

Ruimtelijke vergelijking van gemodelleerde biomassa met NDVI



# **Ruimtelijke vergelijking van gemodelleerde biomassa met NDVI**

**Onderzoek ter verbetering van de modellering in de Natuurplanner van het Natuurplanbureau**

**G.W. Hazeu**

**G.W.W. Wamelink**

**Alterra-rapport 893**

**Alterra, Wageningen, 2004**

## REFERAAT

Hazeu, G.W. & G.W.W. Wamelink, 2004. *Ruimtelijke vergelijking van gemodelleerde biomassa met NDVI. Onderzoek ter verbetering van de modellering in de Natuurplanner van het Natuurplanbureau*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 893. 44 blz. 13. fig.; 5 tab.; 13 ref.

In dit rapport wordt de ruimtelijke vergelijking van, door SUMO gesimuleerde bladbiomassa, met de via remote sensing verkregen NDVI beschreven. Vergelijking heeft plaats gevonden voor meer dan 90% met vegetatiestructuurtypen gevulde SUMO grids (250m\*250m) binnen de EHS. De gevonden relaties voor verschillende tijdstippen, per vegetatiestructuurtype en per functioneel type zijn niet significant of als ze significant zijn wordt slechts een geringe deel van de variantie verklaard. Schaal verschillen tussen de NDVI data en de SUMO data compliceren de ruimtelijke vergelijking. Pseudo-replicatie en de kwaliteit van de SUMO input zijn andere beperkende factoren. Ruimtelijke vergelijking van LGN4 classificatie met de initiële vegetatiestructuurtypen in SUMO geeft op een gedetailleerd niveau grote verschillen.

Trefwoorden: bladbiomassa, SUMO, NDVI, remote sensing, ruimtelijke variatie, validatie, vegetatiestructuurtypen,

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €14,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 893. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

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

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

## **Inhoud**

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Successie Model - SUMO	11
1.3 Project - Doelstelling	12
1.4 Werkdoelstelling	12
2 Materiaal en Methode	15
2.1 Materiaal	15
2.1.1 SUMO data	15
2.1.2 Satellietbeelden	15
2.2 Methode	18
2.2.1 SUMO	18
2.2.2 Remote Sensing	19
2.2.3 Stappenplan	19
3 Resultaten	21
3.1 Fase 1: Vergelijking bladbiomassa – NDVI voor 90% gevulde SUMO grids (1 april, 3 mei en 30 juli 1999)	21
3.2 Fase 2: Vergelijking huidige resultaten met onderzoeksresultaten 2002	23
3.3 Fase 3: Vergelijking bladbiomassa – NDVI voor <i>homogeen</i> gevulde SUMO grids (>90%)	25
3.4 Fase 4: Ruimtelijke vergelijking SUMO vegetatiestructuurtypen – LGN4 classificatie	31
4 Discussie	35
5 Conclusies en aanbevelingen	39
5.1 Conclusies	39
5.2 Aanbevelingen	40
Literatuurlijst	41
<b>Bijlagen</b>	
1 Statistische parameters voor de relatie tussen gesimuleerde biomassa en NDVI per functionele type	43



## **Woord vooraf**

Het voor u liggende rapport beschrijft het onderzoek naar de ruimtelijke vergelijking van door SUMO gesimuleerde biomassa met de NDVI bepaald a.h.v. satellietbeelden. Het is een vervolg onderzoek op het rapport 'Onderzoek naar Kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp van Remote Sensing' (Hazeu et al., 2002).

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het DWK programma 358 'GIS en Remote Sensing'. Begeleiding heeft plaats gevonden door Hans Farjon. Het onderzoek heeft plaats gevonden in het kader van de behoefte van het Natuurplanbureau om de door hen gebruikte modellen te valideren.

Naast de auteurs hebben nog enkele personen door middel van discussies en/of hulp bij GIS bewerkingen bijgedragen aan de tot standkoming van dit rapport. In het bijzonder willen wij Han van Dobben, Lammert Kooistra, Gerbert Roerink, Anne Schmidt, Rini Schuiling en Allard de Wit bedanken.





## **Samenvatting**

Het onderzoek heeft zich gericht op de ruimtelijke vergelijking van door het model SUMO gemodelleerde bladbiomassa en door middel van remote sensing verkregen NDVI. Vanuit de literatuur is bekend dat er een verband is tussen de in het veld gemeten bladbiomassa en de NDVI. In dit onderzoek hebben we ons echter gericht op de vergelijking van gesimuleerde bladbiomassa en de uit satellietbeelden berekende NDVI.

De vergelijking van de bladbiomassa en NDVI voor grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met SUMO's vegetatiestructuurtypen leverde een onverwacht beeld op. De relatie tussen bladbiomassa en NDVI bleek in de meeste gevallen niet significant te zijn. In enkele gevallen was de relatie significant maar het percentage verklaarde variantie was dan erg laag. Het onderzoek heeft zich dan ook in toenemende mate gericht op het zoeken naar verklaringen waarom er geen verband is tussen de gesimuleerde biomassa en de NDVI is. Waarschijnlijk speelt de initialisatie van SUMO hierbij een belangrijke rol. Doordat er landelijk slechts met een initiële biomassa per vegetatiestructuurtype wordt gewerkt, is er te weinig variatie in de simulaties om een landelijke vergelijking met NDVI op site niveau mogelijk te maken. Daarnaast bleken de vegetatiekaart van SUMO en de met remote sensing verkregen LGN4 kaart op detailniveau slecht met elkaar overeen te komen. Een belangrijke aanbeveling van dit onderzoek is dan ook dat de vegetatiekaart die SUMO gebruikt en de manier waarop daarbij de initiële biomassa wordt gezocht, moeten worden verbeterd om een landelijke vergelijking van gesimuleerde bladbiomassa met door remote sensing verkregen NDVI mogelijk te maken.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Binnen het Natuurplanbureau bestaat er behoefte om de door hen, in het kader van de Natuurverkenningen gebruikte modellen, te valideren. In het kader van het project 'Onderzoek naar Kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp van Remote Sensing' is gekeken naar mogelijkheden lagen om met Remote Sensing de betreffende modellen te valideren (Hazeu et al., 2002).

Uit dit bovengenoemd onderzoek is gebleken dat het in principe mogelijk is om het model SUMO (Wamelink et al., 2000) te valideren met behulp van satellietbeelden. De vergelijkende analyse van satellietbeelden en SUMO uitvoer resulteerde in een positief lineair verband tussen de door SUMO berekende bladbiomassa en de via satellietbeelden verkregen vegetatie-index NDVI. De vergelijkende analyse heeft zich in dit onderzoek beperkt tot één moment (30 juli 1999). Verder is er slechts een vergelijking gemaakt tussen SUMO-biomassa en de gemiddelde NDVI per SUMO gridcel.

## 1.2 Successie Model - SUMO

In dit onderzoek is gewerkt met de uitkomsten van het model SUMO (Wamelink et al., 2000). SUMO is een vegetatiesimulatiemodel dat in combinatie met het bodemsimulatiemodel SMART2 (Kros et al., 1995) o.a. de stikstofkringloop in bodem en vegetatie modelleert. Hierbij wordt rekening gehouden met, veranderende, depositie van zowel zuur als stikstof. Een resultaat van SUMO is de biomassa en biomassaproductie. Omdat de tijdstap van de modellen een jaar is, is dit de maximale biomassa die in dat jaar aanwezig is. Dit komt ongeveer overeen met de biomassa in het veld in de maanden juli en augustus, mede afhankelijk van het vegetatiestructuurtype en het beheer. In SUMO wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende vegetatiestructuurtypen, waarvan de belangrijkste zijn: rietland, grasland, heide en verschillende bostypen waarvan de belangrijkste twee boomsoorten worden gemodelleerd. Per vegetatiestructuurtype worden vijf functionele typen gemodelleerd: grassen en kruiden (1), dwergstruiken (2), struiken (3), boomsoort 1 (4) en boomsoort 2 (5). Per functioneel type wordt de biomassa verdeeld over drie organen: wortels, houtige delen en blad. De verdeling van de biomassa over de organen is per functioneel type verschillend. De vijf functionele typen concurreren met elkaar om stikstof, licht en vocht, waarbij de verdeling van de biomassa mede bepaalt welk successiestadium van de vegetatie aanwezig is. Bijvoorbeeld, als er relatief veel biomassa aanwezig is in het functionele type dwergstruiken dan wordt een heide gesimuleerd. Het ene vegetatiestructuurtype kan overgaan in het andere als de biomassaverhouding tussen de functionele typen verschuift. Beheer heeft invloed op de biomassahoeveelheid en daarmee op de biomassaverhouding en het gesimuleerde vegetatiestructuurtype door het selectief

verwijderen van biomassa. Het beheer kan bestaan uit maaien, plaggen of bosbeheer, allen gecombineerd met begrazing.

SUMO wordt geïnitieerd aan het begin van een modelrun. Voor het vegetatiestructuurtype wordt gebruikt gemaakt van een kaart met daarop het vegetatietype, het beheer, de belangrijkste twee boomsoorten en de leeftijd van de vegetatie. De initiële biomassa die bij elk vegetatiestructuurtype hoort wordt afgelezen uit een tabel (zie Wamelink et al., 2000) en is voor alle plekken in Nederland gelijk. Voor bossen wordt nog onderscheid gemaakt in vier leeftijdsklassen.

### **1.3 Project - Doelstelling**

Het doel van het onderzoek is om de methode voor de ruimtelijke validatie van SUMO-biomassa met Remote Sensing verder te ontwikkelen. In het onderzoek van Hazeu et al. (2002) werden de volgende twee aanbevelingen genoemd om de ruimtelijke vergelijking tussen de SUMO biomassa en de NDVI te verbeteren:

- de berekening van de NDVI uit Landsat beelden niet beperken tot één tijdstip voor een jaar, maar uitbereiden naar meerdere tijdstippen. De NDVI kan namelijk voor de verschillende vegetatiestructuurtypen sterk verschillen per seizoen. Heide en duingebieden hebben in vergelijking tot bossen op de Veluwe op een ander moment in het jaar een hoge NDVI. De SUMO-biomassa wordt per jaar berekend en is gemodelleerd voor het hoogtepunt van de vegetatiegroei.
- het schatten van de relatie tussen de SUMO-biomassa en de NDVI per SUMO-vegetatiestructuurtype en niet per gridcel zoals in het voorgenoemde onderzoek heeft plaats gevonden. De gemiddelde NDVI-waarde voor een SUMO gridcel is namelijk 'vervuild' met NDVI waarden voor pixels die niet overeenkomen met de SUMO vegetatiestructuurtypen. SUMO berekent de biomassa voor natuurgebieden (de vegetatiestructuurtypen) binnen de ecologische hoofdstructuur (EHS), terwijl satellietbeelden de totale biomassa (groene) per oppervlakte – eenheid meten.

In het huidige onderzoek zijn deze aanbevelingen opgevolgd om tot meer gefundeerde uitspraken te komen t.a.v. de ruimtelijke validatie van SUMO met satellietbeelden.

### **1.4 Werkdoelstelling**

De volgende werkdoelstellingen zijn gehanteerd:

- het vergelijken van bladbiomassa met de NDVI voor SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met vegetatiestructuurtypen
- het vergelijken van de bladbiomassa met de NDVI voor SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met 1 vegetatiestructuurtype (de zogenaamde homogeen gevulde grids). Deze werkdoelstelling is als volgt opgesplitst:
  - alle homogene grids ongeacht vegetatiestructuurtype (bos, heide, gras)

- selecties van de homogene grids per vegetatiestructuurtype
- het vergelijken van de bladbiomassa met de NDVI voor de verschillende functionele typen voorkomend binnen een vegetatiestructuurtype (slechts voor de homogene grids)
- het vergelijken van de bladbiomassa met NDVI bepaald op verschillende tijdstippen in het jaar
- het vergelijken van de totale bladbiomassa (som biomassa van alle vijf de functionele typen) én de totale bladbiomassa van alleen de bomen met de NDVI
- het vergelijken van de ruimtelijke ligging van SUMO grids (de homogeen gevulde grids) met de LGN4 database.



## 2 Materiaal en Methode

### 2.1 Materiaal

#### 2.1.1 SUMO data

SUMO modelleert alleen natuurgebieden, hetgeen meestal overeenkomt met de Ecologische Hoofd Structuur (EHS). Voor gridcellen van 250\*250 meter (6.25 ha) levert SUMO de totale biomassa en de biomassa per functioneel type in ton/ha. Per gridcel kunnen meerdere vegetatiestructuurtypen voorkomen, waarvoor SUMO de biomassa simuleert. Door SUMO wordt per gridcel o.a. berekend of gegeven:

- de X en Y coördinaten van de linker benedenhoek in Amersfoortse (=stereographic) projectie
- de bladbiomassa per functioneel type
- de totale bladbiomassa per vegetatiestructuurtype (vst)
- de totale bladbiomassa per vegetatiestructuurtype gezien van boven
- de oppervlakte van elk voorkomend vegetatiestructuurtype in het 250\*250 meter grid

De X- en Y-coördinaten maken een ruimtelijke vergelijking met de uit remote sensing verkregen NDVI mogelijk. Binnen een gridcel kunnen echter meerdere vegetatiestructuurtypen voorkomen waarvan de exacte locatie niet bekend is. Een vergelijking is dus slechts mogelijk per gridcel. De totale bladbiomassa is opgebouwd uit de bladbiomassa's van de verschillende functionele typen. De verschillende bladbiomassa's voor de binnen de gridcel van 250\*250 m voorkomende vegetatiestructuurtypen (vst's) worden gewogen naar oppervlakte en opgeteld. De bladbiomassa gezien van boven verschilt alleen voor bos van de totale bladbiomassa. De bladbiomassa is dan berekend door **alleen** de bladbiomassa van de bomen (functionele typen) bij elkaar op te tellen.

#### 2.1.2 Satellietbeelden

De gebruikte satellietbeelden zijn Landsat 7 – ETM beelden van 1 april 1999, 3 mei 1999 en 30 juli 1999 (Tabel 1). Voor elk tijdstip zijn twee beelden beschikbaar die samen ongeveer 90% van Nederland bedekken. De Landsat beelden bestaan uit 7 banden, 3 in het VIS (VISible of zichtbare licht) spectrum, 3 in het NIR (Nabij Infra-Rood) spectrum, en 1 in het TIR (Thermisch Infra-Rood) spectrum. Tabel 2 somt de spectrale informatie van de Landsat banden op, alsmede mogelijke toepassingen ervan. De gebruikte satellietbeelden hebben een ruimtelijke resolutie van 25\*25m.

Tabel 1. Karakteristieken van de gebruikte satellietbeelden.

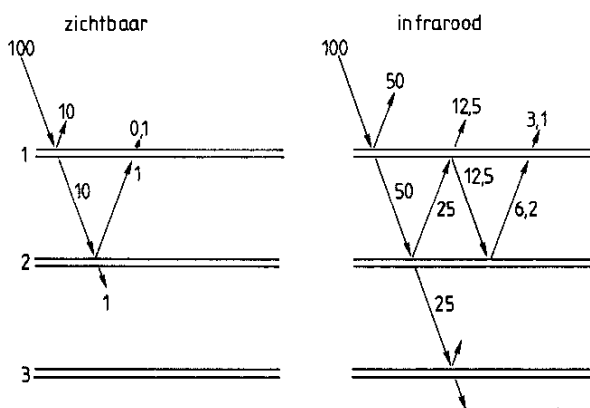
Sensor	Datum	Path/Row	Resolutie	Projectie
Landsat7-ETM	1 april 1999	198/023	25 m x 25 m	Amesfoortse
Landsat7-ETM	1 april 1999	198/024	25 m x 25 m	Amesfoortse
Landsat7-ETM	5 mei 1999	198/023	25 m x 25 m	Amesfoortse
Landsat7-ETM	5 mei 1999	198/024	25 m x 25 m	Amesfoortse
Landsat7-ETM	30 juli 1999	198/023	25 m x 25 m	Amesfoortse
Landsat7-ETM	30 juli 1999	198/024	25 m x 25 m	Amesfoortse

Tabel 2. Spectrale karakteristieken van Landsat (Hazeu et al., 2002).

Band	Spectrum	Bandbreedte (µm)	Toepassing
1	VIS (blauw licht)	0.45-0.52	Bepaling van reflectie
2	VIS (groen licht)	0.52-0.60	Bepaling van reflectie
3	VIS (rood licht)	0.63-0.69	Bepaling van reflectie & vegetatiekenmerken
4	NIR	0.76-0.90	Bepaling van vegetatiekenmerken
5	NIR	1.55-1.75	Bepaling van bodemeigenschappen
6	TIR	10.4-12.5	Bepaling van temperatuur
7	NIR	2.08-2.35	Bepaling van vegetatie- en bodemkenmerken

### Vegetatie index

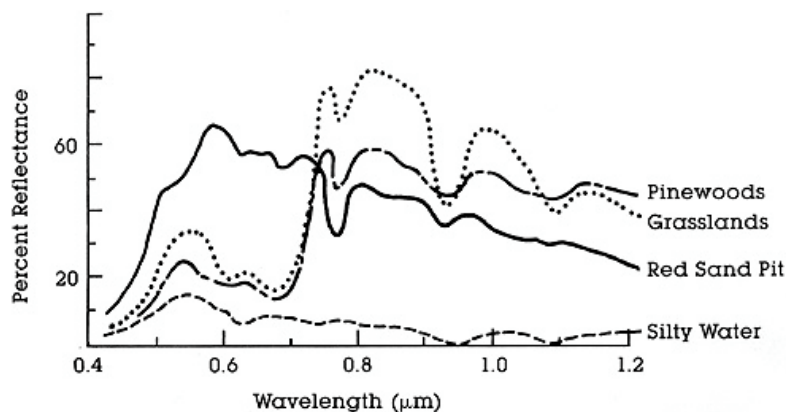
Als zonlicht op het bladoppervlak van een gewas valt, zal een deel ervan worden geabsorbeerd door de plant voor de fotosynthese. Het geabsorbeerde gedeelte bevindt zich met name in het zichtbare licht spectrum (Tabel 2: VIS spectrum). Ongeveer 80% wordt geabsorbeerd, de rest wordt gereflecteerd (10%) en door het blad heen getransmitteerd (10%). Rood en blauw licht worden meer geabsorbeerd dan groen licht, waardoor een plant bijna altijd groen is (iets meer reflectie). Het Nabij Infra-Rood (NIR) licht wordt voor ongeveer de helft gereflecteerd en de andere helft wordt door de bladlaag heen getransmitteerd. Er vindt vrijwel geen absorptie plaats van NIR. Volgens het reflectiemodel afgebeeld in Figuur 1 reflecteert de eerste bladlaag 50%, de tweede 12,5 %, de derde 3 %. Meer dan 3 bladlagen geeft geen bijdrage aan de reflectie van NIR (Buiten & Clevers, 1989).



Figuur 1. Schematische voorstelling van reflectie en transmissie door gewaslagen in het zichtbare en nabij infrarode gebied (Buiten & Clevers, 1989).



Voor het niet begroeide deel van het aardoppervlak (water, kale bodem en verstedelijkt gebied) is dit verschil in reflectie tussen VIS en NIR licht bijna niet aanwezig. Hoewel de totale reflectie soms erg kan variëren, is de verhouding tussen VIS en NIR reflectie ongeveer gelijk. Figuur 2 illustreert dit fenomeen voor enkele karakteristieke reflectie spectra.



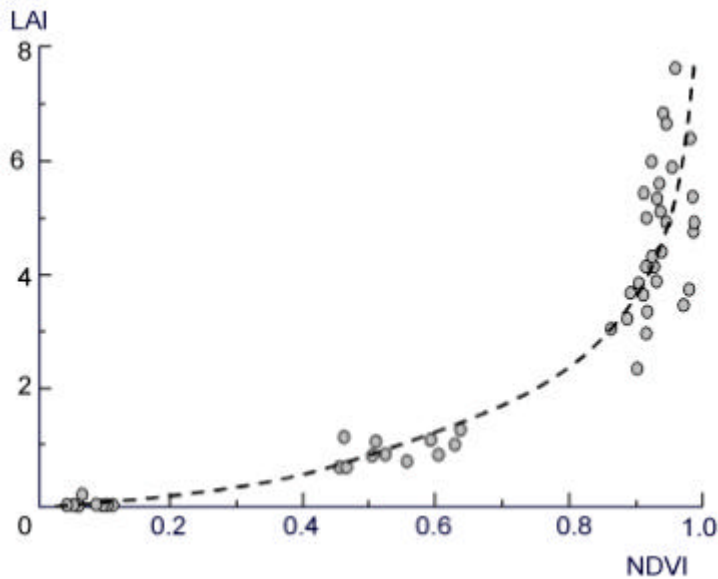
Figuur 2. Spectrale reflectie van vegetatie, kale bodem en water (Hazeu et al., 2002).

Satellietbeelden geven de hoeveelheid gereflecteerde energie (zonlicht) weer in verschillende spectrale banden. Met de verhouding tussen de banden kunnen zogenaamde vegetatie-indices worden gedefinieerd. De meest gebruikte vegetatie-index is de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (o.a. Buiten & Clevers, 1989; Tucker, 1979). Deze is als volgt gedefinieerd:

$$NDVI = \frac{r_{NIR} - r_{VIS}}{r_{NIR} + r_{VIS}} = \frac{r_{band4} - r_{band3}}{r_{band4} + r_{band3}} \quad (1)$$

Waar  $r_{VIS}$  en  $r_{NIR}$  respectievelijk de reflecties in de VIS en NIR spectra zijn. Voor Landsat zijn dat band 3 ( $r_{band3}$ ) en band 4 ( $r_{band4}$ ). De NDVI kan variëren tussen 0 en 1, waar  $NDVI = 0$  kale bodem of stedelijk gebied aangeeft en  $NDVI = 1$  een indicatie is van een compleet groen en volledig gesloten gewasoppervlak.

In het verleden is al veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen biomassa en vegetatie indices (Asrar, 1989; Clevers, 1989; Rondeaux, 1995). Soms wordt de biomassa vervangen door de LAI (Leaf Area Index), de oppervlakte bladlaag (gegeven als aantal lagen) per oppervlakte eenheid. Clevers (1989) beschrijft de relatie tussen LAI en NDVI (Figuur 3). Van  $LAI=0$  tot  $LAI=2$  neemt de NDVI recht evenredig toe van 0 tot 0.7. Bij een verder stijgende LAI gaat de NDVI naar een asymptoot. Dit is te verklaren door het feit dat bij een  $LAI = 2$  het oppervlak compleet is bedekt met groene vegetatie, een verder toenemende LAI kan niet meer met een NDVI worden gedetecteerd.



Figuur 3. Relatie tussen NDVI en LAI (Clevers, 1989).

## 2.2 Methode

### 2.2.1 SUMO

Met SMART-SUMO zijn alle bekende natuurgebieden (EHS) doorgerekend voor de periode 1970-1999, waarbij de eerste 10 jaar moeten worden beschouwd als initialisatie. Aangezien het hier een landelijke doorrekening betreft zijn de standaardinvoerwaarden gebruikt en het historische depositiescenario. Dit betekent dat de initiële biomassawaarden per vegetatiestructuurtype en voor bossen gecombineerd met leeftijdsklasse voor heel Nederland gelijk zijn.

De biomassa is gesimuleerd per oppervlakte eenheid (ha) per vegetatiestructuurtype (formule 2). Het is een gewogen gemiddelde van de biomassa voor alle in de gridcel voorkomende vegetatiestructuurtypen. De biomassa is dus niet berekend voor de totale oppervlakte van de gridcel, maar slechts voor het deel van de gridcel dat bedekt is met vegetatiestructuurtypen.

$$BM_{vstgrid} = \frac{\sum (BM_{vst} \times A_{vst})}{\sum (A_{vst})} \quad (2)$$

waar:

$BM_{vstgrid}$  = biomassa per vegetatiestructuurtype per gridcel (ton/ha)

$BM_{vst}$  = biomassa per vegetatiestructuurtype per gridcel (ton/ha)

$A_{vst}$  = oppervlakte vegetatiestructuurtype (vst) per gridcel (ha)

## 2.2.2 Remote Sensing

Voor de drie tijdstippen (1 april, 3 mei en 30 juli 1999) zijn steeds twee beelden in een mozaïek bijeen gebracht die ongeveer 90% van het landoppervlak van Nederland beslaan. De wolken in het beeld van 30 juli 1999 zijn visueel gedetecteerd, gedigitaliseerd en verwijderd. De andere beelden waren wolken vrij.

De NDVI is berekend met de hierboven genoemde formule 1 voor 25\*25 m rastercellen. Aangezien er een verschil in ruimtelijk resolutie bestaat tussen de SUMO data en de NDVI zijn de NDVI waarden geaggregeerd naar SUMO grids van 6.25 ha (250\*250 m). De NDVI is als gemiddelde voor de gridcel berekend. Binnen een grid van 250\*250 m vallen 10\*10 pixels van 25\*25 m. De NDVI's van 10\*10 pixels, die qua ligging overeenkomen met de gridcel, zijn volgens formule 3 gesommeerd en gemiddeld.

$$NDVI_{grid} = \frac{\sum NDVI}{10 \times 10 \text{ pixels}} \quad (3)$$

Uit de EHS zijn alleen 250\*250 m grids geselecteerd die voor meer dan 90% bedekt zijn met vegetatiestructuurtypen (vst). De geselecteerde grids hebben dus een bedekking met vegetatiestructuurtypen gelijk aan of groter dan 5,6 ha. De uitvoer voor de geselecteerde SUMO grids zijn op basis van hun ligging (topografisch coördinaten) gekoppeld aan de NDVI gemiddelden met behulp van ACCESS database en speciale remote sensing software (ERDAS-Imagine). Binnen de >90% gevulde grids zijn deelselecties aangemaakt van grids gevuld met slechts 1 vegetatiestructuurtype (homogene gridcellen). Analyses van de data voor de 90% grids hebben plaats gevonden in ACCESS of EXCEL. De NDVI uitkomsten per tijdstip zijn vergeleken met de bladbiomassa's berekend met SUMO.

## 2.2.3 Stappenplan

Allereerst is een vergelijking gemaakt tussen  $BM_{vstgrid}$  en  $NDVI_{grid}$  voor de grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met vegetatiestructuurtypen. Dit is gebeurd voor de drie tijdstippen waar satellietbeelden beschikbaar waren. Zowel de totale bladbiomassa als de bladbiomassa van alleen de bomen is in de analyse meegenomen. Bij het nader interpreteren van het verband tussen bladbiomassa en NDVI lag het voor de hand om zich te richten op de voor meer dan 90% met vegetatiestructuurtypen gevulde SUMO grids. Als er een verband is tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa zal dit aangetoond kunnen worden in min of meer volledig met vegetatie gevulde (homogene) grids. Aangezien de NDVI seizoensafhankelijk is, is gekeken naar drie tijdstippen waarop de vegetatieontwikkeling verschillend is voor bepaalde vegetatiestructuurtypen (Fase 1).

Daarna zijn deze resultaten vergeleken met de resultaten behaald in het vorige project 'Onderzoek naar Kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp

van Remote Sensing' (Hazeu et al., 2002) (Fase 2). Verder is het verband tussen de bladbiomassa en NDVI's per vegetatiestructuurtype bekeken. Dit in tegenstelling tot het vorige project waar de relatie per gridcel is geanalyseerd (Fase 3). Hiervoor zijn slechts de homogeen (met 1 vegetatiestructuurtype) gevulde 90% grids gebruikt. Er kunnen namelijk grote verschillen in bladbiomassa's tussen de vegetatiestructuurtypen zijn. Ook is gekeken naar de relatie tussen de bladbiomassa per functioneel type (voor de homogene 90% gevulde grids) en de NDVI.

Als laatste is gekeken naar mogelijke verklaringen voor de gevonden verschillen en verbanden. Hierbij is gekeken naar de relatie tussen de 90% grids gevuld met één vegetatiestructuurtype en de LGN4 classificatie, variatie in bladbiomassa binnen één vegetatiestructuurtype en variatie in NDVI binnen en tussen de vegetatiestructuurtypen (Fase 4).

### 3 Resultaten

Door SUMO worden 70265 250\*250 m grids gemodelleerd voor de EHS voor geheel Nederland. Van deze 70265 grids zijn er 5791 voor meer dan 90 % gevuld met vegetatiestructuurtypen zoals gedefinieerd in SUMO. Slechts 5585, 5630 en 5537 van deze grids zijn bruikbaar voor de tijdstippen 1 april, 3 mei en 30 juli 1999 respectievelijk. Gridcellen vallen af als gevolg van het ontbreken van satellietbeelden of de aanwezigheid van wolken. Grids met een NDVI van 0 zijn niet in de analyse meegenomen. Voor de drie tijdstippen zijn er uiteindelijk maar een beperkt aantal grids met een homogene vegetatiebedekking. Tabel 3 geeft een overzicht hoe deze grids verdeeld zijn over de vegetatiestructuurtypen voor de verschillende tijdstippen. In Tabel 4 staan de statistische parameters (regressie coëfficiënt (a) en intercept (=b) in de vergelijking  $y = ax + b$  met hun standaard afwijking en de verklaarde variantie ( $R^2_{adj}$ ) van alle vergelijkingen tussen bladbiomassa en NDVI die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd. In Bijlage I staan de statistische parameters van enkele andere vergelijkingen die in onze ogen relevant zijn en een positieve relatie geven.

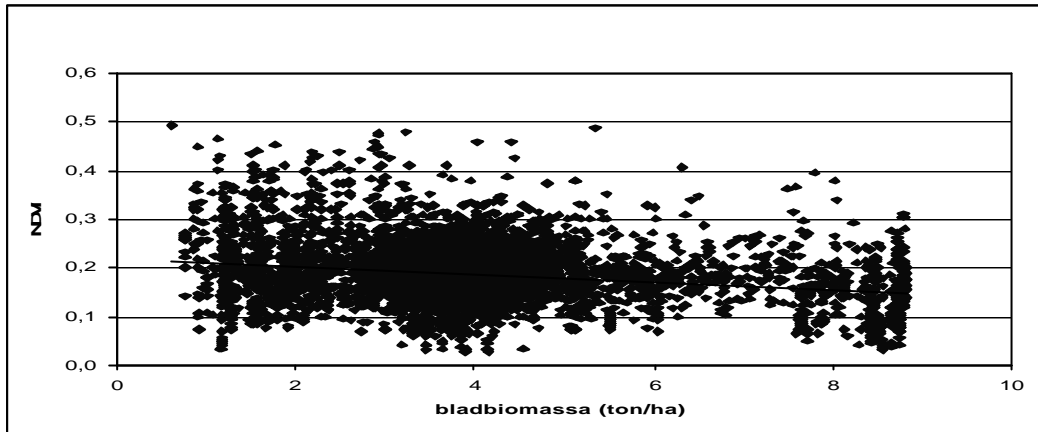
Tabel 3. Aantallen homogene 90% grids per vegetatiestructuurtypen (met tussen haakjes het nummer) voor de tijdstippen 1 april, 3 mei en 30 juli 1999.

vegetatiestructuurtypen	1 april 1999	3 mei 1999	30 juli 1999
licht naaldbos (5)	620	623	609
structuurrijk loofbos (8)	700	705	700
riet (9)	5	5	5
struweel (10)	5	5	5
kwelder (11)	298	302	303
Totaal*	1628	1640	1622

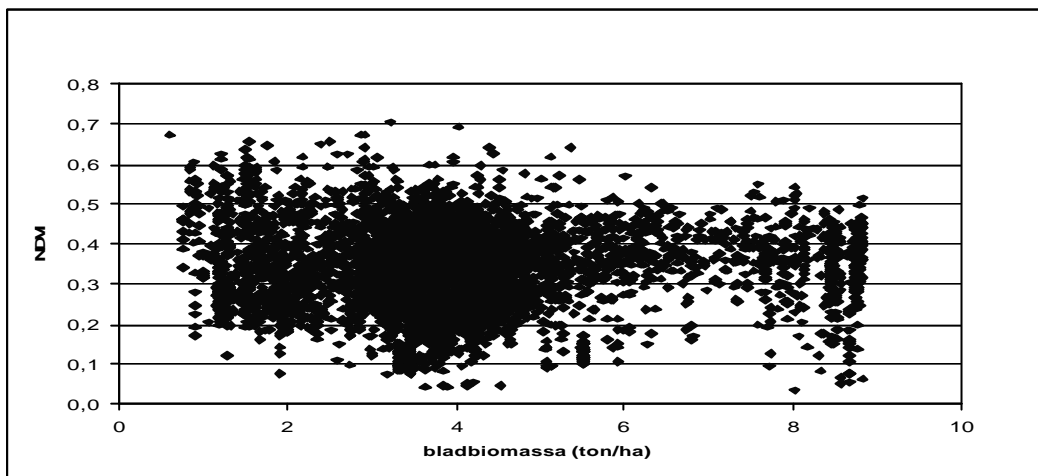
\* de totale aantallen per tijdstip komen niet overeen aangezien niet voor alle grids NDVI's berekend konden worden

#### 3.1 Fase 1: Vergelijking bladbiomassa – NDVI voor 90% gevulde SUMO grids (1 april, 3 mei en 30 juli 1999)

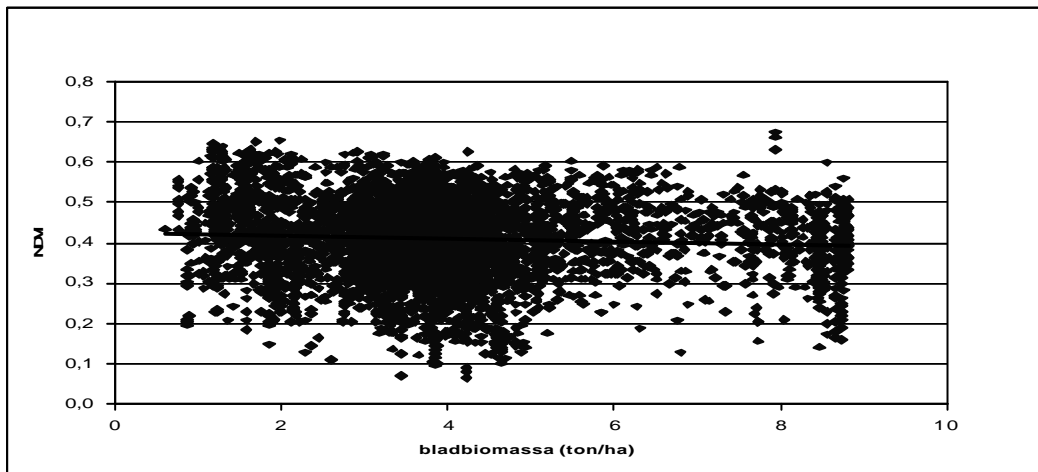
De resultaten van fase 1 beperken zich tot de SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met een of meerdere vegetatiestructuurtypen. De totale bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  van boven gezien is uitgezet tegen de berekende  $NDVI_{grid}$  voor de tijdstippen 1 april, 3 mei en 30 juli 1999 (Figuur 4). Het verband tussen de  $BM_{vstgrid}$  en  $NDVI_{grid}$  is in twee gevallen significant, maar het percentage verklaarde variantie is laag. Opvallend is dat het verband negatief is.



Figuur 4a



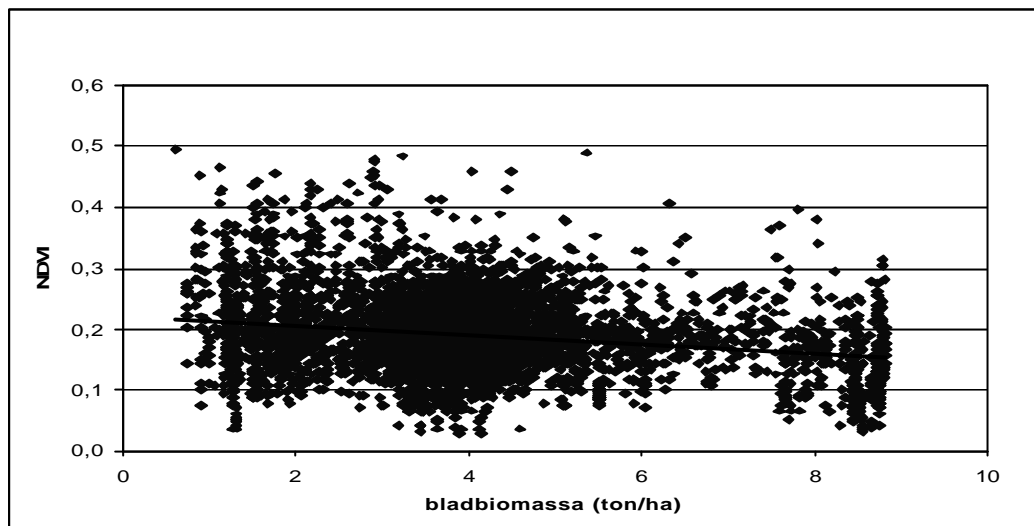
Figuur 4b



Figuur 4c

Figuur 4. Totale bladbiomassa van boven gezien  $BM_{vstgrid}$  (x-as) uitgezet tegen  $NDVI_{grid}$  (y-as) voor 1 april (Figuur 4a), 3 mei (Figuur 4b) en 30 juli 1999 (Figuur 4c) ( $n = 5585$ ;  $n = 5630$  en  $n = 5537$ , respectievelijk).

De relatie tussen  $BM_{vstgrid}$  en  $NDVI_{grid}$  voor de ‘normale’ totale bladbiomassa geeft eenzelfde beeld: een negatieve relatie en een lage verklaarde variantie. Figuur 5 geeft de relatie voor 1 april 1999. In de hierna volgende analyses is slechts gekeken naar de totale bladbiomassa vanaf boven gezien.



Figuur 5. Totale bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  (x-as) uitgezet tegen de  $NDVI_{grid}$  (y-as).

### 3.2 Fase 2: Vergelijking huidige resultaten met onderzoeksresultaten 2002

Het geringe verband tussen de bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  maakt het noodzakelijk om de uitkomsten te vergelijken met de uitkomsten uit het rapport ‘Onderzoek naar Kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp van Remote Sensing’ (Hazeu et al., 2002). De resultaten in dat rapport gaven een positief lineair verband tussen de totale bladbiomassa en de NDVI voor **alle** SUMO grids (Figuur 6). Echter de bladbiomassa en de NDVI zijn toen op een andere manier berekend. De  $BM_{grid}$  (voormalig  $BM_{raster}$ ) en de  $NDVI_{vstgrid}$  (voormalig  $NDVI_{gewas}$ ) zijn volgens formule 4 en 5 berekend.

$$BM_{grid} = \frac{\sum (BM_{vst} \times A_{vst})}{A_{grid}} \quad (4)$$

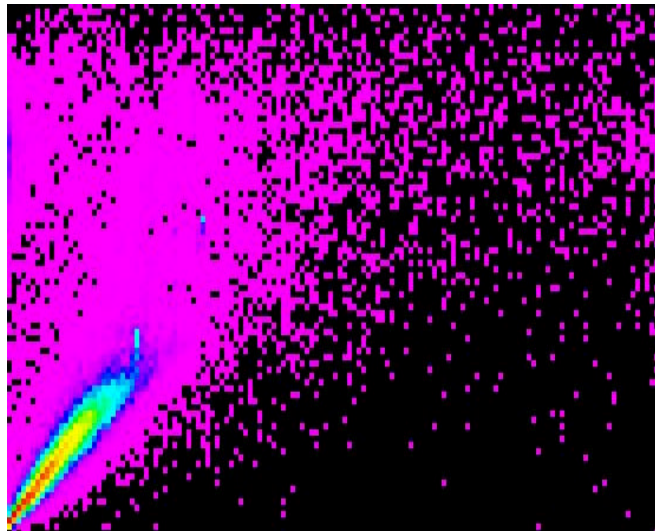
$$NDVI_{vstgrid} = \frac{NDVI_{grid} \times \sum A_{vst}}{A_{grid}} \quad (5)$$

waar:

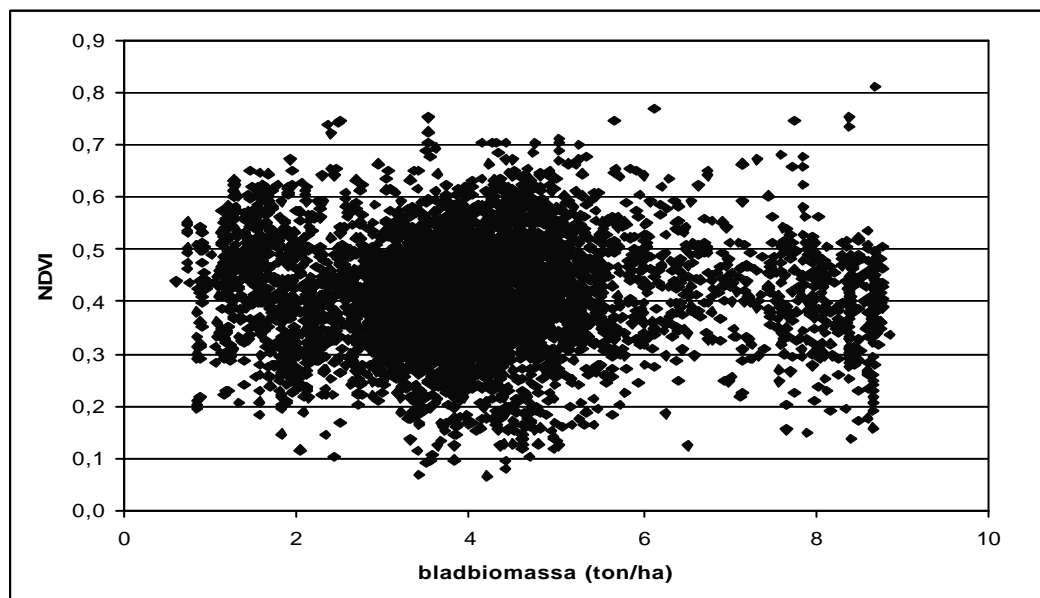
- $BM_{grid}$  = biomassa per hectare gridcel (ton/ha)
- $BM_{vst}$  = biomassa per vegetatiestructuurtype per gridcel (ton/ha)
- $A_{vst}$  = oppervlakte vegetatiestructuurtype per gridcel (ha)
- $A_{grid}$  = oppervlakte gridcel (6.25 ha)

$NDVI_{vstgrid}$  = NDVI per hectare gridcel  
 $NDVI_{tgrid}$  = gemiddelde NDVI per gridcel

Figuur 7 geeft het verband weer tussen de bladbiomassa ( $BM_{grid}$ ) en de NDVI ( $NDVI_{vstgrid}$ ) voor de deelselectie van >90% gevulde grids. Ook hier is de relatie tussen bladbiomassa en NDVI niet significant. Andere verbanden tussen bladbiomassa en NDVI ( $BM_{grid}$  en  $NDVI_{tgrid}$ ;  $BM_{vstgrid}$  en  $NDVI_{vstgrid}$ ) leveren vergelijkbare resultaten.



Figuur 6. Puntichtheidsgrafiek van de totale bladbiomassa  $BM_{grid}$  (x-as) uitgezet tegen de  $NDVI_{vstgrid}$  (y-as) voor **alle** SUMO grids (30 juli 1999). Schaal zwart (geen punten) > paars (lage puntichtheid), blauw > groen > geel > rood (hoge punt dichtheid) (overgenomen uit Hazeu et al., 2002).



Figuur 7. Totale bladbiomassa  $BM_{grid}$  (x-as) uitgezet tegen de  $NDVI_{vstgrid}$  (y-as) voor 30 juli 1999.

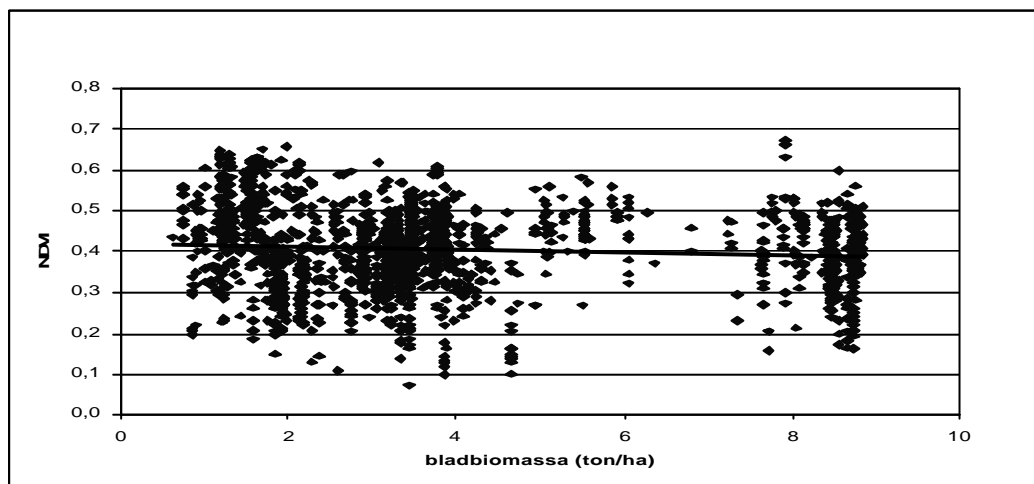


### 3.3 Fase 3: Vergelijking bladbiomassa – NDVI voor *homogeen* gevulde SUMO grids (>90%)

Een andere mogelijkheid om de relatie tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  verder te onderzoeken, is om meer in detail te kijken naar de relaties voor de verschillende vegetatiestructuurtypen. Tabel 3 geeft de aantallen homogene grids per tijdstip en per vegetatiestructuurtype.

#### **Homogene grids**

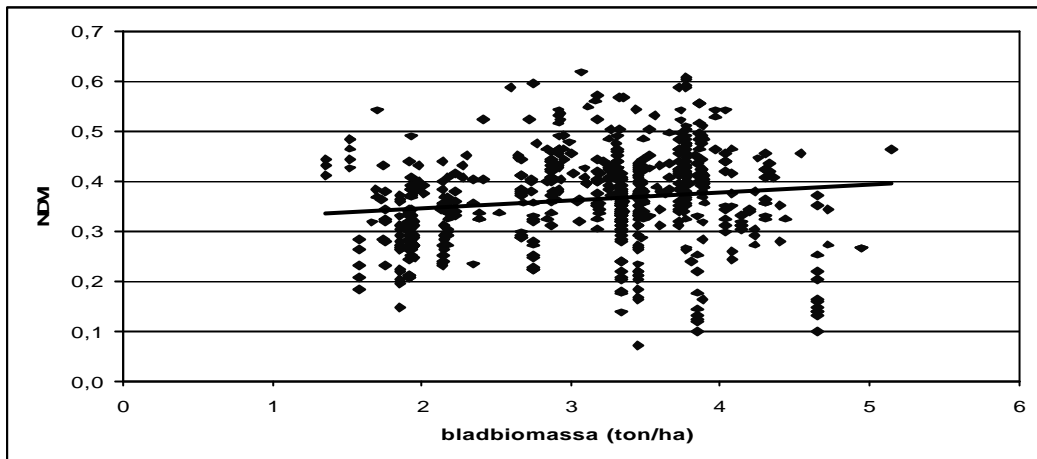
De deelselecties van SUMO grids, die voor meer dan 90% gevuld zijn met slechts één vegetatiestructuurtype, geven voor de drie tijdstippen een min of meer gelijk beeld: een niet significante relatie of bij een significante relatie een laag percentage verklaarde variantie. Figuur 8 laat de relatie zien tussen de bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999. In Figuur 8 zijn enkele puntwolken waarneembaar die overeenkomen met de verschillende vegetatiestructuurtypen. Naar de relatie tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  per vegetatiestructuurtype wordt in de volgende sectie gekeken.



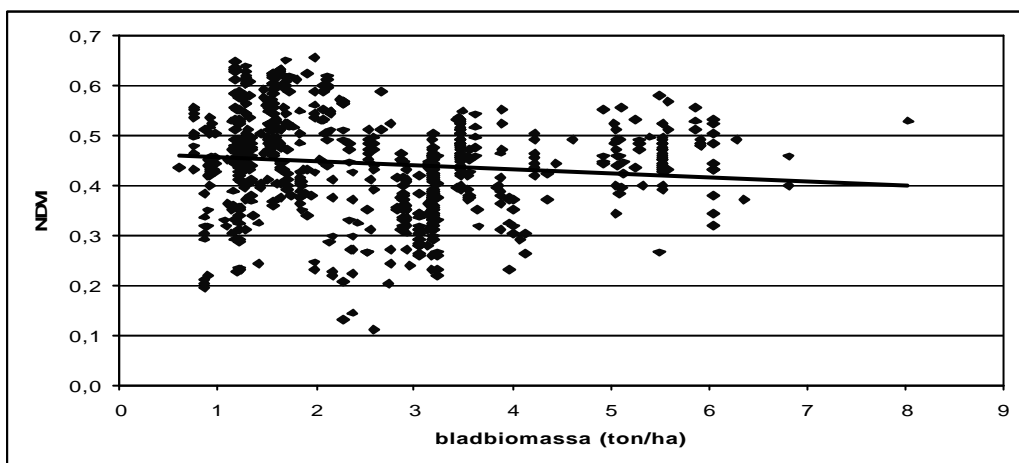
Figuur 8. De totale bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  voor alle *homogeen* gevulde SUMO grids en de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999 ( $n = 1622$ ).

#### **Per vegetatiestructuurtype**

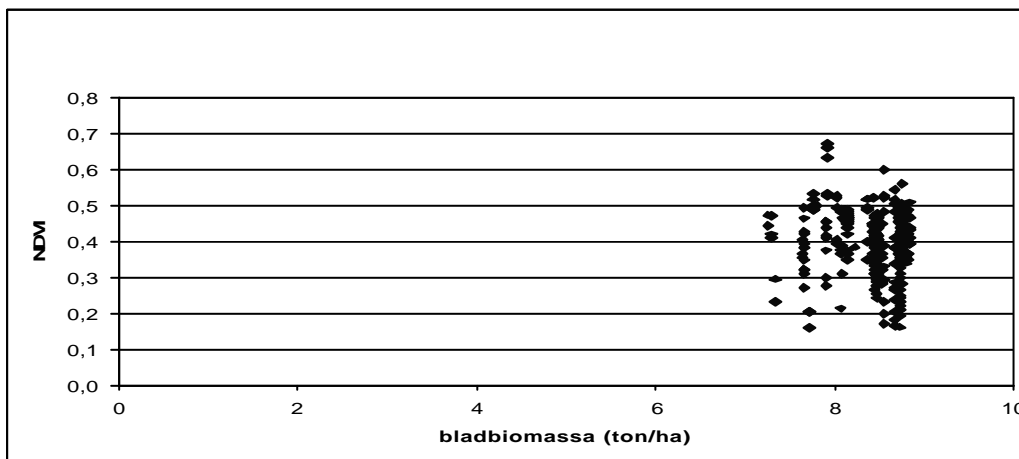
Van de in totaal 14 vegetatiestructuurtypen die SUMO onderscheidt komen er slechts 5 voor, waarvan de SUMO grids voor meer dan 90% gevuld zijn met 1 vegetatiestructuurtype. Van de vegetatiestructuurtypen licht naaldbos (5), structuurrijk loofbos (8) en kwelder (11) zijn de relaties tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999 weergegeven in Figuur 9. Voor de vegetatiestructuurtypen riet (9) en struweel (10) zijn slechts vijf grids die voldoen aan het criterium van een homogene bedekking voor meer dan 90%. Dit aantal is te gering om een verband tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  te bepalen.



Figuur 9a



Figuur 9b



Figuur 9c

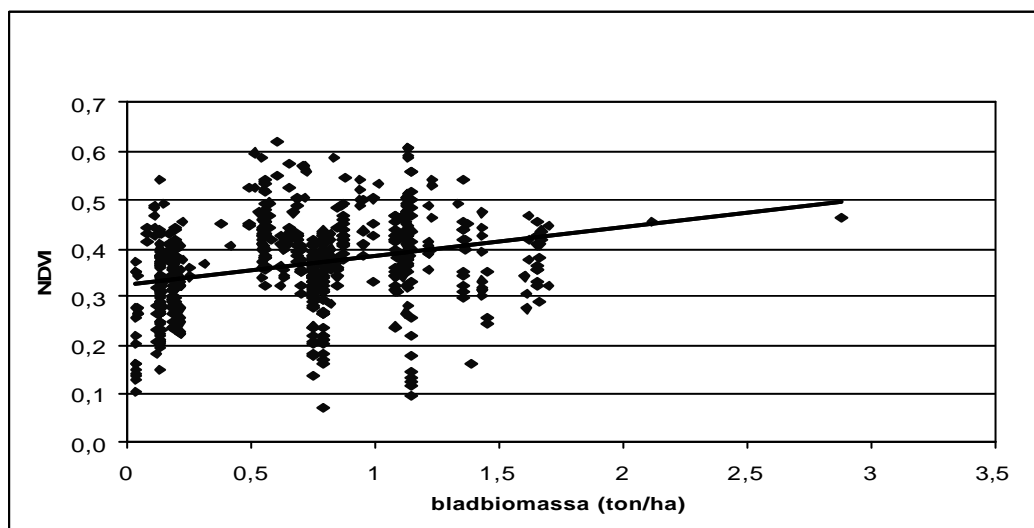
Figuur 9. De totale bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  uitgezet tegen de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999. Figuur 9a - licht naaldbos ( $n = 609$ ); Figuur 9b - structuurrijk loofbos ( $n = 700$ ) en Figuur 9c - kwelders ( $n = 303$ ).

Voor licht naaldbos en structuurrijk loofbos zijn significante relaties gevonden tussen de BM en de NDVI. Voor het andere vegetatiestructuurtype kwelders is de relatie niet significant. Voor alle vegetatiestructuurtypen geldt dat het percentage verklaarde variantie laag is. Voor de tijdstippen 1 april en 3 mei 1999 worden vergelijkbare relaties gevonden, waarbij de meeste relaties niet significant zijn of bij een significante relatie een lage verklaarde variantie hebben.

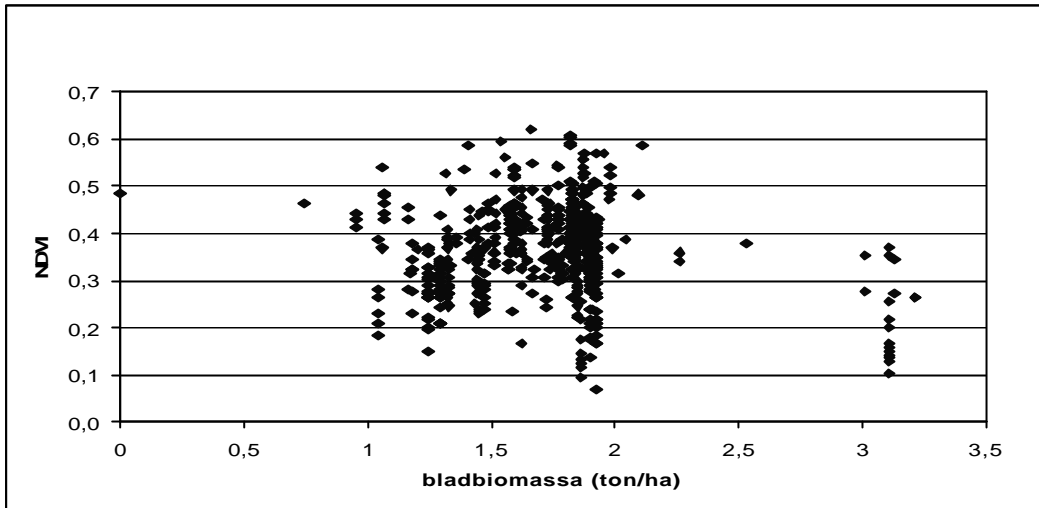
De ruimtelijke variatie in bladbiomassa binnen één vegetatiestructuurtype is gering. Er zijn veel grids met ongeveer dezelfde biomassa, veroorzaakt doordat de initiële biomassa dezelfde was en de omgevingsvariabelen deels hetzelfde zijn of zeer weinig van elkaar verschillen. Er treed een soort pseudo-replicatie op als gevolg van het gelijk zijn van de initiële biomassa's. De absolute variatie voor licht naaldbos tussen 1.5 – 5 ton/ha, voor structuurrijk loofbos tussen 0.75 – 6 ton/ha en voor de kwelders is hij beperkt tot de range 7.25 – 8.75 ton/ha.) De bladbiomassa in SUMO wordt voor alle grids met hetzelfde vegetatiestructuurtype met dezelfde biomassa geïnitieerd, hetgeen een verklaring kan zijn voor de beperkte hoeveelheid waarden die de berekende bladbiomassa in SUMO kan aannemen. Een goed voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 9c.

### ***Per functioneel type***

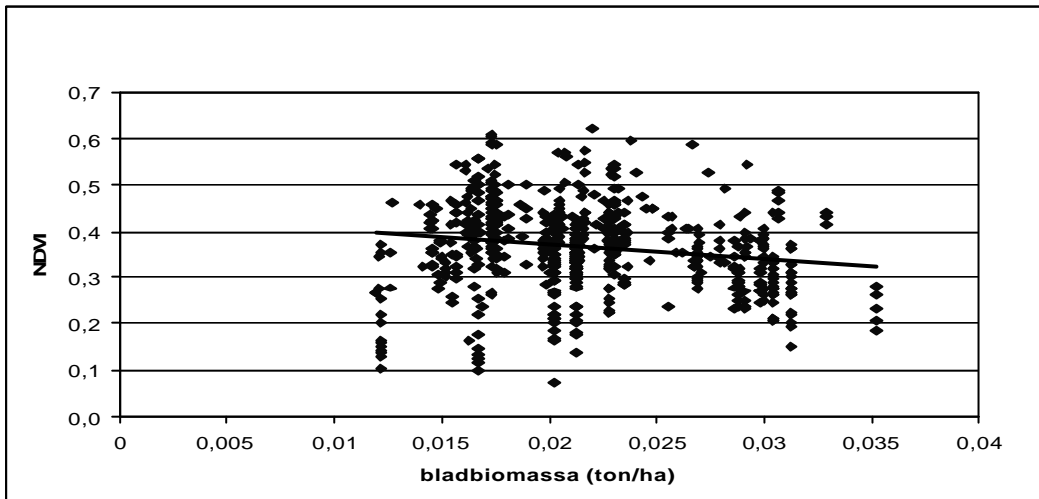
In laatste instantie is er gekeken naar de bladbiomassa per functioneel type voor de 90% SUMO grids die met één vegetatiestructuurtype gevuld zijn. Als voorbeeld is de vergelijking tussen bladbiomassa en NDVI genomen voor het tijdstip 30 juli 1999. Figuur 10 laat zien dat voor vegetatiestructuurtype licht naaldbos (vst 5) de bladbiomassa met name bepaald wordt door de kruiden en dwergstruiken (vergelijk met Figuur 9a). Het verband tussen bladbiomassa en NDVI zijn respectievelijk significant en niet significant (Tabel 4). Echter de verklaarde variantie is voor de significante relatie laag.



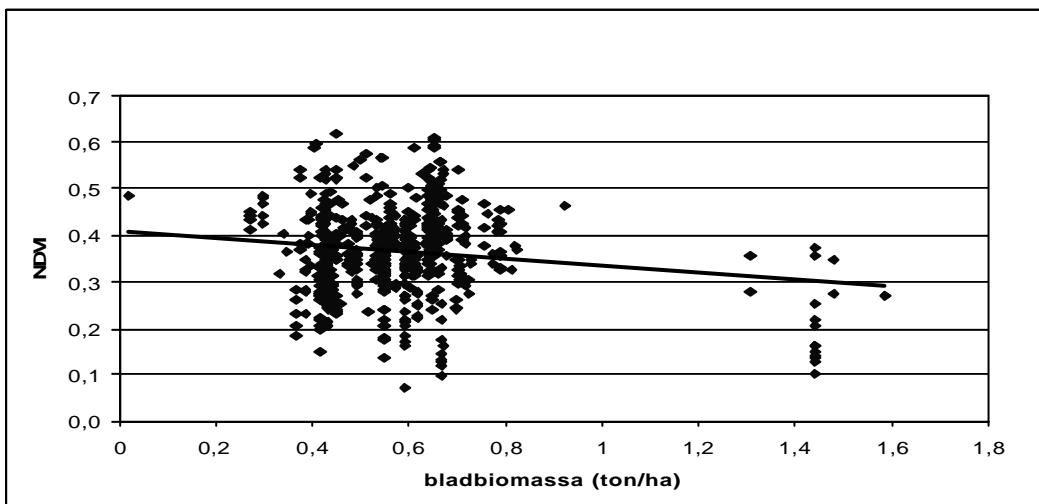
*Figuur 10a*



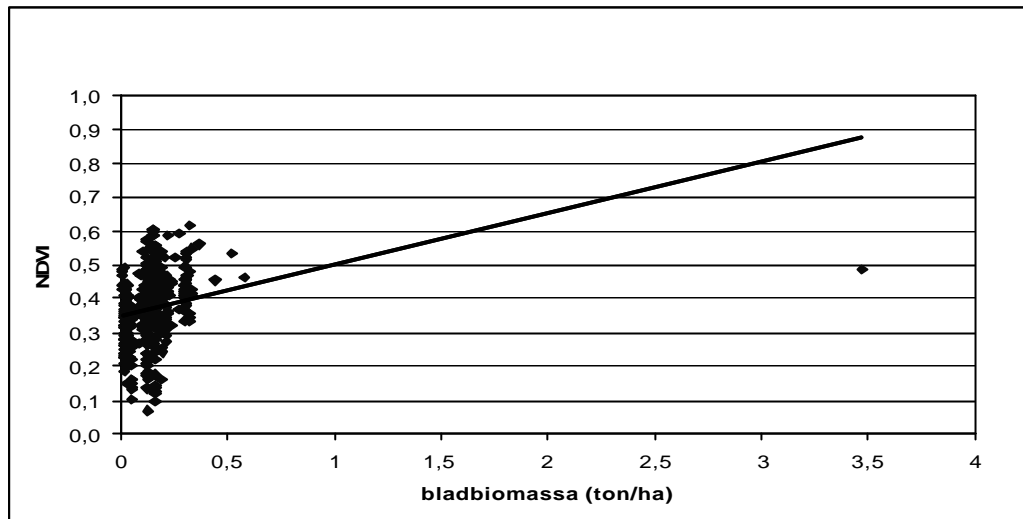
Figuur 10b



Figuur 10c

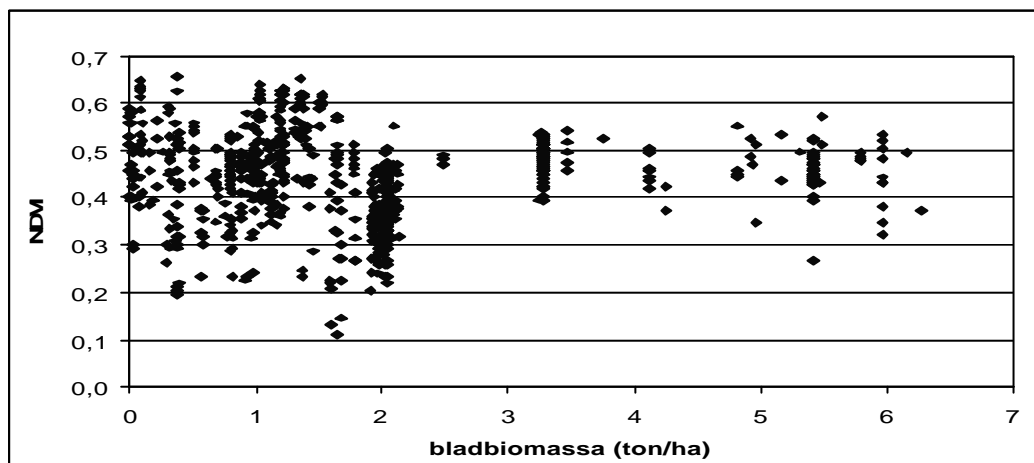


Figuur 10d



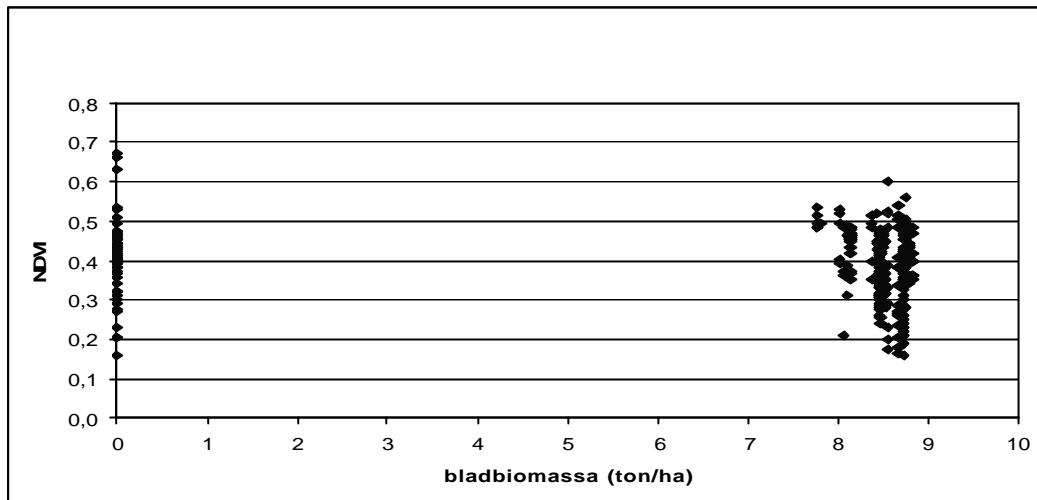
Figuur 10e

Figuur 10. De bladbiomassa per functioneel type voor het vegetatiestructuurtypen licht naaldbos  $BM_{vstgrid}$  uitgezet tegen de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999. Figuur 10.a t/m 10.e voor de functionele typen bladkruid, bladdwerg, bladstruik, bladboom (pionier) en bladboom (climax), respectievelijk.

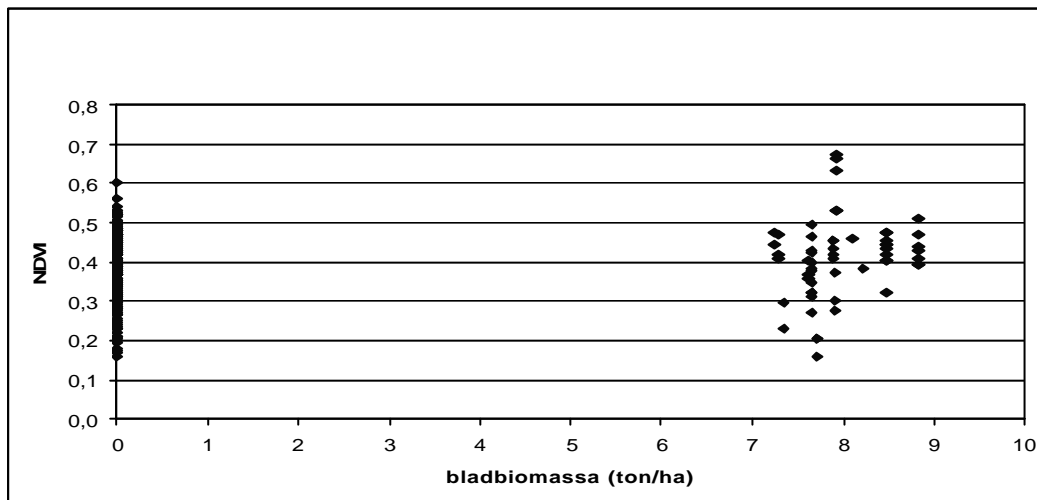


Figuur 11. De bladbiomassa voor het functioneel type dwergstruiken (vegetatiestructuurtype structuurrijk loofbos)  $BM_{vstgrid}$  uitgezet tegen de  $NDVI_{grid}$  voor 30 juli 1999.

De bladbiomassa voor vegetatiestructuurtype structuurrijk loofbos (8) wordt met name bepaald door de bladbiomassa van het functionele type dwergstruiken. Een vergelijking tussen Figuur 11 en Figuur 9b maakt dit inzichtelijk.



Figuur 12a



Figuur 12b

Figuur 12. De bladbiomassa voor de functioneel typen kruiden (Figuur 12a) en dwergstruiken (Figuur 12b) voor het vegetatiestructuurtype kwelder (BM<sub>vstgrid</sub>) uitgezet tegen de NDVI<sub>grid</sub> voor 30 juli 1999.

De totale bladbiomassa voor het structuurtype kwelder wordt met name bepaald door de functionele typen kruiden of dwergstruiken. De bladbiomassa's zijn complementair, d.w.z. geen bladbiomassa voor kruiden dan wel voor dwergstruiken en omgekeerd (Figuur 12a en 12b). In feite zijn het monocultures van dwergstruiken of kruiden, waarbij de nul waarden niet meegenomen zouden moeten worden.

De relaties tussen de bladbiomassa en de NDVI voor de functionele typen per vegetatiestructuurtype geven een eenzelfde beeld voor de andere tijdstippen: een lage verklaarde variantie en veelal geen significante relatie tussen beide parameters. Als er iets hogere verklaarde varianties voorkomen voor bepaalde functionele typen dan zijn het functionele typen die slechts een geringe bijdrage leveren aan de totale bladbiomassa. In Bijlage I wordt voor de niet als Figuur opgenomen functionele typen voor 1 april, 3 mei en 30 juli 1999 de statistische parameters zoals genoemd in

Tabel 4 weergegeven. Slechts relaties en verklaarde varianties worden gegeven van positief significante relaties waarvan de punten evenwichtig verdeeld zijn.

Tabel 4. Statistische parameters voor de lineaire regressie vergelijkingen tussen gesimuleerde biomassa en NDVI.

Vegetatiestructuurtypen	Datum	Figuur nr.	Parameter	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	R2 adj
alle	1-apr	4	Intercept	0,2208	0,0021	104,42	0,000	0,04
			X Variable 1	-0,0080	0,0005	-16,19	0,000	
alle	3-mei	4	Intercept	0,3374	0,0034	98,34	0,000	0,00
			X Variable 1	0,0002	0,0008	0,26	0,796	
alle	30-jul	4	Intercept	0,4222	0,0033	129,33	0,000	0,00
			X Variable 1	-0,0035	0,0008	-4,58	0,000	
alle	1-apr	5	Intercept	0,2201	0,0021	103,37	0,000	0,04
			X Variable 1	-0,0077	0,0005	-15,71	0,000	
alle	30-jul	7	Intercept	0,4175	0,0036	115,95	0,000	0,00
			X Variable 1	-0,0006	0,0008	-0,78	0,437	
alle	30-jul	8	Intercept	0,4180	0,0047	89,45	0,000	0,01
			X Variable 1	-0,0032	0,0010	-3,17	0,002	
licht naaldbos	30-jul	9	Intercept	0,3162	0,0150	21,11	0,000	0,02
			X Variable 1	0,0159	0,0046	3,43	0,001	
structuurrijk loofbos	30-jul	9	Intercept	0,4646	0,0077	60,53	0,000	0,01
			X Variable 1	-0,0082	0,0025	-3,24	0,001	
kwelder	30-jul	9	Intercept	0,5465	0,1159	4,72	0,000	0,00
			X Variable 1	-0,0177	0,0137	-1,29	0,199	
licht naaldbos	30-jul	10	Intercept	0,3251	0,0064	50,55	0,000	0,09
			X Variable 1	0,0598	0,0078	7,62	0,000	
licht naaldbos	30-jul	10	Intercept	0,4098	0,0183	22,43	0,000	0,01
			X Variable 1	-0,0254	0,0104	-2,45	0,015	
licht naaldbos	30-jul	10	Intercept	0,4334	0,0157	27,59	0,000	0,03
			X Variable 1	-3,1010	0,7021	-4,42	0,000	
licht naaldbos	30-jul	10	Intercept	0,4094	0,0118	34,59	0,000	0,02
			X Variable 1	-0,0754	0,0195	-3,87	0,000	
licht naaldbos	30-jul	10	Intercept	0,3462	0,0046	75,40	0,000	0,07
			X Variable 1	0,1532	0,0224	6,85	0,000	
structuurrijk loofbos	30-jul	11	Intercept	0,4461	0,0059	75,87	0,000	0,00
			X Variable 1	-0,0019	0,0025	-0,74	0,457	
kwelder	30-jul	12	Intercept	0,4102	0,0117	34,97	0,000	0,00
			X Variable 1	-0,0018	0,0015	-1,20	0,232	
kwelder	30-jul	12	Intercept	0,3948	0,0057	69,80	0,000	0,00
			X Variable 1	0,0018	0,0016	1,13	0,261	

Verder zijn het voor alle tijdstippen steeds dezelfde functionele typen die het overgrote deel van de totale bladbiomassa voor hun rekening nemen. Hetgeen logisch is aangezien SUMO maar voor één datum simuleert.

### 3.4 Fase 4: Ruimtelijke vergelijking SUMO vegetatiestructuurtypen – LGN4 classificatie

Het geringe verband tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  maakt het noodzakelijk de relatie te bekijken tussen de SUMO vegetatiestructuurtypen die voor 1999 voorspeld werden en de geclassificeerde vegetaties volgens het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland 1999/2000 (LGN4). De classificatie van LGN4 is deels bepaald aan de hand van de satellietbeelden van 1999.

De LGN4 vegetaties voor 25\*25 m rastercellen zijn gekoppeld aan de 250\*250 m SUMO grids met een homogene bedekking van >90% per vegetatiestructuurtype. In Tabel 5 staan voor de vegetatiestructuurtypen licht naaldbos (5), structuurrijk loofbos (8) en kwelders (11) de percentages waarin bepaalde (geaggregeerde) LGN klassen voorkomen.

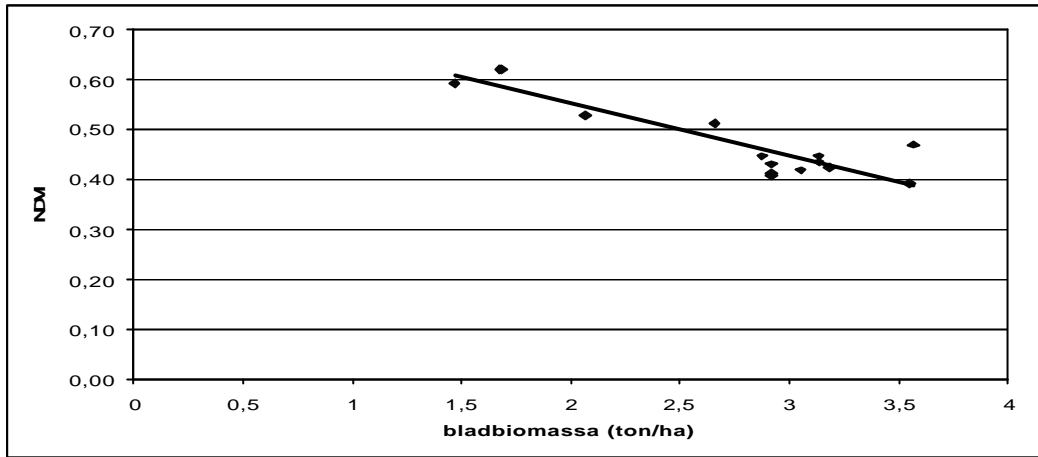
Tabel 5. Voorkomen LGN klassen op verschillend aggregatie niveau gerelateerd met de SUMO grids bedekt voor meer dan 90% met één vegetatiestructuurtype (niveau 1 - hoofdklasse, niveau 2 – natuur en overig, niveau 3 – klasse).

Niveau	LGN klassen	licht	structuurrijk	kwelder
		naaldbos	loofbos	
1	Agrarisch landgebruik	2,8	4,0	0,7
	Bos	13,5	8,2	0,0
	Water	0,7	4,7	12,6
	Bebouwing	2,3	0,9	0,1
	Natuur	80,6	82,2	86,6
	Totaal	100,0	100,0	100,0
2	Heide	50,0	3,4	0,0
	Kustvegetatie	23,4	30,2	14,0
	Kwelder	0,0	0,3	71,5
	Overig	26,5	66,1	14,5
	Totaal	100,0	100,0	100,0
3	Hoogveen	0,0	18,4	0,0
	Bos in natuur	0,0	1,0	0,0
	Overig begroeid natuur	4,4	23,5	0,2
	Naaldbos	10,2	1,5	0,0
	Loofbos	3,3	6,7	0,0
	Overig	82,1	48,8	99,8
	Totaal	100,0	100,0	100,0

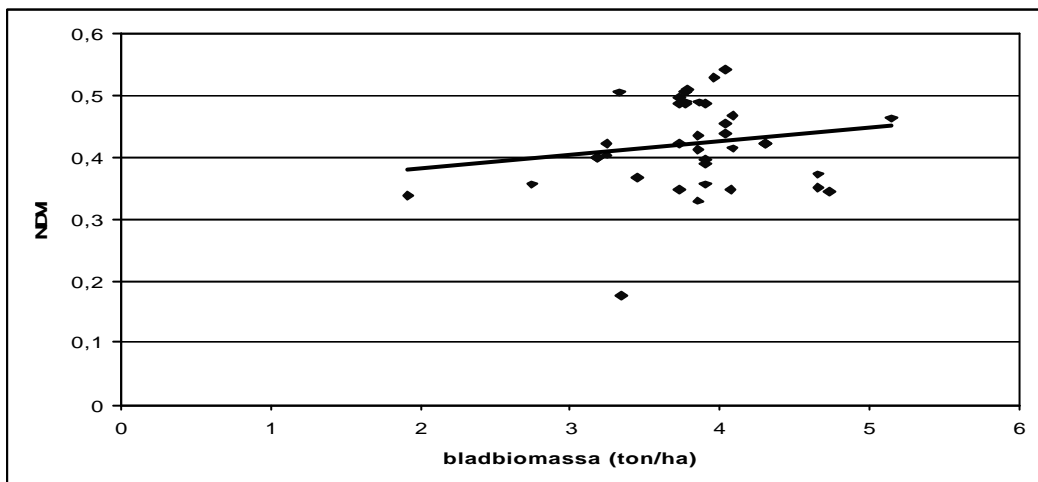
SUMO grids met licht naaldbos (vst5) zijn voor meer dan 90% in LGN4 geassocieerd als bos en/of natuur. Echter indien je in meer detail kijkt blijkt dat slechts 10% geassocieerd is als naaldbos (13.5% als bos). Verreweg het grootste deel is geassocieerd als heide of kustvegetaties (geen licht naaldbos). Ook de SUMO grids met structuurrijk loofbos (8) zijn voor meer dan 90% bedekt met LGN klassen vallende onder bos of natuur. Slechts 6.7% is geassocieerd als loofbos. Het grootste aandeel aan natuurklassen leveren ook hier vegetaties vallende onder de verzameling kustvegetaties. Ook hoogveen en overige open begroeiingen in natuurgebied scoren hoog. Betreffende kwelders (11) blijkt het beste verband tussen SUMO vegetatiestructuurtypen en de LGN4 classificatie te bestaan. Meer dan 86% is geassocieerd als natuur, waarvan 71.5% als kwelder.

Een verdere deelselectie van de homogene grids voor de vegetatiestructuurtypen licht naaldbos (vst 5) en structuurrijk loofbos (vst 8) a.h.v. de LGN4 classificatie levert wel een sterk verbeterde relatie tussen de  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  op (Figuur 13). De deelselectie bestaat uit slechts die grids die voor meer dan 60% gevuld zijn met pixels die in LGN4 geassocieerd zijn als naald- of loofbos, respectievelijk. Opvallend blijft de negatieve relatie voor structuurrijk loofbos.





Figuur 13a



Figuur 13b

Figuur 13. Relatie tussen  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  voor 90% gevulde homogene SUMO grids met eenzelfde vegetatiebedekking (> 60%) in LGN4. Figuur 13a - structuurrijk loofbos ( $n = 15$ ); Figuur 13b - licht naaldbos ( $n = 39$ ).



## 4 Discussie

Het onderzoek heeft zich gericht op de ruimtelijke vergelijking van bladbiomassa en NDVI. Vanuit de literatuur is bekend dat er een verband is tussen de in het veld **gemeten** bladbiomassa en de NDVI (Lillesand & Kieffer, 2000; Sannier & Taylor, 2002). De relatie tussen NDVI en bladbiomassa kan een indicator zijn voor het vegetatietype. De relatie is echter seizoensafhankelijk hetgeen verklaard waarom op verschillende tijdstippen naar de relatie tussen bladbiomassa en NDVI is gekeken. In dit onderzoek hebben we ons echter gericht op de vergelijking van **gesimuleerde** bladbiomassa en de uit satellietbeelden berekende NDVI (zie ook Wagenaar & Ridder, 1986; Prince & Tucker, 1986). In het onderzoek is niet gekeken naar de relatie tussen **gemeten** en **gesimuleerde** bladbiomassa.

De NDVI berekening is een moment opname, terwijl de SUMO berekeningen voor een geheel jaar de biomassa en biomassaproductie geven. De maximale ontwikkeling van de biomassa en biomassaproductie ligt niet voor alle vegetatiestructuurtypen op hetzelfde moment. Vanwege dit verschil zijn er op drie verschillende momenten in het groeiseizoen NDVI's bepaald voor alle vegetatiestructuurtypen. De relaties tussen bladbiomassa (> 90% gevulde SUMO grids) en NDVI bepaald a.h.v. beelden voor 1 april, 3 mei en 30 juli 1999 zijn niet significant of verklaren bij een significante relatie maar een gering percentage van de variantie. De gesimuleerde biomassa heeft betrekking op meerdere vegetatie lagen die niet allemaal in dezelfde mate bijdragen aan de absorptie en reflectie van licht. Het gebrek aan verband tussen de NDVI en de gesimuleerde bladbiomassa zou hierdoor deels verklaard kunnen worden. In veel gevallen (o.a. volgroeide bos, heide vegetaties) wordt een LAI van 2 overschreden, hetgeen betekent dat er geen rechtevenredig verband meer is tussen NDVI en LAI (zie Figuur 3). Echter het initieel hetzelfde zijn van de biomassa voor elk vegetatiestructuurtype en kwaliteit van de invoer data (kaarten) voor SUMO zijn waarschijnlijk belangrijker voor het geringe verband.

SUMO simuleert de bladbiomassa voor verschillende functionele typen binnen een vegetatiestructuurtype. Deze functionele typen vormen, indien ze allemaal voorkomen in een vegetatiestructuurtype, een gelaagde structuur. Vanuit de ruimte is deze structuur bij een gesloten kronendak niet waarneembaar. Slechts de reflectie door het bladerdak van bomen bepaald dan de NDVI. De relatie tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa zal dan vooral bepaald worden door de voor bomen gesimuleerde bladbiomassa (bladbiomassa gezien van boven). Het verschil tussen de bladbiomassa voor alleen bomen en de totale bladbiomassa zorgde echter niet voor een wezenlijk andere relatie tussen NDVI en bladbiomassa (Figuur 4a en 5). Voor beide vergelijkingen werd een significante relatie gevonden tussen de bladbiomassa en de NDVI, maar het percentage verklaarde variantie is gering.

Uit de resultaten is gebleken dat er geen relatie viel te ontdekken tussen de bladbiomassa en de NDVI voor de 90% gevulde SUMO grids, terwijl er wel een verband lijkt te bestaan in de punt dichtheidsgrafiek (Figuur 6). In eerste instantie

werd gedacht dat het verschil in resultaat werd veroorzaakt door de verschillende berekeningswijze van de NDVI en bladbiomassa in het huidige en toenmalige onderzoek. In het toenmalige onderzoek is de NDVI en bladbiomassa namelijk gecorrigeerd voor het oppervlak aan vegetatiestructuurtypen (formules 4 en 5). De achterliggende gedachte hierbij was dat de vegetatiestructuurtypen de gehele gridcel kunnen beslaan maar ook in een zeer klein oppervlak ervan kunnen voorkomen. De NDVI en bladbiomassa zijn toen gecorrigeerd voor de oppervlakte aan vegetatiestructuurtypen; een kleinere gewasoppervlakte leverde hier dan ook een lagere NDVI ( $NDVI_{vstgrid}$ ) en bladbiomassa ( $BM_{grid}$ ) op. Het effect van deze correctie voor het vegetatie oppervlak is dat de oppervlakte een onevenredig groot aandeel krijgt in de relatie tussen gesimuleerde bladbiomassa en NDVI. Aan de ene kant ontstaat een concentratie aan punten met zowel lage NDVI als lage bladbiomassa waarden, terwijl aan de ander kant juist de NDVI en gesimuleerde bladbiomassa uitgerekt worden. Achteraf gezien bleek deze methode niet de juiste te zijn. In het huidige onderzoek is deze correctie dus achterwege gelaten.

Het verschil in berekeningswijze is echter niet de oorzaak van de verschillen tussen Figuur 4 en 6. Dit bleek o.a. door het nemen van eenzelfde deelselectie (>90% gevulde grids) uit de totale dataset gepresenteerd in Figuur 6. De relatie tussen bladbiomassa en NDVI van deze deelselectie (Figuur 7) komt sterk overeen met die uit Figuur 4c en is niet significant. De locatie van deze deelselectie is voornamelijk gelegen in het paarse deel (lage punt dichtheid) van de punt dichtheidsgrafiek (Figuur 6). De voor meer dan 90% gevulde grids liggen buiten de geel-rode punt dichtheidswolk (rechtsboven). Het in Figuur 6 veronderstelde verband tussen bladbiomassa en NDVI is dus blijkbaar niet aanwezig voor de meer dan 90% gevulde grids. Verder leveren de Figuren 4c en 7 min of eenzelfde beeld op aangezien de bladbiomassa's ( $BM_{grid}$  en  $BM_{vstgrid}$ ) en NDVI's ( $NDVI_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$ ) bijna gelijk zijn aan elkaar (voor > 90% gevulde grids). Alle grids zijn immers voor meer dan 90% gevuld met vegetatiestructuurtypen hetgeen betekent dat de gesommeerde  $A_{vst}$  (totale oppervlakte aan vegetatiestructuurtypen per gridcel) bijna gelijk is aan  $A_{grid}$  (oppervlakte gridcel).

Door de deelselectie van de voor meer dan 90% gevulde grids verder te verfijnen is getracht een mogelijk verband tussen bladbiomassa en NDVI te achterhalen. Voor deze grids met een homogene vegetatie (licht naaldbos, structuurrijk loofbos en kwelders) bleek de relatie tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa niet significant of bij significante relaties is de verklaarde variantie zeer gering. Hetzelfde gold in de meeste gevallen voor de relatie tussen bladbiomassa en NDVI voor de verschillende functionele typen voorkomend binnen de vegetatiestructuurtypen. Het maakte eveneens niet uit of de NDVI bepaald was a.h.v. satellietbeelden voor verschillende tijdstippen in een jaar.

De bladbiomassa van de vijf functionele typen dragen in verschillende mate bij aan de totale bladbiomassa voor de vegetatiestructuurtypen. De relatie tussen bladbiomassa en NDVI voor de functionele typen is in enkele gevallen significant maar als je dan kijkt naar de bijdrage van deze functionele typen aan de totale bladbiomassa blijkt die zeer beperkt te zijn (bijvoorbeeld Figuur 10.e). Verder zeggen

de positief significante relaties tussen bladbiomassa en NDVI voor functionele typen die niet waarneembaar zijn vanuit de ruimte weinig (Figuur 10c). Ze vormen de onderste vegetatielaag en dragen niet of slechts gering bij aan de reflectie en dus NDVI (Figuur 1). Aan al deze positief significante relaties kan dus niet veel waarde worden gehecht.

Een ruimtelijke vergelijking tussen door SUMO gesimuleerde bladbiomassa en NDVI wordt ernstig beperkt door de verschillen in resolutie tussen de SUMO dataset en satellietbeelden (Landsat). Het ontbreken van de locatie van verschillende vegetatiestructuurtypen binnen SUMO gridcellen van 250\*250 meter beperken de vergelijking met NDVI waarden die per 25\*25 m gridcel berekend worden. Slechts SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met vegetatiestructuurtypen kwamen ons inziens in aanmerking voor de ruimtelijke vergelijking tussen bladbiomassa en NDVI. Vergelijking van gesimuleerde bladbiomassa voor homogene SUMO grasland grids (>90% gevuld) met NDVI waarden bepaald voor die graslanden zijn daardoor bijvoorbeeld niet mogelijk. Juist voor graslanden, omdat ze gekenmerkt worden door één functioneel type, zou de NDVI eenduidig bepaald kunnen worden.

De ruimtelijke vergelijking van de vegetatie, zoals door SUMO voorspeld, met het in LGN4 geclassificeerd landgebruik geeft een idee of je daadwerkelijk met homogene 250\*250 m grids te maken hebt bij de bepaling van de NDVI a.h.v. satellietbeelden. In eerste instantie leek de hoeveelheid bos en natuur in beide gevallen wel goed overeen te komen. Echter na de ruimtelijke relatie in meer detail bekeken te hebben, bleken de overeenkomsten tegen te vallen. De hoeveelheid loof- en naaldbos in LGN4 waren veel lager dan gesimuleerd in SUMO. De ruimtelijke overeenkomsten voor kwelders zijn wel groot. Een verklaring voor de verschillen voor loof- en naaldbos ligt mogelijk in het feit dat SUMO vegetatieontwikkeling (successie) moduleert die in een natuurlijke situatie voorkomt (Wamelink et al., 2000). Echter in de werkelijke situatie ontwikkelt de heide in Nederland zich niet tot een naald- of loofbos als gevolg van beheer. Beheer wordt wel meegenomen in SUMO echter het vegetatietype wordt niet terug veranderd in heide. In de vergelijkingen is echter verzuimd hier rekening mee te houden. Aangezien de biomassa ontwikkeling hierdoor niet wordt beïnvloed heeft dit geen effect op de relatie. In de ruimtelijke vergelijking tussen SUMO gesimuleerde vegetatiestructuurtypen en de LGN4 classificatie speelt het wel een rol. Het vegetatiestructuurtype licht naaldbos zou voor een groot deel namelijk terug veranderd moeten worden naar heide, hetgeen de overeenkomsten tussen beiden ten goede zou komen. Helaas is dat niet gebeurd.

Bij de ruimtelijke vergelijking van de SUMO vegetatiestructuurtypen met de LGN4 classificatie was men zich bewust dat de LGN4 classificatie deels op dezelfde satellietbeelden is gebaseerd als waarop nu de NDVI is berekend. Echter LGN4 is onafhankelijk gevalideerd hetgeen de classificatie resultaten waarborgt en ons er niet van weerhouden heeft om de LGN4 classificatie als een bron voor ruimtelijke vergelijking met de SUMO uitkomsten te gebruiken.

De relatie tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa begint er voor licht naaldbos goed uit te zien indien je slecht de SUMO grids selecteert die voor meer dan 60% in LGN4 gevuld zijn met naaldbos. Helaas neemt het aantal grids wel drastisch af. Een verklaring voor de negatieve relatie voor structuurrijk loofbos kunnen we niet geven.

Andere oorzaken voor de geringe relatie tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa zouden het gevolg kunnen zijn van bepaalde condities in het SUMO model of de input die gebruikt is voor SUMO. De goede ruimtelijke overeenkomst tussen LGN4 en SUMO voor kwelders resulteert niet in een significant relatie tussen NDVI en bladbiomassa. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de parameters voor dit vegetatiestructuurtype in SUMO het minst gekalibreerd zijn. Ook is de bepaling van de NDVI problematisch aangezien delen van dit vegetatiestructuurtype regelmatig onder water staan.

De uitkomsten uit SUMO vertonen een geringe variatie. Uit eerder onderzoek bleek al dat er sprake is van een soort pseudo-replicatie. Dit wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt doordat voor een landelijke doorrekening per vegetatiestructuurtype slechts één initiële biomassahoeveelheid wordt gebruikt. Verder is ook de informatie over de bodem beperkt. De bodemkaart bestaat slechts uit 5 grondwatertrappen en 7 bodemtypen voor heel Nederland. Om deze problemen op te lossen is er een nieuwe gedetailleerdere bodemkaart en een initialisatie per vegetatiestructuurtype-grid combinatie nodig. Het laatste vraagt om een landelijke invoerkaart van de initiële biomassa, hetgeen wel mogelijk is, maar wel vrij ingrijpende modelaanpassingen vraagt. Overigens blijkt uit validatiestudies altijd weer dat simulaties veel beter worden wanneer site specifieke gegevens worden gebruikt (Wamelink et al., 2001).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Er is geen aantoonbaar verband aanwezig tussen de door SUMO gesimuleerde biomassa ( $BM_{vstgrid}$ ) en de met remote sensing verkregen NDVI ( $NDVI_{grid}$ ). De relatie heeft betrekking op een deelselectie van SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met vegetatiestructuurtypen. De kans op een significant verband tussen de gesimuleerde biomassa en NDVI zal het grootst zijn als je met zo goed mogelijk gevulde grids te maken hebt. Er blijken geen grote verschillen te zijn voor de tijdstippen 1 april, 3 mei en 30 juli 1999. Ook verschilt de relatie tussen de totale bladbiomassa of totale bladbiomassa voor bomen (van boven geziene) en de NDVI niet echt. In alle gevallen is er sprake van een niet significante relatie tussen gesimuleerde bladbiomassa en NDVI of bij een significante relatie wordt slechts een gering percentage variantie verklaard. Om deze relatie te verklaren is zowel naar de resultaten behaald in het onderzoek 'Onderzoek naar Kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp van Remote Sensing' (Hazeu et al., 2002) gekeken als naar homogeen gevulde 90% grids.

Het verband tussen NDVI en gesimuleerde bladbiomassa voor de SUMO grids die voor meer dan 90% gevuld zijn met vegetatiestructuurtypen blijkt gelijk te zijn voor het nu uitgevoerde onderzoek en het in 2002 uitgevoerde onderzoek. Er is in beide gevallen een niet significante relatie of bij een significante relatie wordt slechts een gering percentage van de variantie verklaard (Figuur 4c en 7). Ondanks verschillen in berekeningswijzen van de bladbiomassa en de NDVI komt er een eenduidig beeld naar voren.

De relatie tussen bladbiomassa  $BM_{vstgrid}$  en de  $NDVI_{grid}$  voor homogene grids (slechts één vegetatiestructuurtype) geeft weinig hoopvolle resultaten te zien. De relatie is ook niet significant of bij een significante relatie wordt slechts een gering percentage van de variantie verklaard. Hetzelfde geldt voor de relatie tussen gesimuleerde bladbiomassa en NDVI voor de functioneel typen binnen een vegetatiestructuurtype bekijkt.

In theorie is het mogelijk om remote sensing te gebruiken voor validatie van SUMO uitkomsten. Echter door onder andere pseudo-replicatie bleek er in de meeste gevallen geen relatie te zijn tussen bladbiomassa en NDVI. De initialisatie van SUMO zal op een andere manier plaats moeten vinden, namelijk per vegetatiestructuurtype – grid combinatie om remote sensing in te zetten voor een ruimtelijke vergelijking tussen gesimuleerde bladbiomassa en NDVI.

Uit de ruimtelijk vergelijking tussen homogeen gevulde SUMO grids en de LGN4 classificatie voor diezelfde grids blijkt dat de overeenkomsten tussen beiden slechts op een hoog aggregatieniveau overeenkomen. De hoeveelheid bos & natuur in LGN4 ligt in dezelfde orde van grootte als voor de SUMO grids (meer dan 90%

natuur). Echter de overeenkomsten vervagen als je op een meer gedetailleerd niveau kijkt. De vegetatiestructuurtypen licht naaldbos en structuurrijk loofbos komen slechts in beperkte mate overeen met de LGN4 classificatie.

Een deelselectie van SUMO grids waarvoor geldt dat meer dan 60% in LGN4 bedekt is met naaldbos respectievelijk loofbos levert de beste verbanden tussen gesimuleerde biomassa en NDVI. Helaas zijn de relaties hier slechts op een beperkt aantal datapunten gebaseerd.

Aangezien er slechts een gering ruimtelijk verband is tussen de SUMO grids gevuld met een vegetatiestructuurtype en de LGN classificatie is er niet gekeken naar de variatie in NDVI binnen één vegetatiestructuurtype. Ook is achterwege gelaten om te kijken naar de variatie in NDVI per vegetatiestructuurtype voor de verschillende tijdstippen. Voor de drie vegetatiestructuurtypen is de NDVI veruit het hoogst op 30 juli en het laagst op 1 april 1999.

## **5.2 Aanbevelingen**

De volgende aanbevelingen n.a.v. het hierboven besproken onderzoek worden hier puntsgewijs neergezet.

- de input van het SUMO model moet nader bekeken worden om te zien of het de oorzaak is voor de geringe overeenkomsten tussen de vegetaties geclassificeerd in LGN4 en de door SUMO gesimuleerde vegetatiestructuurtypen. Een nieuwe landelijk gedifferentieerde invoerkaart voor SUMO is hiervoor noodzakelijk. Remote sensing kan hierbij zeker een rol spelen.
- de mogelijkheden om via remote sensing vegetatie/landgebruik data ruimtelijk te classificeren én in combinatie met andere databases (digitale 4<sup>e</sup> bosstatistiek) als input te gebruiken voor de SUMO model berekeningen dient verder onderzocht te worden (met name de combinatie tussen LGN en de 4<sup>e</sup> bosstatistiek)
- remote sensing is waardevol om SUMO uitkomsten te valideren. Indien 'nieuwe' SUMO uitvoer beschikbaar komt verdient het aanbeveling om deze uitvoer met uit remote sensing verkregen gegevens te vergelijken.
- de variatie in NDVI per vegetatiestructuurtype dient bekeken te worden op het moment dat SUMO vegetatiestructuurtypen overeenkomen met LGN4 classificaties
- de relatie tussen gesimuleerde bladbiomassa en NDVI zou in een vervolgonderzoek allereerst voor homogene grasland SUMO grids onderzocht moeten worden. De bladbiomassa wordt dan slechts door één functioneel type bepaald en de bepaling van de NDVI geeft dan een eenduidiger beeld
- de berekening van SUMO voor 250\*250m grids zou in de toekomst op een gedetailleerder niveau plaats kunnen vinden. Simulatie voor 25\*25m gridcellen zou o.a. het vergelijken met remote sensing (Landsat beelden) vergemakkelijken.



## Literatuurlijst

Asrar, G. , 1989. Theory and applications of optical remote sensing. John Wiley & Sons, USA, 734 pp.

Buiten, H.J. & Clevers, J.G.P.W. (red.), 1990. Remote Sensing, theorie en toepassingen van landobservatie. Pudoc, Wageningen.

Clevers, J.G.P.W., 1989. The application of a weighted infra-red vegetation index for the estimation of Leaf Area Index by correcting for soil moisture. Remote Sens. Environ. 29: 25-37.

Hazeu, G.W., M.E. Sanders, G.J.A. Nieuwenhuis, G.J. Roerink, Z. Su, J. Clement & A.M. Schmidt, 2002. Onderzoek naar kwaliteitsverbetering van Natuurplanbureau-modellen met behulp van remote sensing; begroeiingstypen, biomassa en verdamping als case studies. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 511 / CGI-report 9, 103 blz.

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

Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W., 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc., USA.

Prince, S.D. & Tucker, C.J., 1986. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. II. NOAA-AVHRR and herbaceous vegetation. Int. J. of Remote Sensing, 7, 1555 - 1570.

Rondeaux, G., 1995. Vegetation monitoring by remote sensing: a review of biophysical indices. Photo-Interpretation 3: 197-216.

Sannier C.A.D. & Taylor, J.C., 2002. Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment. Int. J. Remote Sensing, 2002, vol. 23, no. 1, 71-89.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetations. Remote Sensing of Environment, 8, 127 – 150.

Wagenaar, K.T. & Ridder, N. de, 1986. Estimates of biomass production and distribution in the I L P project zone in 1985., based on satellite NDVI values. ILCA, Addis Ababa, Ethiopie.

Wamelink, G.W.W., J.P. Mol-Dijkstra, H.F. van Dobben, J. Kros & F. Berendse, 2000. Eerste fase van de ontwikkeling van het Successie Model SUMO 1;

Verbetering van de Vegetatiemodellering in de Natuurplanner. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 045, 84 p.

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

## Bijlage 1 Statistische parameters voor de relatie tussen gesimuleerde biomassa en NDVI per functionele type

Vegetatiestructuurtypen	Functionele typen	Datum		Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	R2 adj
licht naaldbos	struiken	1-apr	Intercept	0,1014	0,0112	9,02	0,000	
			X Variable	3,9440	0,5033	7,84	0,000	0,09
licht naaldbos	climaxboom	1-apr	Intercept	0,1860	0,0035	52,54	0,000	
			X Variable	0,0076	0,0171	0,44	0,657	0,00
structuurrijk loofbos	kruiden	1-apr	Intercept	0,1812	0,0033	55,47	0,000	
			X Variable	0,0007	0,0034	0,22	0,827	0,00
structuurrijk loofbos	climaxbomen	1-apr	Intercept	0,1697	0,0036	47,66	0,000	
			X Variable	0,0532	0,0084	6,31	0,000	0,05
licht naaldbos	struiken	3-mei	Intercept	0,2684	0,0164	16,35	0,000	
			X Variable	1,3511	0,7349	1,84	0,066	0,00
licht naaldbos	climaxboom	3-mei	Intercept	0,2907	0,0049	59,03	0,000	
			X Variable	0,0544	0,0239	2,28	0,023	0,01
structuurrijk loofbos	pionierbomen	3-mei	Intercept	0,3183	0,0060	52,81	0,000	
			X Variable	0,0307	0,0127	2,41	0,016	0,01
structuurrijk loofbos	climaxbomen	3-mei	Intercept	0,3041	0,0053	56,99	0,000	
			X Variable	0,1050	0,0127	8,29	0,000	0,09
licht naaldbos	kruiden	30-jul	Intercept	0,3251	0,0064	50,55	0,000	
			X Variable	0,0598	0,0078	7,62	0,000	0,09
licht naaldbos	climaxboom	30-jul	Intercept	0,3462	0,0046	75,40	0,000	
			X Variable	0,1532	0,0224	6,85	0,000	0,07
structuurrijk loofbos	struiken	30-jul	Intercept	0,4098	0,0062	65,95	0,000	
			X Variable	0,7199	0,1120	6,43	0,000	0,05

