden (zie fig. 11). Het inzetten van meer grazers geeft in dit geval niet de oplossing omdat dan de heide verandert in een grasland (simulaties niet gegeven). Het plaggen van de heide al dan niet in combinatie met begrazen is wel instaat om de heide in stand te houden. Een alternatief voor het plaggen kan het handmatig verwijderen van de bosopslag zijn.



Fig. 11. Edesche Heide. Dit deel van de heide is al enige tijd niet geplagd en wordt alleen door 'wilde' grazers begraasd. Het is duidelijk dat er hier successie naar bos plaats vindt.

4.2 Beschikbaarheid van metingen voor de parameterisatie

De performance van een model hangt in belangrijke mate af van de beschikbare meetgegevens om de gebruikte parameters op te baseren. Na literatuuronderzoek bleek het aantal bruikbare metingen voor de parameterisatie van Animal zeer beperkt te zijn. Dit geldt in het bijzonder voor de niet-gedomesticeerde grazers zoals ree, edelhert en konijn, en voor de hoeveelheid mest met bijbehorende N-gehalten die een grazer per jaar produceert. Vanwege te weinig meetgegevens is daarom het N-gehalte in mest voor alle grazers gelijk gesteld (behalve voor ganzen) hoewel SUMO2 modeltechnisch in staat is om voor verschillende grazers verschillende gehalten te gebruiken. Voor de overige parameters geldt dat ze vaak gebaseerd zijn op één meting. Zo is er voor paard alleen een berekening voor de gegeten biomassa per jaar op basis van die voor rund en pony. Meer metingen zijn nodig om vooral de parameters voor niet-gedomesticeerde grazers te verbeteren. Voor de gedomesticeerde grazers geldt wellicht dat een uitgebreid literatuuronderzoek voldoende zal zijn.

Bij begrazing wordt er rekening mee gehouden dat een bepaalde hoeveelheid biomassa niet gegeten kan worden. Deze hoeveelheden worden gegeven per orgaan. Deze waarden zijn niet gebaseerd op metingen, maar zijn schattingen. Het apart houden van een deel van de biomassa voor begrazing voorkomt dat bijvoorbeeld na

plaggen alle daarna gesimuleerde biomassa direct wordt opgegeten en er dus geen vegetatie kan ontstaan.

Voor de nieuwe LAI-module geldt bovenstaande nog in sterkere mate. Deze module is vooral ontwikkeld om de uitwisseling in het MRE technisch mogelijk te maken. Als de LAI een grote rol gaat spelen in de modellering is het absoluut noodzakelijk om meer aandacht aan de literatuur te geven om de module goed te kunnen parameteriseren.

4.3 Toekomstige ontwikkelingen

In de komende jaren lijkt het zinvol om een aantal uitbreidingen van SUMO2 te bewerkstelligen. De eerste uitbreiding wordt gevormd door de inbouw van de fosfaathuishouding, waarbij fosfaat in plaats van stikstof de beperkende factor op de biomassaontwikkeling kan zijn (zie bijv. Kemmers et al., 2001 en Verhagen & van Diggelen 2001). In hoeverre kalium als beperkende factor op de groei dezelfde rol speelt als fosfaat dient nader te worden onderzocht. Het effect van de fosfaathuishouding wordt waarschijnlijk in 2002 in SUMO2 ingebouwd. De tweede uitbreiding van SUMO2 zou een sterke verbetering van de modellering van de waterhuishouding moeten zijn (zie Kemmers et al., 2001). Het effect van de grondwaterstand op de groei is nu zeer summier en alleen gebaseerd op de gvg (bij een lage gvg vindt er een geringe groeireductie plaats). Het effect van hoge grondwaterstanden wordt in zijn geheel niet gemodelleerd. Inbouw van de effecten van de vochthuishouding zal vooraf moeten worden gegaan door inbouw van deze effecten in SMART2, wat waarschijnlijk een grotere klus zal zijn dan in de inbouw in SUMO2. Ten derde zou er veel verbeterd kunnen worden aan het inlezen van invoer gegevens door SMART2-SUMO2. Vooral omdat het in de bedoeling ligt in 2002 de initiële biomassa met N-gehalte per vegetatietype en gridcel te schatten en deze als invoer te gebruiken. De bedoeling hiervan is de initiatietijd die nodig is voor SMART2-SUMO2 drastisch te bekorten en om betere voorspellingen te krijgen. Verder biedt SMART2-SUMO2 de mogelijkheid om de initiële gegevens te toetsen aan de veldsituatie (op basis van de gegevens van de 4de bosstatistiek).

Daarnaast zou er overwogen kunnen worden om een ruimtelijke versie van SUMO2 te ontwikkelen. Het voordeel hiervan is vooral te vinden in de modellering van de begrazing, waar ruimtelijke interactie een grote rol speelt. Voordat hieraan begonnen wordt lijkt het zinvol om in te schatten in hoeverre de huidige modellering van begrazing de ruimtelijke component hiervan al goed inschat. Nadeel van ruimtelijk modelleren is dat het veel meer rekentijd zal vragen, vooral als er naar een gridgrootte van 25 * 25 m wordt gegaan. Er zal dan rekening moeten worden gehouden met veel grids. Het zal dan waarschijnlijk ook nodig zijn om met een GIS-ondergrond te werken, wat mogelijk niet goed zal aansluiten bij de huidige FORTRAN-omgeving waarin SUMO2 is geprogrammeerd.

5 Conclusies

De uitbreiding van SUMO met de begrazingsmodule Animal laat duidelijk zien dat de effecten van begrazing op de vegetatieontwikkeling groot kunnen zijn. Het blijkt goed mogelijk om begrazing te modelleren zonder direct rekening te houden met het ruimtelijk aspect daarvan.

Vooraf het verschil tussen beheren en niet beheren van bossen is vrij groot. Het niet begrazen en niet beheren van bossen (middels dunnen van bossen) leidt uiteindelijk tot zeer soortenarme bossen. De trend van het uit beheer nemen van bossen op de zandgronden zal op de lange termijn ook met begrazing toe leiden dat er zeer eenvormige bossen ontstaan, tenzij er gaten ontstaan door catastrofes. Het zo gewenste structuurrijk loofbos is hierin voor veel gebieden slechts een fase in de successie en zal niet gehandhaafd blijven zonder ingrepen.

De voorspellingen van SUMO laten zien dat het begrazen van heide niet voldoende is om de successie naar bos te voorkomen. Deze ontwikkelink kan worden gestopt door plagen (al dan niet in combinatie met begrazen) en het handmatig verwijderen van de bomen en struiken.

Literatuur

- Berendse, P.L.M., 1998. Praktische kengetallen over fokkerij, huisvesting, voeding, lichaamssamenstelling, urine- en faecesproductie en toediening van diergeneesmiddelen bij het schaap. Rapport 98.002. RIKILT-DLO, Wageningen.
- Bie, S. de, 1974. Onderzoek naar beweiding als natuurtechnische beheersmaatregel op het Westerholt (Drentsche Aa). Intern rapport RIN. RIN, Arnhem.
- Borowsky, S. en S. Kossak, 1972. The natural food preferences of the European bison in seasons free of snow cover. *Acta Theriol.* 17: 151-169.
- Bottema, S. en A.T. Clason, 1979. Het schaap in Nederland. Thieme, Zutphen.
- Buil, M., 1987. Begrazing van heidevegetaties door edelhert en moeflon; een literatuurstudie. RIN-rapport 87/24. RIN, Arnhem.
- Consulentschap voor bodem-, water en bemestingszaken in de veehouderij, 1987. Bemesting van grasland. *Vlugschrift voor de landbouw* 406.
- Cusack, G.A., M.F. Hutchinson en J.D. Kalma, 1999. Calibrating airborne vegetation data for hydrological applications under dry conditions. *International journal remote sensing* 20 (11): 2221-2233.
- Dzieciolowski, R., 1969. The quantity, quality and seasonal variation of food resources available to red deer in various environmental conditions of forest management. Forest Research Institute, Warschau.
- Elswijk, M. van, M.S. Grobben, P. Groenendijk, H. Houweling, M.J.W. Jansen, J.P. Mol-Dijkstra, A.J. Otjens, J.A. te Roller, E.P.A.G. Schouwenberg en G.W.W. Wameling, 2001. Modellen Raamwerk Ecologie. in prep.
- Foppen, R.P.B. en J.P. Chardon, 1998. Larch-Europe: a model to assess the biodiversity potential in fragmented European ecosystems. An expert system under the MIRABEL umbrella. IBN-DLO, Wageningen.
- Gebczynska, Z. en M. Krasinska, 1972. Food preferences and requirements of the European bison. *Acta Theriologica* 17 (10): 105-117.
- Gebczynska, Z., M. Gebczynski en E. Martoynowicz, 1991. Food eaten by the free-living European bison in Bialowieza forest. *Acta Theriol.* 36: 307-313.
- Groenendijk, P., M. Elswijk en J. Huygen, 1999. MultiSwap als applicatie van het framework integraal waterbeheer. Technisch document. Staring Centrum, Wageningen.

Groot Bruinderink, G.W.T.A., 1987. Wilde ganzen en cultuurgrasland in Nederland. Thesis.

Groot Bruinderink, G.W.T.A., S.E. van Wieren, E. Hazebroek, M.H. den Boer, F.I.M. Maaskamp, W. Lamers, P.A. Slim en C.B. de Jong, 1997. De ecologie van hoefdieren. In: S.E. van Wieren, G.W.T.A. Groot Bruinderink, I.T.M. Jorritsma & A.T. Kuiters (red.). Hoefdieren in het boslandschap. Backhuys Publishers, Leiden.

Groot Bruinderink, G.W.T.A., D.R. Lammertsma, K. Kramer, S. Wijdeven, J.M. Baveco, A.T. Kuiters, P. Cornelissen, J. T. Vullink, H.H.T. Prins, S.E. van Wieren, F. de Roder & V. Wigbels, 1999. Dynamische interacties tussen hoefdieren en vegetatie in de Oostvaardersplassen. Rapport 436. IBN-DLO, Wageningen.

Groot Bruinderink, G.W.T.A., D.R. Lammertsma, A.T. Kuiters, G. Wösten, W. den Hollander en C.B. de Jong, 2000. Terreengebruik en menusamenstelling van reeën, damherten en runderen in de Manteling van Walcheren. Tussenrapportage. Alterra, Wageningen.

Haaften, J.L. van, 1968. Das Rehwild in verschiedenen Standorten der Niederlande und Slowenien. Agricultural research reports no. 703. Pudoc, Wageningen.

Hazebroek, E. en G.W.T.A. Groot Bruinderink, 1995. Het voedsel van de ree *Capreolus capreolus* op de Veluwe zandgronden vroeger en nu. *Lutra* 38: 41- 49.

Immink, H.J., 1977. Voedselkeuze- en graasdrukbeoordeling van het wilde konijn *Oryctolagus cuniculus* L. (1758) in het CRM-reservaat 'Baronie Cranendonck'. RIN, Leersum.

Jansen, H. en J. Sevenster, 1996. Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. IBN-DLO, Wageningen.

Jong, C.B. de, 1999. Voedselkeus van reeën, damherten en runderen in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Wageningen Universiteit.

Jong, C.B. de, 2000. Voedselkeus van reeën, damherten en konijnen in de Manteling van Walcheren. Wageningen Universiteit.

Jong, C.B. de, P. Cornelissen en J.T.Vullink, 1997. Grote grazers in de Oostvaardersplassen. Dieetsamenstelling op basis van faecesanalyse. Landbouw-universiteit, RIZA werkdocument 97.114 X, 42 pp.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft en P.C. Jansen, 2001. Productiviteit van korte vegetaties en beperkende factoren in relatie tot voedselrijkdom en vochttoestand van natuurterreinen. Basisonderzoek voor ecologische nutriëntenmodellen. Rapport 257. Alterra, Wageningen.

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

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

Kros, J., 1998. De modellering van de effecten van verzuring, vermisting en verdroging voor bossen en natuurterreinen ten behoeve van de milieubalans, milieuverkenning en natuurverkenning. Verbetering, verfijning en toepassing van het model SMART2. Reeks Milieuplanbureau 3. SC-DLO, Wageningen.

Kuiters, A.T., G.W.T.A. Groot Bruinderink en C.B. de Jong, 1996. De dieetkeus van damhert, ree en enkele andere herbivoren in de duinen van Zuid-Kennemerland. IBN- rapport 226, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen.

Lammers, H.W., 1983. Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland. Consulentenschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw.

Latinga, E.A., 1988. De invloed van weidend vee op de stikstofhuishouding van grasland. Meststoffen 3: 16-20.

Latour, J.B. en R. Reiling, 1991. On the Move: concept voor een nationale effecten model voor de vegetatie (MOVE). Rapport 711901007. RIVM, Bilthoven.

Latour, J.B.I., G. Staritsky, J.R.M. Alkemade en J. Wiertz, 1997. De Natuurplanner: decision support systeem natuur en milieu versie 1.1. Rapport RIVM 711901019. RIVM, Bilthoven.

Lubbers, J., 1982a. Opbrengst- en stikstofeffecten van stalmest op zandgrond te Heino. Rapport 5-82. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

Lubbers, J., 1982b. Opbrengst- en stikstofeffecten van stalmest op zandgrond te Maarheze. Rapport 6-82. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

Mitchell, A.R., 1979. Water and electrolyte excretion during the oestrous cycli in sheep. Quarterly J. Exper. Physiol. 64: 49-57.

Montforts, M., 1996. Ontwormingsmiddelen en natuurbeheer. Rapport P-UB-96-11. Wetenschapswinkel biologie Universiteit Utrecht, Utrecht.

Mooij, M., 1996. Samenstelling dierlijke mest. Meststoffen 1996: 38-41.

Morley, F.H.W., 1981. Grazing Animals. World Animal Science B1. Elsevier, Amsterdam.

Otto, H.A., 19???. De moeflon in Nederland. Gedrag, beheer en andere aspecten. Intern rapport. RIN, Arnhem.

Prins, R.A., 1995. Voedselkeuze, pensfermentatie en energiehuishouding van edelhert, damhert en ree in de Koninklijke Houtvesterijen het Loo. *Lutra* 38: 120 - 132.

Pucek, Z., 1978. Bison bonasus – wisent. In: Handbuch der saugetierte Europas (band 2/II). J. Niethammer & F.Krapp, Wiesbaden

Rawes, M. en D. Welch, 1969. Upland productivity of vegetation and sheep at Moor House National Nature Reserve, Westmoreland, England. *Oikos supplementum* 11: 9-72.

Smit, M.J. en G.F. Dijkman, 1987. Relationship between husbandry production and environment in the Netherlands. Ministerie van VROM, Den Haag.

Veen, H.E. van de, 1979. Food selection and habitat use in the red deer, *Cervus elaphus* L. Van de Veen, Groningen.

Velthof, G.L., O. Oenema, A. Bannink, S.F. Spoelstra en H.G. van der Meer, 2000. Relationship between Animal nutrition and manure quality. A literature review on C, N, P and S compounds. Rapport 063. Alterra, Wageningen.

Vera, F.W.M., 1997. Metaforen voor de wildernis: eik, hazelaar, rund en paard. Thesis.

Verhagen, R. en R. van Diggelen, 2001. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in pleistoceen Nederland: herstel van nutriëntenlimitatie. Rijksuniversiteit Groningen.

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

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

Wamelink, Wiegert, Cajo ter Braak en Han van Dobben, 1998. De potentiële natuurwaarde van de EHS. Natuurwaardering op basis van abiotische omstandigheden; het Natuur Technisch Model. *Landschap* 15/3 p. 145-156.

Wamelink, G.W.W., C.J.P. Mol-Dijkstra, H.F. van Dobben, J. Kros en F. Berendse, 2000a. Eerste fase van de ontwikkeling van het Successie Model SUMO1. Verbetering van de vegetatiemodellering in de Natuurplanner. Rapport 045. Alterra, Wageningen.

Wamelink, G.W.W., R. Wegman, P.A. Slim en H.F. van Dobben, 2000b. Modelling van bosbeheer in SUMO. Rapport 066. Alterra, Wageningen.

Wieren, S.E. van, 1996. Digestive strategies in ruminants and nonruminants. Thesis.

Wieren, S.E. van, G.W.T.A. Groot Bruinderink, I.T.M. Jorritsma en A.T. Kuiters, 1997. Hoefdieren in het boslandschap. Backhuys Publishers, Leiden.

Bijlage 1 Verslag van de workshop ten behoeve van de modellering van het begrazingsbeheer in SUMO

Verslag Workshop: begrazing in SUMO, gehouden op 10 mei 2000 bij Alterra

Wieger Wamelink & Pieter Slim

Aanwezig

Han van Dobben (vz.), Dirk-Jan van der Hoek, Janet Mol, Harmke van Oene, Frank Berendse, Koen Kramer, Wieger Wamelink (not.), Loek Kuiters, Pieter Slim (not.), Ruut Wegman en Beno Koolstra.

Agenda

0. Opening (Han Van Dobben)
1. Inleiding SUMO met nadruk op knelpunt begrazing (Wieger Wamelink)
2. Begrazing in FORSPACE (Koen Kramer)
3. Begrazing in NUCOM (Harmke van Oene)
- Pauze
4. Voorstel inbouw begrazing in SUMO (Wieger Wamelink)
5. Discussie
6. Sluiting

Han van Dobben heet iedereen welkom en schets de achtergrond van de reden van de ontwikkeling van SUMO.

Voordracht Wieger Wamelink.

Een samenvattende uitleg over SUMO tot nu toe met de nadruk op het beheer en het ontbreken van begrazing in het model.

Een inleiding op de discussie met een aantal geformuleerde vragen:

- A) Is ruimtelijke interactie belangrijk in Nederland
- B) Moeten we rekening houden met mest
- C) Zijn grazers ook in te delen in functionele typen, en zo ja, welke indeling gebruiken we
- D) Zijn er voldoende gegevens uit het veld beschikbaar
- E) Zijn de dichtheden van 'wilde' grazers in het veld te schatten

Voordracht Koen Kramer

Uitleg over FORSPACE, met name over de modellering van en de effecten van begrazing. De schaal is een hectare, de tijdstap een maand. Modellering van populaties in aantallen, voedselkeuze op basis van hoeveelheid geschikt voedsel en voedingswaarde daarvan. De populatiegrootte fluctueert.

Dit wordt opgezocht in een tabel en is per plantensoort en per seizoen verschillend. De vegetatie kan ongeschikt zijn voor de grazers door de lengte (te lang: bomen; te kort: afgegraasd door ganzen). Als de grazers een goede plek hebben dan blijven ze daar tot alles op is. Houtige gewassen kunnen ook bladeren in de struiklaag hebben en dus gegeten worden.

Voordracht **Harmke van Oene**

In het model NUCOM is met de modellering van begrazing ooit begonnen met biomassaverwijdering als gevolg van begrazing, waarbij kansberekening bepaalde welke biomassa er verwijderd werd. De invalshoek is de vegetatie: wat gebeurt er met de plantbiomassa. Alleen grote herbivoren en hun graasdruk worden gemodelleerd. De rekenenheid is een cel (ha), waartussen de grazers kiezen. De celkeuze kan binnen een jaar verschillend zijn. De beschadiging van de vegetatie door grazers is een fractie van de consumptie.

Discussie

A) Ruimtelijke interactie

Landsdekkend model

Er is vrij lang stilgestaan bij de vraag: kan begrazing worden gemodelleerd **zonder** de ruimtelijke effecten van de grazers: voedselkeuze en mede daardoor graasgedrag zijn in de ruimte (en in de tijd) immers gedifferentieerd. Grazers zullen dus van plaats tot plaats een verschillend effect hebben op de vegetatieontwikkeling.

Grazers kiezen op basis van het voedselaanbod waar ze zullen grazen (zolang ze daarin niet belemmerd worden door bv rasters). Dit betekent dat ze meestal in verschillende vegetatietypen zullen grazen en dat dit patroon varieert binnen een jaar. De conclusie uit de discussie was tamelijk duidelijk: begrazing modelleren waarbij er **geen** rekening wordt gehouden met het gedrag van grazers is niet wenselijk. Het lijkt in eerste instantie ook onmogelijk om zoiets, met een ruimtelijke component, landsdekkend te modelleren: “is het wel verantwoord ruimtelijke differentiatie buiten beschouwing te laten” (Berendse) en “beesten moeten kunnen kiezen tussen bos of hei” (Kuiters). Seizoensverschillen zouden tot uiting moeten komen (en dat is in SUMO - nog - niet het geval).

Een mogelijke oplossing zou kunnen zijn begrazing te benaderen als ‘gedifferentieerd maaien’ (Van Oene): “afhankelijk van hoeveelheden grazers en hoeveelheden geconsumeerd voedsel”. “Middels een kruistabel zou je dan selectief biomassa kunnen afvoeren” (Van Dobben). Indien aldus gemodelleerd, dan moet worden aangegeven wat de foutenmarge is.

Model voorbeeldgebieden

Volgens een aantal mensen is het verstandiger om het effect van deze processen voor een aantal voorbeeldgebieden te modelleren. Er zouden dan ook andere modellen nodig zijn dan de modellen die nu onderdeel uitmaken van de Natuurplanner (waaronder SUMO). Wel geschikt hiervoor zijn zowel NUCOM als FORSPACE.

Probleem is dat het Natuurplanbureau (en dus het beleid) wil blijven werken met landelijke overzichten (met 250*250 m grid). Berendse vraagt zich af of deze schaal voor begrazing wel verantwoord is. “Stap af van landsdekkend systeem en doe uitspraken over voorbeeldecosystemen” (Berendse). “Binnen een gridcel kun je de grazers dan toch al laten kiezen tussen de evt. daarin aanwezige meerdere vegetatietypen?” (Mol). “Er zullen toch met globale berekeningen landelijke overzichten moeten worden gegeven” (Koolstra). Er zal dus vanuit de modellenmakers actie moeten worden ondernomen om of duidelijk te maken dat dit wat betreft de effecten van begrazing niet kan of dat er vanuit de bovengenoemde modellen algemeen regels kunnen worden gedestilleerd die wel eenvoudig in SUMO in te brengen zouden zijn. Een hiermee verband houdend probleem is dat de begrazing binnen een jaar (de tijdstappen in SUMO zijn jaren) voor verschillende vegetatietypen plaatsvindt in een verschillend seizoen, waardoor de concurrentieposities van de functionele typen in SUMO dramatisch kunnen veranderen. Bijvoorbeeld wanneer een grasland in het voorjaar intensief begraasd wordt zouden daarna houtige gewassen een kans kunnen krijgen om te kiemen en uit te groeien, waardoor successie naar bos plaats kan vinden, terwijl wanneer deze begrazing plaats vindt in de zomer, de grasmat al zo dicht is dat houtige gewassen niet kunnen kiemen en er dus geen successie plaats kan vinden. Omdat we in SUMO vastzitten aan de tijdstap van een jaar (mede door SMART2) lijkt dit een moeilijk oplosbaar probleem. Een belangrijke vraag die samenhangt met de modellering ruimtelijke interactie is: ontstaat er onder een niet al te intensieve graasdruk een mozaïekvormig patroon?

Dit betekent echter niet dat het zinloos is om begrazing in SUMO te programmeren, want bovenstaande geldt alleen voor gebieden waar grazers vrij rond kunnen lopen tussen verschillende vegetatietypen. Hoewel het streven is om de oppervlaktes waarbij dat het geval is te vergroten, zijn er ook nog steeds vrij veel natuurgebieden waar grazers als een soort alternatieve maaimachines worden ingezet in afgezette homogene vegetatietypen. Hierbij valt te denken aan graslanden, maar ook aan heiden die begraasd worden door schapen (eventueel met een herder). Hier is ruimtelijke interactie minder van belang en is het effect van de seizoenen op het graaspatroon waarschijnlijk in de meeste gevallen ook gering. Voor dit soort gebieden kan SUMO wel het effect van begrazing gaan modelleren. De begrazing wordt beschouwd vanuit de biomassa, gelijk aan de invalshoek van NUCOM en niet vanuit de grazer zoals in FORSPACE. Er wordt geen populatiedynamiek gemodelleerd, de graasdruk wordt beschouwd als een vaststaand gemiddelde voor een perceel.

B) Defaeceren

Indien we begrazing wel in SUMO modelleren, beschouwen we de grazers dus louter als verwijderaars van biomassa en achterlaters van mest en ureum. Beide processen worden dan beschouwd als gelijkmatig over het perceel verdeeld (Berendse). Een groot deel van de ureum verdampst (voor ons interessante deel als NH₄, N verwijdering uit het systeem) en een klein deel van de mest. SMART2 kan op zich niet met mest (een N-gift) omgaan, maar dit zou kunnen worden gemodelleerd buiten SMART2 om door de hoeveelheid vrijkomende N rechtstreeks bij de N-

beschikbaarheid voor SUMO op te tellen, er hierbij vanuitgaande dat alle mest binnen een jaar verdwenen is.

Een belangrijk effect, afhankelijk van de graasdruk, is de betreding en daarmee de beschadiging van vegetatie (vertrapte kiemplanten van houtige gewassen, en ook anderszins verlies aan productie). Ook de nutriëntenkringloop wordt hierdoor versneld.

Het zou goed zijn om bij het begrazingsbeheer, afhankelijk van de intensiteit en soort, een kans van kieming en doorgroei van houtige gewassen in SUMO in te bouwen. Hierdoor zijn de effecten van grazers op het ontstaan van open plekken en daarmee potentiële kiemplaatsen van houtige gewassen te modelleren zijn (en het effect van molshopen konijnen e.d.).

Door begrazing wordt de lengte van de vegetatie beïnvloed en daarmee de invang van droge depositie. De ingevangen depositie (in SMART2 wordt geen onderscheid gemaakt in natte en droge depositie) zou afhankelijk moeten worden gemaakt van de lengte. Dit zou kunnen door middel van de biomassa.

Een mogelijke inbouw van begrazing met ruimtelijke effecten via de koppeling van SUMO met LARCH lijkt (voorlopig) niet zinvol omdat de modellering in LARCH hiervoor niet geschikt is. Wel zouden er mogelijkheden kunnen zijn vanuit de SMALLSTEPS filosofie (wordt gekoppeld aan FORSPACE), maar dit is gericht op gebieden met een beperkte omvang en dus als zodanig niet geschikt voor het landelijk voorspelende SUMO. Misschien zijn op basis van FORSPACE-SMALLSTEPS wel eenvoudige landelijke regels af te leiden.

C) Functionele typen bij grazers

Goed bruikbaar en er wordt veel mee gewerkt (van de Veen, van Wieren etc.). Mogelijk niet zo zinvol in dit verband omdat er per type toch niet zoveel soorten voorhanden zijn. En als een ree in een weiland loopt wordt hij van knabbelaar toch grazer. Wel te doen met kleine grazers (woelmuizen), middelste grazers (konijnen en hazen), grote grazers (en doe dan herkauwers en paarden apart) of zoiets.

D) en E) blijven moeilijk bij een landelijk model, maar daar zouden toch in globale zin oplossingen voor gevonden kunnen worden. Verspreiding grazers, dichtheidsklassen enz.

Berendse vindt de huidige modelmatige ontwikkeling wetenschappelijk niet erg interessant en is van mening dat het ruimtelijk expliciet maken van de vegetatieontwikkeling en populatieontwikkeling de wetenschappelijke uitdaging is. Iedereen is het roerend met hem eens.

Het lijkt weinig zinvol om voor de inbouw van begrazing in SUMO nog naar buitenlands onderzoek te kijken, de algemene mening was dat ze in ieder geval niet verder zijn dan in Nederland, op een uitzondering na, Pastor waar nog recent een artikel van in Oecologia is verschenen.

Bijlage 2 Lijst met variabelen voor de subroutine Animal.

In de kolom in. wordt aangegeven of de variabele ingevoerd wordt van een kaart, in de kolom pa. of de variabele een parameter is (gegevens worden ingelezen uit invoerfiles), in de kolom su. of er informatieuitwisseling van de variabele met overige subroutines plaats vindt, in de kolom sm wordt aangegeven of er uitwisseling met SMART 2 plaats vindt en in de kolom mre wordt aangegeven of er in de variabele informatie voor een volgende cyclus wordt bewaard (in het MRE dienen deze apart te worden behandeld).

naam variabele	type	dimensie	eenheid	omschrijving	in.	pa.	su.	sm	mre
biom	Real	5,3	ton/ha	biomassa per orgaan en functioneel type			+		
Ngeh_org	Real	5,3	gehalte	stikstofgehalte per orgaan en per functioneel type			+		
Beheerb	Integer			gevoerde beheer; 0=geen, 1=maaïen, 2=plaggen, 5=kappen, 6=hakhout	+		+		+
aantal	Real	15	aantal	aantal beesten per ha	+		+		+
totaantal	Real		aantal	totale aantal grazers			+		+
aantaloud	Real		aantal	originele aantal grazers per ha			+		+
Lcloud	Real		m	lengte van de climaxboom in het vorige jaar			+		+
Lpoud	Real		m	lengte van de pionierboom in het vorige jaar			+		+
Ls	Real		m	lengte van de struiken			+		
Ld	Real		m	lengte van de dwergstruiken			+		
Eten	Real	15	ton/ha	hoeveelheid biomassa die gegeten wordt per dier		+	+		
Poeptot	Real		ton/ha	totale hoeveelheid ontlasting			+	+	
Poeppcentage*8	Real	15	gehalte	deel van het voedsel dat in mest wordt omgezet		+	+		+
Gegeten*8	Real	15,5,3	ton/ha	hoeveelheid biomassa die opgegeten wordt					
Npoep	Real	15	ton/ha	hoeveelheid N in vaste ontlasting					
Nureum	Real	15	ton/ha	hoeveelheid N in vloeibare ontlasting					
Ngehpoep*8	Real	15	gehalte	N gehalte in vaste ontlasting		+	+		
Ngehureum	Real	15	gehalte	N gehalte in vloeibare ontlasting		+	+		
Npoeptot	Real		ton/ha	totale hoeveelheid N in mest					

naam variabele	type	dimensie	eenheid	omschrijving	in.	pa.	su.	sm	mre
Nureumtot	Real		ton/ha	totale hoeveelheid N in ureum					
Ngehaltepoep	Real		gehalte	Ngehalte totale mest hoeveelheid			+	+	
Gegetentot	Real		ton/ha	totale biomassa die gegeten is			+		
Beest*8	Real	15,5,3	ton/ha	biomassa die een beest eet per orgaan en functioneel type		+	+		+
Beesth*8	Real	15,5,3	ton/ha	boven, maar als hulpvariabele					
Beestn*8	Real	15,5,3	ton/ha	zie boven					
Beschikbaar*8	Real	5,3	ton/ha	hoeveelheid biomassa die gegeten kan worden door grazer(per orgaan)					
Beschikbaarn*8	Real	5,3	ton/ha	hoeveelheid biomassa die gegeten kan worden door grazer(per orgaan), hulpvariabele					
Gegetenbeest*8	Real	15	ton/ha	hoeveelheid biomassa die door beesten wordt gegeten					
Poepb	Real	15	ton/ha	hoeveelheid mest per grazer					+
Nodigbeest*8	Real	15,5,3	ton/ha	hoeveelheid voedsel die beesten per functioneel type en orgaan nodig hebben					+
Nodigbeestn*8	Real	15,5,3	ton/ha	zie boven, maar kan veranderen door voedseltekort, hulpvariabele					
Nodigbeesth*8	Real	15,5,3	ton/ha	zie boven, maar kan veranderen door voedseltekort, hulpvariabele					
Teveel	Real		ton/ha	biomassa die teveel gegeten wordt					
Biomorgaan*8	Real	3	ton/ha	totale hoeveelheid biomassa per orgaan (alle functionele typen bij elkaar op geteld)					
Biomgeh*8	Real	5,3		verhouding biomassa orgaan t.o.v. de totale orgaan biomassa					
Gehtot*8	Real	15		hulpvariabele voor het bereken van de verhouding tussen de aanwezige grazers					
Nodigorgaan*8	Real	5,3	ton/ha	Hoeveelheid biomassa die per orgaan nodig is voor alle aanwezige grazers					

naam variablele	type	dimensie	eenheid	omschrijving	in.	pa.	su.	sm	mre
Rest*8	Real	15	ton/ha	te weinig gegeten biomassa per dier					
Nodigbeesttot*8	Real	15	ton/ha	totale hoeveelheid biomassa die een grazer nodig heeft					
Tel	Real	15		controle of de totale verdeling van de te eten biomassa over organen wel 1,00 is (na correctie voor het aanbod)					
Tekort	Real		ton/ha	hoeveelheid biomassa die er tekort is voor alle aanwezige grazers					
gegetenex*8	Real	15,5,3	ton/ha	Hoeveelheid biomassa die van andere organen wordt gegeten als er van het voorkeurorgaan te weinig aanwezig is					
gegetenorg*8	Real	5,3	ton/ha	hoeveelheid biomassa die per orgaan en functioneel type gegeten is					
teveelgrazers	Real	15	aantal	teveel aan aantal grazers					
biommin	Real	5,3	ton/ha	minimale biomassa die per orgaan blijft staan bij begrazing, deze komt niet beschikbaar		+	+		+
gegetenblad	Real		ton/ha	hoeveelheid blad die gegeten wordt					
beschikbaar tot	Real		ton/ha	hoeveelheid beschikbare bladmateriaal					
aantalmax	Real	15	aantal	maximum aantal grazers in een gebied			+		+
factor	Real			factor waarmee het aantal grazers wordt opgehoogd, bij onderbegrazing					
beestnbladtot	Real		ton/ha	hoeveelheid bladbiomassa die nodig is voor alle beesten samen					
Bladbiompl	Real	5	Ton/ha/m	Bladbiomassa per m			+		
GVE	Real		aantal	Aantal grootvee-eenheden			+		
cboom*3	character			climaxboomtype volgens de kaart	+		+		+
pboom*3	Character			pionierboomtype volgens de kaart	+		+		+
dier*15	Character	15		naam dier	+		+		+
strooisel	Integer			als er geplagd wordt op 1; strooisel afvoeren in SMART2	+		+		+

naam variabele	type	dimensie	eenheid	omschrijving	in.	pa.	su.	sm	mre
jaar	Real			aantal jaren na het begin van de run			+		+
K	Integer			loop variabelen					
L	Integer			loop variabelen					
O	Integer			loop variabelen					
M	Integer			loop variabelen					
N	Integer			aantal grazers dat gemodlleerd wordt (nu 15)					
Z	Integer			loop variabelen					
B	Integer			Loop variabele					

Bijlage 3 Testfile voor Animal.

De resultaten zijn in de fig. 4 tmt 10 weergegeven. Ten opzichte van de testfile voor de inbouw van bosbeheer zijn er 15 kolommen bijgekomen voor het inlezen van de graasdichtheid per grazer. De volgorde voor de grazers is: rund, schotse hooglander, jongvee, wisent, pony, paard, schaap, eland, ree, edelhert, damhert, moeflon, wild zwijn, gans, konijn.

xcoord	ycoord	opp	bem	veg	beh	pla str	x leef	fil	pbo	cbo	lar	rund	hoog	jong	wisent	pony	paard	schaap	eland	ree	edel	dam	moef	zwijn	gans	konijn		
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
193750	310250	3	0	1	1	30	0	1	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
193750	310250	3	0	1	1	30	0	1	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	1	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	6	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.5	0.0	5.0
192250	472750	62	0	2	2	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
192250	472750	62	0	2	2	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
192250	472750	62	0	2	0	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
192250	472750	62	0	2	0	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
192250	472750	62	0	2	0	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200000	451750	3	0	1	0	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	5	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	4	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
200000	451750	3	0	1	4	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
193750	310250	3	0	1	0	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	5	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	4	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
193750	310250	3	0	1	4	30	0	2	25	50	GEE	GEE	A02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
192250	472750	62	0	2	2	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
192250	472750	62	0	2	2	30	0	1	55	2	GEE	GEE	D04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Bijlage 4 Literatuurgegevens gebruikt voor de bepaling van de hoeveelheid gegeten biomassa (in ton/ha/j) per grazer

	van Wieren 1997	Kuiters 1997	Drost & Muis	Berendse 1998	Bakker 1989 en 1993	Groot Bruinderink 1999	van Wieren 1996	Ulyatt in Morley 1981	Purser in Morley 1981	Bottema & Clason 1979	Buil 1987	Pucek 1978	Gebczynska & Krasinska 1972
ree	227	250											
edelhert	670	667									788		
pony	1462												
rund	2288												
wild zwijn		522											
damhert		513											
moeflon		422									307		
schaap				388				453	507	547,5-730			
gans						2,8							
eland							2007						
wisent							4500					15157	10019
Schotse hooglander							2490						
jongvee			2555		2373								

Voor wisent zijn de waarden uit Polen (Pucek 1978 en Gebczynska & Krasinska 1972) niet meegenomen, omdat het hier zeer waarschijnlijk versgewicht betreft.

Bijlage 5 Voorkeur van grazers voor bepaalde organen en functionele typen als gehalten t.o.v. het totaal uit de literatuur

auteur	gebied	grazer	grassen/ kruiden	dwerg- struiken	struiken	loof- bomen	naald- bomen	dierlijk	mast	wortels
Groot Bruinderink et al., 2000	Manteling van Walcheren	damhert	0,66		0,26	0,06			0,03	
Kuiters et al., 1996	Amsterdamse aterleidingduinen	damhert	0,33		0,45	0,10	0,04		0,08	
Kuiters et al., 1996	Nationaal park Zuid Kennemerland	damhert	0,21		0,50	0,07			0,23	
van de Veen 1979	veluwe	damhert	0,53	0,21			0,19			
Groot Bruinderink et al., 1997	Veluwe	edelhert	0,47	0,26		0,22	0,04			
Groot Bruinderink et al., 1999	Oostvaarders plassen	edelhert	0,70			0,31				
van de Veen 1979	veluwe	edelhert	0,60	0,28			0,09			
Dzieciolowski 1969		edelhert (gem. van vrouw, man en kalf)	0,14	0,12		0,58 (bomen en struiken)				
Immink 1977		Konijn	0,93	0,05	0,01		0,01			
Kuiters et al., 1996	Amsterdamse aterleidingduinen	konijn	0,84		0,06	0,06	0,05			
Kuiters et al., 1996	Nationaal park Zuid Kennemerland	konijn	0,95		0,02	0,03				

auteur	gebied	grazer	grassen/ kruiden	dwerg- struiken	struiken	loof- bomen	naald- bomen	dierlijk	mast	wortels
Otto 19??	veluwe	moeflon	0,40	0,26		0,04	0,30			
Otto 19??	valouwe	moeflon	0,41	0,11			0,48			
Groot Bruinderink et al., 1999	Oostvaarders plassen	paard	0,95			0,06				
Groot Bruinderink et al., 1997	Veluwe	pony	0,81	0,01		0,14	0,05			
Kuiters et al., 1996	Nationaal park Zuid Kennemerland	pony	0,98			0,02				
Groot Bruinderink et al., 1997	Veluwe	ree	0,24	0,39		0,36	0,01			
Groot Bruinderink et al., 1999	Oostvaarders plassen	ree	0,70			0,31				
Groot Bruinderink et al., 2000	Manteling van Walcheren	ree	0,66		0,28	0,05			0,01	
Kuiters et al., 1996	Amsterdamse aterleidingduinen	ree	0,40		0,35	0,09	0,05		0,12	
Kuiters et al., 1996	Nationaal park Zuid Kennemerland	ree	0,40		0,38	0,04			0,18	
van Haaften 1968	scherpenzeel	ree								
van Haaften 1968	De boom	ree								
van Haaften 1968	Kadoelen	ree								
van Haaften 1968	speulder en prielderbos	ree								
van Haaften 1968	Ameland	ree								

auteur	gebied	grazer	grassen/ kruiden	dwerg- struiken	struiken	loof- bomen	naald- bomen	dierlijk	mast	wortels
van Haaften 1968	Hoge Veluwe	ree								
Groot Bruinderink et al., 1999	Oostvaarders plassen	rund	79			21				
Groot Bruinderink et al., 2000	Manteling van Walcheren	rund	95		6					
Groot Bruinderink et al., 1997	Veluwe	Schotse hooglander	53	1	3	28	15			
Groot Bruinderink et al., 1997	Veluwe	wild zwijn	41	4				3	44	8
Borowski & Kossak (1972)		wisent	67			33 (waarvan 81% bast)				
Gebczynska et al., (1991)		wisent	90			10 (waarvan 80% bast)				

voor pony overig bij grassen, voor schotse hooglander overig bij struiken, voor edelhert overig bij grassen, bij ree overig bij grassen. Voor de wilde zwijnen is het gemiddelde genomen van een rijk en een arm mastjaar.

Bijlage 6 Stikstof- en fosfaatgehalte in mest

auteur	grazer	totaal N	mineraal N	organisch N	fosfaat
Velthof et al., 2000	produktie koeien slurry	0,0049	0, 0026	0, 0023	0, 0018
	produktie varkens slurry	0, 0072	0, 0042	0, 0030	0, 0042
	produktie koeien vloeibaar	0, 004	0, 0038	0, 0002	0, 0002
	produktie varkens vloeibaar	0, 0065	0, 0061	0, 0004	0, 0009
	produktie koeien vast	0, 0069	0, 0016	0, 0053	0, 0038
	produktie varkens vast	0, 0075	0, 0015	0, 0060	0, 0038
Lantinga 1988	koe in weide	0, 008			
Consulentschap 1987	dunne mest	0, 0044			
Lammers 1983	rundvee (dun)	0, 0044			
	varken (dun)	0, 0055			
	kippen (vast)	0,0210			
Mooij 1996	vee	0, 0069	0, 0016	0, 0053	0, 0038
	varkens op stroo	0, 0075	0, 0015	0, 0060	0, 0090
	kippen	0,0241	0, 0024	0,0217	0,0188
Smit & Dijkman 1987	vee vast	0, 0055			0, 0038
	varkens	0, 0075			0, 0090
	kippen droog	0,0243			0,0283
Lubbers 1982a	stalmest	0, 0061			
Lubbers 1982b	stalmest	0, 0056			
Groot Bruinderink 1987	Schaap	0,021			0, 009
	kippen	0,049	-		0,045
	koe (weide)	0,010			0,030
	Ganzen	0,044	-		0,045

Bijlage 7 Hoeveelheid mest (vast en vloeibaar) per beest in kg

Auteur	grazer	vaste mest	vloeibaar
Smit & Dijkman 1987	vee drijfmest		5500
	mestvarkens drijfmest		1700
	broedkip vast	7,75	
	legkip vast	18	
Rawes & Welch 1969	schaap in natuur	430 l (=430 kg?), maar vers, bij 29% d.s. = 125	% volgens Montfort
de Bie 1974	schaap	454 l (=454 kg?) versgewicht bij 29% d.s.=132	
Montforts 1996	Rund (Galloway)	1577	
	Paard	1924	
	Pony (Heilander)	1358	
	Pony (Halflinger)	1471	
	Pony (Ijsslandse)	1018	
	Schaap	212	
Berendse 1998	Schaap	121	592 kg
Mitchell 1979	Schaap	169	241

Bijlage 8 Inhoud van de file lengteparam.txt.

Deze file bevat gegevens voor de berekening van de lengtegroei van bomen en wordt gebruikt in de subroutine lengte.for. De gegevens worden ingelezen in inisumo.for. De regels waarop de gegevens staan is belangrijk i.v.m. het inlezen

parameters voor de lengtegroei van bomen

Gemaakt door Wieger Wamelink 8-3-2001

```
10
'AME'
16.283 -16.5 0.97101 30.531 -31.2 0.97
'BEU'
39.09 -39.18 0.99345 41.7 -42.3 0.97524
'DOU'
24.49 -24.919 0.972 36 -37 0.965
'EIK'
17.85 -17.95 0.98546 42.47 -42.99 0.98396
'GRO'
14.392 -14.63 0.96952 29.847 -30.5 0.97154
'LAR'
20.332 -20.992 0.96332 33.616 -34.759 0.96332
'POP'
24.293 -25.51 0.9408 40.544 -43.7 0.92
'BER'
15.925 -16.2 0.97 31 -31.5 0.977
'ES'
18.506 -18.9 0.97 34.13 -34.8 0.97318
'FIJ'
21.318 -21.7 0.97742 36.357 -37.18 0.97356
'ELS'
16.414 -16.8 0.96557 29.105 -30.18 0.95754
'WIL'!Nu als els, moet nog wat aan gebeuren!!!!!!
16.414 -16.8 0.96557 29.105 -30.18 0.95754
'einde'
```


Bijlage 9 Inhoud van de file biommin.txt.

Deze file bevat gegevens voor de subroutine Animal.for en bevat gegevens over de hoeveelheid biomassa per orgaan die niet beschikbaar is voor begrazing

File biommin.txt

Hoort bij Animal.for en wordt ingelezen in inisumo.for. Beide een onderdeel van SUMO

Contact persoon Wieger Wamelink, Alterra, Afdeling Ecologie & Ruimte, Basisteam Biodiversiteit en Milieu

Gebouwnummer 100, Droevendaalsesteeg 3a, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, e-mail: G.W.W. Wamelink@alterra.wag-ur.nl

tel. 0317-477922, fax. 0317-426186

Bevat gegevens over de hoeveelheid biomassa per orgaan die niet bereikbaar is voor grazers

De eerste vijf zijn wortels, daarna stengels/tak/stam en daarna blad
volgorde functionele type: grassen/kruiden, dwergstruiken, struiken, boom 1, boom 2

1,
1,
1,
1,
1,
0.01,
0.2,
0.2,
0.2,
0.2,
0.5,
0.5,
0.1,
0.1,
0.1,

Bijlage 10 Programma listing van Animal

```
c   Animal
c
c   Model dat de effecten van begrazing op de vegetatie simuleert
C
C   Koppeling met het model SUMO en daardoor indirect met SMART
c
c   Eerste ontwikkeling juli/augustus 2000, afgerond maart 2001 door Wieger Wamelink
c
c   Contact persoon Wieger Wamelink
c           Alterra
c           Afdeling Ecologie & Ruimte
c           Basisteam Biodiversiteit en Milieu
c           Gebouwnummer 100
c           Droevendaalsesteeg 3a
c           Postbus 47
c           6700 AA Wageningen
c           e-mail: G.W.W. Wamelink@alterra.wag-ur.nl
c           tel. 0317-477922
c           fax. 0317-426186
c
c
c
c   Subroutine; wordt aangeroepen in beheer.for (beheer.for is een subroutine van SUMO)
c   subroutines: -
c   Koppeling met SUMO.for is noodzakelijk
c   Aanroep in beheer.for
c
!   Nog toevoegen gebiedshankelijkheid door middel van kaart waarop de hele opp met alle
!   vegtypen bij elkaar zijn gevoegd. berkenen dan per Larchkaartenheid een verblijfs%
!   uit en gebruik dat % om het werkelijk gegeten deel uit te rekenen tov van het maximum
!   als de dieren daar alleen zouden zijn. Bij voorkeur buiten de modellen om; kan niet
!   eenmalig bij succesie veranderd de veg samenstelling en dus de verblijfstijd. Moet
!   dus jaarlijks gecontroleerd en uitgerekend. uitkomst in een kaart zetten, die jaarlijks
!   moet worden ingelezen
!   baseren op literatuur en Cranendonck als validatieterrein gebruiken!
!
!   nog ergens het N-gehalte verwerken!

subroutine Animal(biom,Ngeh_org,beheerb,lcloud,lpoud,ls,ld,cboom,
1           jaar, strooisel,beest,aantal,poeppercentage,
2           Ngehpoep,Ngehureum,eten,poeptot,gegetentot,
3           biommin,totaantal,aantaloud,aantalmax,
4           Ngehaltepoep,dier,bladbiompl,GVE,pboom)

implicit none

Real      biom(5,3)           !eerste: 1=kruid 2=dwerg 3=struik 4=boom 5=climax boom tweede:
1=wortel 2=tak 3=blad
Real      Ngeh_org(5,3)      !N-gehalte per laag en per orgaan
Integer   beheerb           !gevoerde
beheer;0=geen,1=maaien,2=plaggen,3=grazen,5=kappen,6=hakhout
Real      lcloud,lpoud,ls,ld !lengte van de eerste, tweede boom, struiken en dwergstruiken
Real      aantal(15)        !aantal beesten per ha
Real      totaantal         !totale aantal grazers
Real      aantaloud(15)     !zie boven, originele aantal
Real      eten(15)          !hoeveelheid biomassa die gegeten wordt (in ton/ha) per dier
Real      poeptot           !totale hoeveelheid ontlasting in ton/ha
Real      poeppercentage*8(15)!percentage van het voedsel dat in poep wort omgezet
Real      gegeten*8(15,5,3) !hoeveelheid biomassa die opgegeten wordt
Real      Npoep(15)         !hoeveelheid N in ton/ha in vaste ontlasting
Real      Nureum(15)        !hoeveelheid N in ton/ha in vloeibare ontlasting
Real      Ngehpoep*8(15)    !N gehalte in vaste ontlasting
```

```

Real    Ngehureum(15)    !N gehalte in vloeibare ontlasting
Real    Npoeptot        !totale hoeveelheid N in poep
Real    Nureumtot       !totale hoeveelheid N in ureum
Real    Ngehaltepoep    !Ngehalte totale poep hoeveelheid
Real    gegetentot      !tottale biomassa die gegeten is in ton/ha
Real    beest*8(15,5,3) !biomassa die een beest eet (ton/ha) per org. en funct. type
Real    beesth*8(15,5,3) !boven, maar als hulpvariabele
Real    beestn*8(15,5,3) !zie boven
Real    beschikbaar*8(5,3) !beschikbaar voor de hoeveelheid biomassa die gegeten kan worden
door grazer(per orgaan)
Real    beschikbaar*8(5,3) !beschikbaar voor de hoeveelheid biomassa die gegeten kan worden
door grazer(per orgaan)
Real    gegetenbeest*8(15) !hoeveelheid biomassa die door alle beesten per soort wordt gegeten
Real    poepb(15)        !hoeveelheid poep per grazer
Real    nodigbeest*8(15,5,3) !hoeveelheid voedsel die alle beesten per soort,per f.type en
orgaan nodig hebben
Real    nodigbeestn*8(15,5,3) !zie boven, maar kan veranderen door voedseltekort
Real    nodigbeesth*8(15,5,3) !zie boven, maar kan veranderen door voedseltekort
Real    teveel          !biom die teveel gegeten wordt
Real    biomorgaan*8(3)  !Totale biomassa per orgaan (dus totaal over de functionele typen)
Real    biomgeh*8(5,3)  !fractie biomassa van het orgaan tov de totale biomassa
(biomorgaan) van het orgaan
Real    gehtot*8(15)    !totale verhouding tussen de te eten organen per grazer na
correctie voor het aanbod (wordt gebruikt om de te eten verhouding tussen de organen per beest weer
op een totaal van 1 te zetten
Real    nodigorgaan*8(5,3) !biomassa die per orgaan nodig is om alle grazers te voeden
Real    rest*8(15)      !hoeveelheid biomassa die nog nodig is om te voldoen aan de
voedselvraag per grazer
Real    nodigbeesttot*8(15) !De totale hoeveelheid biomassa die die de aanwezige grazers nodig
hebben per grazer
Real    tel(15)         !Controle of het totaal van de verhouding waarin per beest van
organen gegeten wordt wel 1 is
Real    tekort          !Houdt bij of er een tekort aan voedsel is, als dat zo is wordt de
aanwezige beschikbare biomassa herverdeeld over de grazers
Real    gegetenex*8(15,5,3) !De hoeveelheid biomassa per orgaan die in de tweede ronde gegeten
wordt
Real    gegetenorg*8(5,3) !Hoeveelheid biomassa die per orgaan gegeten is
Real    teveelgrazers(15) !teveel aan aantal grazers
Real    biomin*8(5,3)    !minimale biomassa die per orgaan blijft staan bij begrazing, deze
komt niet beschikbaar
Real    gegetenblad     !hoeveelheid blad die gegeten wordt
Real    beschikbaartot  !hoeveelheid beschikbare bladmateriaal
Real    aantalmax(15)  !maximum aantal grazers in een gebied
Real    factor          !factor waarmee het aantal grazers wordt opgehoogd
Real    beestnbladtot   !hoeveelheid bladbiomassa die nodig is voor alle beesten samen
Real    bladbiompl(5)   !bladbiomassa per m
Real    GVE             !Aantal Groot Vee eenheden (groveweg); voor de
bepaling van de invloed van de graasdruk op de lengtegroei

character cboom*3      !hoofdboomtype volgens de kaart
Character pbloom*3     !bijboomtype volgens de kaart
Character dier*15(15)  !naam dier

Integer strooisel     !als er geplagd wordt op 1; strooisel afvoeren in SMART
Real    jaar          !aantal jaren na het begin van de run
Integer K,L,O,M,b     !loop variabelen
Integer N              !aantal grazers dat gemodlleerd wordt (nu 15)
Integer Z              !hulpvariabele in loop
Real    a

gegetentot=0
Npoeptot=0
Nureumtot=0
poeptot=0
gehtot=0
N=15                  !aantal soorten
beesth=beest
nodigbeestn=nodigbeest
beschikbaar=0

```

```

geetenblad=0
beestnbladtot=0
tekort=0

Do K=1,N
  poepb(K)=0
  Geetenbeest(K)=0
  Tel(K)=0
  Rest(K)=0
  Npoep(K)=0
  Nureum(K)=0
End do

Do L=1,5
  Do O=1,3
    nodigorgaan(L,O)=0
    beschikbaar(L,O)=0
    biomorgaan(O)=0
  End do
End do

Do K=1,N
  Do L=1,5
    Do O=1,3
      geeten(K,L,O)=0
      geetenex(K,L,O)=0
    End do
  End do
End do

```

C Bepaling van het aantal grote grazers voor de lengte correctie van de bomen bij hoge graasdichtheden

```

1 GVE=aantal(1)+aantal(2)+aantal(3)+aantal(4)*2+aantal(5)+aantal(6)+
2   aantal(7)/5+aantal(8)+aantal(9)/9+aantal(10)/3+aantal(11)/4+
   aantal(12)/5+aantal(13)/4

```

```

Do L=1,5
  Do O=1,3
    If (biom(L,O).GT.biommin(L,O)) then
      beschikbaar(L,O)=biom(L,O)-biommin(L,O)
      If ((L.EQ.4.OR.L.EQ.5).AND.lcloud>1.5) then
        Beschikbaar(L,3)=1.5*bladbiompl(1)
        If (lcloud>10) then
          Beschikbaar(L,3)=1.5*bladbiompl(1)*0.1
        End if
      End if
      If (L.EQ.4.OR.L.EQ.5) then
        If (pboom.EQ.'GRO'.OR.pboom.EQ.'DOU'.OR.pboom.EQ.'LAR'
          .OR.pboom.EQ.'FIJ') then
          Beschikbaar(4,O)=beschikbaar(4,O)*0.5
        End if
        If (cboom.EQ.'GRO'.OR.cboom.EQ.'DOU'.OR.cboom.EQ.'LAR'
          .OR.cboom.EQ.'FIJ') then
          Beschikbaar(5,O)=beschikbaar(5,O)*0.5
        End if
      End if
    End if
    biomorgaan(O)=biom(L,O)+biomorgaan(O)
  End do
End do

Do L=1,5
  Do O=1,3
    biomgeh(L,O)=biom(L,O)/biomorgaan(O)
  End do
End do

```

```

Do K=1,N
  Do L=1,5
    Do O=1,3
      beesth(K,L,O)=beest(K,L,O)*biomgeh(L,O)
      gehtot(K)=beesth(K,L,O)+gehtot(K)
    End do
  End do
End do

C o.a. berekening hoeveel biomassa er per orgaan nodig is bij de gegeven graasdruk per grazer
C controle of de verdeling van gegeten biom over de organen per grazer wel 1 is

Do K=1,N
  Do L=1,5
    Do O=1,3
      If (gehtot(K).GT.0) then
        beestn(K,L,O)=beesth(K,L,O)/gehtot(K)
      End if
      tel(K)=beestn(K,L,O)+tel(K)
      nodigbeestn(K,L,O)=beestn(K,L,O)*eten(K)*aantal(K)
    End do
  End do
  If (tel(K)<0.999.OR.tel(K)>1.001) Then
    print*, 'totaal gehalten niet 1 voor' ,K,tel(K)
  End if
End do

C begin hoofdloop; i.t.t. vaak wordt dit per orgaan en niet per functioneel type behandeld

Do O=1,3
  Do L=1,5
C Berekening hoeveel biomassa er per orgaan nodig is bij huidige graasdruk
C Berekening hoeveel er nodig is per orgaan
    Do K=1,N
      nodigorgaan(L,O)=nodigbeestn(K,L,O)+nodigorgaan(L,O)
    End do
    If (beschikbaar(L,O)>=nodigorgaan(L,O)) then
      Do K=1,N
        gegeten(K,L,O)=nodigbeestn(K,L,O)
      End do
    End if
    If (beschikbaar(L,O)<nodigorgaan(L,O)) then
      Do K=1,N
        gegeten(K,L,O)=beschikbaar(L,O)*
1          (nodigbeestn(K,L,O)/nodigorgaan(L,O))
        rest(K)=nodigbeestn(K,L,O)-gegeten(K,L,O)
        If (L<5) then
          Z=L+1
          nodigbeestn(K,Z,O)=nodigbeestn(K,Z,O)+rest(K)
          rest(K)=0
        Else If (O.EQ.1.OR.O.EQ.2) then !
          nodigbeestn(K,1,3)=nodigbeestn(K,1,3)+rest(K)
        End if
      End do
    End if
  End do
End do

tekort=0
Do K=1,N
  tekort=tekort+rest(K)
End do

Do L=1,5
  nodigorgaan(L,3)=0
  Do O=1,3

```



```

        gegetenorg(L,0)=0
    End do
End do

Do K=1,N
    Do L=1,5
        Do O=1,3
            gegetenorg(L,0)=gegeten(K,L,0)+gegetenorg(L,0)
        End do
    End do
End do

Do L=1,5
    Do O=1,3
        beschikbaarn(L,0)=beschikbaar(L,0)-gegetenorg(L,0)
    End do
End do

C Tweede ronde, als er een tekort is opgetreden

If (tekort>0) then
    Do L=1,5
        Do K=1,N
            nodigbeesth(K,L,3)=rest(K)
            nodigorgaan(L,3)=nodigbeesth(K,L,3)+nodigorgaan(L,3)
        End do

        If (beschikbaarn(L,3)>=nodigorgaan(L,3)) then
            Do K=1,N
                gegetenex(K,L,3)=nodigbeesth(K,L,3)
            End do
        End if
        If (beschikbaarn(L,3)<nodigorgaan(L,3)) then
            Do K=1,N
                gegetenex(K,L,3)=beschikbaarn(L,3)*
                (nodigbeesth(K,L,3)/nodigorgaan(L,3))
            End do
            Do K=1,N
                rest(K)=0
                rest(K)=nodigbeesth(K,L,3)-gegetenex(K,L,3)
                If (L.LT.5) then
                    Z=L+1
                    nodigbeesth(K,Z,3)=rest(K)
                End if
            End do
        End if
    End do
End if

Do K=1,N
    Do L=1,5
        Do O=1,3
            gegetentot=gegeten(K,L,0)+gegetenex(K,L,0)+gegetentot
            gegetenbeest(K)=gegetenbeest(K)+gegeten(K,L,0)+
            gegetenex(K,L,0)
            biom(L,0)=biom(L,0)-gegeten(K,L,0)-gegetenex(K,L,0)
        End do
    End do
End do

C berekening hoeveel een beest nodig heeft
Do K=1,N
    nodigbeesttot(K)=aantal(K)*eten(K)
End do

Do K=1,N
    Do L=1,5
        Do O=1,3
            poeptot=(gegeten(K,L,0)+gegetenex(K,L,0))*poeppercentage(K)
            +poeptot
        End do
    End do
End do

```

```

1      poepb(K)=(gegeten(K,L,O)+gegetenex(K,L,O))*poeppcentage(K)
      +poepb(K)
      End do
      End do
      End do

      Do K=1,N
      Npoep(K)=poepb(K)*Ngehpoep(K)
      Nureum(K)=poepb(K)*Ngehureum(K)
      Npoeptot=Npoeptot+Npoep(K)
      Nureumtot=Nureumtot+Nureum(K)
      End do

C      Berekening N gehalte

      If (poeptot.EQ.0) then
      Ngehaltepoep=0
      Else If (poeptot>0) then
      Ngehaltepoep=Npoeptot/poeptot
      End if

C      Correctie voor een lager aantal grazers dan mogelijk

!      berekening van de totale gegeten en beschikbare bladbiomassa
      Do L=1,5
      beschikbaaratot=beschikbaaratot+beschikbaar(L,3)
      Do K=1,N
      gegetenblad=gegetenblad+gegeten(K,L,3)+gegetenex(K,L,3)
      beestnbladtot=(beestn(K,L,3)*eten(K)*aantaloud(K))
1      +beestnbladtot
      End do
      End do

      If (gegetenblad>beschikbaaratot+0.001) print*,'fout!.er is meer
      lgegeten dan er beschikbaar is'

C      Correctie voor het aantal wilde grazers bij een te groot aantal grazers

      Do K=8,N
      If (gegetenbeest(K).LT.nodigbeesttot(K)-0.0001) then      !het kleine getal is toegevoegd om
      afrondingsfouten te compenseren
      teveelgrazers(K)=(nodigbeesttot(K)-gegetenbeest(K))
1      / (nodigbeesttot(K))
      aantal(K)=aantal(K)-(teveelgrazers(K)*1.2)
      If (aantal(K)<0) then
      aantal(K)=0
      End if
      End if
      End do

      If (beschikbaaratot>(gegetenblad+0.1*gegetenblad)) then
      Do K=8,N
      factor=((beschikbaaratot-gegetenblad)/beestnbladtot)*0.5
      aantal(K)=aantal(K)+((aantaloud(K)/totaantal)*factor)
      If (aantal(K)>aantalmax(K)) then
      aantal(K)=aantalmax(K)
      End if
      End do
      End if

      End      !subroutine Animal

```

Bijlage 11 Inhoud van de file Poep.txt.

De file bevat invoergegevens voor Animal.for over de hoeveelheid biomassa die per grazer wordt gegeten (ton/ha), het gehalte van die biomassa die mest wordt, het stikstofgehalte van de mest en het stikstofgehalte van de ureum (hiervan wordt nog geen gebruik gemaakt)

Invoerfile behorend bij het programma Animal.
Bevat parameters over de poepproductie van grazers

Contact persoon Wieger Wamelink

Alterra
Afdeling Ecologie & Ruimte
Basisteam Biodiversiteit en Milieu
Gebouwnummer 100
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 47
6700 AA Wageningen
e-mail: G.W.W. Wamelink@alterra.wag-ur.nl
tel. 0317-477922
fax. 0317-426186

gegeven wordt de te eten biomassa per beest (ton/j) poepgehalte, Ngehalte poep, en Ngehalte ureum per grazer

De gehalten staan in de volgende

volgorde:rund,hooglander,jongvee,wisent,pony,paard,schaap,
eland,ree,edelhert,damhert,moeflon,zwijn,gans,konijn

2.288	0.65	0.007	0.003	rund
2.490	0.65	0.007	0.003	hooglander
2.450	0.65	0.007	0.003	jongvee
4.500	0.65	0.007	0.003	wisent
1.462	0.65	0.007	0.003	pony
1.900	0.65	0.007	0.003	paard
0.480	0.65	0.021	0.003	schaap
2.007	0.65	0.007	0.003	eland
0.240	0.65	0.007	0.003	ree
0.670	0.65	0.007	0.003	edelhert
0.513	0.65	0.007	0.003	damhert
0.422	0.65	0.007	0.003	moeflon
0.522	0.65	0.0075	0.003	zwijn
0.0028	0.65	0.044	0.000	gans
0.0032	0.65	0.007	0.000	konijn

Bijlage 12 Inhoud van de file graas.txt.

De file is invoer voor Animal.for en bevat per grazer de voorkeur voor de organen van de functionele typen (verdeling, de som is 1). Per grazer is de volgorde wortels van de vegetatietypen kruiden, dwergstruiken, struiken, pionierbomen, climaxbomen, daarna houtige biomassa (zelfde volgorde) en tenslotte bladbiomassa (zelfde volgorde)

Invoerfile behorend bij het programma Animal.
Bevat parameters over het graasgedrag van grazers

Contact persoon Wieger Wamelink

Alterra

Afdeling Ecologie & Ruimte

Basisteam Biodiversiteit en Milieu

Gebouwnummer 100

Droevendaalsesteeg 3a

Postbus 47

6700 AA Wageningen

e-mail: G.W.W. Wamelink@alterra.wag-ur.nl

tel. 0317-477922

fax. 0317-426186

gegeven wordt het aandeel in het voedselpakket per orgaan
eerst worden de parameters voor de wortels ingelezen, dan stam/tak en dan blad
rund 2.288

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0

0.79

0.0

0.0

0.10

0.11

schotse hooglander 2.490

0.0

0.0

0.0

0.0

0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.53
0.01
0.03
0.15
0.28
jongvee 2.450
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.79
0.0
0.0
0.10
0.11
wisent 4.500
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.03
0.06
0.06
0.80
0.00
0.01
0.02
0.02
pony 1.462
0.0
0.0
0.0

0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.89
0.01
0.0
0.05
0.05
paard 1.900 tijdelijke schatting
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.94
0.0
0.0
0.03
0.03
schaap 0.480
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.70
0.20
0.03
0.04
0.03
eland 2.007
0.0
0.0

0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.10
0.15
0.15
0.30
0.00
0.10
0.10
0.10
ree 0.240
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.48
0.08
0.24
0.10
0.10
edelhert 0.670
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.58
0.13
0.12
0.08
0.09
damhert 0.513
0.0

0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.21
0.0
0.50
0.14
0.15
moeflon 0.422
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.50
0.0
0.0
0.25
0.25
zwijn 0.522
0.35
0.04
0.0
0.06
0.06
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.11
0.02
0.0
0.18
0.18
gans 0.0028

0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
1.00
0.0
0.0
0.0
0.0
Konijn
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.80
0.10
0.02
0.04
0.04

Bijlage 13 Listing van de subroutine Licht.for.

De subroutine is een onderdeel van SUMO

```
c      licht.for
c
c      Model dat de lichtonderschepping door de vegetatie simuleert
C
C      Koppeling met het model SUMO en daardoor indirect met SMART
c
c      uitbreiding en aanpassing najaar 2001
c
c      Contact persoon Wieger Wamelink
c              Alterra
c              Afdeling Ecologie & Ruimte
c              Basisteam Biodiversiteit en Milieu
c              Gebouwnummer 100
c              Droevendaalsesteeg 3a
c              Postbus 47
c              6700 AA Wageningen
c              e-mail: G.W.W. Wamelink@alterra.wag-ur.nl
c              tel. 0317-477922
c              fax. 0317-426186
c
c
c      Subroutine; wordt aangeroepen in sumo.for
c      subroutines: -
c      Koppeling met SUMO.for is noodzakelijk
c
c
c      Subroutine licht(Gpot1,instralingl,uitdovingl,bioml,bladopname
1              ,bladopnamel,climax,pionier,struik,dwerg,kruid
2              ,V,onderscheppingl,lc,lp,ls,ld,lk,jaar,
3              bladbiomperlengte)

      Implicit none

      Real      Gpot1(5)              !Potentiele groeisnelheid
      Real      instralingl          !Instraling; wordt elk jaar op 1 gesteld
      Real      uitdovingl(15,5)    !lichtverbruik van het type
      Real      bioml(5,3)          !biomassa per orgaan
      Real      onderscheppingl(5)  !lichtvebruik van de biomassa in het type
      Real      biomkruiddwerg      !som bladbiomassa van kruid en dwergstruiken
      Real      biompionierclimax    !som bladbiomassa van pionierbomen en climaxbomen
      Real      onderscheppingh     !lichtonderschepping van de dwergstruiken+kruiden
      Real      bladopname          !canopy uptake totaal
      Real      bladopnamel(5)      !canopy uptake; afh van extinctie volgens L B
      Real      onderscheppingtot    !totale onderschepping van N
      Integer   climax              !rangvolgorde lichtonderschepping voor climax boom
      Integer   pionier             !rangvolgorde lichtonderschepping voor pionier boom
      Integer   struik              !rangvolgorde lichtonderschepping voor struiken
      Integer   dwerg               !rangvolgorde lichtonderschepping voor dwergstruiken
      Integer   kruid              !rangvolgorde lichtonderschepping voor kruiden
      Integer   L,b                 !loopvariabelen
      Integer   V

c      toegevoegd najaar 2001
      Real      lc                  !lengte climax boom
      Real      lp                  !lengte pionier boom
      Real      ls                  !lengte struiken
      Real      lk                  !lengte kruiden
      Real      ld                  !lengte dwergstruiken
      Real      bladbiomperlengte(5) !bladbiomassa per m
```

```

lc) Real    lengte(5)                !lengte van de functionele typen (lk, ld, ls, lp,
Real    blokhoogte(5)              !hoogte in (m) van elk blok
Real    bloklengte(5)              !lengte van elk blok
type   Real    blokbladbiom(5,5)    !bladbiomassa per blok en per functioneel
Real    blokbladbiomtot(5)         !bladbiomassa per blok
Real    ond_ftype_blok(5,5)
Real    onderscheppingltot(5)
Real    uitdovinggew(5)
Real    tel(5,5)

Real Jaar
onderscheppingtot=0

Do b=1,5
    blokbladbiomtot(b)=0
End do

lengte(1)=lk
lengte(2)=ld
lengte(3)=ls
lengte(4)=lp
lengte(5)=lc

Do L=1,5
    If (lengte(1)<10) then
        bladbiomperlengte(1)=bioml(1,3)/lengte(1)
    Else
        bladbiomperlengte(1)=bioml(1,3)/(lengte(1)-2)  !
    End if
End do

c    bepaling van de lengtegrenzen van de blokken

Do L=1,5
    If (kruid.EQ.1) blokhoogte(kruid)=lengte(1)
    If (dwerg.EQ.1) blokhoogte(dwerg)=lengte(2)
    If (struik.EQ.1) blokhoogte(struik)=lengte(3)
    If (pionier.EQ.1) blokhoogte(pionier)=lengte(4)
    If (climax.EQ.1) blokhoogte(climax)=lengte(5)
End do

Do b=1,5
    Do l=1,5
        Tel(b,l)=0
    End do
End do

Do b=1,5
    Do l=1,5
        If (lengte(l)>=blokhoogte(b)) then
            Tel(b,l)=1
        End if
    End do
End do

c    bepaling van de lengte van het blok

bloklength(1)=blokhoogte(1)
bloklength(2)=blokhoogte(2)-blokhoogte(1)
bloklength(3)=blokhoogte(3)-blokhoogte(2)
bloklength(4)=blokhoogte(4)-blokhoogte(3)
bloklength(5)=blokhoogte(5)-blokhoogte(4)

c    berekening van de bladbiomassa per blok per functioneel type

Do b=1,5

```

```

    Do l=1,5
      blokbladbiom(b,l)=bloklengthe(b)*bladbiomperlengthe(l)*Tel(b,l)
    End do
  End do

C   Correctie als bomen groter worden dan 10m, alleen biomassa jonge boompjes (10%) in de
blokken < 2 m

Do L=4,5
  If (lengthe(l)>10) then
    Do b=1,5
      If (blokhoogte(b)<2) then
        blokbladbiom((b+1),l)=blokbladbiom((b+1),l)+
1      (0.9*blokbladbiom(b,l))
        blokbladbiom(b,l)=blokbladbiom(b,l)*0.1
      End if
    End do
  End if
End do

c   berekening van de totale bladbiomassa per blok

Do b=1,5
  Do l=1,5
    blokbladbiomtot(b)=blokbladbiom(b,l)+blokbladbiomtot(b)
  End do
End do

C   bereken de lichtonderschepping per blok

Do b=1,5
  uitdovinggew(b)=0
End do

Do b=5,1,-1
  Do L=1,5
    uitdovinggew(b)=((uitdovingl(V,l)*blokbladbiom(b,l))/
1  blokbladbiomtot(b))+uitdovinggew(b)
  End do
    onderscheppingl(b)=instralingl * (1 - EXP(-uitdovinggew(b))
1      *blokbladbiomtot(b))      !volgens Lambert-Beer

  instralingl=instralingl - onderscheppingl(b)
End do

C   Bereken de lichtonderschepping per functioneeltype

Do b=1,5
  Do l=1,5
    ond_ftype_blok(b,l)=onderscheppingl(b)*((uitdovingl(V,l)
1  *blokbladbiom(b,l))/(uitdovinggew(b)*blokbladbiomtot(b)))
  End do
End do

Do l=1,5
  onderscheppingltot(l)=0
End do

Do l=1,5
  Do b=1,5
    onderscheppingltot(l)=ond_ftype_blok(b,l)+onderscheppingltot(l)
  End do
  Gpotl(l)=Gpotl(l) * onderscheppingltot(l)
End do

```

C berekening van de canopy uptake per laag; voor de onderschepping van depositie

```
Do L=1,5  
  onderscheppingtot=Onderscheppingltot(L)+onderscheppingtot  
End do
```

```
Do L=1,5  
  bladopname1(L)=bladopname*(onderscheppingltot(L)/  
1  onderscheppingtot)  
End do
```

```
End !subroutine
```