

**Maatregelen om effecten van  
eutrofiëring en verzuring  
in bossen met bijzondere natuur-  
waarden tegen te gaan: synthese**

**overlevingsplan**

**Rapport**

**bos+natuur**



# **Maatregelen om effecten van eutrofiëring en verzuring in bossen met bijzondere natuur- waarden tegen te gaan: synthese**

**H.H. Bartelink  
H.F. van Dobben  
J.M. Klap  
Th.W. Kuyper**

Expertisecentrum LNV  
Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij  
Wageningen, 2001

---

OBN-RAPPORT NR. 13

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Expertisecentrum LNV, voormalig Informatie- en KennisCentrum Natuurbeheer, van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij door de Leerstoelgroep Bosteelt en Boscologie, Departement Omgevingswetenschappen van Wageningen Universiteit.

Dit rapport kunt u bestellen bij het Expertisecentrum LNV ondervermelding van code OBN-13.

Auteurs: H.H. Bartelink  
H.F. Dobben  
J.M. Klap  
Th. W. Kuyper

Ontwerp omslag: Grafisch Atelier Wageningen, J. de Gruyter

Druk omslag: Van Eck & Oosterink, Kesteren

Reprografie binnenwerk: JB&A Grafische Communicatie, Delft

Productie: Expertisecentrum LNV  
Bezoekadres: Marijkeweg 24, Wageningen  
Postadres: Postbus 30, 6700 AA Wageningen  
Telefoon: 0317 - 474 819  
Fax: 0317 - 427 561  
E-mail: balie@eclnv.agro.nl

# INHOUDSOPGAVE

<b>VOORWOORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>11</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>15</b>
<b>2. VERWACHTINGEN BIJ AANVANG VAN HET PROJECT DROGE BOSSEN</b>	<b>17</b>
2.1 Bosstructuur	17
2.2 Bodemvegetatie	17
2.3 Mycoflora	18
2.4 Bodem en Bodemvocht	18
<b>3. SAMENVATTING VAN DE DEEL-ONDERZOEKEN</b>	<b>21</b>
3.1. Bosstructuur	21
3.1.1. Achtergrond	21
3.1.2. Belangrijkste ontwikkelingen in bosstructuur	21
3.1.3. Rendement van de maatregelen	24
3.2 Vegetatie	24
3.2.1 Achtergrond	24
3.2.2 Belangrijkste ontwikkelingen in bodemvegetatie	24
3.2.3 Rendement van de maatregelen	25
3.3 Mycoflora	25
3.3.1 Achtergrond	25
3.3.2 Belangrijkste ontwikkelingen in mycoflora	26
3.3.3 Rendement van de maatregelen	27
3.4 Bodem en bodemvocht	28
3.4.1 Achtergrond	28
3.4.2 Belangrijkste ontwikkelingen in bodem en bodemvocht	29
3.4.3 Rendement van de maatregelen	30
<b>4. GEMEENSCHAPPELIJKE TENDENZEN IN DE DEEL-ONDERZOEKEN</b>	<b>33</b>
4.1 Gemeenschappelijke tendenzen in de disciplines	33
4.1.1 Methode	33
4.1.2 Resultaten tijdreeksen	34
4.1.3 Relatie vegetatie met omgevingsfactoren in relatie tot de behandelingen	39
4.1.4 Veranderingen in de vegetatie in relatie tot de behandelingen	41
4.2 Vergelijking van verwachte en vastgestelde ontwikkelingen	44
<b>5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>47</b>
5.1 Rendement van de uitgevoerde maatregelen	47
5.2 Vertaling en haalbaarheid van de maatregelen voor de praktijk	47
5.3 Afwegingen met betrekking tot voortzetting van de monitoring	48
<b>LITERATUUR</b>	<b>51</b>
<b>BIJLAGE 1: Beschrijving statistische analyse en aanvullende figuren</b>	<b>53</b>



## VOORWOORD

Dit rapport is opgesteld door de Leerstoelgroep Bosteelt en Bosecologie, Departement Omgevingswetenschappen van de Wageningen Universiteit in opdracht van het Expertisecentrum LNV (het voormalige IKC Natuurbeheer) van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, onder verantwoordelijkheid van het Deskundigen-Team Bossen, in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur ('OBN').

In het kader van OBN-onderzoek in de zogenaamde Voedselarme en Droge Bossen met Bijzondere Natuurwaarden ('Droge Bossen') is in de periode 1992-1998 onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om effecten van eutrofiëring en verzuring tegen te gaan. Hiertoe verscheen in 1992 het pre-advies<sup>1</sup> over de bruikbaarheid van verschillende maatregelen, waarna in een aantal Dennen- en Eikenbossen proefterreinen zijn ingesteld en maatregelen zijn uitgevoerd<sup>2</sup>. Door middel van monitoring zijn de effecten van de maatregelen op de ontwikkeling van deze bossen gevolgd: daarvoor zijn de bosstructuur, bodemvegetatie, mycoflora, bodemgesteldheid en bodemvochttoestand zowel bij aanvang van het project als 5 jaar na dato opgenomen. De resultaten van de heropname zijn recent verschenen<sup>3</sup>, waarmee de eerste fase van de monitoring werd afgesloten.

Uit evaluaties van de uitkomsten van deze monitoring bleek dat er, naast informatie over de ontwikkeling van de diverse deelaspecten van de ecosystemen, behoefte was aan een synthese van de waargenomen ontwikkelingen, zodanig dat uitspraken gedaan zouden kunnen worden over de effecten van de maatregelen in Droge Bossen op ecosysteemniveau. Het voorliggende rapport bevat deze synthese. Het is tot stand gekomen dankzij de inbreng van Dr H.F. van Dobben (Alterra), Dr Th.W. Kuyper (leerstoelgroep Bodembioecologie, Wageningen Universiteit), Ir J.M. Klap (Klap Adviesbureau, Gouda) en Dr Ir H.H. Bartelink (leerstoelgroep Bosteelt en Bosecologie, Wageningen Universiteit: project-coördinator).

---

<sup>1</sup> Klap, J.M. & P. Schmidt, 1992. Maatregelen om effecten van eutrofiëring en verzuring in bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: pre-advies. Hinkeloord Reports 3, 140 p.

<sup>2</sup> Klap, J.M. & P. Schmidt, 1995. Maatregelen om effecten van eutrofiëring en verzuring in bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: beschrijving van de uitgangssituatie van maatregelen op semi-praktijkschaal op een zestal proeflocaties. Hinkeloord Reports 13, 183 p.

<sup>3</sup> Schmidt, P., 1999. Maatregelen om effecten van eutrofiëring en verzuring in voedselarme en droge bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: de situatie vijf groeiseizoenen na de ingrepen. Hinkeloord Reports 26, 95 p.



# SAMENVATTING

## Algemeen

In het kader van OBN-onderzoek in de zogenaamde Voedselarme en Droge Bossen met Bijzondere Natuurwaarden ('Droge Bossen') is in de periode 1992-1998 onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om effecten van eutrofiëring en verzuring tegen te gaan. Hiertoe verscheen in 1992 het pre-advies over de bruikbaarheid van verschillende maatregelen, waarna in een aantal Dennen- en Eikenbossen proefterreinen zijn ingesteld en maatregelen (dunnen en/of plaggen) zijn uitgevoerd. Door middel van monitoring zijn de effecten van deze maatregelen op de bosstructuur, bodemvegetatie, mycoflora, bodemgesteldheid en bodemvochttoestand vastgesteld. De monitoring leverde informatie over de ontwikkeling van en in de diverse ecosystemen. Het voorliggende rapport vormt een synthese van de waargenomen ontwikkelingen, met als doel uitspraken te doen worden over de effecten van de maatregelen in Droge Bossen op ecosysteemniveau.

Het onderzoek is uitgevoerd in een 6-tal locaties. Er zijn vier locaties gezocht in Voedselarme Dennenbossen ('Dennenbos') en twee locaties in Dicrano-Quercetum-bossen ('Eikenbos'). De maatregelen, uitgevoerd in het vroege voorjaar van 1994, bestonden uit 'dunnen' en/of 'plaggen' (in een enkel geval alleen 'blad verwijderen'), of 'niets doen' (de zogenaamde controle-plots). In de proefopzet is er voor gekozen de twee behandelingen, plaggen en dunnen, gecombineerd uit te voeren. Op één locatie, Kootwijkerzand, is bovendien de ingreep dunning afzonderlijk uitgeprobeerd, terwijl in Terschelling bij toeval een alleen gedund plot is overgebleven.

## Verwachtingen

Voor de verschillende ecosysteem-componenten werden bij aanvang van het project verschillende verwachtingen uitgesproken:

- Ten aanzien van de bosvitaliteit werd gesteld dat de ingrepen de vitaliteit van de opstanden zou bevorderen. Echter, de combinatie van een zware dunning met een diep plaggen zou de stabiliteit van de opstand kunnen reduceren, hetgeen zich zou kunnen uiten in een vergroting van de stormschade in de behandelde plots.
- Wat betreft de vegetatie werd het meeste effect verwacht van plaggen. Hierdoor zou de dichte mat van grassen worden verwijderd. Dit zou twee effecten hebben: het creëren van een kale bodem waarop de oorspronkelijk aanwezige mossen en korstmossen zich opnieuw zouden kunnen vestigen, en het reduceren van de beschikbaarheid van nutriënten waardoor een snelle herkolonisatie door grassen zou worden voorkomen. De sterke dunning zou hierbij de successie nog verder vertragen, omdat de strooiselval afneemt en daarmee de opbouw van een nieuwe laag organische stof wordt afgeremd. Er werd niet verwacht dat de grotere toetreding van licht een sterk effect op de vegetatie zou hebben. In feite zijn bossen van dit type al vrij licht, en lijkt de vegetatie sterk op die van onbebost terrein met een vergelijkbare bodem (heiden, stuifzanden).
- Ten aanzien van de verwachte ontwikkelingen rond de mycoflora is van meet af aan onderscheid gemaakt naar de Dennen- en de Eikenbossen. De voorspellingen van de ontwikkelingen in de beide eikenbossen verschilden bovendien per locatie, maar omvatten globaal:
  - Dat een gedeeltelijk herstel van de ectomycorrhiza-paddestoelen zou optreden.
  - Dat de stikstofgevoelige, mosbewonende paddestoelen enigszins zouden toenemen
  - Dat de soortensamenstelling van de strooiselafbrekende paddestoelen op zou schuiven in een richting karakteristieker voor morbodems.
  - De voorspelde ontwikkelingen in de Dennenbossen luiden:
    - Dat het aantal ectomycorrhizapaddestoelen na plaggen zou toenemen, en dat dunnen alleen, zonder verwijdering van de strooisellaag, een veel geringer effect zou hebben.
    - Dat de strooiselafbrekende paddestoelen onmiddellijk na plaggen vrijwel volledig zouden verdwijnen en dat in een periode van 5 jaar enig, maar geen volledig herstel zou optreden.



- Voor de bodem werd verwacht dat de sterke dunning zou resulteren in een lagere (droge) depositie en dus in een afname van de  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  en Al-concentraties in de bodem. De grotere licht-toetreding zou een (tijdelijke) versnelling van de microbiële omzettingen in de strooisellaag kunnen veroorzaken, en daarmee een tijdelijke verhoging van de  $\text{NO}_3^-$ - en basen-concentraties. Dit zou kunnen leiden tot een afname van de in de strooisellaag opgeslagen voorraden organische stof en stikstof. In de geplagde perken zou, met het verwijderen van de strooisellaag, een groot deel van de organische stof en de nutriënten verdwijnen. De mineralisatie van humus valt weg, wat zou resulteren in een afname van de  $\text{NO}_3^-$ - en basen-concentraties in de bodem. Er werd bovendien verwacht dat een versterkte mineralisatie van het resterende organische stof-pakket en van de organische stof in de minerale bovengrond op zou treden, zeker daar waar tevens gedund was.

## Analyse

De uitkomsten van 5 jaar monitoring zijn zowel per ecosysteemcomponent als integraal beschouwd. Per component kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- **Bosstructuur:** Dunnen en plaggen hebben geen nadelige en soms een positieve invloed op de vitaliteit van de behandelde dennen- en eikenplots.
- **Vegetatie:** Dunnen + plaggen (en, in mindere mate, alleen dunnen) leidt tot op zekere hoogte tot de gewenste terugzetting van de successie. Wel treedt na het afplaggen weer een snelle opbouw van de strooisellaag op, en daarmee een 'inhaalslag' van de successie. In de huidige experimenten zorgt de sterke dunning ervoor dat die opbouw van de strooisellaag minder snel verloopt, en daarmee mogelijk ook de successie.
- **Mycoflora:** In de grovedennenbossen heeft plaggen een positief effect op de ectomycorrhiza-flora, terwijl dunnen nagenoeg geen effect sorteert. Het relatieve effect van plaggen op de ectomycorrhizapaddestoelen neemt van noord naar zuid toe, samenvallend met een gradiënt in depositie van vermestende en verzurende stoffen. Verwacht mag worden dat in samenhang met deze depositie-gradiënt zowel de hersteltijd als de totale herstelduur zal verschillen, waarbij naar verwachting een afname van het positieve effect zich eerder voordoet en met grotere snelheid plaatsvindt in de zuidelijke proefperken. In overeenstemming met de eerdere verwachting bleek dat het herstel relatief bescheiden was. Het herstel in de eikenbossen is zeer gering. Door mineralisatie van deze humusvoorraad zijn de behandelde proefplots ook sterk verzuurd.
- **Bodem:** De belangrijkste veranderingen in het bodemvocht, als gevolg van de versnelde omzetting van organische stof, lijken zich voorgedaan te hebben in de eerste maanden na uitvoering van de maatregelen. Momenteel lijkt alleen nog sprake van een licht verhoogde afbraak, met name op de plots waar een deel van de strooisellaag is achtergebleven. Op de geplagde plots in de dennenbossen lijken de omstandigheden tenminste voor enige decennia gunstig genoeg voor een voedselarm vegetatietype, door een slechts geringe strooiselophoping en een iets afgenomen voedselrijkdom van de minerale bovengrond. De uitgevoerde maatregelen in de eikenbossen lijken maar ten dele effect gehad te hebben.

In de geïntegreerde analyse is getracht de veranderingen van de verschillende componenten van het bosecosysteem (bodem, vegetatie, bosstructuur en mycoflora) in hun samenhang te beschouwen. Hiervoor is de toestand van het ecosysteem (in de vorm van kenmerken van de componenten) op drie tijdstippen gekarakteriseerd: vlak voor het uitvoeren van de maatregelen in 1993, vlak na het uitvoeren van de maatregelen in 1993/1994, en bij de heropname in 1998. Vervolgens zijn zowel de ontwikkelingen in de tijd als de relaties tussen de componenten geanalyseerd. De gegevensanalyse werd uitgevoerd met het programma CANOCO. Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van multivariate statistiek (Principale Componenten Analyse PCA en Redundantie Analyse RDA). Deze technieken zijn vooral geschikt om verbanden in systemen die gekenmerkt worden door een groot aantal variabelen op te sporen. Er zijn drie soorten analyses uitgevoerd:

- PCA op tijdreeksen met twee (bodem, mycoflora) of drie (vegetatie, bosstructuur) opname-momenten;
- RDA op de vegetatie in 1993 (voor de behandeling), met de bodem en de bosstructuur van dat moment als verklarende variabelen;
- RDA op de verandering in vegetatie per plot met de behandelingen als verklarende variabelen.

De uitkomsten van de analyses wijzen erop dat de behandelingen vrijwel geen effect hebben op de chemie van de minerale ondergrond. Voor de vegetatie lijkt dat echter ook nauwelijks relevant: uit de analyse van de uitgangssituatie blijkt dat de samenstelling van de vegetatie voor een belangrijk deel wordt bepaald door de chemische samenstelling van de humuslaag. Dit bevestigt de veronderstelling dat in de onderzochte arme systemen de vegetatie zijn mineralen grotendeels betreft uit de humuslaag.

Alleen in de dennenopstanden hebben de behandelingen geleid tot de verwachte terugzet in de vegetatie-succesie. Hier keerden een aantal soorten van vroege successiestadia terug, waarbij overigens geen Rode Lijst soorten zaten. Gebrek aan dispersie-capaciteit kan hierbij een rol spelen, hoewel dit waarschijnlijk voor hogere planten belangrijker is dan voor lagere planten. In de vijf jaren sinds het afplaggen is echter ook een duidelijke succesie opgetreden in de richting van de vegetatiesamenstelling zoals die bestond kort voor de ingrepen: als de succesie met deze snelheid voortgaat zal de uitgangssituatie na nog 10-20 jaar weer volledig bereikt zijn. In de eikenopstanden laten de multivariate analyses ofwel een snelle en volledige terugkeer naar de uitgangssituatie zien, ofwel een ontwikkeling in een niet-gewenste richting. Hier hebben de behandelingen slechts in zeer geringe mate geleid tot de verwachte vestiging van soorten uit eerdere successiestadia. De vestiging van juveniele bomen en struiken overheerst in deze opstanden. Hierbij kan een rol gespeeld hebben dat in deze opstanden minder humus is verwijderd dan in de dennenopstanden.

Drie factoren kunnen een rol gespeeld hebben bij de verandering van de vegetatie-samenstelling:

- de verminderde kroonsluiting als gevolg van dunnen;
- het verwijderen van de humuslaag;
- het verwijderen van de vegetatie zelf.

Hoewel er sprake is van slechts geringe verschillen in kroonsluiting tussen de plots, blijkt uit analyse van gegevensbestanden van vergelijkbare bosopstanden een sterk effect van kroonsluiting. In het algemeen zijn soorten van vroege successiestadia 'stress-tolerators', die aangepast zijn aan lichte, nutriëntenarme omstandigheden en concurrentie van andere soorten slecht verdragen. In dit licht bezien is het aannemelijk dat in de dennenopstanden alle drie bovengenoemde factoren een rol hebben gespeeld. Omdat dunnen zonder plaggen slechts een gering effect op de vegetatie had is het verminderen van de kroonsluiting alleen kennelijk onvoldoende om de succesie terug te zetten. Deze behandeling kan samen met plaggen echter wel een belangrijk additioneel effect hebben gehad. Enerzijds kan dit een direct effect op de vegetatie zijn door grotere toetreding van licht. Anderzijds kan een indirect effect een rol spelen, bijvoorbeeld door versterkte mineralisatie van achtergebleven humus of door een tragere opbouw van een nieuwe humuslaag door verminderde strooiselval. In de eikenopstanden heeft waarschijnlijk vooral het fysiek verwijderen van de vegetatie een rol gespeeld. Hierdoor ontstonden mogelijkheden voor minder concurrentiekrachtige kiemplanten, terwijl de vermindering van het nutriëntenaanbod kennelijk onvoldoende was om de echte stress-tolerators te bevorderen.

## Conclusie

### *Voedselarme Dennenbossen*

De inschatting van de effecten van de genomen maatregelen in de Voedselarme Dennenbossen varieert tussen 'kan geen kwaad' tot 'is redelijk effectief'. De korte-termijn effecten geven duidelijk aan dat de ontwikkelingen de goede kant op gaan. Daarbij kan op basis van de huidige beperkte observatie-duur niet ingeschat worden hoe lang dit positieve effect merkbaar zal zijn en in welke mate en op welke termijn hervestiging van de gewenste soorten (flora en mycoflora) op zal treden. De ontwikkelingen in de dennenbossen leiden tot de conclusie dat dunnen en plaggen praktijk-rijp lijken te zijn. Dat betekent dat de maatregel op een beperkt aantal locaties op praktijkschaal uitgevoerd kan worden. Idealiter dienen deze locaties vooraf bekend te worden gemaakt aan het Deskundigenteam, zodat de (visueel waargenomen) ontwikkelingen vergeleken kunnen worden met die van de bestaande referentielocaties.

### ***Dicrano-Quercetum-bossen***

De resultaten van 5 jaar monitoren tonen aan dat de kans voor herstel van de typerende vegetatie en mycoflora op de onderzocht locaties in de Dicrano-Quercetum-bossen vrijwel nihil is. Het rendement van de maatregelen is hier verwaarloosbaar klein. Het herstelvermogen van het ecosysteem blijkt nog veel geringer dan bij aanvang van het project Droge Bossen werd verondersteld. Het niet aanslaan van de maatregelen in combinatie met de vooralsnog hoge atmosferische input maakt dat dit bostype in Nederland sterk in voortbestaan bedreigd wordt.

De algehele conclusie uit de evaluatie van 5 jaar monitoring van de effecten van dunnen en plaggen is derhalve dat de maatregelen in de Voedselarme dennenbossen onder bepaalde voorwaarden praktijkrijp zijn en dat de maatregelen in de Dicrano-Quercetum-bossen in het geheel niet praktijkrijp zijn (en dat naar alle waarschijnlijkheid ook niet zullen worden).

Uit de synthese blijkt tevens dat, hoewel reeds enkele conclusies getrokken kunnen worden, vervolgonderzoek via monitoring sterk aan te bevelen is, vooral in de Voedselarme Dennenbossen. De consequentie daarvan is onder meer dat opnieuw ingegrepen zal moeten worden op de proeflocaties:

- a. De controle-plots moeten vergelijkbaar blijven met 'normaal' beheerde bossen.
- b. Op de behandelde plots zijn mogelijk ingrepen nodig om de eerder gecreëerde omstandigheden in stand te houden, vooral wanneer er snel veranderingen in het ecosysteem op treden.

In de dennenbossen is in de sterk gedunde (en eventueel geplagde) plots vanuit de optiek van het reguliere bos-beheer niet zo snel opnieuw een dunning noodzakelijk omdat de dunning al uitzonderlijke sterk was. Vanuit het oogpunt van het handhaven van de gewenste openheid kan het echter eerder dan gebruikelijk, wenselijk zijn om opnieuw te dunnen. Gedacht kan worden aan het moment waarop de kroonsluiting groter wordt dan 75% of wanneer het grondvlak de  $15 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  overschrijdt. Op dat moment kan weer een dunning uitgevoerd worden zodanig dat een grondvlak van  $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  resteert. Gezien de geringe mate van strooiselopbouw op de geplagde plots, lijkt opnieuw plaggen in de dennenbossen op korte termijn niet noodzakelijk. Mocht besloten worden tot ook voortzetting van de monitoring in de Dicrano-Quercetum-bossen, dan is hier een herhaling van het plaggen sterk aan te raden. Ook zou dan op termijn een dunning uitgevoerd moeten worden in de controle-plots. Deze inspanningen lijken echter in geen verhouding te staan tot de relatief kleine kans op herstel van het gewenste vegetatietype.

## SUMMARY

### Background

From 1992-1998 a monitoring experiment was carried out in the Netherlands, in the framework of the Dutch national programme on curative environmental measures (OBN), carried out in order of the Dutch Ministry of Agriculture, Nature management and Fisheries.

The aim of the OBN monitoring project was to determine whether effects of eutrophication and acidification could be counterbalanced by certain measures carried out in the forests. The work started in 1992 with the publication of a report on possible measures and suitable experimental sites. The focus was on nutrient poor pine stands and oak stands (Dicrano-Quercetum). In early 1994 finally 6 locations were selected, divided into 27 plots, which were then thinned and/ or sod cut or just left for control.

### Expectations

The expected responses to the measures, and the system developments differed per ecosystem component:

- Forest vitality was expected to increase after thinning because the remaining trees will benefit from the increased resource availability. However, the removal of a too thick sod layer could physically harm the root system, which could result in an increased wind throw.
- Ground vegetation was expected to benefit most from the sod cutting, which would remove the competitive grass layer. This would create an ideal substrate for mosses and, because of the removal of nutrients (in the sod) a delayed occupation by grasses. Thinning would not so much improve light conditions (these forest are pretty open already by their very nature), but would help slowing down the building-up of a new litter layer.
- Developments in mycoflora were predicted to be strongly different in the pine and the oak stands. In the oak stands the following was expected:
  - A partial recovery of the ectomycorrhizal fungi
  - An increase of the N-sensitive moss-inhabiting fungi
  - A change of species composition from saprotrophic fungi towards a mycoflora characteristic for mor soils
  - In the pine stands other trends were foreseen:
    - An increase of the ectomycorrhizal fungi after sod-cutting, and almost no response in case of 'thinning without sod cutting'
    - An almost direct disappearance of saprotrophic fungi after sod cutting and a partial recovery of these fungi within the next 5 years
- In case of the soils, thinning was believed to reduce the (dry) atmospheric deposition and hence to result in decreased  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  en Al-concentrations in the soil. The increased light availability would speed-up microbial processes in the litter layer, resulting in an temporary increased  $\text{NO}_3^-$  and base-concentration. All this could reduce the amounts of organic matter and N stored in the litter layer. In the sod cut plots, a large amount of organic matter and nutrients would be removed. The strongly reduced mineralisation would result in decreased  $\text{NO}_3^-$  and base-concentrations in the soil.

### Analysis of changes

Per ecosystem component the following remarks can be made with respect to the 5 years of change:

- Forest vitality: Both thinning and sod cutting don't have negative, and sometimes a positive impact on the vitality of pine and oak stands.
- Vegetation: 'Thinning and sod cutting' (and to a lesser extent 'thinning' only) does lead to a going back in time along successional lines of development. The drawback is that the rebuilding of the litter layer takes place in a relatively short time, hence 'undoing' the effects of the measures. The

- main role of the thinning appears to be the slowing down of the litter building-up.
- Mycoflora: Sod cutting positively affects the ectomycorrhizal flora in the pine stands, whereas the effects of thinning seem ignorable. The sod cutting impact increases when going up from the southern part towards the northern parts of the country, which seems due to a depositional gradient. It can be expected that this gradient will affect both the speed and duration of the systems recovery, where the strongest impact of deposition is expected in the southern plots. The recovery of the oak stands in terms of mycoflora is very poor.
- Soil: The most striking changes occurred during the first months after the measures, due to an increased turn-over of the organic matter. In the sod cut plots in the pine stands, site conditions seem suitable for the establishment and maintenance of a nutrient-poor vegetation type the next decades, because of an only slowly increasing litter amount and a slightly decreased nutrient-availability of the top soil layer. In the oak stands, the measures do not seem very profitable.

The detected changes in the above mention ecosystem components were next integrated in order to determine the responses at the ecosystem level. To do so, the forest and site conditions were described for each moment an inventory was carried out: prior to the measures (1993), directly after the measures had been taken (1993/1994), and during the second inventory in 1998. Both temporal developments of the ecosystem components and interrelationships between these components were analysed, using the program CANOCO and statistical techniques: Principal Component Analysis (PCA) and Redundancy Analysis (RDA). Three types of analyses were carried out:

- PCA for temporal developments of soil, mycoflora, ground vegetation, and forest structure;
- RDA on the ground vegetation in 1993, with soil and forest structure being independent variables;
- RDA on the vegetation changes per plot, using measures as independent variables.

The results of the analyses indicate that the measures hardly affected the chemical condition of the forest soil. This, however, seems to be hardly relevant for the vegetation, because analysis showed that the vegetation composition in these poor systems is largely determined by the chemical characteristics of the humus layer.

The measures were successful in putting the stands back in their successional ages, however, only in case of the pine stands. Here, a few species (although no Red List species) returned to the site. Nevertheless, also a clear trend towards the original vegetation composition (prior to the measures) was found. If succession continues to occur with this rate then the impact of the measures will be gone in about 10-20 years from now.

In the oak stands, the measures lead to either unwanted developments, or to a very rapid recovery of the original situation. One cause could be the fact that less humus was removed compared to the pine stands.

Three factors might have caused the changes in vegetation composition:

- reduced canopy closure due to thinning
- the removal of the litter layer
- the removal of the vegetation itself

Analysis from comparable data sets indicates a strong impact of canopy closure. Early-successional species are 'stress-tolerators', being adapted to light, nutrient-poor conditions. It seems hence logical that all three factors have played a role in the pine stands. Sod cutting seemed to have the largest direct impact. Thinning (and hence reduction of the canopy closure), however, has an important additional effect: it provides more light to the forest floor, it enhances mineralisation, and it slows down the building up of new litter. In the oak stands apparently especially the physical removal of the vegetation itself has been the most striking event, creating space for competitive species.

## Conclusions

### *Nutrient-poor Pine stands*

The impact of the measures varies between 'no harm' and 'quite effective'. The short-term results clearly indicate that developments are heading in the right direction. It is, however, not possible yet, regarding the short monitoring period, to predict the duration of these positive developments, and to predict how long it will take before the wanted (myco-) flora has recovered.

The measures thinning and sod cutting seem to be ready for use in forestry practice. It is recommended to start with a few pilot sites, and to report developments to the Expert-team in order to compare these developments with the current reference plots.

### ***Dicrano-Quercetum forest***

Results of 5 year monitoring indicate that recovery of the typical flora and mycoflora on these sites is almost impossible. A key role is played here by the atmospheric depositions. Trying to maintain or even restore this forest type in the Netherlands seems useless.

A follow-up of the monitoring study is strongly recommended, for at least 5 more years, especially in the pine stands. As a consequence, measures will have to be (re-) taken in both the thinned/ sod cut stands and the reference plots, in order to keep the experiment comparable with regular forest practice.



## 1 INLEIDING

In het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur ('OBN') is begin jaren '90 een studie gestart naar mogelijke maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in zogenaamde Voedselarme en Droge Bossen met Bijzondere Natuurwaarden ('Droge Bossen') tegen te gaan. Daarvoor is in 1992 een advies opgesteld (Klap & Schmidt, 1992) en zijn in 1994 (Klap & Schmidt, 1995) en 1998 (Schmidt, 1999) opnamen gedaan in een aantal proefplots met Dennen- en Eikenbossen op zes locaties in Nederland.

Het onderzoek is uitgevoerd in een 6-tal locaties. Er zijn vier locaties gezocht in Voedselarme Dennenbossen ('Dennenbos') en twee locaties in Dicrano-Quercetum-bossen (Gaffeltand-Eikenbos, een strubben-achtig eikenbos rijk aan mossen en paddestoelen, hier kortweg 'Eikenbos' genoemd). De maatregelen (ook wel aangeduid als 'ingrepen' of 'behandelingen'), uitgevoerd in het vroege voorjaar van 1994, bestonden uit 'dunnen' en/of 'plaggen' (in een enkel geval alleen 'blad verwijderen'), of 'niets doen' (de zogenaamde controle-plots). In de proefopzet is er voor gekozen de twee behandelingen, plaggen en dunnen, gecombineerd opgenomen. Op één locatie, Kootwijkerzand, is bovendien de ingreep dunning afzonderlijk uitgetoet, terwijl in Terschelling bij toeval een alleen gedund plot is overgebleven.

De hier uitgevoerde dunning is feitelijk een zogenaamde lichte: doel ervan was dan ook niet het verkrijgen van de normale effecten van dunning maar het verminderen van de strooiselval en het brengen van licht en warmte op de bosbodem, waardoor de vertering van strooisel versneld zou worden. Door een combinatie van beide effecten zou de ophoping van strooisel en een hernieuwde verrijking van de bodem ten minste vertraagd worden en zo het effect van de tweede ingreep, plaggen verlengd worden. Plaggen tot op de minerale bodem, de tweede maatregel, heeft tot gevolg dat stikstof en andere in humus en strooisel opgeslagen mineralen uit het ecosysteem verwijderd worden. Naast deze chemische verarming treedt ook een vermindering van het vochthoudend vermogen van de grond op. Tabel 1.1 geeft een overzicht van de locaties en de behandelingen (maatregelen).

De effecten van de maatregelen zijn vervolgens vastgesteld door de ontwikkeling van die Dennen- en Eikenbossen te monitoren: daarvoor zijn de deel-aspecten bosstructuur, bodemvegetatie, mycoflora, bodemgesteldheid en bodemvochttoestand opgenomen. De her-opname, uitgevoerd in de loop van 1998, is eveneens uitgevoerd per deel-aspect.

Doel van het voorliggende rapport was de resultaten van de deel-aspecten te bundelen, om zodoende een synthese te verkrijgen van de resultaten van vastgelegde ontwikkelingen in de Droge Bossen. Deze synthese is tot stand gekomen op basis van de eerder gepubliceerde voortgangsrapporten en op basis van een geïntegreerde analyse van de veldgegevens met betrekking tot bosstructuur, bodemvegetatie, mycoflora, bodemgesteldheid en bodemvochttoestand.

De indeling van het vervolg van dit rapport is als volgt:

In hoofdstuk 2 wordt kort teruggeblift op de situatie bij aanvang van het project Droge Bossen: wat waren de verwachtingen ten aanzien van de effecten van de voorgestelde en uitgevoerde maatregelen? In hoofdstuk 3 wordt van elk deel-aspect een korte samenvatting gegeven over de aanvangssituatie, de belangrijkste waargenomen ontwikkelingen en de tot nog toe bereikte resultaten. Hoofdstuk 4 integreert de resultaten van de deel-onderzoeken en beschrijft de geconstateerde ontwikkelingen op boscysteem-niveau. In hoofdstuk 5, tenslotte, worden de bosontwikkelingen afgezet tegen de genomen maatregelen, waardoor uitspraken gedaan kunnen worden over het rendement van de maatregelen en de haalbaarheid ervan voor de beheerspraktijk.



**Tabel 1.1: Locaties, bostypen, belangrijkste boomsoorten (na de plot-instelling) en behandelingen.**

Locatie (code)	Plot	Bostype	Boomsoorten	Uitgevoerde maatregelen
Terschelling (TER)	1	Dennenbos	Oostenr.den	Dunnen + plaggen
	2	Dennenbos	Oostenr.den	Dunnen + plaggen
	3	Dennenbos	Oostenr.den	Dunnen
	4	Dennenbos	Oostenr.den	Geen
	5	Dennenbos	Oostenr.den	Geen
Hulshorsterzand (HHZ)	1	Dennenbos	Groveden	Dunnen + plaggen
	2	Dennenbos	Groveden	Geen
	3	Dennenbos	Groveden	Geen
	4	Dennenbos	Groveden	Dunnen + plaggen
Kootwijkerzand (KWZ)	1	Dennenbos	Groveden	Dunnen
	2	Dennenbos	Groveden	Geen
	3	Dennenbos	Groveden	Dunnen + plaggen
	4	Dennenbos	Groveden	Dunnen + plaggen
	5	Dennenbos	Groveden	Geen
	6	Dennenbos	Groveden	Dunnen
Loonse en Drunense Duinen (LDD)	3	Dennenbos	Groveden, Zeeden	Dunnen + plaggen
	4	Dennenbos	Groveden, Zeeden	Geen
	5	Dennenbos	Groveden, Zeeden	Geen
	6	Dennenbos	Groveden, Zeeden	Dunnen + plaggen
De Eese (EES)	1	Eikenbos	Zomereik	Geen
	2	Eikenbos	Zomereik	Dunnen + plaggen
	3	Eikenbos	Zomereik	Dunnen + plaggen
	4	Eikenbos	Zomereik	Geen
Schoorlse Duinen (SCH)	1	Eikenbos	Zomereik	Dunnen + verschrallen
	2	Eikenbos	Zomereik, Beuk	Geen
	3	Eikenbos	Zomereik, Corsicaanseden	Dunnen + verschrallen
	4	Eikenbos	Zomereik, Beuk	Geen

## 2 VERWACHTINGEN BIJ AANVANG VAN HET PROJECT DROGE BOSSEN

### 2.1 Bosstructuur

Bij de instelling van de plots en de uitvoering van de maatregelen in 1994 (Goudzwaard & Klap, 1995) werd de verwachting uitgesproken dat de ten gevolge van de dunning gewijzigde lichtomstandigheden en concurrentie-verhoudingen al op zeer korte termijn zouden resulteren in significante verschillen tussen de behandelde en niet-behandelde proefplots. In de gedunde proefplots zouden (door meer groeiruimte en meer licht dieper in het kronendak) de kronen zich uitbreiden, zowel in horizontale richting (takken zouden langer worden) als in verticale richting (onderin de kroon zou het takafsterven trager verlopen). Bovendien zouden door de grotere kroon en de grotere lichtbeschikbaarheid de hoogte- en diktegroei van de overgebleven bomen in de behandelde plots groter zijn dan die gemiddeld in de niet-behandelde plots. Dit alles conform de respons in geval van normale dunning.

Het plaggen zou naar verwachting leiden tot een geringere actieve wortelmasse (als gevolg van mechanische beschadiging en verwijdering van wortels) en een gereduceerd nutriëntenaanbod. Het eerste fenomeen heeft een vermindering van de opname van nutriënten en water tot gevolg, waardoor een achteruitgang van de groei verwacht kan worden. Het tweede aspect betekent weliswaar dat er sprake is van een geringer nutriëntenaanbod maar omdat ook het stikstof-aanbod gereduceerd wordt, zou dit kunnen leiden tot een gebalanceerdere nutriënten-beschikbaarheid: het netto-effect op de groei is daardoor moeilijk te voorspellen. Tenslotte zou een te diep plaggen kunnen resulteren in een verhoogde kans op windworpgevaar vanwege de aan het wortelstelsel toegebrachte schade.

Samenvattend werd gesteld dat de ingrepen de vitaliteit van de opstanden zou bevorderen, omdat het dunningseffect naar verwachting zou domineren. Echter, de combinatie van een zware dunning met een diep plaggen zou de stabiliteit van de opstand kunnen reduceren, hetgeen zich zou kunnen uiten in een vergroting van de stormschade in de behandelde plots.

### 2.2 Bodemvegetatie

Wat betreft de vegetatie werd in eerste instantie het meeste effect verwacht van plaggen. Hierdoor zou de dichte mat van grassen (vooral *Deschampsia flexuosa*) worden verwijderd. Dit zou twee effecten hebben: het creëren van een kale bodem waarop de oorspronkelijk aanwezige mossen en korstmossen zich opnieuw zouden kunnen vestigen, en het reduceren van de beschikbaarheid van nutriënten waardoor een snelle herkolonisatie door grassen zou worden voorkomen. De sterke dunning zou hierbij de successie nog verder vertragen, omdat de strooiselval afneemt en daarmee de opbouw van een nieuwe laag organische stof wordt tegengegaan. In eerdere experimenten was reeds vastgesteld dat afplaggen inderdaad leidt tot een terugzetten van de successie (de Vries et al., 1995), maar dat een snelle herkolonisatie door grassen optreedt. Deze eerdere experimenten zijn echter uitgevoerd op kleinere oppervlakten dan de huidige, en zonder dunning. Bij het afplaggen van zeer kleine plots (2m\*2m) was het effect op de vegetatie reeds na ca. 2 jaar verdwenen (ongepubliceerde data RIN). Verwacht werd dat in de huidige experimenten de vroeger aanwezige rijke cryptogamenflora tenminste voor een deel zou terugkeren. 'Acrocarpe' (rechttopstaande) mossen als *Dicranum scoparium*, en korstmossen als *Cladina portentosa* en *C. arbuscula* zouden weer een kans krijgen. Van deze soorten was *Cladina portentosa* nog sporadisch aanwezig in de plots in Schoorl en Terschelling, op de andere locaties niet in de plots zelf maar wel op korte afstand daarvan. In de eikenopstanden werd het zelfs voor mogelijk gehouden dat bijzondere korstmossen zoals *Platismatia glauca* en *Evernia prunastri* zouden terugkeren. Dit zijn soorten die doorgaans epifytisch voorkomen maar in het Dicrano-Quercetum ook op de grond. Er werd niet verwacht dat de grotere toetreding van licht een

sterk effect op de vegetatie zou hebben. In feite zijn bossen van dit type al vrij licht, en lijkt de vegetatie sterk op die van onbebost terrein met een vergelijkbare bodem (heiden, stuifzanden).

## 2.3 Mycoflora

Bij de mycoflora is van meet af aan onderscheid gemaakt naar de Dennen- en de Eikenbossen. De voorspellingen van de ontwikkelingen in de beide eikenbossen verschilden bovendien per locatie.

Voor locatie De Eese gold:

- Dat de soortenrijkdom en het aantal vruchtlichamen van ectomycorrhiza-paddestoelen na dunnen en plaggen zou toenemen. Het herstel zou in eerste instantie tot uitdrukking komen in toename van het aantal vruchtlichamen van de al aanwezige soorten en pas op een later tijdstip zouden ook nieuwe soorten in lage aantallen verschijnen. Opgemerkt werd bovendien dat doelbewust een klein gedeelte van de humuslaag was achtergelaten, met als gevolg een hoge stikstofbeschikbaarheid, die een beperkende factor zou kunnen zijn voor herstel van de ectomycorrhizaflora. Voor de karakteristieke soorten van het Dicrano-Quercetum zou de stikstofbeschikbaarheid daardoor te hoog kunnen blijken,
- Dat de mosbewonende paddestoelen, en met name de stikstofgevoelige soorten, enigszins zouden toenemen doordat de maatregelen een positief effect zouden hebben op de mosvegetatie. Een ontwikkeling van de soortensamenstelling van de strooiselafbrekende paddestoelen in de richting van soorten die karakteristiek zijn voor een morprofiel (onder de huidige omstandigheden is een moder-profiel aanwezig) zou slechts in zeer beperkte mate optreden. Aan het einde van de eerste waarnemingsperiode (na 5 jaar) zou de soortenrijkdom van blad- en houtbewonende paddestoelen lager zijn dan die in de controleperken.

De verwachte ontwikkelingen in de Schoorlse Duinen luiden samengevat:

- Dat een gedeeltelijk herstel van de ectomycorrhiza-paddestoelen zou optreden. De mate van herstel zou naar verwachting groter kunnen zijn indien de verschraling door middel van bladblazen jaarlijks zou worden uit-gevoerd. Bij deze voorspelling werd gewezen op twee complicerende factoren, namelijk het reliëf van proefplot 4 (de onbehandelde noordhelling) waar door natuurlijke oorzaken relatief weinig strooisel achterblijft, en de variatie aan boomsoorten tussen de proefplots (waarbij in de behandelde proefplots de soortenrijkdom en abundantie van ectomycorrhizavormende bomen lager is dan in de onbehandelde proefplots),
- Dat de soortensamenstelling van de strooiselafbrekende paddestoelen op mos en strooisel enige verschuiving te zien zou geven in de richting van een soortensamenstelling die karakteristieker is voor morbodems.

Ten tijde van de formulering van de effectgerichte maatregelen (Klap & Schmidt, 1992) en het vastleggen van de uitgangssituatie (Klap & Schmidt, 1995) liep er een parallelle, uitgebreide studie naar het effect van manipulatie van strooisel- en humuslagen in Grovedennebossen (Baar, 1995). De voorspelde ontwikkelingen in de Dennenbossen van het OBN-project zijn goeddeels afgeleid van de (eerste) uitkomsten van deze studie, en luiden:

- Dat het aantal vruchtlichamen en de soortenrijkdom van ectomycorrhizapaddestoelen na plaggen zou toenemen, en dat dunnen alleen, zonder verwijdering van de strooisellaag, een veel geringer effect zou hebben. Verwacht werd dat het herstel relatief licht zou zijn en dat de allereerste soorten niet (snel) terug zouden komen.
- Dat de strooiselafbrekende paddestoelen onmiddellijk na plaggen vrijwel volledig zouden verdwijnen en dat in een periode van 5 jaar enig, maar geen volledig herstel zou optreden.

## 2.4 Bodem en Bodemvocht

Bij de aanvang van het monitoringprogramma werden twee factoren onderscheiden die van invloed zijn op de chemische samenstelling van bodem en bodemvocht:

- a) de geleidelijke vermindering van de depositie als gevolg van bron-gerichte maatregelen,
- b) de effecten van de in de perken uitgevoerde effect-gerichte maatregelen.

Verwacht werd dat een vermindering van de depositie vooral een rol zou spelen in de controle-perken. Verwacht werd dat in de behandelde perken de effecten van de effect-gerichte maatregelen die van de bron-gerichte maatregelen duidelijk zouden overtreffen, waarbij overigens het effect van een reductie van de belasting niet verwaarloosbaar hoefde te zijn. In de behandelde proefperken werden behalve effecten in de bodem-vocht-samenstelling ook veranderingen in de vaste fase mogelijk geacht.

### ***Veranderingen in de controle-perken***

In de controle-perken kunnen over de periode van observatie veranderingen optreden die (voornamelijk) het gevolg zijn van de geleidelijk optredende vermindering van de depositie-niveaus (veranderingen als gevolg van natuurlijke successie zijn over een dergelijke korte periode niet meetbaar). Gezien de recente emissie-reducties en de verwachtingen voor de nabije toekomst, werd verwacht dat al na enkele jaren effecten van de reductie van de  $\text{SO}_x$ -emissie waargenomen zouden kunnen worden, dus lagere  $\text{SO}_4$ - en Al-concentraties in de bodem. Een duidelijke reductie van de  $\text{NH}_4$ - en  $\text{NO}_3$ -concentraties werd niet verwacht, omdat geen significante vermindering van de  $\text{NH}_x$  en  $\text{NO}_y$ -emissies verwacht werd. Meetbare veranderingen in de chemische samenstelling van de vaste fase werden niet verwacht.

### ***Veranderingen als gevolg van de effect-gerichte maatregelen***

Verwacht werd dat de veranderingen sterk zouden samenhangen met de aard van de maatregelen. De combinatie van verschillende ingrepen in één behandeling zou het echter moeilijk maken om het effect van de afzonderlijke ingrepen vast te stellen. Er was (en is) nauwelijks referentiemateriaal over de bodemchemische effecten van grootschalige strooiselverwijdering, zodat de resultaten tot nieuwe inzichten zouden kunnen leiden.

Verwacht werd dat sterke dunning zou resulteren in een lagere (droge) depositie en dus in een afname van de  $\text{SO}_4$ -,  $\text{NO}_3$ -,  $\text{NH}_4$ - en Al-concentraties in de bodem. De grotere licht-toetreding zou een (tijdelijke) versnelling van de microbiële omzettingen in de strooisellaag kunnen veroorzaken, en daarmee een tijdelijke verhoging van de  $\text{NO}_3$ - en basen-concentraties (mede als gevolg van het beroeren van de strooisellaag). Dit zou kunnen leiden tot een afname van de in de strooisellaag opgeslagen voorraden organische stof en stikstof.

In de geplagde perken zal, met het verwijderen van de strooisellaag, een groot deel van de organische stof en de nutriënten zijn verdwenen. De mineralisatie van humus valt weg, wat zou resulteren in een afname van de  $\text{NO}_3$ - en basen-concentraties in de bodem. Er werd bovendien verwacht dat een versterkte mineralisatie van het resterende organische stof-pakket en van de organische stof in de minerale bovengrond op zou treden, zeker daar waar tevens gedund was. Aanvankelijk zou dus een kortstondige verhoging van de concentraties nutriënten (zowel stikstof als overige nutriënten) in het bodemprofiel kunnen optreden, met name te herleiden tot een afname van de organische stof- en stikstofvoorraden in de minerale bovengrond. Onzeker was op welk niveau consolidatie zou optreden en wat de invloed hierop zou zijn van de intensiteit van de ingreep: gedeeltelijke verwijdering vs. grotendeelse verwijdering vs. volledige verwijdering (feitelijk niet uitgevoerde variant).

Binnen de periode tot de heropname kan een geringe opbouw van een nieuwe strooisellaag plaatsvinden. Verwacht werd dat de periode tot de heropname te kort zou zijn om een significante toe- (of af-) name te kunnen meten.



## 3 SAMENVATTING VAN DE DEEL-ONDERZOEKEN

### 3.1 Bosstructuur

#### 3.1.1 Achtergrond

Eutrofiëring en verzuring veroorzaken een versnelde strooiselophoping en vergrassing in het bos. Dit brengt veranderingen teweeg in het nutriëntenaanbod en de vochtvoorziening. Deze veranderingen kunnen zich in bomen uiten in een toename van de hoogte- en diktegroei en in veranderingen in de concurrentieverhoudingen tussen bomen. De bosstructuur vormt daardoor een afspiegeling van de groeicondities. Door de bosstructuur te beschrijven en veranderingen van de structuur in de tijd te volgen (monitoren), kunnen de effecten van dunnen en plaggen op de bomen en het bos zichtbaar gemaakt worden, vooral wanneer behandelde en onbehandelde proefplots kunnen worden vergeleken.

In het deel-onderzoek naar de bosstructuur zijn metingen in proefplots en gedaan aan steekproefbomen, er zijn fish-eye foto's genomen en er is een vitaliteitsschatting gemaakt. De boommetingen bestonden uit het vastleggen van diameter (borsthoogte), boomhoogte, hoogte onderkant kroon en kroonprojectie-oppervlak.

#### 3.1.2 Belangrijkste ontwikkelingen in bosstructuur

De ontwikkeling van de vier proeflocaties in de voedselarme dennenbossen verliep in de afgelopen vijf groeiseizoenen geleidelijk en zonder grote schokken. De sterfte onder en de groei van de bomen waren beide niet spectaculair. De ontwikkeling van de twee locaties Dicrano-Quercetum-bossen, met zomereik als hoofdboomsoort, verliep ook geleidelijk. Grote verschillen tussen de locaties traden niet op.

Dunning is een normale teeltkundige ingreep, die in bosopstanden periodiek uitgevoerd wordt. Uitgaande van de gedachte dat er sprake is van een maximaal haalbare groeisnelheid ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) per oppervlakte-eenheid, wordt de ingreep uitgevoerd om die bijgroei te concentreren op een beperkt aantal daartoe geselecteerde bomen. Verwacht mag worden dat door een dunning de resterende bomen vitaler worden: door minder concurrentie is meer energie beschikbaar voor groei en ontwikkeling. Of dit in de behandelde plots ook gebeurt is echter nog niet duidelijk. De hier uitgevoerde dunning is dermate sterk (het grondvlak werd gereduceerd van meer dan  $20 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$  naar  $10 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) dat er sprake is van een zogenaamde lichteing. Doel ervan was dan ook niet het verkrijgen van de normale effecten van dunning maar het verminderen van de strooiselval en het brengen van licht en warmte op de bosbodem, waardoor de vertering van strooisel versneld zou worden. Door een combinatie van beide effecten zou de ophoping van strooisel en een hernieuwde verrijking van de bodem ten minste vertraagd worden en zo het effect van de tweede ingreep, plaggen verlengd worden.

Plaggen tot op de minerale bodem, de tweede maatregel, heeft tot gevolg dat stikstof en andere in humus en strooisel opgeslagen mineralen uit het ecosysteem verwijderd worden. Naast deze chemische verarming treedt ook een vermindering van het vochthoudend vermogen van de grond op. Tegelijkertijd met het plaggen van strooisel wordt ook een onbekend groot deel van het wortelstelsel van de bomen beschadigd. Plaggen is zowel een aanslag op het verankeringssysteem van bomen (grote wortels) als op de opnamecapaciteit van water en nutriënten (fijne wortels). Grovenden heeft weliswaar een penwortelstelsel, maar in deze arme bodems wortelt hij ook in en direct onder de strooisellaag, vanwege de gunstiger vocht- en voedingscondities.

Vijf groeiseizoenen na de ingreep kan geconstateerd worden dat er weliswaar veranderingen waargenomen kunnen worden, maar dat deze in het algemeen niet significant zijn, dat deze soms tegengesteld aan de verwachtingen zijn, en dat ze in ieder geval alle klein zijn. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken, gebaseerd op de opnamen van de proefplots en de waarnemingen aan de steekproefbomen.

Tabel 3.1: Geconstateerde veranderingen op de proeflocaties. "Hbs" is hoofdboomsoort, "Mix" is Simpson's index voor mengingsgraad; "SDI" is Reineke's Stand Density Index (ref. dbh 20 cm), "Sluit" is kronensluitingsgraad.

			Totale opstand						Hoofdboomsoort				
Perk #	Hbs #	Opname #	N ha <sup>-1</sup>	Dbh cm	G m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	SDI #	Sluit %	Mix #	N ha <sup>-1</sup>	Dbh cm	G m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	SDI #	Vitaliteit #
TER 1	OD	1994 voor	1180	18,4	31,7	1032	*	0,00	1180	18,4	31,7	1032	1,2
		1994 na	264	23,5	11,5	342	56	0,00	264	23,5	11,5	342	1,2
		1998	264	25,8	13,9	397	55	0,00	264	25,8	13,9	397	1,1
TER 2	OD	1994 voor	1776	15,0	31,7	1119	*	0,00	1776	15,0	31,7	1119	1,0
		1994 na	464	17,3	11,0	368	61	0,00	464	17,3	11,0	368	1,0
		1998	488	19,0	13,8	449	61	0,00	488	19,0	13,8	449	1,0
TER 3	OD	1994 voor	1988	14,1	30,9	1134	*	0,00	1988	14,1	30,9	1134	*
		1994 na	544	15,4	10,2	358	*	0,00	544	15,4	10,2	358	*
		1998	544	18,5	14,6	480	64	0,00	544	18,5	14,6	480	1,0
TER 4	OD	1994 voor	1952	14,3	31,6	1139	90	0,00	1952	14,3	31,6	1139	1,3
		1994 na	1952	14,3	31,6	1139	90	0,00	1952	14,3	31,6	1139	1,3
		1998	1948	15,7	37,8	1321	83	0,00	1948	15,7	37,8	1321	1,1
TER 5	OD	1994 voor	1532	16,4	32,4	1114	93	0,00	1532	16,4	32,4	1114	1,3
		1994 na	1532	16,4	32,4	1114	93	0,00	1532	16,4	32,4	1114	1,3
		1998	1548	17,7	38,1	1272	83	0,00	1548	17,7	38,1	1272	1,0
HHZ 1	GD	1994 voor	817	19,0	24,1	752	*	0,00	817	19,0	24,1	752	1,6
		1994 na	242	22,9	10,5	301	57	0,00	242	22,9	10,5	301	1,6
		1998	242	23,8	11,6	320	61	0,00	242	23,8	11,6	320	1,9
HHZ 2	GD	1994 voor	720	19,8	22,6	708	85	0,00	720	19,8	22,6	708	1,8
		1994 na	720	19,8	22,6	708	85	0,00	720	19,8	22,6	708	1,8
		1998	712	21,2	26,1	782	84	0,00	712	21,2	26,1	782	1,8
HHZ 3	GD	1994 voor	854	17,8	22,2	708	80	0,00	854	17,8	22,2	708	2,1
		1994 na	854	17,8	22,2	708	80	0,00	854	17,8	22,2	708	2,1
		1998	846	19,2	25,2	792	82	0,00	846	19,2	25,2	792	1,8
HHZ 4	GD	1994 voor	804	18,8	23,5	728	*	0,00	804	18,8	23,5	728	2,5
		1994 na	248	23,2	11,7	315	51	0,00	248	23,2	11,7	315	2,5
		1998	248	24,5	12,3	343	64	0,00	248	24,5	12,3	343	2,3
KWZ 1	GD	1994 voor	540	22,3	21,1	643	*	0,00	540	22,3	21,1	643	2,8
		1994 na	208	25,6	10,7	309	69	0,00	208	25,6	10,7	309	2,8
		1998	208	27,7	12,8	351	72	0,00	208	27,7	12,8	351	1,8
KWZ 2	GD	1994 voor	524	22,2	20,3	620	86	0,00	524	22,2	20,3	620	2,6
		1994 na	524	22,2	20,3	620	86	0,00	524	22,2	20,3	620	2,6
		1998	520	24,2	24,1	706	82	0,00	520	24,2	24,1	706	1,4
KWZ 3	GD	1994 voor	640	21,8	24,0	735	*	0,00	640	21,8	24,0	735	2,3
		1994 na	240	24,4	11,2	330	68	0,00	240	24,4	11,2	330	2,3
		1998	240	26,5	13,6	377	69	0,00	240	26,5	13,6	377	1,2
KWZ 4	GD	1994 voor	548	22,4	21,5	657	*	0,00	548	22,4	21,5	657	2,5
		1994 na	200	25,7	10,4	299	56	0,00	200	25,7	10,4	299	2,5
		1998	200	28,0	12,8	343	62	0,00	200	28,0	12,8	343	1,3
KWZ 5	GD	1994 voor	628	21,4	23,8	700	93	0,00	628	21,4	23,8	700	2,1
		1994 na	628	21,4	23,8	700	93	0,00	628	21,4	23,8	700	2,1
		1998	620	23,5	28,6	803	87	0,00	620	23,5	28,6	803	1,3

KWZ 6 GD	1994 voor	484	23,4	20,7	623	*	0,00	484	23,4	20,7	623	2,2
	1994 na	196	26,4	10,7	306	69	0,00	196	26,4	10,7	306	2,2
	1998	192	28,8	12,6	345	68	0,00	192	28,8	12,6	345	1,5
LDD 3 GD	1994 voor	748	15,9	14,9	519	*	0,52	292	20,0	9,6	292	2,0
	1994 na	212	25,6	10,9	316	59	0,42	180	23,1	7,7	227	2,0
	1998	208	26,9	11,8	334	62	0,42	180	23,5	8,3	233	1,6
LDD 4 GD	1994 voor	696	19,2	20,2	654	73	0,53	312	22,2	12,7	369	2,4
	1994 na	696	19,2	20,2	654	73	0,53	312	22,2	12,7	369	2,4
	1998	820	19,8	25,3	807	60	0,51	376	23,6	16,5	490	1,5
LDD 5 GD	1994 voor	766	19,4	22,6	729	88	0,40	558	19,5	16,7	536	2,8
	1994 na	766	19,4	22,6	729	88	0,40	558	19,5	16,7	536	2,8
	1998	813	20,2	26,1	827	85	0,39	567	21,0	19,6	613	2,7
LDD 6 GD	1994 voor	664	19,3	19,4	627	*	0,25	492	20,8	16,7	524	1,3
	1994 na	208	24,7	9,9	291	69	0,16	192	24,6	9,1	268	1,3
	1998	204	26,8	11,5	326	67	0,27	179	26,2	9,7	276	1,5
EES 1 ZEI	1994 voor	1769	12,1	21,9	790	95	0,00	1769	12,1	21,9	790	1,6
	1994 na	1769	12,1	21,9	790	95	0,00	1769	12,1	21,9	790	1,6
	1998	1019	15,6	19,7	684	80	0,00	1019	15,6	19,7	684	2,7
EES 2 ZEI	1994 voor	1675	12,3	21,5	768	*	0,00	1675	12,3	21,5	768	1,2
	1994 na	569	15,6	10,9	382	76	0,00	569	15,6	10,9	382	1,2
	1998	556	16,8	12,4	420	71	0,00	556	16,8	12,4	420	2,4
EES 3 ZEI	1994 voor	1506	13,1	21,4	764	*	0,00	1506	13,1	21,4	764	1,5
	1994 na	463	17,2	10,7	363	77	0,00	463	17,2	10,7	363	1,5
	1998	413	18,8	11,5	374	66	0,00	413	18,8	11,5	374	2,3
EES 4 ZEI	1994 voor	1280	13,9	20,9	714	96	0,00	1280	13,9	20,9	714	1,0
	1994 na	1280	13,9	20,9	714	96	0,00	1280	13,9	20,9	714	1,0
	1998	817	17,1	18,8	635	83	0,00	817	17,1	18,8	635	1,9
SCH 1 ZEI	1994 voor	909	18,2	23,7	784	*	0,63	325	21,2	12,6	357	1,7
	1994 na	342	22,1	13,1	401	79	0,07	325	21,2	12,6	357	1,7
	1998	358	22,9	14,7	444	81	0,09	325	22,0	14,0	379	1,3
SCH 2 ZEI	1994 voor	958	17,3	22,4	757	96	0,51	550	17,8	14,7	456	2,2
	1994 na	958	17,3	22,4	757	96	0,51	550	17,8	14,7	456	2,2
	1998	850	18,9	23,8	774	88	0,48	542	19,4	16,5	516	1,5
SCH 3 ZEI	1994 voor	649	18,8	18,0	587	*	0,53	417	17,1	11,0	324	1,9
	1994 na	417	18,3	11,0	361	82	0,00	417	17,1	11,0	324	1,9
	1998	492	17,8	12,3	408	77	0,09	392	19,5	11,7	376	1,8
SCH 4 ZEI	1994 voor	683	22,9	28,2	849	97	0,43	392	25,3	20,6	572	2,0
	1994 na	683	22,9	28,2	849	97	0,43	392	25,3	20,6	572	2,0
	1998	701	24,0	31,7	939	86	0,44	400	26,8	22,8	640	1,8

De vitaliteit van de betrokken opstanden is niet zichtbaar verbeterd (maar ook niet verslechterd). De variabiliteit tussen en binnen de plots is te groot om statistisch significante uitspraken te kunnen doen. Windworp is in de proefperiode niet opgetreden. De geringe sterfte is aan zelfdunning toe te schrijven. De totale grondvlakbijgroei is in bijna alle gevallen het grootst in de niet-gedunde plots: dit is te wijten aan het kleinere stamtaal na de dunning. De periode na dunning is nog te kort om al groeivoordelen van de dunning te kunnen constateren. Bovendien is, zoals eerder gemeld, sprake van een extreem sterke dunning (lichting). Uit de ontwikkeling van de kronenbedekking en de lichtdoorval blijkt duidelijk dat de naaldmassa nog niet terug is op het niveau van voor de stamtaalreductie. De strooiselval is vermoedelijk dus nog geringer dan in bossen met een normale bezetting van groveden.



### 3.1.3 Rendement van de maatregelen

Samenvattend kan worden gesteld dat dunnen en plaggen geen nadelige en soms een positieve invloed hebben op de vitaliteit van de behandelde dennen- en eikenplots.

## 3.2 Bodemvegetatie

### 3.2.1 Achtergrond

Gedurende de laatste drie decennia hebben er zeer sterke veranderingen plaatsgevonden in de bodemvegetatie van voedselarme bossen. In het algemeen is een door mossen en korstmossen gedomineerde vegetatie veranderd in een door grassen en varens gedomineerde vegetatie (van Dobben, 1993). Deze veranderingen hebben geleid tot een achteruitgang van Rode Lijst soorten, met name korstmossen (Aptroot et al., 1998). De oorzaak van deze veranderingen moet waarschijnlijk gezocht worden in een combinatie van successie en atmosferische depositie van stikstof. Dit heeft geresulteerd in een snelle toename van de dikte van de humuslaag, en daarmee tot een grotere beschikbaarheid van nutriënten voor de vegetatie, het geen leidde tot 'verruiging'. De gedachte achter de hier geteste maatregelen was dat het verwijderen van de humuslaag zou leiden tot een terugzetten van de successie naar het mos- en korstmosrijke stadium.

### 3.2.2 Belangrijkste ontwikkelingen in bodemvegetatie

De toestand van de bodemvegetatie is opgenomen in 1993/1994 (uitgangssituatie na dunnen en/of plaggen) en in 1998. De data-analyse werd uitgevoerd met behulp van ordinatie (Redundancy Analysis = RDA) met het programma CANOCO (ter Braak & Smilaur, 1998). Er zijn drie vergelijkingen uitgevoerd:

1. vergelijking van de onbehandelde en de te behandelen plots in 1993/4 (dus vóór de behandeling);
2. vergelijking van de onbehandelde plots in 1993/94 en 1998;
3. vergelijking van de behandelde en de onbehandelde plots in 1998.

Uit de vergelijkingen 1 en 2 bleek dat de verschillen tussen behandelde en onbehandelde plots in 1993/4 zeer gering waren, en ook dat de veranderingen in de onbehandelde plots tussen beide opnamejaren zeer gering waren. Daarom is vooral gekeken naar de effecten van de behandeling zoals die zich openbaarden in 1998, 5 seizoenen na de ingrepen.

In de CANOCO-analyse zijn, om de geconstateerde verschillen in de vegetatie-samenstelling van de plots te kunnen verklaren, drie verklarende variabelen gebruikt: dunnen, plaggen en boomsoort. Hierbij zijn de effecten van de factoren 'dunnen' en 'plaggen' moeilijk te scheiden omdat zij slechts op twee locaties onafhankelijk zijn toegepast (Kootwijk en Terschelling). In tabel 3.2 staan de resultaten van de voorwaartse selectie van verklarende variabelen in RDA.

Tabel 3.2: Voorwaartse selectie van variabelen in RDA: percentage verklaarde variantie en significantie bepaald d.m.v. permutatie. Totale verklaarde variantie (als % van de variantie over alle soorten excl. de bomen) = 35%. Aantal plots = 27; aantal soorten = 94.

Variabele	% verklaarde variantie	significantie
boomsoort	25	***
dunnen of plaggen	10	**
dunnen	1	n.s.
plaggen	3	n.s.

Uit de ordinarie-diagrammen (zie van Dobben en Vocks, in: Schmidt, 1999) bleek dat de vegetatie-opnamen een duidelijk onderscheid laten zien tussen de eikenopstanden en de dennenopstanden enerzijds, en tussen de behandelde en de onbehandelde plots anderzijds. Het contrast den/eik zorgt voor verreweg de grootste verschillen in vegetatie. Uit het soortendiagram bleek dat de behandelingen vooral een terugzetten van de successie tot gevolg hebben. De floristische verschillen tussen plots met dezelfde combinatie van hoofdboomsoorten en behandeling bleken niet groot te zijn. De plots die alleen zijn gedund en niet geplagd nemen een intermediaire positie in tussen de controles en de gedunde+geplagde plots.

### 3.2.3 Rendement van de maatregelen

Opvallend is dat het effect van de behandelingen het sterkst is in die opstanden waarin de successie het verst is voortgeschreden in de richting van 'oude bos vegetatie' (controleplots met o.a. veel *Deschampsia flexuosa*, *Hypnum jutlandicum* en *Rhamnus frangula*). De vegetatie in de behandelde plots in deze opstanden bevat o.a. veel *Corynephorus canescens* of *Calluna vulgaris*. Op de locatie Terschelling is het effect van de behandelingen gering, en het sterkst voor alleen dunnen. Verder is in de eikenopstanden het effect van de behandelingen veel geringer dan in de dennenopstanden: zo heeft op de locatie Eese reeds een vergaande herkolonisatie door *Deschampsia flexuosa* plaatsgevonden.

Al met al lijkt het er op dat de behandeling dunnen + plaggen (en, in mindere mate, alleen dunnen) tot op zekere hoogte leidt tot de (vanuit de doelstellingen van OBN gewenste) terugzetting van de successie. Echter, de effecten zijn niet spectaculair. Er vindt in de behandelde plots een zekere herkolonisatie door oligotrafente mossen en korstmossen plaats, maar slechts in vrij geringe mate. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre de opgetreden veranderingen blijvend zijn. In een eerder afplagexperiment in dennenbos bleek ook dat afplaggen leidt tot een zekere mate van terugzetten van de successie, maar dat dit effect slechts kort van duur is (de Vries et al., 1995). Er treedt na het afplaggen weer een snelle opbouw van de strooisellaag op, en daarmee een 'inhaalslag' van de successie. In de huidige experimenten zorgt de sterke dunning ervoor dat de opbouw van de strooisellaag minder snel verloopt, en daarmee mogelijk ook de successie. Voortzetting van het onderzoek is nodig om hierover meer helderheid te verkrijgen.

## 3.3 Mycoflora

### 3.3.1 Achtergrond

De paddestoelenflora in de Nederlandse bossen heeft in de afgelopen decennia grote veranderingen ondergaan. De ectomycorrhizapaddestoelen bijvoorbeeld zijn (zeer) sterk afgenomen: het overgrote deel (77%) staat nu op de Rode Lijst (Arnolds & Van Ommering, 1996). Ectomycorrhizapaddestoelen van voedselarme naaldbossen, met name humusarme dennenbossen behorende tot het *Cladonio-Pinetum*, zijn daarbij het sterkst bedreigd. Ook is de afname van ectomycorrhizapaddestoelen in eikenbossen op zeer schrale, humusarme zandgrond, zoals de bossen behorende tot het *Dicrano-Quercetum* en de vergelijkbare gemeenschappen met berk en beuk, zeer sterk. Vermesting en verzuring worden als de belangrijkste oorzaken beschouwd. Voor een veel kleiner gedeelte spelen ook natuurlijke processen (bosveroudering, ontwikkeling van een humusprofiel, gewijzigde beheersinzichten in de richting van een natuurlijker bos) een rol.

Afname van de ectomycorrhizapaddestoelen hebben o.a. verstoorde nutriëntenbalansen en toegenomen droogte-gevoeligheid van bomen tot gevolg, en daarmee een afname van de bosvitaliteit. Maatregelen tot herstel van de ectomycorrhizafloor moeten gevonden worden in ingrepen in de strooiselhuishouding. Met name verwijdering van de strooisel- en humuslaag (inclusief de dichte grasmat van Bochtige Smele) hebben naar verwachting een positief effect op het herstel van de ectomycorrhizapaddestoelen. Vermindering van de jaarlijkse hoeveelheid strooisel die op de bosbodem valt (bijvoorbeeld door gelijktijdige dunning tijdens de ingreep in de strooisellaag) kan daarbij helpen om de snelheid van opbouw van het humusprofiel te vertragen, zodat het effect van de

maatregelen langer kan voortduren. Herhaald ingrijpen in de strooiselhuishouding (wegharken van strooisel) beoogt hetzelfde doel.

Verwijderen van humus- en strooisellagen heeft uiteraard ook effecten op strooiselafbrekende paddestoelen van naalden, bladeren en mos. Ook houtbewonende paddestoelen kunnen door verwijderen van dood hout op de bosbodems negatief beïnvloed worden. Bovendien hebben vermesting en verzuring ook hun sporen bij de strooisel- en houtafbrekende soorten nagelaten. Bij de strooiselafbrekers zijn soorten karakteristiek voor stikstofarme omstandigheden (soorten geassocieerd met een mor-profiel) deels vervangen door soorten die meer stikstoftolerant zijn (soorten geassocieerd met een moder-profiel). Hoewel de meeste houtbewonende paddestoelen in aantal vooruit zijn gegaan (een gevolg ook van de gewijzigde beheersinzichten waardoor meer dood hout in het bos achterblijft), zijn sommige naaldhoutbewonende paddestoelen wel achteruitgegaan.

In het deelonderzoek naar de mycoflora zijn vruchtlichamen van ectomycorrhizapaddestoelen en van strooiselafbrekende paddestoelen gedurende twee of drie bezoeken in 1998 opnieuw geteld; in sommige gevallen, waar tellen van vruchtlichamen niet goed mogelijk was, is alleen de aanwezigheid van de soort aangegeven. De basisgegevens zijn opgenomen in Schmidt (1999). Ten behoeve van de interpretatie van de gegevens zijn de paddestoelen in enkele functionele groepen onderscheiden, waarvan die van de ectomycorrhizapaddestoelen de belangrijkste groep voor het beoordelen van het succes van de effectgerichte maatregelen vormt.

### 3.3.2 Belangrijkste ontwikkelingen in mycoflora

Na 5 jaar had plaggen in alle vier voedselarme dennenbossen een duidelijk positief effect op de ectomycorrhizapaddestoelen. Door plaggen nam het aantal soorten toe, nam het (gewogen) aantal vruchtlichamen toe, en nam met name het aantal zeldzame soorten (soorten van de Rode Lijst) toe. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Effect van plaggen (procentuele toename) in droge, voedselarme dennenbossen op (1) het aantal soorten ectomycorrhizapaddestoelen; (2) het aantal soorten ectomycorrhiza-paddestoelen en hun (gewogen) aantallen vruchtlichamen; (3) het aantal soorten ectomycorrhiza-paddestoelen, hun (gewogen) aantallen vruchtlichamen en hun zeldzaamheid (volgens categorieën van de Rode Lijst), vergeleken met de niet-geplagde proefplots.

Locatie	(1)	(2)	(3)
Terschelling	+ 60%	+ 30%	+ 43%
Hulshorsterzand	+ 52%	+ 78%	+133%
Kootwijkerzand	+117%	+240%	+411%
Loonse en Drunense Duinen	+120%	+169%	+317%

Uit de tabel blijkt dat het positieve effect (relatieve rendement) van strooisel-verwijdering (plaggen) in de zuidelijk gelegen proefperken (Kootwijkerzand en Loonse en Drunense Duinen) gemiddeld groter is dan in de noordelijk gelegen proefperken (Terschelling, Hulshorsterzand). Dit verschil wordt veroorzaakt door een van noord naar zuid verlopende toenemende achteruitgang van de mycologische waarde van de onbehandelde proefplots, samenhangend met de gradiënt in depositie van vermestende en verzurende stoffen. Na 5 jaar bleek ook in de geplagde proefperken de mycologische waarde het hoogst in Terschelling en het laagst in de Loonse en Drunense Duinen (Tabel 3.4). Dit wordt met name veroorzaakt doordat op Terschelling de meeste bijzondere soorten van de Rode Lijst voorkomen.

**Tabel 3.4: Rendement van plaggen in de verschillende gebieden, gebaseerd op (1) het aantal soorten ectomycorrhizapaddestoelen; (2) het aantal soorten ectomycorrhiza-paddestoelen en hun (gewogen) aantallen vruchtlichamen; (3) het aantal soorten ectomycorrhiza-paddestoelen, hun (gewogen) aantallen vruchtlichamen en hun zeldzaamheid (volgens categorieën van de Rode Lijst. De waarde van Terschelling is telkens op 100% gesteld.**

Locatie	(1)	(2)	(3)
Terschelling	100%	100%	100%
Hulshorsterzand	116%	93%	73%
Kootwijkerzand	79%	93%	58%
Loonse en Drunense Duinen	100%	91%	55%

In totaal werden 16 soorten ectomycorrhizapaddestoelen van de Rode Lijst waargenomen: 11 soorten kwamen meer voor in de geplagde proefplots, 2 soorten kwamen meer voor in de controleplots (maar dan uitsluitend in Terschelling), en 3 soorten toonden geen verschil. Het effect van dunning zonder ingrepen in de strooiselhuishouding kon uitsluitend voor het Kootwijkerzand worden bepaald. Zonder plaggen had dunning slechts een zeer gering effect op ectomycorrhizapaddestoelen (soortenaantal 67% hoger dan in de controleplots, maar alle soorten kwamen met hogere abundantie voor in de geplagde proefplots; totaal aantal vruchtlichamen 16% lager dan in de controleplots).

Plaggen leidde tot een afname van het aantal soorten strooiselafbrekers van strooisel en hout. Het betreft hier soorten waarvan de meeste in Nederland algemeen en niet bedreigd zijn. Op de kale, weinig humeuze bodems kwamen na plaggen enkele soorten terug die op de Rode Lijst staan. Opvallend en onverklaarbaar is het voorkomen van enkele, op de Rode Lijst voorkomende, houtbewonende paddestoelen in de geplagde proefplots. Zo bleken van de 13 soorten van de Rode Lijst er 8 (alle bedreigd of ernstig bedreigd) meer voor te komen in de geplagde proefplots en slechts 3 (alle kwetsbaar) meer in de controleplots.

Op de eikenlocaties geldt een iets ander verhaal. In de Eese blijkt 5 jaar na dato dat plaggen een positief effect heeft op het aantal soorten ectomycorrhizapaddestoelen (+109%). Het totaal aantal vruchtlichamen was evenwel substantieel lager (-73%). Dit effect wordt volledig veroorzaakt door de achteruitgang van de Gewone aardappelbovist na plaggen. Het negatieve effect van plaggen op het aantal soorten hout- en strooisel-afbrekende paddestoelen was zeer beperkt.

Verschraling had na 5 jaar een zeer gering negatief effect in de Schoorlse Duinen; het aantal soorten in de verschraalde perken was 2% lager, het aantal vruchtlichamen 60%. Gezien de verschillen tussen de beide controleperken is het zeer waarschijnlijk dat de verschillen tussen de proefplots primair verklaard worden door de heterogeniteit van het terrein, en niet door het succes (of het ontbreken ervan) van de behandeling. Ook waren de controleplots rijker aan strooisel- en houtafbrekende paddestoelen; ook hier is de terrein-heterogeniteit een belangrijkere verklaring voor het verschil dan de behandeling.

### 3.3.3 Rendement van de maatregelen

In de grove-dennenbossen had plaggen een duidelijk positief effect op de ectomycorrhiza-flora, zowel wat betreft aantallen soorten, aantallen vruchtlichamen als de zeldzaamheid van de soorten (Rode Lijst). Deze uitkomst is conform de eerder uitgesproken verwachtingen. Het (vrijwel) ontbreken van rendement bij uitsluitend dunnen is eveneens conform de verwachtingen. Bij het herstel moet aangetekend worden dat dit groter was dan in het onderzoek van De Vries et al. (1995) en Baar (1995). Voor dit grotere rendement zijn twee verklaringen mogelijk. Ten eerste zijn de geplagde oppervlaktes groter dan in de eerdere experimenten, waardoor de kans op kolonisatie door zeldzame paddestoelen toeneemt en de kans op snel dichtgroeien vanuit de omringende grasmat afneemt. Ten tweede kan gelijktijdige dunning hebben bijgedragen tot een langzamere opbouw van het humusprofiel, hetgeen eveneens gunstig is voor het herstel van de ectomycorrhizaflora.

Het relatieve effect van plaggen op de ectomycorrhizapaddestoelen nam van noord naar zuid toe, samenvallend met een gradiënt in depositie van vermestende en verzurende stoffen. Het regionale effect van de effectgerichte maatregel is nog niet eerder gedocumenteerd. Verwacht mag worden dat

in samenhang met deze depositie-gradiënt zowel de hersteltijd (de tijd die nodig is om het maximale positieve effect te bewerkstelligen) als de totale herstelduur (de tijd dat in de geplagde proefplots het effect (significant) positief is) zal verschillen, waarbij naar verwachting een afname van het positieve effect zich eerder voordoet en met grotere snelheid plaatsvindt in de zuidelijke proefperken. Met name voor Terschelling mag aangenomen worden dat de maatregelen (plaggen met dunnen) zodanig drastisch waren, dat het maximale rendement nog niet volledig is bereikt.

In overeenstemming met de eerdere verwachting bleek dat het herstel relatief bescheiden was, wanneer de soortenlijsten worden vergeleken met waarnemingen uit dennenbossen in Nederland van vijftig jaar geleden. Het is mogelijk dat de geplagde oppervlaktes nog steeds te klein zijn, zodat de kans op herkolonisatie door deze soorten, die in ons land zeer zeldzaam of zelfs uitgestorven zijn, te gering is. Het is ook mogelijk dat de ophoping van nutriënten en organische stof in het bovenste deel van het minerale bodemprofiel nog steeds te groot is voor een volledig herstel van de mycoflora.

De effecten van plaggen op de strooiselbewonende paddestoelen waren globaal in overeenstemming met de verwachting. Het vóórkomen van een aantal zeldzame houtbewonende paddestoelen in de geplagde proefplots en, meer algemeen, het positieve effect van plaggen op het aantal soorten saprotrofe paddestoelen van de Rode Lijst, was echter niet voorspeld. Onderzoek naar de nutriëntendynamiek in hout, als functie van de nutriëntendynamiek in de strooisellaag, en naar de rol van het microklimaat van bossen als factor voor het optreden van houtbewonende paddestoelen moet op die vraag een antwoord geven. De combinatie van plaggen en dunnen leidde tot een langzame opbouw van het humusprofiel. Het is op basis van de soortensamenstelling van de strooiselafbrekende paddestoelen niet mogelijk om een uit-spraak te doen of het strooiselprofiel zich ontwikkelt in de richting van een mor-profiel, of dat zich toch weer een morprofiel zal ontwikkelen.

De verwachting dat het herstel in de eikenbossen in de Eese zeer gering zou zijn, doordat een (te) grote humusvoorraad is achtergebleven, is uitgekomen. Door mineralisatie van deze humusvoorraad zijn de behandelde proefplots ook sterk verzuurd. Over het rendement van de maatregelen in de strooiselhuishouding (wanneer geplagd zou worden tot de minerale bodem) kan derhalve niets gezegd worden. Gezien de lage vitaliteit van de eiken in het gebied (vrijwel alle bomen in zowel controleplots als de behandelde plots zijn gekoloniseerd door de sombere honingzwam) is het twijfelachtig of grootschalige maatregelen in de strooiselhuishouding in de Eese wel tot substantieel herstel van de ectomycorrhizaflora kunnen leiden. Het is niet bekend of een dergelijk probleem zich ook zal voordoen indien op andere locaties in opstanden die vroeger behoorden tot het Dicrano-Quercetum, tot volledige verwijdering van het humusprofiel wordt overgegaan. De soortensamenstelling van de strooisel- en houtbewonende paddestoelen leverde geen steun voor de suggestie dat het humusprofiel zich in de richting van een morprofiel zou ontwikkelen.

Voor de eikenbossen in de Schoorlse duinen was voorspeld dat het aantonen van herstel door middel van verschraling (bladblazen) zeer lastig zou zijn vanwege de heterogeniteit van het terrein, en met name van de beide controleperken. Deze voorspelling is helaas uitgekomen. Hetzelfde geldt met betrekking tot de voorspelling van de ontwikkeling van het humusprofiel in de richting van een morprofiel.

## **3.4 Bodem en bodemvocht**

### **3.4.1 Achtergrond**

De monitoring van de chemische samenstelling van de bodem en het bodemvocht kan belangrijke informatie verschaffen over effecten van atmosferische depositie (verzuring, eutrofiëring) op de bodem en via de bodem op de bomen, de vegetatie en de mycoflora. Ook geeft het informatie over de algehele voedingstoestand (onafhankelijk van deze invloeden) van de bodem in de zin van absolute en relatieve beschikbaarheid van nutriënten. In het kader van dit project is verder de verandering in belangrijke chemische kenmerken van belang, als reactie op veranderende milieuv variabelen (op de controleplots) en vooral op de uitgevoerde maatregelen.

De samenstelling van vaste bodemfase, onder andere de totaal-gehalten aan nutriënten en de uitwisselbare gehalten aan kationen, geven een indicatie over de in een langere periode (veelal tientallen jaren) ontstane toestand (accumulatie-effect). Radicale maatregelen, bijvoorbeeld zoals uitgevoerd in dit project, kunnen echter op veel kortere termijn veranderingen veroorzaken. Het bodemvocht is een snel reagerend medium, dat sterker beïnvloed wordt door de belasting met zuur en stikstof dan de samenstelling van de vaste fase. Het is ook het medium dat het meest van belang is voor de vegetatie. Veranderingen in de belasting, veranderingen in de afbraaksnelheid en verwijdering van geaccumuleerde voorraden (zoals gerealiseerd in dit project) kunnen op korte termijn zorgen voor sterke veranderingen in de samenstelling van het bodemvocht.

Voor vaststelling van de mate van verzuring en de ontwikkeling daarvan zijn de volgende variabelen in de vaste fase gemonitord: de pH(KCl) en de bezetting van de kationuitwisselcomplex (CEC) met de verschillende basische en zure kationen. Voor het vaststellen van de mate van eutrofiëring en de ontwikkeling daarvan zijn in de vaste fase de volgende parameters gemonitord: de gehalten, ratio's en voorraden van de nutriënten koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P).

De pH en de concentraties en ratio's van Al, Ca, Mg en K zijn belangrijke indicatoren voor verzuring. De concentraties van  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  zijn belangrijke indicatoren voor eutrofiëring, en direct of indirect gekoppeld aan de atmosferische depositie (evenals  $\text{SO}_4$ ). De verhouding van deze ionen met de overige ionen (Ca, Mg etc.) en de concentraties van deze overige ionen zelf geven inzicht in de nutriëntenbeschikbaarheid voor bomen, vegetatie en mycoflora.

### 3.4.2 Belangrijkste ontwikkelingen in bodem en bodemvocht

De resultaten van de heropname van de chemische samenstelling van bodem en bodemvocht, in vergelijking tot de uitgangssituatie, kunnen als volgt samengevat worden:

Er lijken veel veranderingen te zijn opgetreden in de waarden van de meeste onder-zochte vaste-fase- en bodemvocht-variabelen. Het is echter slechts zeer beperkt mogelijk om deze veranderingen statistisch te toetsen (zie Tabel 3.5), omdat het aantal herhaling minimaal is (2), mede waardoor het effect van toevallige uitschieters erg groot is. De volgende conclusies zijn daarom gebaseerd op een combinatie van significante resultaten voor één of enkele locaties en niet significante, meer algemene trends:

- De hoeveelheid organische stof in de humuslaag lijkt iets te zijn afgenomen in de jaren na uitvoering van de maatregel 'dunnen-zonder-plaggen', en, met name op Terschelling, ook sterk ingeklonken. De maatregel 'plaggen' lijkt nauwelijks effect te hebben op het organischestofgehalte in de minerale bovengrond, vooral omdat dat meestal al zeer laag was. Vooral op de locatie De Eese is al weer sprake van een duidelijk strooisel-ophoping, gecombineerd met een sterk vergrassing.
- De verwijdering van een deel van de humuslaag op de locatie Schoorl is duidelijk merkbaar in de afname van de voorraden N en P, maar heeft nauwelijks effect gehad op de beschikbaarheid van deze elementen. Op de locatie Terschelling lijkt 'dunnen-zonder-plaggen' geleid te hebben tot een toename van het N-gehalte in de strooisellaag (maar een afname in de voorraad) en een afname in de minerale bovengrond. Plaggen heeft in het algemeen geleid tot een geringe afname van het N-gehalte in de minerale bovengrond.
- De effecten van de uitgevoerde maatregelen op de bezetting van het adsorptiecomplex is gering. Alleen de H-bezetting in de minerale bovengrond lijkt iets toe te nemen als gevolg van het plaggen. De pH(KCl) is meestal licht gestegen na het plaggen, maar de pH van het bodemvocht is gemiddeld ca. 1 eenheid (meer) gestegen dan in de controle-plots. Hierbij spelen vermoedelijk de afwezigheid van de strooisellaag en de verminderde droge depositie en interceptieverdamping een rol.
- Het lijkt erop dat de chemische samenstelling van het bodemvocht op de meeste geplagde plots al weer teruggekeerd is naar een normaal niveau. De grootste uitspoeling van nutriënten heeft vermoedelijk plaatsgehad in de eerste maanden en jaren na uitvoering van de maatregelen. Ook sterke veranderingen in de samenstelling van het vocht die direct het verschralen waren geconstateerd, zijn al weer voor een belangrijk deel verdwenen. Op de gedunde-maar-niet-geplagde plots op Terschelling lijkt echter nog steeds sprake van een verhoogde afbraak

(verhoogde  $\text{NO}_3^-$ - en  $\text{NH}_4^-$ -concentraties) bij een verminderde depositie en interceptieevdamping (lagere concentratie van de overige elementen).

### **3.4.3 Rendement van de maatregelen**

De belangrijkste veranderingen in het bodemvocht, als gevolg van de versnelde omzetting van organische stof lijken zich voorgedaan te hebben in de eerste maanden (en jaren) na uitvoering van de maatregelen. Momenteel lijkt alleen nog sprake van een licht verhoogde afbraak, met name op de plots waar een deel van de strooisellaag is achtergebleven. De duidelijkst meetbare effecten op dit moment zijn gevonden voor de humusvoorraad en de vochthuishouding op Terschelling en voor de pH in het bodemvocht op alle geplagde plots.

Op de geplagde plots in de dennenbossen lijken de omstandigheden ten minste voor enige decennia gunstig genoeg voor een voedselarm vegetatietype, door een slechts geringe strooiselophoping en een iets afgenomen voedselrijkdom van de minerale bovengrond. De uitgevoerde maatregelen in de eikenbossen lijken maar ten dele effect gehad te hebben. Eventueel zijn hier aanvullende verschrallende maatregelen noodzakelijk om het gewenste effect te bereiken. In nieuw uit te voeren projecten dient een ingrijpendere verschralling te worden overwogen, meer conform de uitgevoerde maatregel in de dennenbossen.

Tabel 3.5: Overzicht van de significante veranderingen in de bodem(vocht)variabelen (vergeleken met de verandering op de controleplots) als functie van de behandeling, de laag en de locatie. Legenda: positief getal = significant (sterkere) toename (of geringere afname); negatief getal = significant (sterkere) afname (of geringere toename), vet getal = zeer significant verschil; ° = geen significante toe- of afname. Om het verschil met de controleplots te accentueren en in één, makkelijk te interpreteren getal uit te drukken, zijn de veranderingen op de behandelde plots gecorrigeerd voor de verandering op de controleplots. Eenheid: verandering in percentage van de gemiddelde waarde per lokatie bij de uitgangssituatie, tenzij anders vermeld.

Variabele	Eenheid	Dunnen zonder pluggen				Dunnen mét pluggen					Verschralen		
		Humuslaag		Laag 0-10cm		Laag 0-10cm					Humuslaag	0-10cm	
		TER	KWZ	TER	KWZ	TER	HHZ	KWZ	LDD	EES	SCH94 / 98	SCH	
OS-gehalte	g.kg <sup>-1</sup>	<b>-148</b> <sup>1)</sup>	°	1,3	°	-2,0	°	°	°	°	+114	°	-0.6
Humusdikte	cm	°	°								<b>-8.0</b>	-8.9	
Humusvoorraad	ton.ha <sup>-1</sup>	°	°								<b>-84</b>	-103	
N-geh. (in OS)		°	°	-18	°	°	-34	°	°	°	-11	°	°
C/N-ratio		°	°	+28	°	°	+52	°	°	°	+13	°	°
N-voorraad	ton.ha <sup>-1</sup>	°	°	-0.05	°	°	°	°	°	°	-1.6	-1.6	°
P-gehalte		°	°	°	-13	°	°	-20	°	°	-14	°	°
H-bezetting	%CEC	°	°	°	°	°	°	°	°	°	+12	°	°
Al-bezetting	%CEC	°	°	+8	°	-6	°	°	°	°	°	°	°
Basenbezetting	%CEC	°	°	°	°	°	°	°	°	°	-11	°	°
pH(KCl)	pH	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
pH (bod.vocht)	pH	°	+0,4	°	°	°	°	+0,9	°	°	°	°	°
Cl		-69	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>-23</b>	°	°
SO <sub>4</sub>		-41	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>-24</b>	°	°
NO <sub>3</sub>		°	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>+56</b>	°	°
NH <sub>4</sub>		-86	°	+32	°	°	°	°	°	°	<b>+178</b>	°	°
Ca		°	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>-48</b>	°	°
Mg		-61	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>-37</b>	°	°
K		-62	°	°	°	°	°	°	°	°	-5	°	°
Al		°	°	°	°	°	°	°	°	°	+15	°	°
Al/Ca		°	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>+123</b>	°	°
Al/(Ca+Mg+K+Na)		+75	°	°	°	°	°	-75	°	°	+50	°	°
NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub>		-93	°	°	°	°	°	+159	°	°	<b>+77</b>	°	°
NH <sub>4</sub> /Ca		-71	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>+433</b>	°	°
NH <sub>4</sub> /Mg		°	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>+337</b>	°	+42
NH <sub>4</sub> /K		°	°	°	°	°	°	°	°	°	<b>+192</b>	°	°

<sup>1)</sup> Resp. direct na uitvoering van de maatregel (1994) en bij de heropname (1998).





Foto 1: Nieuw ontstane korstmossen (o.a. *Cladonia* spp) in een gedund en geplagd perk op de locatie Terschelling (augustus 1998, foto Leo Goudzwaard).



Foto 2: Het gedunde en geplagde perk Loonsche en Drunense Duinen (augustus 97: foto Leo Goudzwaard).

## 4 GEMEENSCHAPPELIJKE TENDENZEN IN DE DEEL-ONDERZOEKEN

### 4.1 Gemeenschappelijke tendenzen in de disciplines

#### 4.1.1 Methode

In deze integrerende analyse is getracht de veranderingen van de verschillende componenten van het bosecosysteem (bodem, vegetatie, bosstructuur en mycoflora) in hun samenhang te beschouwen. Hiervoor is de toestand van het ecosysteem (in de vorm van kenmerken van de componenten) op drie tijdstippen gekarakteriseerd: vlak voor het uitvoeren van de maatregelen in 1993, vlak na het uitvoeren van de maatregelen in 1993/1994 en bij de heropname in 1998. Vervolgens zijn zowel de ontwikkelingen in de tijd als de relaties tussen de componenten geanalyseerd.

Voor de analyse stonden de volgende data ter beschikking:

**Bodem:** Gebruikt zijn de gegevens van de vaste en de vloeibare fase van zowel minerale laag als humuslaag (de laatste alleen vóór het uitvoeren van de behandelingen in 1993). In de vaste fase zijn N en P uitgedrukt als relatieve concentratie ten opzicht van C, en uitwisselbare kationen als relatieve concentratie ten opzicht van de CEC. In de vloeibare fase zijn alle ionen uitgedrukt als relatieve concentratie ten opzicht van Cl. Cl en CEC zijn als absolute waarden opgenomen. Alle zo verkregen variabelen (behalve pH) zijn LN(X+1) getransformeerd. De resulterende variabelen zijn gecontroleerd op normaliteit. Om de normaliteit te verbeteren zijn alle Mn-concentraties (die ook na logaritmeren nog zeer scheef verdeeld waren) verwijderd, zijn enkele uitschieters vervangen door de een-na-hoogste waarde plus een kleine bijtelling. Dit werd gedaan voor PO<sub>4</sub> in het bodemvocht van de minerale laag en de humuslaag, en voor Al in het bodemvocht van de humuslaag.

**Vegetatie:** De oorspronkelijke bedekkingscodes zijn omgezet in percentages en vervolgens LN(X+1) getransformeerd. Vegetatiekundige gegevens over de boomsoorten zijn in dit deel van de analyse niet meegenomen omdat deze ook voorkomen in de bosstructuurgegevens.

**Bosstructuur:** Gebruikt zijn de kenmerken stamtal, grondvlak, kroonsluiting, vitaliteit. Stamtal en grondvlak zijn berekend voor de hoofdboomsoort, en voor alle andere boomsoorten ('nevenboomsoort') samen (als hele opstand minus hoofdboomsoort). Deze gegevens zijn ongetransformeerd gebruikt.

**Mycoflora:** De aantallen vruchtlichamen zijn LN(X+1) getransformeerd. Omdat de dennenopstanden in 1993/1994 niet zijn geïnventariseerd zijn deze gegevens onvolledig en was het niet mogelijk de mycoflora in de totaal-analyse te betrekken.

Getracht is de toestand van het systeem op de drie genoemde tijdstippen te karakteriseren. Door het ontbreken van gegevens was het echter niet mogelijk dit principe consequent door te voeren: in de geplagde plots bijvoorbeeld is de organische bodemlaag in zijn geheel afgevoerd, waardoor er aan deze laag geen waarnemingen zijn in 1993/1994 na het uitvoeren van de maatregelen, en in 1998 (de her-opname). Ook is de mycoflora van de dennenopstanden in 1993/1994 niet opgenomen. Het ontbreken van gegevens kon voor een deel worden opgelost door het doen van enkele aannamen:

**Bodem:** Aangenomen is dat de eigenschappen van de minerale laag voor (1993) en direct na de behandeling (1993/94) gelijk zijn. De humuslaag is in de behandelde plots zowel vlak na als vijf jaar na de behandeling niet gemeten en is daarom bij de tijdreeks-analyse buiten beschouwing gelaten.

**Vegetatie:** Voor de niet-geplagde plots is aangenomen dat de vegetatie vlak voor (1993) en direct na (1993/94) dezelfde samenstelling kent. Voor de geplagde plots is aangenomen dat er direct na de behandeling sprake was van het volledig ontbreken van vegetatie.

**Bosstructuur:** Hiervan zijn op alle momenten alle gegevens beschikbaar.

**Mycoflora:** Deze gegevens zijn dermate onvolledig dat reconstructie weinig zinvol is: de analyse heeft alleen betrekking op de werkelijk verzamelde gegevens.

De gegevensanalyse werd uitgevoerd met het programma CANOCO (ter Braak & Smilauer, 1998). Voor- en nabewerking van de gegevens vond plaats met CEDIT (ter Braak & Smilauer, 1998). Plot TER3 (alleen gedund) is ook in de analyse betrokken, daarom zijn er in totaal 27 plots op 6 locaties. Bij de analyse zijn 'dunnen' en 'plaggen' als aparte behandelingen opgevat, hoewel deze sterk gestrengeld zijn (voor de eikenopstanden zelfs volledig). Het contrast den vs. eik is ook als een behandeling opgevat.

Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van multivariate statistiek (Principale Componenten Analyse PCA en Redundantie Analyse RDA: Jongman et al., 1995). Deze technieken zijn vooral geschikt om verbanden in systemen die gekenmerkt worden door een groot aantal variabelen op te sporen. De resultaten worden weergegeven in zogenaamde 'biplots' die globaal de veranderingen in de tijd en de effecten van de behandelingen weergeven.

Er zijn drie soorten analyses uitgevoerd:

- PCA op tijdreeksen met twee (bodem, mycoflora) of drie (vegetatie, bosstructuur) opname-momenten;
- RDA op de vegetatie in 1993 (voor de behandeling), met de bodem en bosstructuur van dat moment als verklarende variabelen;
- RDA op de verandering in vegetatie per plot met de behandelingen als verklarende variabelen.

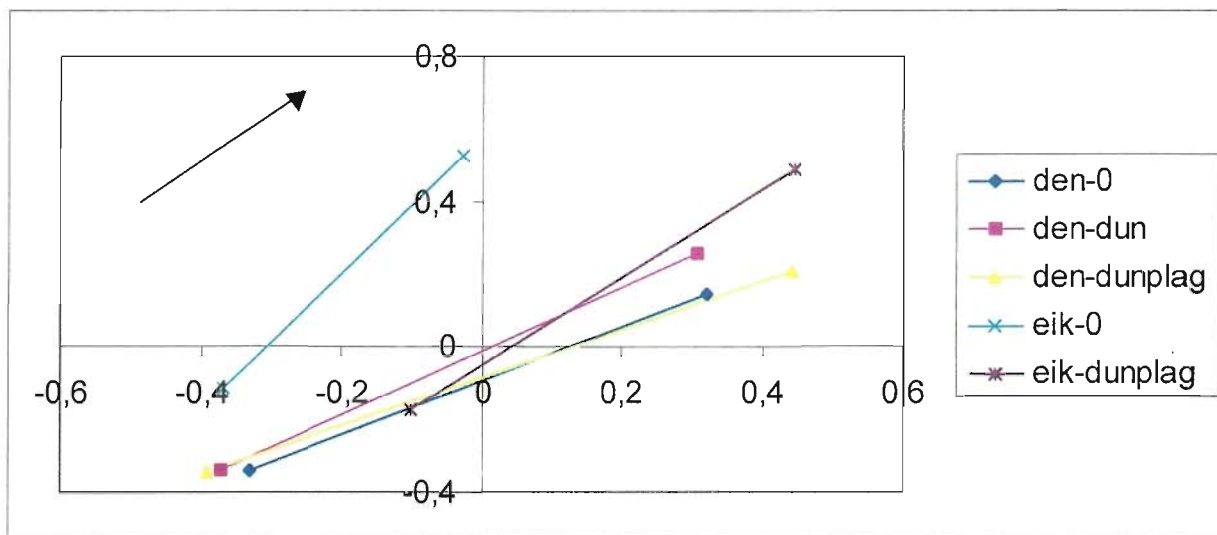
Doordat het type gegevens per ecosysteem-component sterk van aard verschilt was een totaal-analyse (één PCA op alle kenmerken) niet mogelijk. Zo moeten bijvoorbeeld de absolute waarden en de nulwaarden voor bodem en vegetatie geheel verschillende geïnterpreteerd worden: voor de vegetatie heeft nul een bijzondere betekenis, n.l. 'soort komt niet voor', terwijl in de bodemgegevens nulwaarden feitelijk betekenen 'waarde onder de detectiegrens'.

Alle resultaten zijn weergegeven in zogenaamde biplots (zie Bijlage). Hierbij worden de belangrijkste verschillen tussen de OBN-plots weergegeven langs de eerste (horizontale) as, en minder belangrijke langs de tweede (verticale) as. De eigenschappen van een plot zijn vertaald in scores die vervolgens bepalen waar in de grafiek het plot gesitueerd moet worden in 1993 (voor de behandelingen), in 1993/94 (na de behandeling) en in 1998 (bij de heropname): al naar gelang het aantal opname-momenten in de tijd ontstaan lijnen, die de 'verplaatsing' van een plot in de tijd in een virtuele ruimte (gedefinieerd door de plotkenmerken) beschrijven.

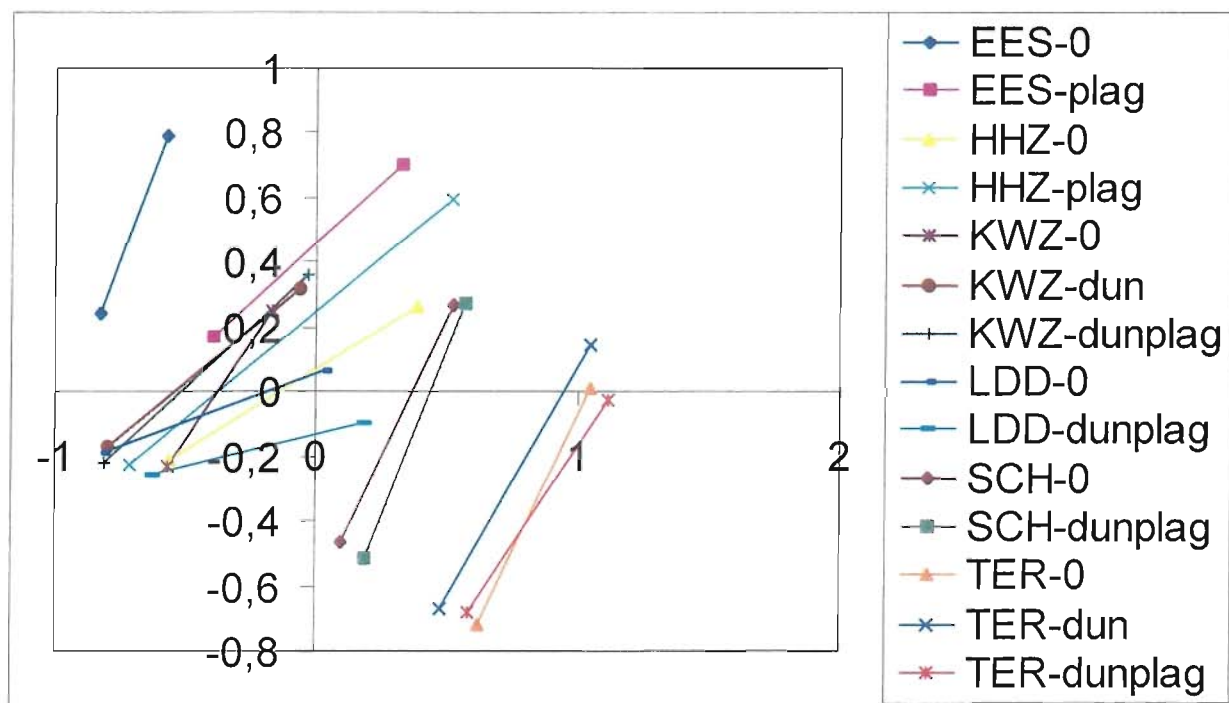
#### 4.1.2 Resultaten tijdreeksen

##### **Bodem**

Figuur 4.1a geeft de scores weer voor twee tijdstippen (1993 en 1998) als gemiddelde per behandeling ('controle=0', 'dunnen', 'plaggen', en 'eik of den'). In figuur 4.1b zijn de scores per opstand weergegeven. In bijlage I (fig. I.1) staan de bijbehorende species (=soorten) scores vermeld. De belangrijkste bron van variatie blijken de verschillen tussen de locaties te zijn (in figuur 4.1 zichtbaar als een beweging parallel aan de horizontale as). Verder zijn in alle plots ongeveer dezelfde veranderingen opgetreden tussen 1993 en 1998, onafhankelijk van de behandelingen (fig.4.1: zelfde richting van de lijnen). De opstanden TER en SCH kenmerken zich vooral door hoge Cl-gehaltes in bodemvocht en hoge Mg-gehaltes in de vaste fase (fig. 4.1b), hetgeen te verklaren is uit de ligging nabij de kust. De verandering tussen 1993 en 1998 betreft vooral een afname van de meeste ionenconcentraties in de vloeibare fase (relatief t.o.v. Cl) en een stijging van de pH. Waarschijnlijk is dit te wijten aan weers- of seizoensinvloeden. Men dient zich wel te realiseren dat deze analyse alleen betrekking heeft op de minerale laag: het meest ingrijpende effect van de behandelingen op de bodem (het verwijderen van de organische laag) komt in deze analyse niet tot uiting.



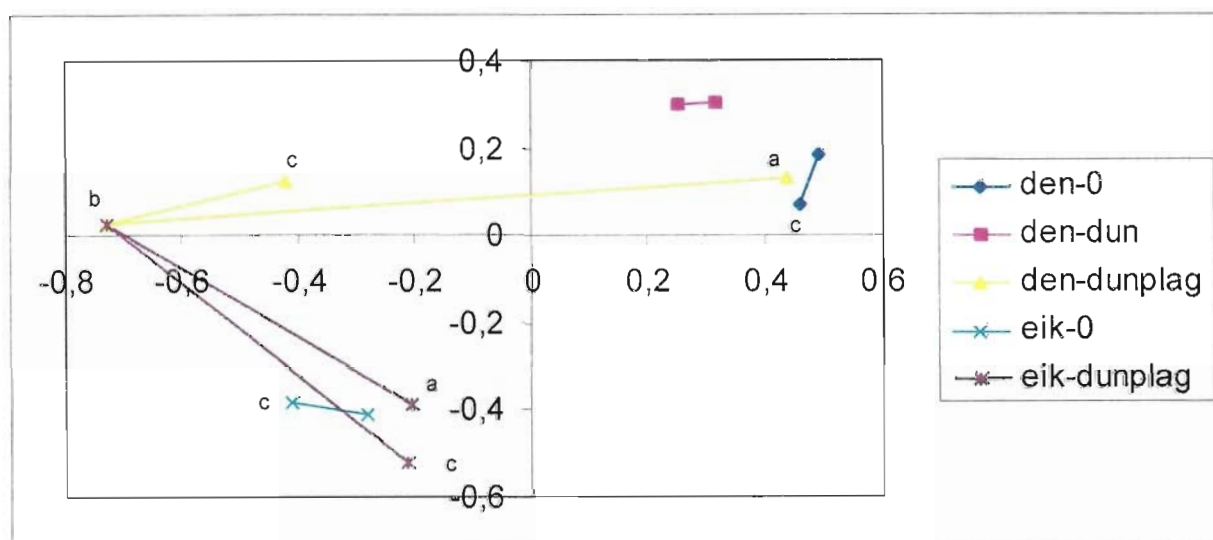
Figuur 4.1a: PCA op de bodemgegevens: sample scores als gemiddelde per behandeling. De pijl geeft de globale verplaatsing tussen 1993 (voor) en 1998 weer (basis = 1993, punt = 1998). Eigenwaarden: 0.365, 0.157 en 0.118 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.



Figuur 4.1b: PCA op bodemgegevens: sample scores als gemiddelde per opstand. Verklaring als in figuur 4.1a.

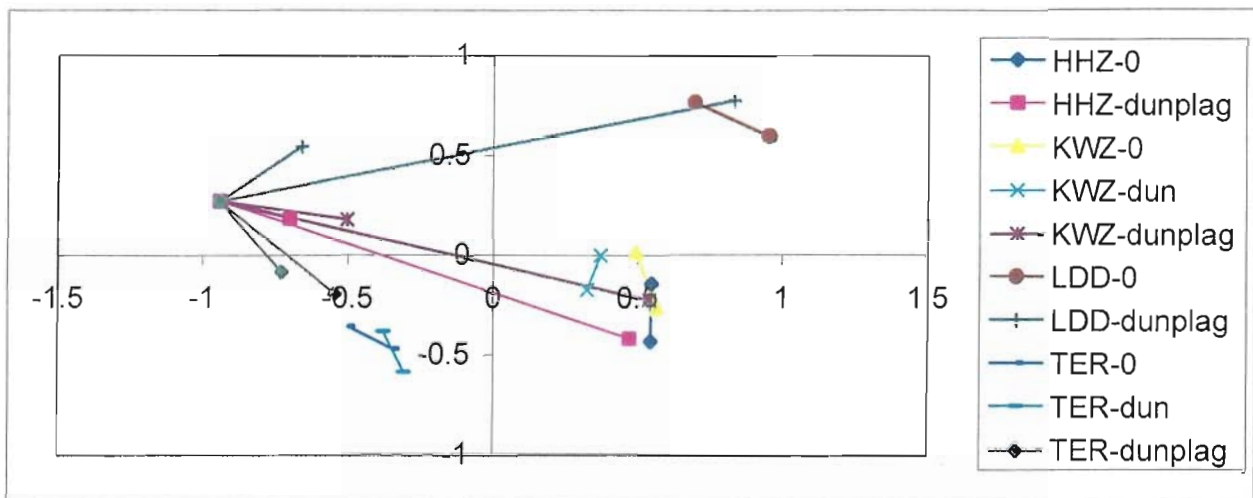
## Vegetatie

Figuur 4.2 geeft de sample scores voor de drie tijdstippen; de species scores staan in figuur 1.2 (bijlage). Globaal genomen weerspiegelt de eerste (horizontale) as het effect van afplaggen, de twee (verticale) as het contrast den versus eik. De behandelingen blijken ten aanzien van de vegetatie wel een belangrijke bron van variatie te zijn. Alle geplagde plots komen in 1993 na de behandeling samen in één punt ('b'): dit representeert de veronderstelde kale bodem als resultaat van de behandeling. Tussen 1993 en 1998 keren alle plots echter weer terug in de richting van hun positie van voor het uitvoeren van de behandelingen. Voor de eikenopstanden is deze terugkeer vrijwel volledig, voor de dennenopstanden tot ca. 1/3. Daarentegen zijn de controleplots ('0') en de alleen gedunde plots qua vegetatie weinig veranderd. In fig.1.2 weerspiegelt de horizontale as het effect van afplaggen: dit verklaart waarom er geen soorten zijn met een lage score op deze as. Langs de tweede as hebben soorten van open, heide-achtige vegetatie een hoge score (o.a. de *Cladonia's*, *Dicranum scoparium*, *Galium saxatile*, etc.), en 'echte' bossoorten een lage score (bijvoorbeeld *Lonicera periclymenum*, *Leucobryum glaucum*, zeer veel juveniele boomsoorten).



Figuur 4.2: PCA op de vegetatiegegevens (sample scores): a = voor de behandeling, b = na de behandeling, c = in 1998. De waarden zijn gemiddelden per behandeling. Eigenwaarden: 0.432, 0.168 en 0.106 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.

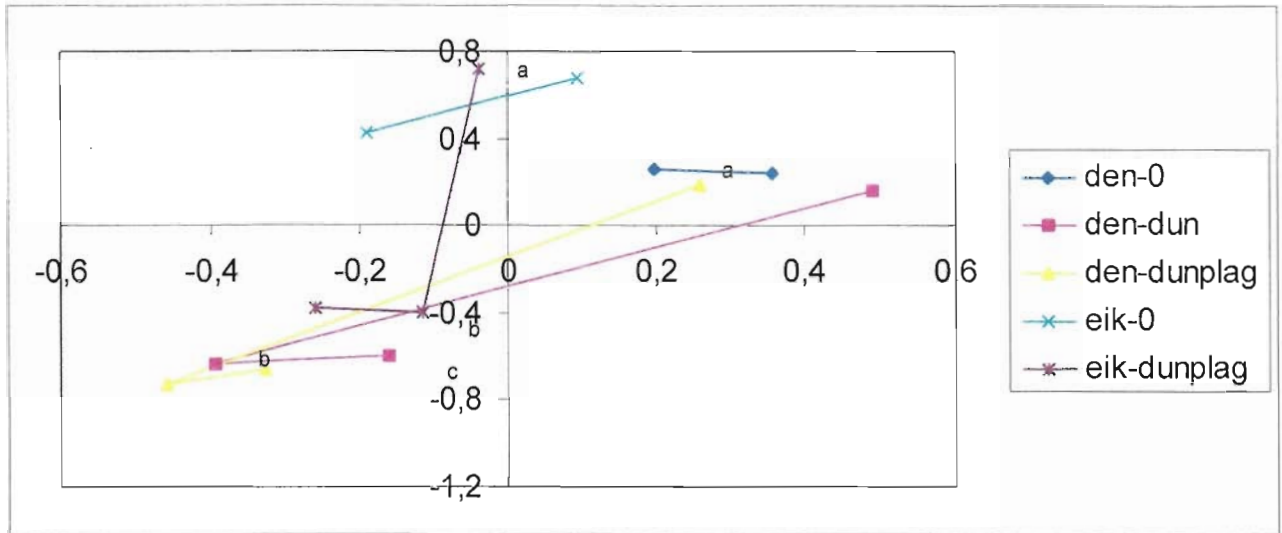
Voor de vegetatie is aanvullend een analyse gedaan op alleen de dennenopstanden omdat de maatregelen hier het meest veelbelovend zijn. In figuren 4.3 (sample scores) en 1.3 (species scores) wordt langs de eerste (horizontale) as het effect van afplaggen weergegeven. De tweede as geeft het verschil weer tussen de plots met alleen kruiden, mossen en *Cladonia's*, en de plots met veel struiken en juveniele bomen. Het blijkt dat in alle opstanden na het uitvoeren van de behandelingen een ontwikkeling heeft plaatsgevonden in de richting van de vegetatie die aanwezig was vóór het uitvoeren van de behandelingen. In de opstand op Terschelling, die nog een betrekkelijk open vegetatie heeft, is het effect van de behandelingen het kleinst (fig. 4.3). Dit is verklaarbaar uit het feit dat deze plots al vóór de behandelingen het meest leken op de 'kale' plots vlak na de behandelingen. De plots op Terschelling keerden daardoor in de periode tot 1998 reeds grotendeels terug naar hun uitgangssituatie. In de andere dennenopstanden was in 1998 het verschil tussen de behandelde en de onbehandelde plots veel groter. De verandering op de behandelde plots was echter in absolute zin in alle opstanden ongeveer even groot. De verschillen tussen de onbehandelde plots en de alleen gedunde plot TER3 waren op beide tijdstippen gering. Bij een bezoek in 2000 bleek echter dat zich in TER3 veelbelovende ontwikkelingen hebben voorgedaan, onder andere vestiging op grote schaal van *Calluna vulgaris*, en beperkte vestiging van *Goodyera repens*.



Figuur 4.3: PCA op de vegetatiegegevens van de dennenopstanden (sample scores): a = voor de behandeling, b = na de behandeling, c = in 1998. De waarden zijn gemiddelden per opstand per behandeling. Eigenwaarden: 0.432, 0.168 en 0.106 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.

### Bosstructuur

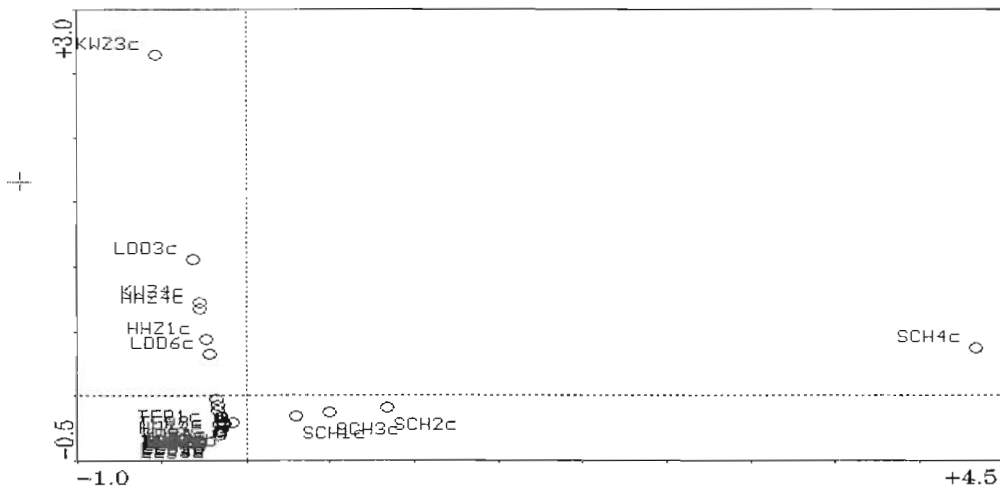
Figuur 4.4 geeft de sample scores voor de drie tijdstippen, figuur 1.4 de species scores. De behandelingen blijken een sterk effect te hebben, hetgeen begrijpelijk is omdat er deels direct op de gemeten variabelen is ingegrepen. Evenals bij de vegetatie vindt na de behandelingen weer een verschuiving in de richting van de uitgangssituatie plaats, althans voor de dennenopstanden. Voor de eiken is dit niet het geval, waarschijnlijk omdat hier selectief de nevenboomsoorten verwijderd zijn. Voor de dennenopstanden hebben de behandelingen een positief effect gehad op de vitaliteit. Het verschil tussen de wel en de niet geplagde plots is gering.



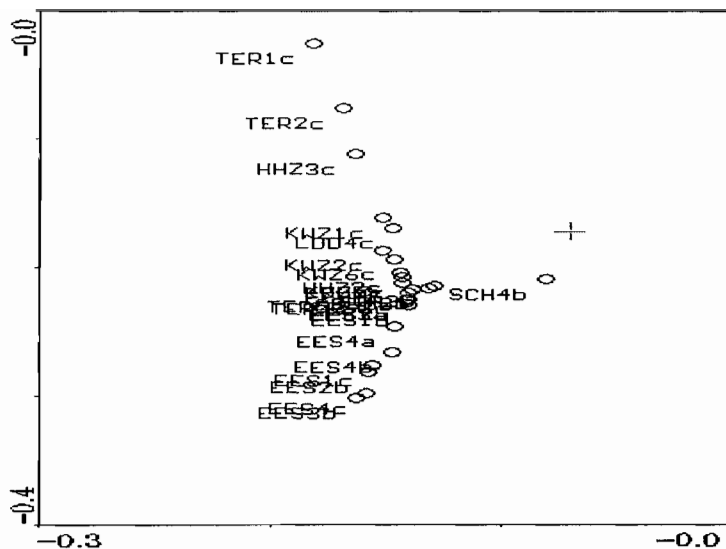
Figuur 4.4: PCA op de opstandsgegevens (sample scores): a = voor de behandeling, b = na de behandeling, c = in 1998. De waarden zijn gemiddelden per behandeling. Eigenwaarden: 0.438, 0.331 en 0.148 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.

### Mycoflora

Figuur 4.5ab geeft de sample scores per plot, figuur 1.5 de species scores. Deze resultaten worden zeer sterk gedomineerd door twee plots: SCH4 (onbehandeld) in 1998, en KWZ3 (geplagd) in 1998, die respectievelijk de eerste (horizontale) en tweede (verticale) as volledig bepalen. Door het ontbreken van waarnemingen in de dennenopstanden in 1993 zijn slechts zeer voorlopige conclusies mogelijk. Afgezien van de sterk afwijkende plots SCH4, lijkt het of er een effect is van plaggen, dat met name zeer sterk is in KWZ4.



Figuur 4.5a: PCA op de mycofloragegevens. De waarden zijn gemiddelden per behandeling. Eigenwaarden: 0.554, 0.287, 0.054 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.



Figuur 4.5b: Uitvergroting van het linksonder-kwadrant van figuur 4.5a.

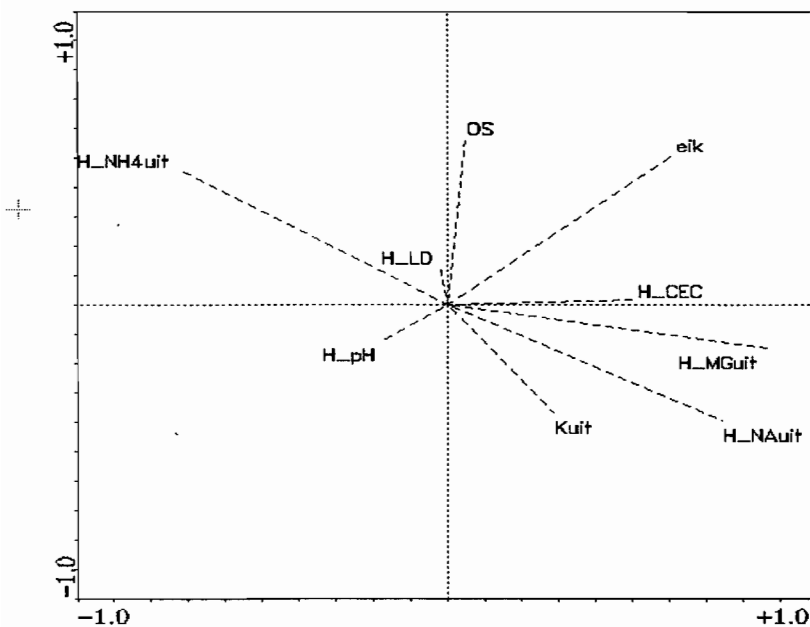
#### 4.1.3 Relatie vegetatie met omgevingsfactoren vóór de behandelingen

Tabel 4.1 geeft het resultaat van een voorwaartse selectie van de 20 belangrijkste variabelen van in totaal 57 variabelen (kenmerken van humuslaag, minerale laag en bosstructuur). Voor de verdere analyse is gebruik gemaakt van de negen variabelen waarvan het effect significant was ( $p < 0.05$ ); deze variabelen verklaren samen bijna 80% van de totale variantie. Het resultaat van deze analyse wordt grafisch weergegeven in de figuren 4.6a (omgevingsvariabelen), 4.6b (plots) en 1.6 (soorten). Het blijkt dat vooral de kenmerken van de humuslaag ('H\_') sterk bepalend zijn voor de vegetatie, maar ook het contrast den/eik ('eik') verklaart een groot deel van de variantie. Uitwisselbaar Mg in de humuslaag ('H\_MGuit') is de variabele die de meeste variantie verklaart. Soorten van open bossen (de soorten waarvan een toename beoogd werd met de maatregelen, zoals *Cladonia* spp.) zijn negatief gecorreleerd met de dikte van de humuslaag ('H\_LD'), uitwisselbaar  $\text{NH}_4$  in de humuslaag ('H\_NH4uit') en de hoeveelheid organische stof in de minerale laag ('OS'). 'Ruigte-soorten' (*Dryopteris* spp., *Galeopsis tetrahit*) zijn positief gecorreleerd met  $\text{NH}_4$  in de humuslaag (deze is vooral in de LDD plots hoog, hetgeen wellicht ook samenhangt met de betere vochtbeschikbaarheid hier). De meeste kenmerken van de minerale laag hebben geen significant effect op de vegetatie (alleen het effect van uitwisselbaar K ('Kuit') is significant). Ook het effect van kroonsluiting is niet significant, wellicht als gevolg van het feit dat de verschillen hierin voor het uitvoeren van de behandelingen gering waren. Deze resultaten komen sterk overeen met die van een vergelijkbare analyse op de 200 plots van het vitaliteitsmeetnet (van Dobben et al., in prep.).

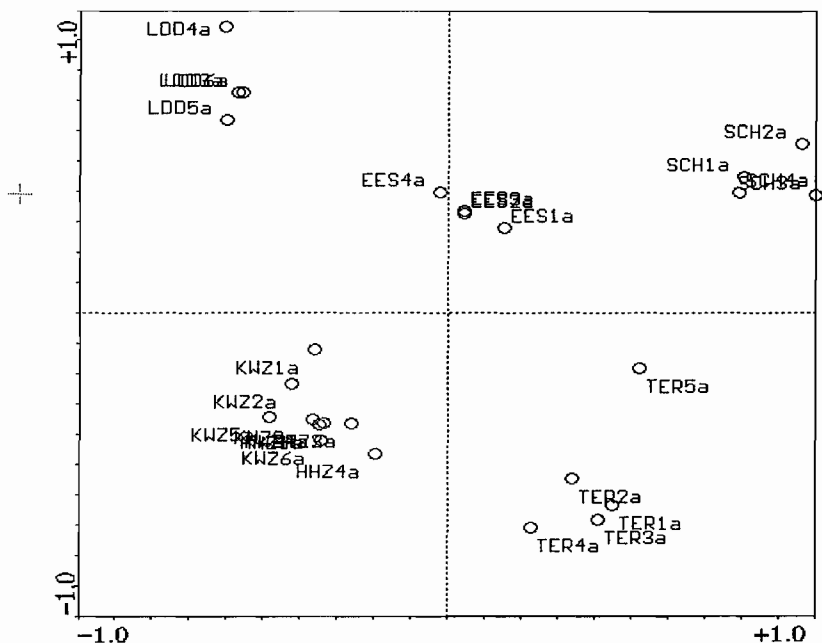


Tabel 4.1: RDA op vegetatiegegevens met bodem en bosstructuur als verklarende variabelen: conditioneel effect van de meest significante variabelen. frVV = fractie verklaarde variantie, VVcum = verklaarde variantie cumulatief, P = overschrijdingskans bepaald met MC toets na 199 permutaties. De schuingedrukte variabelen zijn gebruikt voor het maken van de biplots. Voor verklaring van de afkortingen zie tekst en figuur 1.1.

Variabele	frVV	VVcum	P
<i>H_MGuit</i>	0,27	0,27	0,005
<i>eik</i>	0,15	0,42	0,005
<i>H_NAuit</i>	0,11	0,53	0,005
<i>Kuit</i>	0,09	0,62	0,005
<i>H_LD</i>	0,04	0,66	0,010
<i>H_pH</i>	0,04	0,70	0,005
<i>H_NH4uit</i>	0,03	0,73	0,025
<i>H_CEC</i>	0,04	0,77	0,005
<i>OS</i>	0,02	0,79	0,030
<i>N_C</i>	0,02	0,81	0,135
<i>cPO4</i>	0,01	0,82	0,165
<i>H_Kuit</i>	0,02	0,84	0,130
<i>H_cNO3</i>	0,02	0,86	0,095
<i>FEuit</i>	0,01	0,87	0,220
<i>cSO4</i>	0,02	0,89	0,230
<i>CAuit</i>	0,01	0,90	0,315
<i>pDOC</i>	0,01	0,91	0,135
<i>cAl</i>	0,02	0,93	0,170
<i>cMg</i>	0,01	0,94	0,285
<i>cNa</i>	0,01	0,95	0,260



Figuur 4.6a: RDA op vegetatiegegevens: 'biplot scores' in een analyse met de negen meest significante verklarende variabelen. LD = dikte van de humuslaag, H\_ = in humuslaag, OS = organische stof in de minerale laag. Voor verdere verklaring zie figuur 1.1. Eigenwaarden: 0.342, 0.183, 0.123 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.



Figuur 4.6b: RDA op vegetatiegegevens: sample scores. Alle individuele plots zijn weergegeven (de toevoeging 'a' betekent: voorafgaand aan de behandelingen).

#### 4.1.4 Veranderingen in de vegetatie in relatie tot de behandelingen

Tabel 4.2 geeft het resultaat van een voorwaartse selectie met als verklarende variabelen de contrasten den/eik, wel/niet geplagd, wel/niet gedund, en alle interacties. Bostype (den/eik) en dunnen verklaren elk ongeveer 10% van de variantie, en de interactie van bostype en dunnen nog ongeveer 5%. Andere effecten zijn niet significant. Dit betekent niet dat plaggen geen effect heeft. Omdat er iets meer gedunde dan geplagde plots zijn verklaart de factor dunnen een iets groter deel van de variantie. In een voorwaartse selecties is vervolgens de variantie die additioneel door plaggen wordt verklaard gering omdat deze factor sterk met dunnen is gestrengeld. In feite kan men in deze analyse het effect van dunnen dus ook opvatten als het effect van plaggen (zie ook het hoofdstuk vegetatie). Men dient zich te realiseren dat het in deze analyse gaat om de verschillen, en door het logaritmeren zijn dit feitelijk procentuele verschillen in bedekkingsgraad. Het feit dat bostype de meeste variantie verklaart hoeft niet te betekenen dat de verschillen tussen de bostypen (onafhankelijk van de behandelingen) groter zijn geworden. Eigenlijk is dit een artefact dat veroorzaakt wordt door de floristische verschillen tussen dennen- en eikenopstanden in het algemeen. Soorten die onder een van beide hoofdboomsoorten niet voorkomen scoren voor het aspect 'verandering' altijd '0', soorten die wel voorkomen zullen vaak 'niet-0' scoren omdat er voor de meeste soorten wel kleine veranderingen zijn opgetreden. Dit maakt dat het floristische verschil ook in de veranderings-gegevens sterk tot uiting komt. Figuur 4.7 geeft de gemiddelde sample scores per combinatie van bostype en behandeling, figuur 1.7 de bijbehorende species scores. Er blijkt een effect van dunnen te zijn dat gemeenschappelijk is tussen de beide bostypen (weerspiegeld langs de verticale as), en een effect dat eigen is aan elk afzonderlijk bostype (tot uiting komend in het significante effect van de interactieterm, en in Figuur 4.7 in het niet-parallel lopen en niet even lang zijn van beide pijlen). Het gemeenschappelijke effect is deels een toename van juveniele bomen en struiken in de geplagde plots (de soortnamen eindigend op -3 in Figuur 1.7), deels een toename van een klein aantal soorten van vroege succesiestadia in de geplagde plots (o.a. *Carex arenaria*, *Cladonia sp.*, *Calluna vulgaris*; in het algemeen: de soorten met een score >0 op de verticale as en een score ~0 op de horizontale as). Het effect dat eigen is aan elk bostype laat zich als volgt beschrijven: in de dennenopstanden hebben de behandelingen geleid tot

een toename van een klein aantal soorten van vroege successiestadia (*Corynephorus canescens*, *Festuca ovina*, *Campylopus* spp.; de soorten met een score >0 op de verticale as en een score <0 op de horizontale as), terwijl in de eikenopstanden de behandelingen hebben geleid tot een toename van een groot aantal soorten, echter niet die van vroege successiestadia maar vooral juveniele bomen en struiken (de '-3' soorten; met een score >0 op beide assen).

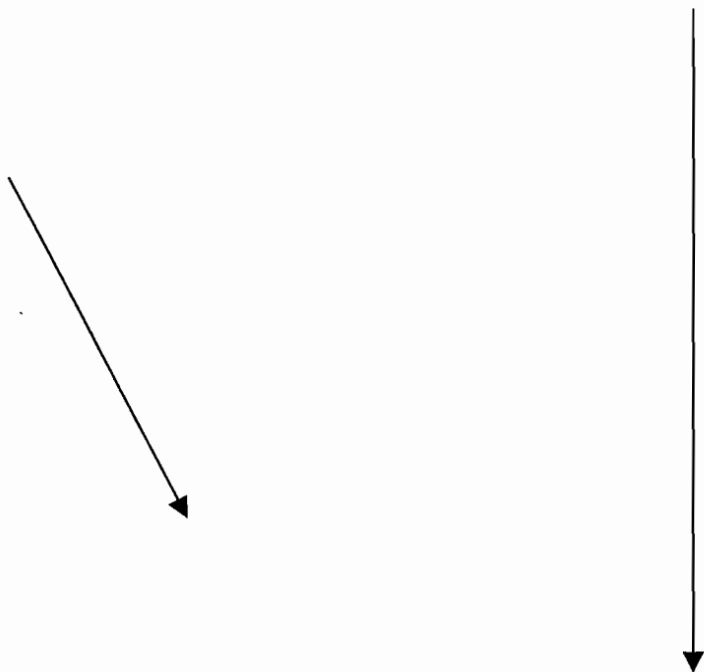
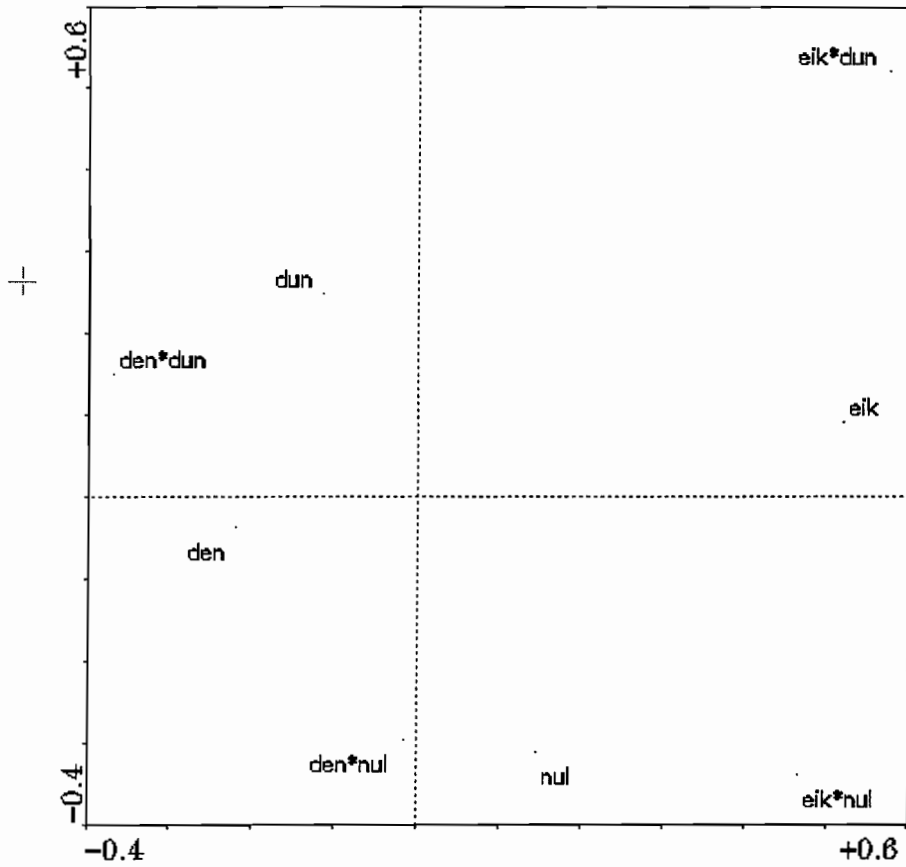
Tabel 4.2: RDA op de verandering in vegetatie per plot met de behandelingen als verklarende variabelen: frVV = fractie verklaarde variantie, Vvcum = verklaarde variantie cumulatief, P = overschrijdingskans bepaald met MC toets na 199 permutaties.

a: marginale effecten

Behandeling	FrVV
Eik	0,12
eik*dunnen	0,11
Dunnen	0,10
Plaggen	0,08
Plaggen*dunnen	0,08

b: conditionele effecten

behandeling	FrVV	Vvcum	P
eik	0,12	0,12	0,005
dunnen	0,10	0,22	0,005
eik*dunnen	0,05	0,27	0,055
plaggen	0,03	0,30	0,445



Figuur 4.7: RDA op de verandering in vegetatie per plot: sample scores als gemiddeld per behandeling. De pijlen verbinden de onbehandelde (basis) met de gedunde plots (punt). Eigenwaarden: 0.1364, 0.0926 en 0.0368 voor de eerste (horizontale), tweede (verticale) en derde (niet getekende) as.

## 4.2 Vergelijking van verwachte en vastgestelde ontwikkelingen

De behandelingen hebben vrijwel geen effect gehad op de chemie van de minerale ondergrond. Voor de vegetatie lijkt de minerale ondergrond echter ook nauwelijks van belang te zijn. Uit de analyse van de uitgangssituatie blijkt dat de samenstelling van de vegetatie voor een belangrijk deel wordt bepaald door de chemische samenstelling van de humuslaag. Dit bevestigt de veronderstelling dat in de onderzochte arme systemen de vegetatie zijn mineralen grotendeels betreft uit de humuslaag. Veranderingen in de chemie van de humuslaag konden in de tijdreeks-analyse echter niet worden meegenomen, omdat deze laag na het afplaggen ontbreekt en in 1998 nog niet voldoende was opgebouwd om een bemonstering mogelijk te maken. Ook de boomlaag betreft waarschijnlijk zijn mineralen grotendeels uit de humuslaag. Dit zou kunnen leiden tot een afname in groei en vitaliteit van de boomlaag in de geplagde plots. Dit is echter niet het geval; blijkbaar kunnen uit de minerale ondergrond, uit de achtergebleven humus en uit de depositie toch nog voldoende mineralen worden betrokken.

Voor de vegetatie hebben de behandelingen alleen in de dennenopstanden geleid tot de verwachte terugzet in successie. Hier keerden een aantal soorten van vroege successiestadia terug. Bij deze soorten waren echter geen Rode Lijst soorten. De Rode Lijst Korstmossen (Aptroot et al., 1998) geeft de volgende soorten voor het biotoop 'heiden en lichte bossen': *Baeomyces placophyllus*, *Cetraria sepincola*, *Baeomyces roseus*, *Cetraria islandica*, *Cladonia squamosa*, *Pycnothelia papillaria*, *Cladonia cornuta*, *Cladonia arbuscula*, *Cladonia crispata*, *Bryophagus gloeocapsa*. Geen van deze soorten is verschenen in de behandelde plots. Gebrek aan dispersie-capaciteit kan hierbij een rol spelen, hoewel dit waarschijnlijk voor hogere planten belangrijker is dan voor lagere planten. Van de genoemde soorten is alleen *Cladonia arbuscula* in de buurt van de meeste proefperken in zodanige hoeveelheden aanwezig dat vestiging in de behandelde plots tot de mogelijkheden lijkt te behoren.

De Rode Lijst hogere planten (van der Meijden et al., 2000) geeft 17 soorten voor het biotoop 'Bossen op droge, zure grond'. Van deze soorten kunnen de volgende beschouwd worden als typisch voor dennenbossen: *Goodyera repens*, *Linnaea borealis*, *Listera cordata*, *Lycopodium annotinum*, *Moneses uniflora*, *Monotropa hypopitys*, *Pyrola minor* (+ nog enkele soorten in de categorie 'verdwenen'). Dit zijn allen soorten van oudere bossen met een dik strooiselpakket, die dus door afplaggen zeker niet bevoordeeld zullen worden. 'Alleen dunnen' zou voor deze soorten waarschijnlijk de beste maatregel zijn; dit wordt ook in de Rode Lijst aangegeven. Van bovengenoemde soorten is er slechts één in de plots aangetroffen (*Goodyera repens*, op Terschelling). Deze soort werd in 1993 niet aangetroffen, maar in 1998 had vestiging plaatsgevonden in beide onbehandelde plots, en in 2000 ook in de gedunde plot TER3. In de geplagde plots is in de vijf jaren sinds het uitvoeren van de maatregelen reeds een vrij vergaande successie opgetreden in de richting van de vegetatie van voor de behandelingen. Uitgedrukt in de eenheden van figuren 4.2 en 4.3 is sinds het afplaggen gemiddeld reeds 1/3 van de afstand tot de uitgangssituatie afgelegd (op Terschelling ca. 70%, op de andere locaties 15-30%). Als de successie met deze snelheid voortgaat zal de uitgangssituatie dus na nog 10-20 jaar weer volledig bereikt zijn. Een tweede monitoringperiode van (tenminste) vijf jaar kan hier meer zicht op geven. In de eikenopstanden laten de multivariate analyses ofwel een snelle en volledige terugkeer naar de uitgangssituatie zien, ofwel een ontwikkeling in een niet-gewenste richting. Hier hebben de behandelingen slechts in zeer geringe mate geleid tot de verwachte vestiging van soorten uit eerdere successiestadia. Vooral de vestiging van juveniele bomen en struiken overheerste in deze opstanden. Hierbij kan een rol gespeeld hebben dat in deze opstanden minder humus is verwijderd dan in de dennenopstanden (in Schoorl zelfs alleen blad blazen). Hierdoor is kennelijk een zeer geschikt kiembed ontstaan voor bomen en struiken. In Eese werd dit nog een versterkt door een grote aanvoer van diasporen uit naburige opstanden (vooral van Douglas). Tegelijk met deze vestiging van bomen en struiken hebben de soorten die voor de behandelingen dominant waren zich weer zeer snel uitgebreid. De Rode Lijst Korstmossen geeft eikenstrubben niet als apart biotoop, maar karakteristiek hiervoor was het terrestrisch voorkomen van doorgaans epifytische soorten (o.a. *Platismatia glauca*, *Evernia prunastri*). Het lijkt uiterst onwaarschijnlijk dat dergelijke soorten zich opnieuw zullen vestigen in de behandelde plots.

De vraag naar de oorzaak van de veranderingen in de vegetatie is moeilijk te beantwoorden. In principe kunnen drie factoren een rol spelen:

- de verminderde kroonsluiting als gevolg van dunnen;
- het verwijderen van de humuslaag;
- het verwijderen van de vegetatie zelf.

Weliswaar is in de analyse van de uitgangssituatie het effect van kroonsluiting op de vegetatie niet significant (een gevolg van de slechts geringe verschillen in kroonsluiting tussen de plots), maar uit de analyse van andere gegevensbestanden uit vergelijkbare bosopstanden blijkt wel een sterk effect van kroonsluiting (van Dobben et al., in prep.). In het algemeen zijn soorten van vroege successiestadia 'stress-tolerators', die aangepast zijn aan lichte, nutriëntenarme omstandigheden en concurrente van andere soorten slecht verdragen. In dit licht bezien is het aannemelijk dat in de dennenopstanden alle drie bovengenoemde factoren een rol hebben gespeeld. Omdat dunnen zonder plaggen slechts een gering effect op de vegetatie had is het verminderen van de kroonsluiting alleen kennelijk onvoldoende om de successie terug te zetten. Deze behandeling kan samen met plaggen echter wel een belangrijk additioneel effect hebben gehad. Enerzijds kan dit een direct effect op de vegetatie zijn door grotere toetreding van licht. Anderzijds kan een indirect effect een rol spelen, bijvoorbeeld door versterkte mineralisatie van achtergebleven humus of door een tragere opbouw van een nieuwe humuslaag door verminderde strooiselval. In de eikenopstanden heeft waarschijnlijk vooral het fysiek verwijderen van de vegetatie een rol gespeeld. Hierdoor ontstonden mogelijkheden voor minder concurrentiekrachtige kiemplanten, terwijl de vermindering van het nutriëntenaanbod kennelijk onvoldoende was om de echte stress-tolerators te bevoordelen.



## 5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 5.1 Rendement van de uitgevoerde maatregelen

#### *Voedselarme Dennenbossen*

De inschatting van de effecten van de genomen maatregelen in de Voedselarme Dennenbossen varieert tussen 'kan geen kwaad' tot 'is redelijk effectief'. Een voorlopige, voorzichtig positieve inschatting dus. Daarbij kan echter op dit moment nog niet ingeschat worden hoe lang dit positieve effect merkbaar zal zijn en in welke mate en op welke termijn hervestiging van de gewenste soorten (flora en mycoflora) op zal treden. De korte-termijn effecten echter geven duidelijk aan dat de ontwikkelingen de goede kant op gaan.

#### *Dicrano-Quercetum-bossen*

De resultaten van 5 jaar monitoren tonen aan dat de kans voor herstel van de typerende vegetatie en mycoflora op de onderzocht locaties in de Dicrano-Quercetum-bossen vrijwel nihil is. Het rendement van de maatregelen is hier verwaarloosbaar klein. Het herstelvermogen van het ecosysteem blijkt nog veel geringer dan bij aanvang van het project Droge Bossen werd verondersteld.

### 5.2 Vertaling en haalbaarheid van de maatregelen voor de praktijk

#### *Voedselarme Dennenbossen*

De ontwikkelingen in de dennenbossen leiden tot de conclusie dat dunnen en plaggen praktijk-rijp lijken te zijn. Dat betekent dat de maatregel op een beperkt aantal locaties op praktijkschaal uitgevoerd kan worden. Idealiter dienen deze locaties vooraf bekend te worden gemaakt aan het Deskundigenteam, zodat de (visueel waargenomen) ontwikkelingen vergeleken kunnen worden met die van de bestaande referentielocaties.

Algemene criteria voor bossen waar deze maatregelen uitgevoerd kunnen worden, zijn:

- De groeiplaats en vegetatie van de beoogde plek en zijn omgeving moeten typerend zijn voor voedselarme dennenbossen, al dan niet verrijkt door atmosferische N-depositie.
- De aanwezigheid van open stuifzand of droge heide in de directe omgeving wordt als positief beoordeeld.
- De bodem moet tot tenminste 2 m diepte uit humusarm en leemarm stuifzand bestaan, eventueel met geringe podzolvorming, en geen overstoven profiel hebben (podzol, veen of anderszins) en geen grondwaterinvloed hebben
- De vegetatie moet duidelijke tekenen van verrijking ten opzichte van de natuurlijke situatie vertonen (eutrofiëring), zich bij voorbeeld uitend in een sterke dominantie van *Deschampsia flexuosa*, de aanwezigheid van bramen of een versnelde of onnatuurlijke successie naar een ander bostype, zoals blijkt uit aanwezigheid van struiken (*Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*) en juveniele bomen (eik of beuk).
- De te behandelen opstand en zijn omgeving moeten een hoofdfunctie 'natuur' hebben, omdat de maatregelen negatief kunnen uitwerken op de haalbaarheid van andere doelstellingen.
- In de directe omgeving moeten geen factoren voorkomen die de herstelkansen negatief beïnvloeden, zoals zaad-dragende exemplaren van ongewenste boomsoorten (eik, beuk, douglas, lariks) binnen 100 meter of bemeste landbouwgronden binnen 500 meter.

De maatregelen moeten aan de volgende voorwaarden voldoen:

- Het te dunnen-en-plaggen bosgedeelte moet tenminste 0.5 ha aaneengesloten terrein omvatten.
- De boomlaag moet gedund (of gelicht) worden, zodanig dat het resterende grondvlak ca. 10 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> is.



- Slechts dennen blijven staan (*Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *P. pinaster*), alle andere soorten (m.n. loofbomen) moeten worden verwijderd, indien mogelijk ook in het omringende bos.
- Plaggen na het dunnen is in alle gevallen vereist, tenzij aan de volgende uitzonderings-criteria wordt voldaan:
  - de totale voorraad N in het organische pakket is kleiner van 1000 kg ha<sup>-1</sup>
  - de C/N-verhouding in het organische pakket is groter dan 50 g g<sup>-1</sup>
  - de bedekking met mat-vormende grassen (*Deschampsia flexuosa*, *Molinia caerulea*, *Calamagrostis epigeios*) is kleiner dan 10%
 Deze kenmerken dienen op een verantwoorde wijze gemeten/geschat te worden.
- Het plaggen dient zo volledig mogelijk uitgevoerd worden, dus tot op de minerale bodem en zo strak mogelijk om de resterende bomen en stobben heen (de stobben zelf dienen te blijven zitten).
- In het geval van dunnen zonder plaggen is het enigszins beroeren van de strooisellaag geen bezwaar of zelfs positief te waarderen.

### **Dicrano-Quercetum-bossen**

De resultaten van 5 jaar monitoren tonen aan dat de kans op herstel van de typerende vegetatie en mycoflora in deze bossen vrijwel nihil is. De herstelmaatregelen hebben niet het beoogde effect gehad. Het niet aanslaan van de maatregelen in combinatie met de vooralsnog hoge atmosferische input maakt dat dit bostype in Nederland sterk in voortbestaan bedreigd wordt. Mocht desondanks de wens bestaan het Dicrano-Quercetum voor Nederland te behouden, dan moeten de criteria voor mogelijk kansrijke locaties aangescherpt worden en dient de ingreep geïntensiveerd te worden. Een kansrijke opstand voldoet niet alleen aan de criteria verwoord in het Pre-Advies Droge Bossen en in de beschrijving van de uitgangssituatie (Klap & Schmidt, 1992, 1995), maar ook aan de volgende criteria:

- het bosgedeelte ligt voor een belangrijk deel geëxposeerd t.o.v. de wind en heeft ook de afgelopen 50 jaar zo gelegen, om te bereiken dat bladval zich niet ophoopt en dus slechts in geringe mate zal bijdragen (en bijgedragen heeft) aan de humusophoping,
- Het bosgedeelte grenst niet aan opstanden van andere soorten met een grote zaadproductie (bv. douglas, lariks, beuk),
- De eiken in het bosgedeelte zijn redelijk vitaal en vrijwel vrij van parasitaire schimmels (bv. honingzwam), zodat zij een goede kans op herstel hebben na uitvoering van de maatregel,
- Er heeft geen bemesting plaatsgevonden in de laatste 50 jaar.

Verder dienen de maatregelen als volgt geïntensiveerd te worden:

- Het organische pakket dient over de gehele oppervlakte tot op de minerale bodem verwijderd te worden,
- Het beheer zou omgevormd kunnen worden naar een soort middenbosbeheer (enkele opgaande bomen, te midden van hakhout), zodanig dat de open structuur behouden blijft. In dat geval dient het herstel van de -voorheen opgaande- eiken als hakhout in het bijzonder gemonitord te worden.

De conclusie uit de evaluatie van 5 jaar monitoring van de effecten van dunnen en plaggen is derhalve dat de maatregelen in de Voedselarme dennenbossen onder bepaalde voorwaarden praktijkrijp zijn en dat de maatregelen in de Dicrano-Quercetum-bossen in het geheel niet praktijkrijp zijn (en dat ook niet zullen worden).

## **5.3 Afwegingen met betrekking tot voortzetting van de monitoring**

Bovenstaande synthese maakt duidelijk dat, hoewel voorzichtig reeds enkele conclusies getrokken kunnen worden, vervolgonderzoek via monitoring sterk aan te bevelen is, vooral in de Voedselarme Dennenbossen. De consequentie daarvan is onder meer dat opnieuw ingegrepen zal moeten worden. De maatregelen zijn immers ruim 6 jaar geleden uitgevoerd; bij voortzetting van de monitoring moet ook een plan voor verdere beheersmaatregelen op de proeflocaties en proefplots vast gesteld worden, en wel om de volgende redenen.

- a. De controle-plots moeten vergelijkbaar blijven met 'normaal' beheerde bossen.
- b. Op de behandelde plots zijn mogelijk ingrepen nodig om de eerder gecreëerde omstandigheden in stand te houden, vooral wanneer er snel veranderingen in het ecosysteem op zouden treden.

### **Voedselarme Dennenbossen**

De behandeling dunnen + plaggen (en, in mindere mate, alleen dunnen) kan in principe leiden tot de (vanuit de doelstellingen van OBN gewenste) terugzetting van de successie. Echter, de effecten zijn (nog) niet spectaculair. Ten aanzien van de vegetatie blijkt in de behandelde plots een zekere herkolonisatie door oligotrafente mossen en korstmossen plaats te vinden, maar slechts in vrij geringe mate. Ook de mycoflora in de dennenbossen lijkt te profiteren van de maatregelen: wanneer de proefplots niet te snel vergrassen en de opbouw van het strooiselprofiel slechts traag verloopt, mag verwacht worden dat de periode met de hogere rijkdom aan ectomycorrhiza-paddestoelen langer zal voortduren. De thans beschikbare gegevens zijn nog onvoldoende om hierover genuanceerde uitspraken te doen: vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre de opgetreden veranderingen blijvend zijn. In een eerder aflageexperiment in dennenbos bijvoorbeeld bleek ook dat aflaggen weliswaar leidt tot een zekere mate van terugzetten van de successie, maar dat dit effect slechts kort van duur is (de Vries et al., 1995). Er treedt na het aflaggen weer een snelle opbouw van de strooisellaag op, en daarmee een 'inhaalslag' van de successie. In de huidige experimenten zorgt de sterke dunning ervoor dat de opbouw van de strooisellaag minder snel verloopt, en daarmee mogelijk ook de successie. Voorgesteld wordt om de monitoring van deze dennenbossen te continueren, zodat beter bepaald kan worden met welke frequentie en intensiteit plaggen als effectgerichte maatregel uitgevoerd dient te worden. Voortzetting van de monitoring van de samenstelling van het bodemvocht wordt echter weinig zinvol geacht, omdat er weinig verschil meer is tussen de behandelde plots en de controleplots, omdat de opnamefrequentie te gering is voor het vinden van significante veranderingen en omdat het resultaat zeer sterk beïnvloed wordt door verschillen in de hoeveelheid neerslag in de periode voorafgaand aan de bemonstering.

Om de plots bruikbaar te doen blijven voor het monitoringsonderzoek moet zoals gesteld op termijn in de controle-plots een dunning worden uitgevoerd, met dezelfde periodiciteit en intensiteit als in de omliggende bossen van hetzelfde type. Daarbij dient nauwkeurig gemeten te worden hoeveel er gedund wordt. Dat betekent dat direct na het bessen en/of vlak voor de uitvoering van de dunning een opname uitgevoerd moet worden van de aanwezige bomen (soort, diameter en wel of niet gemerkt voor dunning). Speciale aandacht verdienen hierbij de bomen die onderdeel uitmaken van het transect.

Op de sterk gedunde (en eventueel geplagde) plots is vanuit de optiek van het reguliere bos-beheer niet zo snel opnieuw een dunning noodzakelijk, omdat de dunning al uitzonderlijke sterk was. Vanuit het oogpunt van het handhaven van de gewenste openheid kan het echter eerder dan gebruikelijk, wenselijk zijn om opnieuw te dunnen. Gedacht kan worden aan het moment waarop de kroonsluiting groter wordt dan 75% of wanneer het grondvlak de 15 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> overschrijdt. Op dat moment kan weer een dunning uitgevoerd worden zodanig dat een grondvlak van 10 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> resteert.

Gezien de geringe mate van strooiselopbouw op de geplagde plots, lijkt opnieuw plaggen in de dennenbossen op korte termijn niet noodzakelijk.

### **Dicrano-Quercetum-bossen**

De kans op herstel van de typerende vegetatie en mycoflora in dit type bos is vrijwel nihil. Daarbij komt dat de huidige plots niet optimaal zijn voor verder onderzoek. In de Eese is (doelbewust) een klein gedeelte van de humuslaag achtergebleven, terwijl uit de synthese moge blijken dat in eikenbossen alle strooisel verwijderd dient te worden. Voortzetting van de proef zonder corrigerende ingrepen lijkt derhalve niet zinnig. Voor de eikenbossen in de Schoorlse duinen wordt eveneens aanbevolen de proef te stoppen, hier vanwege de terrein-heterogeniteit (en vanwege later opgetreden verdere verstoring). De ongunstige omstandigheden op de geslecteerde lokaties met betrekking tot de grote beschikbaarheid van zaden van ongewenste soorten, zouden het voorts noodzakelijk maken om met grote regelmaat de opslag van deze soorten te verwijderen.

Mocht desondanks besloten worden tot voortzetting van de monitoring in de Dicrano-Quercetum-bossen, dan is een herhaling van het plaggen sterk aan te raden. Ook zou dan op termijn op deze locaties een dunning uitgevoerd moeten worden in de controle-plots (zoals beschreven voor de

dennenbossen). Deze inspanningen lijken echter in geen verhouding te staan tot de relatief kleine kans op herstel van het gewenste vegetatietype.

## Literatuur

- Aptroot, A., H.F. van Dobben, C.M. van Herk & G. van Ommering**, 1998. Bedreigde en kwetsbare korstmossen in Nederland: toelichting op de Rode Lijst. Rapport IKC Natuurbeheer 29: 80 p.
- Arnolds, E.J.M. & G. van Ommering** 1996. Bedreigde en kwetsbare paddestoelen in Nederland. Toelichting op de Rode Lijst. Rapport IKC-Natuurbeheer 24: 1-119.
- Baar, J.**, 1995. Ectomycorrhizal fungi of Scots pine as affected by litter and humus. Thesis, Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen.
- Braak, C.J.F. ter & P. Smilauer**, 1998. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for windows: software for canonical community ordination (version 4). 351 p. Microcomputer Power, Ithaca NY, USA.
- Dobben, H.F. van**, 1993. Vegetation as a monitor for deposition of nitrogen and acidity. Diss. Utrecht, 214 p.
- Dobben, H.F. van, et al.**, 2000. Relatie tussen bodem en vegetatie in de 200 opstanden van het Meetnet Vitaliteit en Verdroging. Rapport Alterra (in prep.).
- Goudzwaard, L. & J.M. Klap**, 1995. Intern rapport, Vakgroep Bosbouw, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Hennekens, S.M.**, 1995. TURBO(VEG): Programmatuur voor invoer, verwerking en presentatie van vegetatiekundige gegevens: gebruikershandleiding. Rapport IBN-DLO / Giesen & Geurts.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren**, 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press.
- Klap, J.M. & P. Schmidt**, 1992. Maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: pre-advies. Hinkeloord Reports 3, 140 p.
- Klap, J.M. & P. Schmidt**, 1995. Maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: beschrijving van de uitgangssituatie van maatregelen op semi-praktijkschaal op een zestal proeflocaties. Hinkeloord Reports 13, 183 p.
- Meijden, R van der, B. Odé, C.L.G. Groen, J.P.M. Witte & D. Bal**, 2000. Bedreigde en kwetsbare vaatplanten in Nederland: basisrapport voor de Rode Lijst. Gorteria 26:85-208.
- Schmidt, P.**, 1999. Maatregelen om effecten van eutrofiering en verzuring in voedselarme en droge bossen met bijzondere natuurwaarden tegen te gaan: de situatie vijf groeiseizoenen na de ingrepen. Hinkeloord Reports 26, 95 p.
- Vries, B.W.L. de, E. Jansen, H.F. van Dobben & Th.W. Kuyper**, 1995. Partial restoration of fungal and plant species diversity by removal of litter and humus layers in stands of Scots pine in The Netherlands. Biodiversity and Conservation 4:156-164.

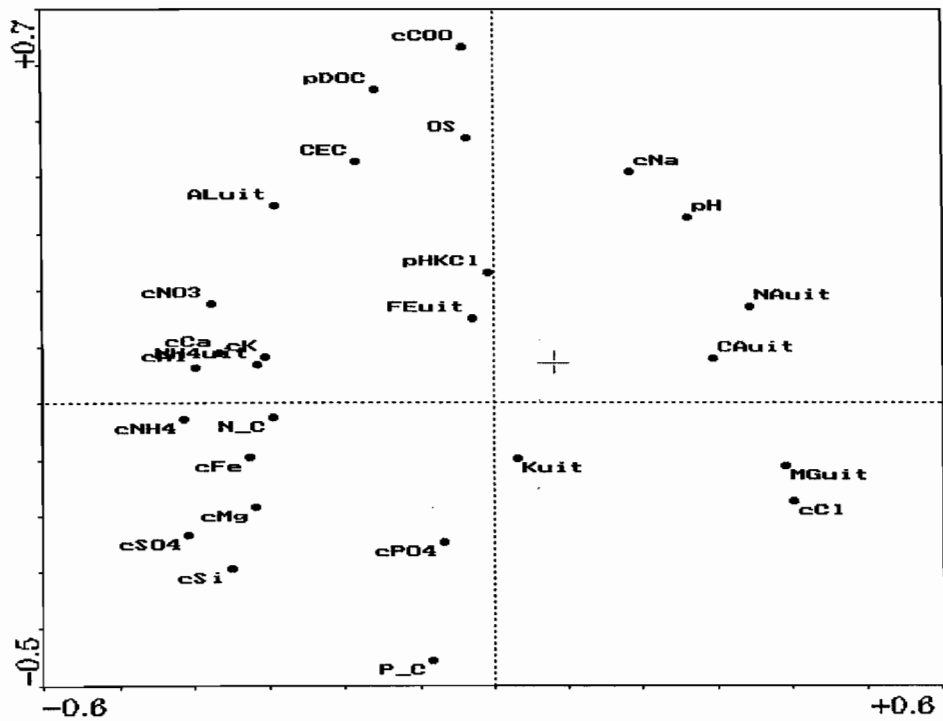


## Bijlage I: Beschrijving statistische analyse en aanvullende figuren

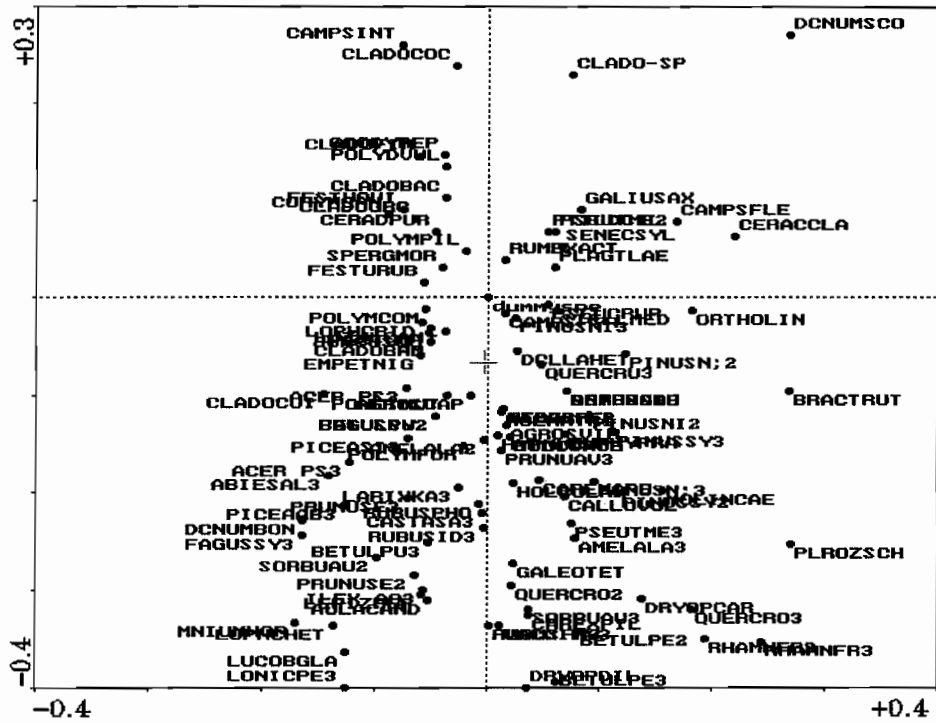
De gegevensanalyse werd uitgevoerd met het programma CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 1998). Voor- en nabewerking van de gegevens vond plaats met CEDIT (Ter Braak & Smilauer 1998). Plot TER3 (alleen gedund) is ook in de analyse betrokken, daarom zijn er in totaal 27 plots op 6 locaties. Bij de analyse zijn 'dunnen' en 'plaggen' als aparte behandelingen opgevat, hoewel deze sterk gestrengeld zijn (voor de eikenopstanden zelfs volledig). Het contrast den vs. eik is ook als een behandeling opgevat.

Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van multivariate statistiek (Principale Componenten Analyse PCA en Redundantie Analyse RDA: Jongman et al., 1995). Deze technieken zijn vooral geschikt om verbanden in systemen die gekenmerkt worden door een groot aantal variabelen op te sporen. De resultaten worden weergegeven in zogenaamde 'biplots' die globaal de veranderingen in de tijd en de effecten van de behandelingen weergeven.

Er zijn drie typen analyses uitgevoerd: PCA op tijdreeksen met twee (bodem, mycoflora) of drie (vegetatie, bosstructuur) punten; RDA op de vegetatie in 1993 voor de behandeling, met de bodem en bosstructuur van dat moment als verklarende variabelen; RDA op de verandering in vegetatie per plot met de behandelingen als verklarende variabelen. Voor deze laatste analyse werd een nieuwe dataset geconstrueerd met per plot per soort het verschil in gelogarithmiseerde bedekking tussen 1993 voor de behandelingen en 1998. Voor het uitvoeren van de PCA's zijn de bodem- en bosstructuur gegevens gecentreerd en gestandaardiseerd (getransformeerd op gemiddelde = 0 en variantie = 1). De vegetatie- en mycoflora gegevens zijn allen gecentreerd (dus soorten die in kleine hoeveelheden voorkomen tellen hier ook minder mee). Doordat het type gegevens per ecosysteem component sterk van aard verschilt was een totaal-analyse (één PCA op alle kenmerken) niet mogelijk. Zo moeten bijvoorbeeld de absolute waarden en de nulwaarden voor bodem en vegetatie geheel verschillende geïnterpreteerd worden. Voor de vegetatie heeft nul een bijzondere betekenis, n.l. 'soort komt niet voor'; in de bodemgegevens kunnen nulwaarden feitelijk niet voorkomen en betekent nul 'waarde onder de detectiegrens'. Alle resultaten zijn weergegevens als biplots. De interpretatie hiervan is globaal als volgt. Een biplot bestaat uit een plot met 'sample scores' en een plot met 'species scores'. Deze moeten in gelijke schaling over elkaar geprojecteerd worden. De species scores moeten met een pijl verbonden worden met de oorsprong (dit is in de figuren niet gedaan omdat deze dan erg vol en onoverzichtelijk worden). De projectie van een sample score op een species score geeft de verwachtingswaarde van de betreffende species (dit hoeft dus niet letterlijk een 'soort' te zijn, kan ook ieder ander kenmerk zijn) in de betreffende plot. De schaling is hierbij als volgt: oorsprong = gemiddelde, pijlpunt = gemiddelde + standaarddeviatie, pijlpunt gespiegeld ten opzichte van de oorsprong = gemiddelde - standaarddeviatie. De tijdreeksen geven in wezen de 'verplaatsing' per plot in de tijd in een virtuele ruimte gedefinieerd door de 'species' (kenmerken), waarbij deze zodanig in een plat vlak is geprojecteerd dat de verschillen tussen de plots en de veranderingen in de tijd optimaal worden weergegeven. Hierbij worden de belangrijkste verschillen weergegeven langs de eerste (horizontale) as, minder belangrijke langs de tweede (verticale) as, en nog minder belangrijke langs de derde en hogere (niet getekende) assen. Het relatieve belang per als wordt weergegeven door de eigenwaarden, die in de hier gebruikte schaling kunnen worden opgevat als fracties verklaarde variantie per as. Om aan te geven welke informatie in de plots 'gemist' wordt, wordt wel de eigenwaarde van de derde as weergegeven.

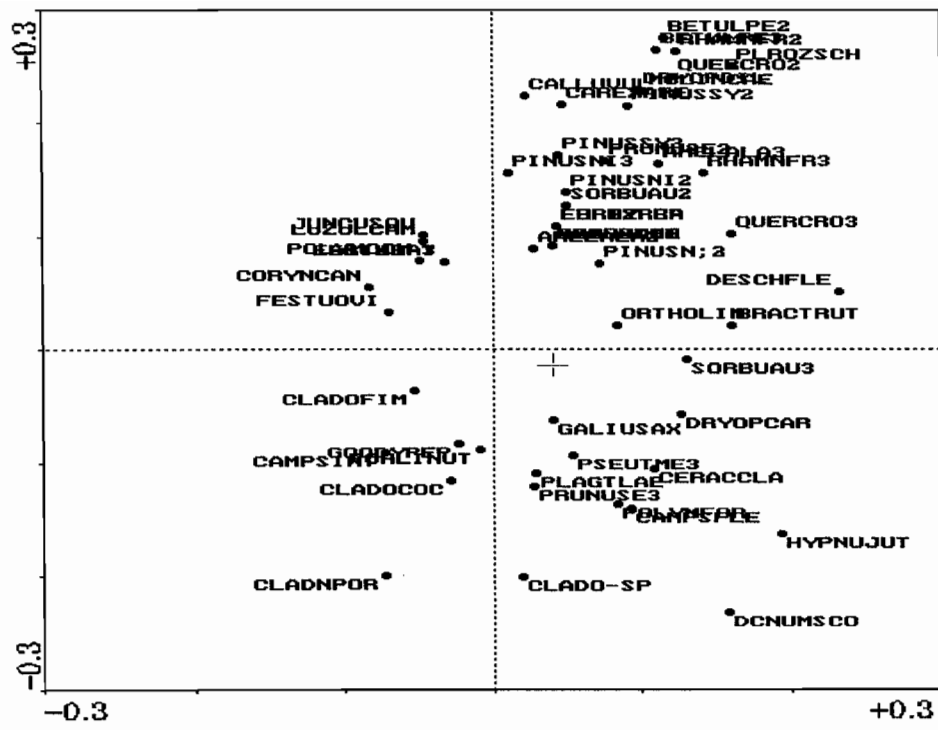


Figuur I.1: PCA op bodemgegevens: species scores. Verklaring van de symbolen: N\_C en P\_C = totaal N resp. P relatief t.o.v. totaal N; cIon = concentratie in bodemvocht; Ionuit = uitwisselbaar gehalte in de vaste fase; COO = organisch zuur; OS = organische stof in de vaste fase; pHKCl = pH-KCl in vaste fase extract; pH = pH van de vloeibare fase.

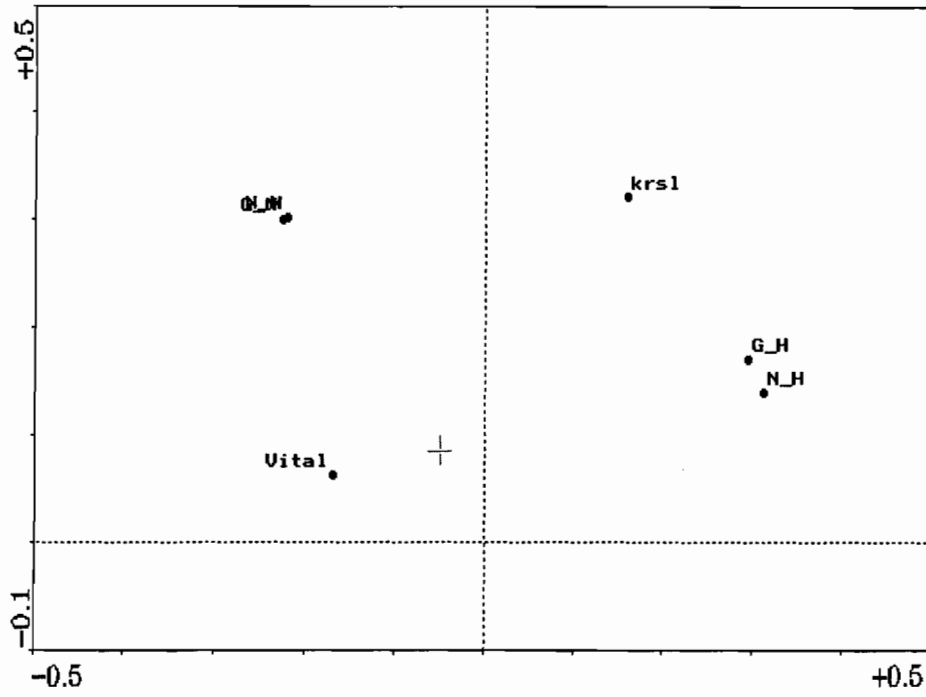


Figuur I.2: PCA op vegetatiegegevens: species scores. Soortnamen zijn gecodeerd volgens het Botanisch Basisregister, met de laatste letter vervangen door 1 voor boom, 2 voor struik en 3 voor kruid.

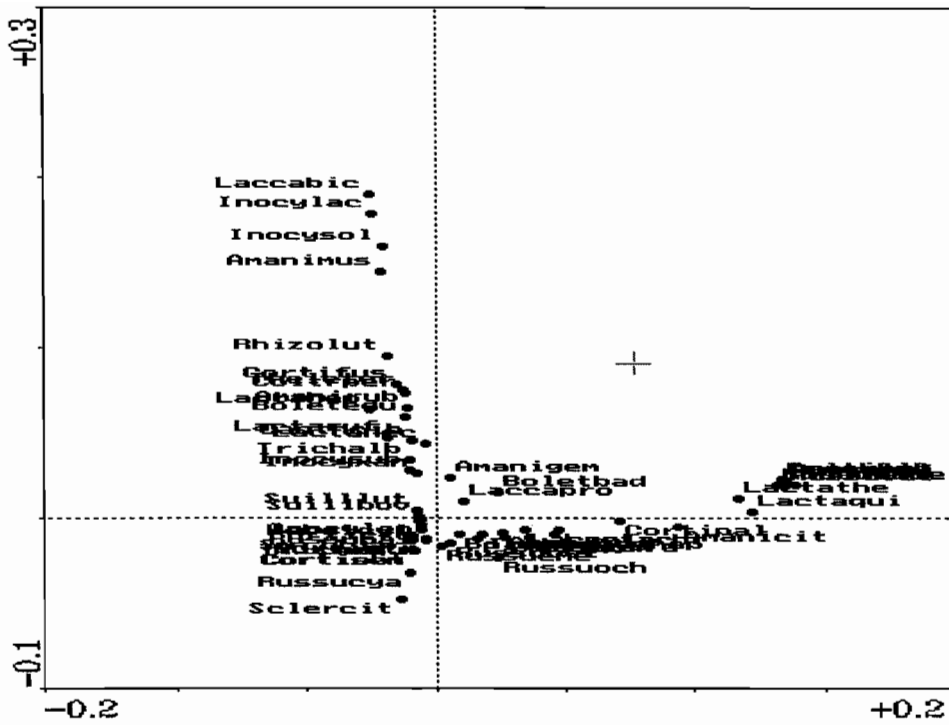




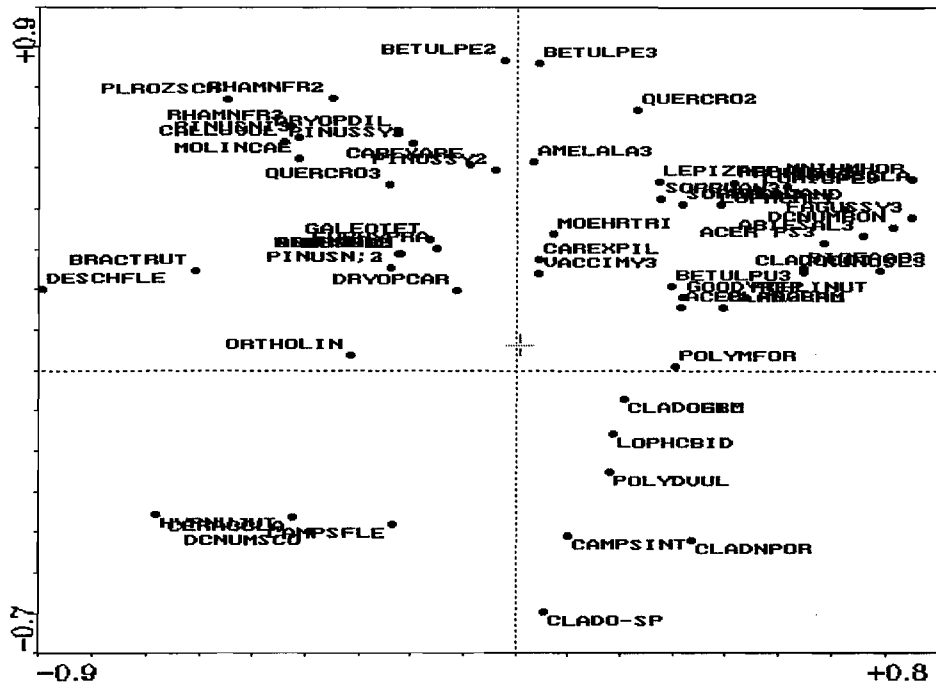
Figuur I.3: PCA op vegetatiegegevens: species scores. Soortnamen zijn gecodeerd volgens het Botanisch Basisregister, met de laatste letter vervangen door 1 voor boom, 2 voor struik en 3 voor kruid.



Figuur I.4: PCA op de opstandsgegevens: species scores. G = grondvlak, N = stamtaal, krs1 = kroonsluiting, vital = vitaliteit; \_H = hoofdboomsoort, \_N = nevenboomsoorten.



Figuur I.5: PCA op mycoflora: species scores. Soortnamen zijn gecodeerd volgens het Botanisch Basisregister.



Figuur I.6: RDA op vegetatiegegevens: species scores. Soortnamen zijn gecodeerd volgens het Botanisch Basisregister, met de laatste letter vervangen door 1 voor boom, 2 voor struik en 3 voor kruid.

