32/446(104.1)

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Veranderingen in bodem en vegetatie van het Speulderbos

Kaartvergelijking 1958-1988

P.W.F.M. Hommel
E.E.J.M. Leeters
J.G. Vrielink

Rapport 104.1

STARING CENTRUM, Wageningen, 1991

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0442 9300

19 JUNI 1991

ISN 538091*

Hommel, P.W.F.M., E.E.J.M. Leeters en J.G. Vrielink, 1991. *Veranderingen in bodem en vegetatie van het Speulderbos; kaartvergelijking 1958-1988.* Wageningen, Staring Centrum. Rapport 104.1. 78 blz.; 8 afb.; 26 tab.

Door vergelijking van twee vegetatiekaarten van het Speulderbos wordt een beeld gegeven van de vegetatie-veranderingen gedurende de periode 1958-1988. De vegetatie-veranderingen worden beschreven in termen van verandering van trofie-niveau. Eveneens door middel van kaartvergelijking zijn relaties onderzocht tussen de geconstateerde veranderingen enerzijds en abiotische, biotische en historische factoren anderzijds. De kaartvergelijking werd uitgevoerd met het GIS-pakket ARC-INFO. De relaties tussen de veranderingen en het complex van mogelijk verklarende factoren werd nader onderzocht met multipele regressie-analyse. De hoofdtrend van de door de plantengroei geïndiceerde veranderingen blijkt een verrijking van het bosmilieu met voedingsstoffen te zijn. De mate van eutrofiëring is vooral gecorreleerd met het oorspronkelijk vegetatietype, de bosgeschiedenis, de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden en de bodem.

Trefwoorden: ARC-INFO, bossen, eutrofiëring, kaartvergelijking, multipele regressie-analyse, vegetatie-veranderingen.

ISSN 0924-3070

© 1991
STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

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

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

Project 335 [482wn/02.91]

INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	11
2 METHODE	17
2.1 Algemene beschrijving	17
2.2 Gebruikte kaarten en overig basis-materiaal	18
2.3 Het geografisch software-pakket ARC-INFO	20
2.4 Vergelijking van de vegetatiekaarten	22
2.5 Multipele regressie-analyse	25
3 HET ONDERZOEKSGEBIED	27
3.1 Grootte en ligging	27
3.2 Geologie en geomorfologie	29
3.3 Bodem	31
3.4 Bosgeschiedenis	32
3.5 Enkele bosbouwkundige aspecten	35
3.6 Vegetatie	37
4 ECOLOGISCHE RELATIES	41
4.1 Vegetatie en bodemeenheid	41
4.2 Vegetatie en bosgeschiedenis	43
4.3 Bosgeschiedenis en bodemeenheid	44
4.4 Vegetatie en afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden	45
5 VERANDERINGEN 1958-1988	49
5.1 Grootte en aard van de veranderingen	49
5.2 Veranderingen in relatie tot de nabijheid van cultuurgronden	52
5.3 Veranderingen in relatie tot de bodemeenheid	53
5.4 Veranderingen in relatie tot de bosgeschiedenis	55
5.5 Veranderingen in relatie tot enkele beheersaspecten	56
5.6 Veranderingen in relatie tot de vegetatie in 1958	59
5.7 Veranderingen in relatie tot het complex van ecosysteem-componenten	61
6 CONCLUSIES	69
6.1 Resultaten	69
6.2 Methode	71
6.3 Beheer	73
LITERATUUR	75

blz.

FIGUREN

1 Ligging van het onderzoeksgebied 27
2 Afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden 28
3 Afstand tot de Gelderse vallei 28
4 Vereenvoudigde bodemkaart 32
5 Bosgeschiedenis 34
6 Vegetatiekaart 1958 38
7 Door de vegetatie geïndiceerde milieu-veranderingen 50
8 Eutrofiëring op grond van modelberekeningen 66

TABELLEN

1 Overzicht van het gedigitaliseerde kaartmateriaal 21
2 Vertaalsleutel legenda's vegetatiekaarten 24
3 Overzicht van de predictorvariabelen 25
4 Afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden 29
5 Afstand tot de Gelderse Vallei 29
6 Bodemeenheden, codering en oppervlakte 32
7 Bosgeschiedenis, codering en oppervlakte 35
8 Opstandstypen onderscheiden naar dominante boomsoort 36
9 Leeftijd en oppervlakte van de opstanden 36
10 Bosbemesting en betrokken oppervlakte 37
11 Vegetatietypen in 1958, codering en oppervlakte 39
12 De relatie tussen trofie-graad en bodemeenheid 42
13 De relatie tussen trofie-graad en bosgeschiedenis 43
14 De relatie tussen bosgeschiedenis en bodemtype 45
15 De relatie tussen trofie-graad en afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden 46
16 Milieu-veranderingen 1958 - 1988 51
17 Gemiddelde verrijking in relatie tot de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden 52
18 Gemiddelde verrijking in relatie tot de afstand tot de Gelderse Vallei 53
19 Gemiddelde verrijking in relatie tot de bodemeenheid 54
20 Gemiddelde verrijking in relatie tot de bosgeschiedenis 55
21 Gemiddelde verrijking in relatie tot de leeftijd van de opstand 56
22 Gemiddelde verrijking in relatie tot het opstandstype 57
23 Gemiddelde verrijking in relatie tot bewerking, bemesting en opstandswisseling 59
24 Gemiddelde verrijking in relatie tot het in 1958 aanwezige vegetatietype 60
25 Gemiddelde verrijking in relatie tot het trofieniveau in 1958 61
26 Enkele voorbeelden van toepassing van het multipele regressie-model 64

WOORD VOORAF

Vanaf 1987 wordt bij de Stichting voor Bodemkartering, die thans deel uitmaakt van het Staring Centrum, onderzoek verricht naar de bos-ecologische veranderingen die in de afgelopen dertig jaar in het in het Speulderbos zijn opgetreden. Dit onderzoek richt zich op drie aspecten:

(1) patronen van vegetatie-verandering in relatie tot abiotische, biotische en historische factoren (kaartvergelijking);
(2) hoofdtrends van vegetatie-ontwikkeling (vergelijking van vegetatie-opnamen);
(3) bodemchemische veranderingen (herhaling van pH-analyses).

Dit rapport doet verslag van de resultaten van het eerste deelonderzoek, de kaartvergelijking. Dit deelonderzoek werd verricht in opdracht van en met medefinanciering door de Directies Staatsbosbeheer en Bos- en Landschapsbouw van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het deelonderzoek werd uitgevoerd door:

Dr. P.W.F.M. Hommel	projectleiding, vegetatiekunde, ARC-INFO berekeningen;
Ing. E.E.J.M. Leeters	invoer gegevens in ARC-INFO; multipele regressie analyse;
J.G. Vrielink	bodemkunde, bosbouw.

Voorts leverden P. Mekkink (invoer gegevens in ARC-INFO; aanvullende vegetatiekartering; verzamelen beheersgegevens) en A.D.M. Veldhorst (archivalisch kadastraal onderzoek) een belangrijke bijdrage.

Technische ondersteuning bij het ARC-INFO gebruik werd gegeven door H. de Wijer en C. Schuiling. Statistische adviezen werden gegeven door Dr. J.J. de Gruijter en Drs. J.H. Oude Voshaar. Daarnaast is het advies en/of commentaar in dit rapport verwerkt van: Ing. G.H.P. Dirkx, Drs. W.B. Harms, Drs. F. Hoekstra, Dr. J.A. Klijn, Ing. H.N. Leijs, Ir. G. van Tol, Ir. P.A. van den Tweel en Ir. W. de Vries.

SAMENVATTING

In het Speulderbos hebben medewerkers van de voormalige Stichting voor Bodemkartering (thans deel uitmakend van het Staring Centrum) twee vegetatiekarteringen verricht. De eerste kartering vond plaats in 1958, de tweede in 1985 met aanvullingen in 1988.

Dit rapport doet verslag van een vergelijking van beide vegetatiekaarten, waarbij met name aandacht wordt besteed aan de vraag in hoeverre de geconstateerde veranderingen kunnen worden toegeschreven aan de invloed van atmosferische depositie. Voor dit onderzoek werd een methode ontwikkeld die gekenschetst kan worden als een systematische overlay-procedure, uitgevoerd met het geografisch software-pakket ARC-INFO. De volgende stappen kunnen worden onderscheiden:

(1) Combinatie van de vegetatiekaarten tot één "veranderingen-kaart". De veranderingen worden hierbij geïnterpreteerd in termen van veranderingen in trofie-niveau.
(2) De geconstateerde veranderingen worden in relatie gebracht met diverse abiotische, biotische en historische factoren. Hiertoe wordt de veranderingenkaart geconfronteerd met kaarten voor de volgende omgevingsfactoren: afstand tot de dichtstbijzijnde landbouwgronden, bodemeenheid, bosgeschiedenis, opstandstype en -leeftijd, bosbemesting, bodembewerking en het oorspronkelijk (in 1958) aanwezige vegetatietype.
(3) Een kwantitatieve uitwerking van de relatie tussen verandering en de afzonderlijke factoren wordt gegeven door voor de diverse klassen van de onderzochte factoren het gewogen gemiddelde van de verandering te berekenen.
(4) De relatie tussen de verandering en het complex van "verklarende" factoren wordt nader onderzocht met multipele regressie-analyse. De multipele regressieanalyse verschaft een statistische onderbouwing van de resultaten van stap 3. Bovendien biedt zij de mogelijkheid van extrapolatie en nadere detaillering van de mate van milieu-veranderingen (fig. 8).

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat de hoofdtrend van de veranderingen gedurende de periode 1958-1988 een door de plantengroei geïndiceerde verrijking van het bosmilieu met voedingsstoffen is. Deze verrijking vindt vrijwel overal in het gebied plaats.

In vegetatiekundig opzicht betekent deze ontwikkeling een aanzienlijke nivellering van de oorspronkelijk aanwezige variatie aan plantengemeenschappen.

De mate van verrijking blijkt vooral gecorreleerd te zijn met het oorspronkelijk (in 1958) aanwezige vegetatietype, de bosgeschiedenis, de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden, de bodemeenheid en de leeftijd van de opstand (in 1988). Andere factoren zijn of van ondergeschikt belang, of te sterk aan bovengenoemde hoofdfactoren gecorreleerd om als zelfstandig werkzame factor herkend te worden. Voorbeelden van vermoedelijk wel relevante, maar weinig dominante factoren zijn: opstandswisseling, bemesting bij aanleg en boomsoort.

De effecten van de eutrofiëring zijn het meest duidelijk op korte afstand van cultuurgronden en op de voor eutrofiëring het meest gevoelige bodemeenheden. Deze relatie tussen eutrofiëring enerzijds en afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden en bodemeenheid anderzijds wijst er op, dat de verrijking mede veroorzaakt wordt door atmosferische stikstof-depositie ten gevolge van ammoniak-emissie uit de intensieve veehouderij.

Het is niet aannemelijk dat de geconstateerde verrijking in de oudere heidebebossingen (1832-1871) het gevolg is van een natuurlijk herstel na eeuwenlange verschraling door heidebeheer. Een dergelijk natuurlijk proces is mogelijk wel aan de orde in het gebied van de jongere heideontginningen (1871-1885). Eutrofiëring door atmosferische stikstof-depositie is echter juist in deze terreingedeelten van grote betekenis voor de vegetatie-ontwikkeling. Het betreft hier namelijk vooral de meest eutrofiëringsgevoelige gronden van het Speulderbos (duinvaaggronden).

De mogelijkheden voor de beheerder om de nivellerende effecten van de atmosferische stikstof-depositie tegen te gaan zijn uiterst beperkt, zolang bestrijding aan de bron (de stikstof-emissie) achterwege blijft. Enige bijsturing in de vegetatie-ontwikkeling is echter ook op korte termijn wel mogelijk. In par. 6.3 worden aanbevelingen gedaan voor de bescherming van randzones en de boomsoortkeuze.

1 INLEIDING

Doelstelling
Dit rapport presenteert de resultaten van een onderzoek naar de veranderingen die gedurende de periode 1958-1988 in de ondergroei van het Speulderbos zijn opgetreden. Ook de relatie tussen de veranderingen en diverse omgevingsfactoren werd onderzocht. Centraal stond hierbij de vraag in hoeverre de veranderingen toegeschreven kunnen worden aan de invloed van atmosferische depositie van stikstof, dan wel aan natuurlijke processen.

Methode
Vegetatie en vegetatie-veranderingen in een bosgebied zijn van veel factoren afhankelijk. Met name verschillen in bodem, beheer en bosgeschiedenis kunnen binnen één gebied voor een grote ruimtelijke variatie aan vegetatie-typen en ontwikkelings-tendensen veroorzaken. Ook verschillen in de hoeveelheid van atmosferische stikstofdepositie, o.a. gerelateerd aan de afstand tot de bron, zijn van belang. Om op landschappelijke schaal toch de hoofdtrends van de ontwikkeling te kunnen onderscheiden en interpreteren in termen van relaties met omgevingsfactoren, is gekozen voor een patroongerichte benadering. Voor dit onderzoek werd een methode ontwikkeld die kort gekenschetst kan worden als een geautomatiseerde overlay van kaartmateriaal.

De volgende stappen kunnen worden onderscheiden:
(1) combinatie van twee vegetatiekaarten tot één "veranderingenkaart";
(2) confrontatie van deze veranderingen-kaart met kaarten voor verschillende relevant geachte omgevingsfactoren;
(3) bepaling van de gemiddelde verandering per klasse van elk der onderzochte factoren;
(4) multipele regressie-analyse, waarbij de vegetatie-verandering wordt "verklaard" vanuit het complex van omgevingsfactoren.

Een dergelijke onderzoeksopzet is niet gebruikelijk. Het overgrote deel van de publikaties over onderzoek naar vegetatie-veranderingen heeft betrekking op de studie van in tijdreeksen geplaatste vegetatie-opnamen. Het gaat hierbij zowel om feitelijke reeksen van op dezelfde locatie(s) herhaalde opnamen, als om hypothetische reeksen van eenmalig onderzochte, ruimtelijk gespreide opnamen (resp. diachronisch en synchronisch onderzoek).

Patroongericht vegetatie-onderzoek door systematische kaartvergelijking is tot nu toe veel minder vaak verricht. De weinige (gepubliceerde) voorbeelden van een patroongerichte benadering in ons land lijken vooral betrekking te hebben op onderzoek in de kuststreek (o.a. Londo, 1974; Bakker en Ruyter, 1981; Van Dorp et al., 1985; Van der Maarel et al., 1985).

De patroongerichte benadering heeft als nadeel dat vooral verschuivingen tussen vegetatietypen onderzocht worden; meer subtiele veranderingen binnen de onder-

scheiden typen blijven doorgaans buiten beeld. Voordeel is dat relaties tussen de geconstateerde veranderingen en diverse relevant geachte omgevingsfactoren binnen een landschappelijke context en in kwantitatieve zin onderzocht kunnen worden. Met de recente ontwikkeling van geavanceerde Geografische Informatie Systemen (GIS) zijn de mogelijkheden voor de patroongerichte benadering sterk toegenomen.

De aangetoonde verbanden tussen vegetatie-veranderingen en omgevingsfactoren in dit onderzoek zijn puur correlatief van aard. Er is echter steeds getracht de gevonden relaties in causale zin te interpreteren.

Onderzoeksgebied
Het Speulderbos werd als onderzoeksgebied gekozen om redenen, van zowel praktische, als meer theoretische aard. In de eerste plaats is het Speulderbos één der weinige bosgebieden in Nederland met een grote oude boskern, waar tenminste de afgelopen eeuwen onafgebroken bos aanwezig is geweest en waar veel van de huidige opstanden een hoge ouderdom bezitten, terwijl er juist in deze oude opstanden de afgelopen decennia vrijwel geen actieve beheersingrepen hebben plaatsgevonden. Daarnaast bevinden zich binnen de grenzen van het gebied enkele heide-ontginningen van verschillende ouderdom.

De ligging van het gebied is, gezien vanuit de onderzoeksvraag, als gunstig te beschouwen: op ruime afstand van grote aaneengesloten gebieden met intensieve veehouderij (de Gelderse Vallei bevindt zich op 3 tot 7 km afstand), maar direct grenzend aan diverse kleinere landbouw-enclaves. Het is daardoor mogelijk zowel op regionale als op lokale schaal invloeden vanuit het cultuurlandschap te bestuderen.

De bodemkundige gesteldheid van het gebied is zodanig, dat extrapolatie van de onderzoeksresultaten naar andere bossen op de Nederlandse zandgronden bodemkundig gezien mogelijk is. De belangrijkste drie bodemeenheden van het Speulderbos (moderpodzolgronden, haarpodzolgronden en duinvaaggronden) behoren ook landelijk gezien tot de meest algemene Nederlandse bosbodems.

Praktische voordelen van de keuze van het Speulderbos als onderzoeksgebied betreffen de ruime beschikbaarheid aan gegevens, waaronder twee vegetatiekaarten (uit 1958 en 1985; de laatste kaart werd voor dit onderzoek in 1988 bijgewerkt), een bodemkaart en een schat aan gedetailleerde archivalisch-kadastrale gegevens, waarmee de bosgeschiedenis nauwkeurig kan worden gereconstrueerd. Met het oog op meer gedetailleerd vervolgonderzoek, dienen hier ook de beschikbaarheid van meer dan honderd vegetatie-opnamen en ruim twintig profiel-beschrijvingen met analyse-gegevens, beide uit de vijftiger jaren, genoemd te worden.

Achtergrond van het onderzoek
Met het onderzoek aan de recente vegetatie-veranderingen in het Speulderbos wordt beoogd een bijdrage te leveren aan het onderzoek naar de gevolgen van de atmosferische depositie van verzurende en vermestende stoffen op (half)natuurlijke vegetaties.

De laatste jaren zijn op dit terrein vele publikaties verschenen. Het betreft hier echter voornamelijk aquatische en amphibische systemen (o.a. Van Dam, 1987; Arts, 1990), dan wel korte terrestrische vegetaties, met name heidevelden (o.a. Roelofs et al., 1984), schraalgraslanden (o.a. Van Dam et al., 1986) en kalkgraslanden (o.a. Bobbink en Willems, 1987). Onderzoek aan de gevolgen van verzurende en eutrofiërende depositie voor bossen zijn echter vooral op de vitaliteit van de opstand gericht (o.a. Van den Tweel en Den Boer, 1986). Aan de veranderingen van de natuurlijke ondergroei van bossen is veel minder aandacht besteed (Van den Burg, 1983). In het recente overzichtsartikel van Van der Aart et al. (1988) blijven de veranderingen van de natuurlijke bosvegetaties zelfs geheel onbesproken. Van Breemen en van Dijk (1988) maken melding van een algemene trend van vestiging dan wel uitbreiding van enige nitrofiele soorten in de Nederlandse bossen. Nadere onderzoeksresultaten of literatuurverwijzingen worden echter niet gegeven.

De geringe aandacht voor de veranderende ondergroei van bossen is verklaarbaar uit het feit, dat de Nederlandse bossen voor het grootste deel nog zeer jong zijn, daterend uit de periode van de grote heide-bebossingen die zijn hoogtepunt had tussen 1860 en 1940. Deze jonge bossen worden, met name op de armere gronden, vanuit botanisch oogpunt vaak als weinig interessant beschouwd. Ook is het moeilijk in deze jonge systemen de gevolgen van verzurende en vermestende depositie los te zien van natuurlijke processen (herstel na eeuwenlange verarming ten gevolge van heide-beheer).

Meer aandacht voor de natuurlijke ondergroei van onze bossen, met in begrip van de jonge heide-ontginningen, lijkt echter gerechtvaardigd aangezien de Nederlandse bossen, die samen ca. 300 000 ha beslaan (Meerjarenplan Bosbouw, 1984) zeker in potentie een grote natuurwaarde vertegenwoordigen. Drie zaken zijn hierbij aan de orde:

(1) met de toenemende ouderdom van de bossen kan men in zijn algemeenheid ook een hogere natuurwaarde verwachten (Hermy, 1985);
(2) recente ontwikkelingen in het bosbeheer zullen het ontstaan van meer natuurlijke bossen versnellen (Meerjarenplan Bosbouw, 1984);
(3) onze bossen behoren tot de weinige grote aaneengesloten terreinen in Nederland die buiten de directe invloed van overbemesting zijn gebleven en waar bestrijdingsmiddelen relatief weinig worden gebruikt (Westhoff et al., 1973).

Literatuur

Uit het bovenstaande mag niet geconcludeerd worden dat er in Nederland helemaal geen onderzoek naar veranderingen in bosvegetaties is gedaan. Met name onder leiding van medewerkers van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer te Leersum is in een reeks studenten-onderzoeken aan dit onderwerp aandacht besteed. Hier van belang zijn vooral de studies naar vegetatie-veranderingen in bossen op de pleistocene zandgronden: het onderzoek van De Vries (1982) bij Kootwijk (op de Veluwe), van Geerdes (1985) in de Sijsselt (eveneens op de Veluwe) en van Van Kasteel en Kruizinga (1989) op het landgoed de Stippelberg (in de Peel).

De studie van Van Kasteel en Kruizinga behandelt de ontwikkeling van Grove dennebossen in de periode 1959-1988, op heide-ontginningen (1883-1935) in een

door bio-industrie en overbemesting gedomineerd deel van Nederland (Van Breemen en Van Dijk, 1988). De bodem bestaat hier vooral uit vochtige tot droge, arme zandgronden (veldpodzolgronden). De belangrijkste ontwikkeling is een sterke toename van Pijpestrootje (*Molinia caerulea*), ten koste van stikstof-mijdende én merkwaardigerwijs ook stikstof-minnende soorten. Bij de interpretatie van hun resultaten hechten de auteurs hechten veel betekenis aan zowel de atmosferische depositie van stikstof, als aan het "uitgewerkt" zijn (door uitspoeling en opname in de biomassa) van de mestgift bij aanleg.

Het studiegebied van Geerdes is de Sijsselt op de Zuid-Veluwe bij Ede, een bosgebied dat in veel opzichten vergelijkbaar is met het Speulderbos. Beide bosgebieden zijn gelegen op de Veluwe, op een stuwwal met moderpodzolgronden als meest algemene bodemeenheid en op vergelijkbare afstand van de Gelderse Vallei, een concentratiegebied van bio-industrie. Bovendien zijn beide gebieden reeds vanuit de Middeleeuwen als bosgebied bekend (Ten Houte de Lange, 1977). Anders dan voor het Speulderbos geldt, was er in de Sijsselt eeuwenlang nauwelijks sprake van een beschermde status. Het gebied was zo intensief in gebruik voor de winning van plaggen voor de potstal, dat er in de 18^{e} eeuw in feite geen sprake van bos meer was, maar van heide met verspreide eikestruiken. Eerst in 1770 wordt de herbebossing ter hand genomen (Van Oosten Slingeland, 1958; Van Goor en Van Oosten Slingeland, 1963).

Ook het onderzoek van Geerdes beperkt zich tot opstanden van Grove den. Zijn belangrijkste conclusie met betrekking tot de vegetatie-veranderingen gedurende de periode 1959-1984 is een afname van oligotraphente soorten (door hem beschouwd als heide-relicten) en een toename van nitrofiele soorten. De auteur wijst de atmosferische depositie van stikstof aan als één der hoofdoorzaken van deze ontwikkelingen.

Het onderzoek van De Vries (1982) bij Kootwijk was gericht op geheel andere Veluwse bostypen, althans voor wat betreft de bodem en de bosgeschiedenis. Het betreft hier namelijk zeer jonge bossen van Grove den op stuifzand (aanleg in 1920 of later). Het gebied grenst bovendien, i.t.t. het Speulderbos en de Sijsselt, direct aan de Gelderse vallei. In de jaren 1957 en 1958 werd hier door de voormalige Stichting voor Bodemkartering een vegetatie- en bodemkartering uitgevoerd. De Vries bestudeerde de veranderingen in de vegetatie aan de hand van een transect-onderzoek waarbij om een (min of meer) vaste afstand vegetatie-opnamen werden gemaakt.

Zij concludeert dat er in ruim twintig jaar een zeer sterke nivellering van de bosvegetatie was opgetreden m.b.t. het door de vegetatie geïndiceerde trofie-niveau. Het areaal van de voor een laag trofie-niveau indicatieve typen is sterk afgenomen. De "armste" typen, de *Cladonia*-vegetaties, bleken zelfs geheel verdwenen. Het effect van de nivellering werd versterkt door een opvallende achteruitgang van een aantal eutrafente soorten in de "rijkere" typen, een resultaat dat overeenkomt met de bevindingen van Van Kasteel en Kruizinga (1989) in de Peel. Voorts bleek er sprake te zijn van een zeer sterke toename van Bochtige smele (*Deschampsia*

flexuosa) ook in vegetatietypen die voor wat betreft hun indicatiewaarde voor het trofie-niveau niet veranderd zijn.

De Vries verklaart de opgetreden veranderingen uit een combinatie van atmosferische depositie van stikstof en (met name waar het de teloorgang van de *Cladonia*-vegetaties betreft) natuurlijke vegetatie-ontwikkeling in jonge bossen. Zij suggereert verder een verband tussen de toename van *Deschampsia* en de achteruitgang van eutrafente soorten enerzijds en het optreden van aluminium-toxiditeit (ten gevolge van bodemverzuring) anderzijds.

Bij al deze onderzoeken stond de diachronische studie van vegetatie-opnamen centraal. Timmermans en Cuppen (1988) kozen in hun onderzoek naar de gevolgen van vermesting op de bosvegetatie in een studiegebied op de Veluwe ten westen van Apeldoorn voor een meer landschappelijke benadering. Bij gebrek aan historische referenties moesten zij zich beperken tot een synchronische vegetatievergelijking, waarbij naast het zwaar vermeste, eigenlijke studiegebied, ook een relatief weinig beïnvloed referentiegebied bestudeerd werd. Bodemkundig is hun studiegebied redelijk vergelijkbaar met het Speulderbos (haar- en moderpodzolgronden). Geconcludeerd wordt dat in de directe omgeving van de intensieve veehouderij relatief veel stikstof-minnende soorten voorkomen. In het studiegebied is echter vrijwel geen oud bos aanwezig, zodat het onderscheid tussen natuurlijke vegetatie-ontwikkeling en verstoring door uitwendige invloeden onbesproken moest blijven.

Naast bovengenoemde vegetatiekundig georiënteerd onderzoek dient hier nog het werk van Quené-Boterbrood (1988) genoemd te worden, die veranderingen in de flora van 17 overwegend droge natuurgebieden (waaronder de Stippelberg en het Speulderbos) onderzocht in relatie tot verschillen in ammoniak-emissie in de omgeving. Zij concludeert dat in vrijwel alle onderzochte gebieden er sprake is van een toename van (algemene) stikstof-minnende soorten en een achteruitgang van zeldzame soorten van voedselarme standplaatsen. Deze achteruitgang is het grootst in gebieden met een matige tot hoge ammoniak-emissie. Het Speulderbos behoort, landelijk gezien, tot de minst zwaar getroffen gebieden. De conclusies voor wat betreft de Stippelberg komen overeen met de opmerkelijke bevindingen van Van Kasteel en Kruizinga (1989).

Ook in de ons omringende landen wordt onderzoek gedaan aan veranderingen in bosvegetaties. Voorbeelden zijn het werk van Werner en May (1989) in Duitsland en Falkengren-Grerup (1990) in Zuid Zweden. Bekend zijn ook de alarmerende berichten over bossterfte in Midden Europa (o.a. Medwecka-Kornaś en Gawrónski, 1990; Zuid-Polen). Het is echter moeilijk onderzoeks resultaten uit het buitenland zonder meer naar de Nederlandse situatie te vertalen. Veelal zijn bodem/geologie, bosgeschiedenis, klimaat en plantengeografische positie slecht vergelijkbaar met de Nederlandse situatie. Bovendien is de verzurende depositie in het buitenland veelal afwijkend van de Nederlandse situatie, zowel in kwantitatief als kwalitatief opzicht. Verzuring is buiten Nederland veelal een gevolg van atmosferische SO_2-depositie. Stikstof-depositie is, internationaal gezien, van minder betekenis; verzuring en eutrofiëring zijn in grote delen van Europa daarom minder strak gekoppeld dan

in ons land (Arts, 1990). Overigens lijkt de mate van atmosferische stikstof-depositie in Europa veelal te worden onderschat (W. de Vries, mond. med.).

Opbouw van het rapport

In dit rapport zal eerst de gevolgde werkwijze worden besproken; deze werd deels speciaal voor dit onderzoek ontworpen (hoofdstuk 2). Hoofdstuk 3 geeft beschrijvingen per aspect van het landschap (bodem, vegetatie, enz.). Hoofdstuk 4 gaat in op enkele van de belangrijkste landschappelijke relaties (bodem - vegetatie, enz.). Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van het onderzoek:

(1) een beschrijving van de hoofdtrends in de verandering en
(2) de relatie tussen de geconstateerde veranderingen en verschillende relevante omgevings factoren.

Hoofdstuk 6, tenslotte, geeft de conclusies van het rapport. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen

(1) conclusies met betrekking tot de resultaten;
(2) conclusies met betrekking tot de gevolgde methode en
(3) de betekenis van de resultaten voor het beheer.

2 METHODE

2.1 Algemene beschrijving

De gehanteerde methode berust op een systematische overlay-procedure. Hierbij werd gebruik gemaakt van het geografisch software-pakket programma ARC-INFO (Dangermond, 1983; ESRI, 1989). In par. 2.3 wordt nader ingegaan op een aantal meer technische aspecten van de verwerking m.b.v. ARC-INFO.

De eerste fase van het onderzoek is de vergelijking van een tweetal vegetatiekaarten: één uit 1958 en één uit 1985/1988 (zie paragraaf 2.2). Deze vergelijking geeft inzicht in de veranderingen van de spontane vegetatie (de ondergroei) van het Speulderbos in de afgelopen 30 jaar.

De geconstateerde veranderingen worden weergegeven op een "veranderingen-kaart". Voorwaarde voor een zinvolle vergelijking van de beide vegetatiekaarten is de vergelijkbaarheid van de legenda's. Daarvoor is een nieuwe indeling gemaakt in vijf klassen, waarbij iedere klasse een bepaald trofie-niveau van de standplaats indiceert. Alle in 1958 en/of 1988 onderscheiden vegetatietypen zijn vervolgens toegedeeld aan één van deze trofie-klassen (zie par. 2.4). In deze studie wordt nu onder de term "vegetatieverandering" verstaan: een verandering van het door de vegetatie geïndiceerd trofie-niveau. De gevonden vegetatie-veranderingen kunnen zo worden geïnterpreteerd als verrijking of verarming van het bosmilieu. Veranderingen van de vegetatie die niet gekoppeld zijn aan veranderingen in het trofie-niveau worden in deze studie niet in beschouwing genomen.

In een tweede fase worden de gevonden veranderingen in verband gebracht met een aantal, relevant geachte componenten van het bosecosysteem. De volgende componenten worden in het onderzoek betrokken:
(1) de vegetatie in 1958;
(2) de bodem;
(3) de bosgeschiedenis;
(4) de beheersgeschiedenis;
(5) opstandskenmerken en
(6) de afstand tot het dichtstbijzijnde cultuurland.

De ecologische betekenis van deze laatste factor behoeft wellicht enige toelichting. Het naburig cultuurland vormt een potentiële bron van luchtvervuiling en de afstand tot de bron is mede bepalend voor de grootte van de stikstof-depositie in het bos (o.a. Asman en Maas, 1987; Draaijers et al., 1987; Denneman, 1989).

Aan een mogelijke relatie met grondwaterstanden werd geen aandacht besteed. Van enige invloed van het grondwater op de vegetatie is en was in dit gebied namelijk geen sprake (Mekkink et al., 1986).

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de onderzochte ecosysteem componenten wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Ook de tweede onderzoeksfase berust op een overlay-procedure m.b.v. ARC-INFO. De "veranderingen-kaart" wordt vergeleken met een aantal kaarten waarop de bovengenoemde ecosysteem-componenten staan weergegeven. Een verantwoording van het gebruikte kaartmateriaal wordt gegeven in par. 2.2. Het resultaat is een "combinatie-kaart", d.w.z. een overlay van alle gebruikte kaarten.

Uit deze combinatie-kaart (en het bijbehorende data-bestand) kunnen verbanden tussen vegetatie-verandering en ecosysteem-componenten worden afgeleid. Dit is op twee manieren gebeurd. Enerzijds werd het verband tussen vegetatie-veranderingen en elk der componenten afzonderlijk uitgedrukt in de (naar oppervlakte gewogen) gemiddelde verandering per klasse voor elk der ecosysteem-componenten (bijv. per bodemeenheid, opstandstype, enz.). Anderzijds werd de relatie tussen enerzijds de vegetatie-veranderingen en het gehele complex van ecosysteem-componenten onderzocht m.b.v. multipele regressie-analyse. Op deze laatste techniek wordt nader ingegaan in par. 2.5.

Een voordeel van de geautomatiseerde overlay van kaarten is de mogelijkheid om op systematische wijze de relaties tussen de verschillende ecosysteem-componenten onderling te onderzoeken. Hierdoor wordt een beter totaalbeeld van de uitgangssituatie (de toestand in 1958) verkregen. Ook de interpretatie van de resultaten van de multivariate regressie analyse wordt erdoor vergemakkelijkt. De gevonden relaties tussen de verschillende ecosysteem-componenten worden kort besproken in hoofdstuk 4.

2.2 Gebruikte kaarten en overig basis materiaal

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de verschillende kaarten die t.b.v. de overlay-procedure zijn gedigitaliseerd. Daarbij wordt vermeld welke kenmerken aan de gedigitaliseerde kaarten zijn toegevoegd (zie ook par 2.3).

Nabijheid cultuurland
De nabijheid van het cultuurland werd geïnventariseerd vanaf recente topografische kaarten. Aangegeven werden een aantal zones die gedefinieerd zijn door een bepaalde afstand tot het dichtstbijzijnde perceel cultuurland. De gebruikte zones zijn 0-50 m, 50-100 m, 100-250 m, 250-500 m, 500-1000 m, 1000-2000 m, 2000-3000 m, 3000-4000 m, enz. Deze zonering is mede gebaseerd op de door Asman en Maas (1987) aan de hand van modelberekeningen opgestelde relaties tussen de atmosferische depositie van stikstof en de afstand tot de bron. Een nadere detaillering van het traject 0-50 m zou blijkens bovengenoemde modelberekeningen en metingen van Draaijers et al. (1987) zinvol zijn, maar is op de hier gehanteerde schaal niet praktisch uitvoerbaar.

De nabijheid van het cultuurland werd op twee schaal niveaux bepaald: namelijk op regionale schaal, d.w.z. de afstand tot het dichtst bijzijnde grote aaneengesloten gebied met cultuurgronden (de Gelderse Vallei) en op locale schaal, d.w.z. de afstand tot de kleinere, deels aan het Speulderbos grenzende landbouwenclaves van Drie, Speuld, Houtdorp en Garderen.

Bodem
Er werd gebruik gemaakt van de bodemkaart van Mekkink et al. (1986) uit 1985. De schaal van deze kaart is 1 : 10 000. Letterdeel, cijferdeel en de diverse gebruikte toevoegingen werden als afzonderlijke kenmerken ingevoerd.

Bodembewerking
De omvang en diepte van de bodembewerking werd geïnventariseerd aan de hand van de opstandsleggers en de bijbehorende bedrijfskaarten (beschikbaar vanaf 1925; bron: archief Staatsbosbeheer), de bodemkaart van 1985 (Mekkink et al., 1986) en de bijbehorende boorstaten en veldkaartjes (bron: archief STIBOKA).

Bosgeschiedenis
Van belang zijn zowel de periode van bosaanleg, als het grondgebruik voorafgaande aan de bosaanleg. Interessant is ook welke delen van het bos vroeger als hakhout in gebruik waren. Verschillen in beheer tussen hakhout en opgaand bos zijn in ecologisch opzicht van belang. Hierbij spelen enerzijds de diepe grondbewerking en de (al dan niet herhaalde) mestgift, anderzijds de grotere afvoer van biomassa in hakhoutculturen een rol (zie ook Buis, 1985).

De desbetreffende informatie is ontleend aan ongepubliceerd archivalisch kadastraal kaartmateriaal van de (kadastrale) gemeenten Putten en Ermelo (toestand van ca. 1832) en de topografische kaarten van 1871, 1885, 1916 en 1930. De oorspronkelijke schaal van het kadastraal materiaal is 1 : 2500, van de gebruikte topografische kaarten 1 : 25 000. Het geraadpleegde kadastrale archieven zijn het Rijksarchief te Arnhem (voor het kaartmateriaal) en het Archief van het kadaster, Directie Gelderland eveneens te Arnhem (voor het bijbehorend register: de Oorspronkelijk Aanwijzende Tabel of wel de O.A.T.). De eerste topografische kaart van circa 1850 (schaal 1 : 50 000) is niet gebruikt omdat deze niet gebaseerd is op een nieuwe opname, maar slechts een gegeneraliseerde versie van het oudere kadastraal materiaal vormt. Onderzocht is voor de verschillende peiljaren welke delen van het gebied bestonden uit bos, heide, bouwland of boomkwekerij. Binnen het huidige bosareaal komt geen voormalig grasland voor.

Het onderscheid tussen opgaand bos en hakhout kon, op grond van bovengenoemde bronnen, alleen gemaakt worden voor de situatie in 1832. Een deel van het voormalig hakhout-areaal is later omgevormd tot opgaand bos met andere boomsoorten, terwijl er ook na 1832 nieuwe hakhout-percelen zijn aangelegd. Deze percelen en het resterend deel van de oudere hakhout-culturen zijn nu grotendeels omgevormd tot eike-spaartelgbossen (zie hieronder: opstandsgegevens).

Opstandsgegevens
Van belang zijn leeftijd en type (d.w.z. dominante boomsoort) van de opstanden in 1958 en 1988. Hierbij is uitgegaan van de bedrijfskaart 1950-1960, de bijbehorende opstandsleggers, de opstandenkaart van 1960 en de opstandenkaart van 1980 (bron: Staatsbosbeheer). Aanvullende gegevens betreffende recente kapvlakten zijn ontleend aan de vegetatie kaart van 1985 (Mekkink et al., 1986) en de aanvullende kartering van 1988 (zie hierboven: vegetatie 1988). Kaalkap en opstandswisseling die plaats vond gedurende de periode 1985-1988 buiten de hergekarteerde delen van de boswachterij werden niet verwerkt, omdat de bijbehorende gegevens betreffende de spontane vegetatie ook betrekking hebben op de situatie in 1985.

Bemesting
Het type en jaar van bosbemesting werd eveneens geïnventariseerd aan de hand van de opstandsleggers en de bijbehorende bedrijfskaarten (zie hierboven: bodembewerking).

Vegetatie 1958
Er is gebruik gemaakt van een niet gepubliceerde vegetatiekaart, vervaardigd in de periode 1957-1959 (bron: archief STIBOKA). De bijbehorende legenda werd met een beknopte presentie-tabel wel gepubliceerd (Leys, 1964). De oorspronkelijke schaal van de kaart is 1 : 5000. De gedigitaliseerde kaart is echter een tot schaal 1 : 10 000 verkleinde versie. Bij de verkleining is het kaartbeeld vrijwel niet gegeneraliseerd. De verschillende onderscheiden vegetatietypen en de toevoeging "met Adelaarsvaren" werden als afzonderlijke kenmerken ingevoerd. Daarnaast werd nog een aantal punt-gegevens gedigitaliseerd, namelijk vindplaatsen van Hulst (*Ilex aquifolium*).

Vegetatie 1988
Als basiskaart werd de in 1985 opgenomen vegetatiekaart van Mekkink et al. (1986) gebruikt. De schaal van deze kaart is 1 : 10 000. De vegetatietypen zijn benoemd volgens het systeem van Bannink, Leys en Zonneveld (1973). In de loop van 1988 werd in een beperkt deel van het studie gebied een aanvullende kartering verricht. Dit was noodzakelijk omdat in 1985 delen van de oude beukebossen met zeer schaarse ondergroei als "ondergroeiloos" gekarteerd waren. Voor deze, in het kader van dit onderzoek uitgevoerde, aanvullende kartering werd gebruik gemaakt van de ook in 1958 gebruikte vegetatietypologie.

2.3 Gebruik van het geografisch software-pakket ARC-INFO

ARC-INFO is een software-pakket voor het opslaan, bewerken en presenteren van geografische gegevens. ARC-INFO heeft de mogelijkheid om de gegevens op te slaan in polygonen; het is een zogenaamd vector-systeem (Dangermond, 1983).

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de volgende technieken:
1 opslag van kaartgegevens (vlakken en punten);

2 overlay van kaarten, waarbij nieuwe combinatie-kaarten ontstaan;
3 combinatie van geselecteerde kenmerken tot nieuwe kenmerken;
4 generaliseren van kaarten;
5 elimineren van grenzen tussen vlakken met een zelfde waarde of code voor een bepaald kenmerk;
6 bepaling van de oppervlakte van geselecteerde vlakken;
7 printen van kaarten.

Tabel 1 Overzicht van het gedigitaliseerde kaartmateriaal

Type kaart	Kenmerken:
vegetatiekaart 1958	**vegetatietype (v)**
	toevoeging Adelaarsvaren (v)
	verspreiding Hulst (p)
	vertaling naar trofie-niveau (v)
vegetatiekaart 1988	**vegetatietype (v)**
	toevoeging Adelaarsvaren (v)
	verspreiding Hulst (p)
	vertaling naar trofie-niveau (v)
bodemkaart	**letterdeel code (v)**
	cijferdeel code (v)
	toevoegingen (v)
bosgeschiedeniskaart	**grondgebruik 1832 (v)**
	grondgebruik 1870 (v)
	grondgebruik 1885 (v)
	grondgebruik 1916 (v)
	grondgebruik 1932 (v)
opstandenkaart	**type opstand 1958 (v)**
	leeftijd opstand 1958 (v)
	type opstand 1988 (v)
	leeftijd opstand 1988 (v)
	opstandswisseling 1958-1988 (v)
	bodembewerking (v)
	type bodembewerking (v)
	bemesting (v)
	type bemesting (v)
nabijheid cultuurgrond	**lokaal (v)**
	regionaal (v)

(v) vlak-informatie
(p) punt-informatie

Een aantal van deze punten zullen nu kort worden toegelicht. Voor een uitgebreidere en meer technische bespreking van de mogelijkheden van het ARC-INFO systeem kan verwezen worden naar Dangermond (1983) en de gebruikershandleiding (ESRI, 1989).

Ad 1. Bij de opslag en verdere verwerking van kaartgegevens wordt een strikt onderscheid gemaakt tussen de geografische informatie (punten, lijnen, vlakken) en de thematische informatie (vlaknummers, kenmerken, enz.). In de praktijk blijkt dat voor de opslag en verwerking van het geheel van de kaartgegevens, de hoeveelheid en complexiteit van de geografische informatie de beperkende factor

vormt. Om de geheugen-capaciteit van het gebruikte computer-systeem niet te overschrijden, is daarom getracht het aantal te digitaliseren kaarten zo beperkt mogelijk te houden. Hiertoe zijn in enkele gevallen de verschillende basiskaarten vooraf handmatig gecombineerd tot één te digitaliseren kaart. De combinatie van kenmerken die aan elk der gedigitaliseerde kaarten gekoppeld werd, berustte veelal op pragmatische gronden. In het totaal werden zes kaarten met vlak-gegevens en twee kaarten met punt-gegevens gedigitaliseerd (zie tabel 1).

Ad 3. De belangrijkste combinatie van kenmerken vond plaats bij de vertaling van vegetatietype naar trofie-niveau (zie par. 2.4) en de bepaling van de mate van verrijking, dan wel verarming van de bosbodem door een vergelijking van de trofie-niveaux in 1958 en 1988.

Ad 4. Een lichte, stapsgewijze generalisatie van het kaartbeeld was noodzakelijk in verband met de geheugen-capaciteit van het computer-systeem. De gevolgen van deze ingreep en de gesommeerde oppervlakte voor de diverse kenmerken is erg gering. De uiteindelijke "combinatie-kaart" telt nog 11 619 vlakjes.

Ad 5. Eliminatie van grenzen tussen vlakken met een zelfde waarde of code voor een bepaald kenmerk is alleen van belang wanneer vanuit de combinatie-kaart een aspect-kaart gedestilleerd moet worden (zie hfst. 3). Eliminatie van grenzen gebeurt alleen ten dienste van een goede grafische weergave. Voor de verwerking van de gegevens worden geen grenzen geëlimineerd.

Ad 6. De oppervlakte van geselecteerde vlakken wordt uitgedrukt in 0,1 ha. De bepaling van de gesommeerde oppervlakte voor geselecteerde kenmerken vormt de basis voor de verdere verwerking van de gegevens (zie par. 2.1).

2.4 Vergelijking van de vegetatiekaarten

In deze paragraaf worden achtereenvolgens besproken: de legenda van de vegetatiekaart van Leys uit 1958 (ongepubliceerd), de legenda van de vegetatiekaart van 1985 (Mekkink et al., 1986) en de wijze waarop beide legenda's in dit rapport met elkaar in verband zijn gebracht in de vorm van een vertaalsleutel. Zoals eerder vermeld werd de aanvullende kartering van 1988 verricht m.b.v. de legenda van 1958.

Legenda 1958/1988
Er werd geen onderscheid gemaakt tussen "donkere" en "lichte" bossen. De volgende vegetatietypen zijn onderscheiden:

O Witte klaverzuringtype;
OL Witte klaverzuring - Wilde kamperfoelietype;
OR Witte klaverzuring - Braamtype;
L Wilde kamperfoelietype;
RL Braam - Wilde kamperfoelietype;
R Braamtype;

RDr Braam - Bochtige smeletype (schaarse ondergroei);
D Bochtige smeletype;
VD Blauwe bosbes - Bochtige smele type;
V Blauwe bosbestype;
r Kruidenarme type (schaarse ondergroei);
Le Kussentjesmostype;
Vi Vossebestype;
M Mostype (Klauwtjesmos e.a.);
A Volkomen kaal.

Als toevoegingen zijn van belang groeiplaatsen van Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*; vlak-informatie) en Hulst (*Ilex aquifolium*; punt-informatie). Voor een meer gedetailleerde omschrijving van de onderscheiden typen kan verwezen worden naar Leys (1964); zie ook par. 3.6 van dit rapport.

Legenda 1985
De volgende vegetatietypen zijn onderscheiden:
In de lichte bossen (Den, Eik, Larix):
Z Gezelschap van Witte klaverzuring, Hazelaar en Drienerfmuur;
R3 Gezelschap van Gladde witbol, Valse salie en Braam;
R2 Gezelschap van Braam, Brede en Smalle stekelvaren en Groot laddermos;
R1 Gezelschap van Bronsmos, Bochtige smele en Struisgrassen (R1.1) en Gezelschap van Bronsmos en Wilde Lijsterbes (R1.2).;
H2 Gezelschap van Bronsmos en Groot laddermos;
H1 Gezelschap van Bronsmos, Klauwtjesmos en Gewoon gaffeltandmos;
0 Vegetatie ontbreekt vrijwel geheel;
Toevoeging l: met Wilde kamperfoelie.

In de donkere bossen (Beuk, Douglasspar, Fijnspar, enz.):
VI Gezelschap van Rankende helmbloem, Witte klaverzuring en Braam;
V Gezelschap van Wilde kamperfoelie, Brede en Smalle stekelvaren en Drienerfmuur;
IV Gezelschap van Brede en Smalle stekelvaren en Liggend walstro;
III Gezelschap van Bos-kronkelsteeltje, Wilde lijsterbes en knikkend wilgeroosje;
II Gezelschap van Bos-kronkelsteeltje en Gewoon sterremos;
0 Vegetatie ontbreekt vrijwel geheel.

Voor een meer gedetailleerde omschrijving van de onderscheiden typen kan verwezen worden naar het rapport van Mekkink et al. (1986). De gebruikte typologie is ontleend aan Bannink et al. (1973).

Vertaalsleutel
De relatie tussen de verschillende hierboven vermelde typologieën wordt weergegeven in tabel 2. Aangegeven is een vertaling van de onderscheiden vegetatietypen naar hun indicatie-waarde voor de voedselrijkdom van de standplaats in een vijftal klassen, overeenkomend met de indicatie-waarde van de door Bannink, Leys en Zonneveld (1973) onderscheiden typen van de "donkere" bossen.

De hoogste waarde (6) komt hierbij overeen met het hoogste trofie-niveau; de laagste waarde (1) komt in het Speulderbos niet voor. De vertaalsleutel kwam tot stand in overleg met de betrokken karteerders, te weten Leys (kartering 1957-1958) en Dirckx en Mekkink (kartering 1985 en 1988; zie par. 2.2: vegetatie 1988).

Tabel 2 Vertaalsleutel legenda's vegetatiekaarten 1958 en 1985

Code58	Hulst58	Adel.58	Code85 lichte bossen	Code85 donkere bossen	vertaling naar trofie-niveau
O	x	x	Z	VI	6
OL	x	x	ZI	VI	6
OR	x	x	Z	VI	6
L	+	x	R3I	V	5
RL	+	x	R3I	V	5
R	+	x	R3	V	5
L	-	x	R2I	IV	4
RL	-	x	R2I	IV	4
R	-	x	R2	IV	4
RDr	x	x	R2	IV	4
D	x	+	R2	IV	4
VD	x	+	R2	IV	4
V	x	+	R2	IV	4
r	x	+	R2	IV	4
Le	x	+	--	--	4
r	+	-	--	*	4
Le	+	-	--	--	4
Vi	x	+	R2	IV	4
M	x	+	R2	IV	4
A	x	+	R2	IV	4
D	x	-	R1	III	3
VD	x	-	R1	III	3
V	x	-	H2	II	2
r	-	-	--	*	3
Le	-	-	--	--	3
Vi	x	-	H2	II	2
M	x	-	H1	II	2
A	x	-	0	0	?

hulst58 = toevoeging Hulst (punt)
adel.58 = toevoeging Adelaarsvaren (vlak)
+ = aanwezig
- = afwezig
x = aanwezigheid niet van belang
*** = niet onderscheiden (gekarteerd als 0)**
-- = verdwenen type
? = geen vertaling mogelijk
Complexen van typen van verschillend trofie-niveau (alleen onderscheiden in 1958) worden gewaardeerd naar het rijkste type van het complex.

2.5 Multipele regressie-analyse

Lineaire regressieanalyse is een statistische methode om de samenhang tussen twee of meerdere variabelen te onderzoeken. De gevonden relatie wordt mathematisch uitgedrukt in een vergelijking, waarbij de zogenaamde responsvariabele "verklaard" wordt met behulp van een of meerdere predictorvariabelen.

Met behulp van deze methode wordt onderzocht welke componenten van het bosecosysteem, binnen het gehele complex van componenten, een statistisch significante verklaring geven voor de vegetatie-verandering. Zowel kwalitatieve als kwantitatieve variabelen kunnen hierbij de functie van predictorvariabelen vervullen.

Met behulp van multipele regressie analyse kan tevens worden onderzocht in hoeverre er sprake is van interacties tussen de ecosysteem-componenten. Van interaktie tussen componenten is sprake als blijkt dat de invloed van de ene component op de vegetatie-verandering afhangt van de waarde van een andere component.

Het gebruik van multipele regressie-analyse vormt een aanvulling op het onderzoek naar correlaties tussen vegetatie-verandering en de afzonderlijke ecosysteem-componenten (aan de hand van de naar oppervlakte gewogen gemiddelde verandering per klasse). Deze aanvulling is noodzakelijk, indien de componenten onderling gecorreleerd zijn (Jongman et al., 1987; Oude Voshaar, 1990). Dit is in deze studie duidelijk het geval (zie hfdst. 4).

Tabel 3 Overzicht van de bij de regressie-analyse betrokken predictorvariabelen

No.	Predictorvariabele	Aantal klassen	Zie tabel
1	**vegetatie in 1958 (uitgedrukt in trofie-niveau)**	5	2
2	**voorkomen Adelaarsvaren in 1958 (uitgedrukt in wel of niet)**	2	-
3	**bodemeenheid**	7	6
4	**opstandstype in 1988 (uitgedrukt in dominante boomsoort)**	8	8
5	**leeftijd van de opstand in 1988**	7	20
6	**opstandswisseling (uitgedrukt in wel of niet)**	2	-
7	**bosgeschiedenis**	5	7
8	**bodemverwerking (uitgedrukt in wel of niet)**	2	-
9	**bemesting bij aanleg (uitgedrukt in wel of niet)**	2	-
10	**afstand tot de dichtsbijzijnde cultuurgronden (locale invloed)**	6	4
11	**afstand tot cultuurgronden in de Gelderse vallei (regionale invloed)**	5	5

In deze studie wordt de door de vegetatie geïndiceerde verandering in trofie-niveau beschouwd als responsvariabele. Een elftal omgevingsfactoren wordt als predictorvariabelen bij de regressie-analyse betrokken (tabel 3).

De gebruikte gegevens zijn afkomstig van de overlay-procedure met behulp van ARC-INFO. Deze procedure levert een lijst met alle voorkomende combinaties van mate van vegetatie-verandering en de in tabel 3 genoemde predictorvariabelen met hun totale oppervlakte (uitgedrukt in 0,1 ha). Combinaties met een oppervlakte < 0,1 ha zijn weggelaten. Eveneens zijn 0,8 ha heide en 0,2 ha populier en de gegevens van vak 5 en 12 weggelaten (zie ook par 5.1). In totaal hebben 1724 combinaties (te beschouwen als steekproefeenheden) meegedaan. Deze zijn gewogen naar hun oppervlakte, zodat de gegevens beschouwd kunnen worden als zijnde verzameld per rastercel van 0,1 ha.

De bewerkingen zijn uitgevoerd met het statistisch verwerkingprogramma GENSTAT 5 Release 1.3. (Lane en Galway, 1987; Payne et al., 1989).

Bij de verwerking van de gegevens doen zich een aantal praktische beperkingen voor:

(1) De predictorvariabelen zijn nominale (kwalitatieve) grootheden. De verwerkingsmogelijkheden in Genstat (met name ten aanzien van modelselectie) van kwalitatieve predicorvariabelen zijn beperkter dan van kwantitatieve predictoren. Er zijn twee methoden om tot het meest passende model te komen: voorwaartse en achterwaartse selectie. Hierbij wordt stapsgewijs vanuit een respectievelijk volledig of leeg model gekeken welke variabelen het beste resultaat leveren. Beide technieken zijn in deze studie toegepast.

(2) De variabelen vegetatie-verandering (responsvariabele) en de vegetatie in 1958 (predictorvariabele) worden als kwantitatief beschouwd. Het is niet aannemelijk dat deze banadering de gezochte samenhang wezenlijk beïnvloedt.

(3) Het grote aantal variabelen (waarvoor variërend 2 tot 8 parameters moeten worden berekend) had tot gevolg dat niet alle 2^{11} mogelijkheden konden worden doorgerekend. Het was dus niet mogelijk om vanuit een totaal model (waarin alle componenten en mogelijke interacties) te zoeken naar het meest passende. In de eerste plaats is gekeken naar de invloed van de hoofdeffecten zonder interactie. Vervolgens is gezocht naar de invloed van enkele veronderstelde interacties.

Een interessante toepassing van de resultaten van de multipele regressie-analyse is de extrapolatie van de conclusies m.b.t. tot de hoofdtrends van de door de plantengroei geïndiceerde verandering in trofie-niveau naar delen van het gebied die om practische redenen buiten de kaartvergelijking zijn gehouden (bijvoorbeeld bosgedeelten die in 1988 als ondergroeiloos gekarteerd zijn). Ook is met behulp van het regressie-model (een rekenkundige formule die per plek de relatieve mate van verrijking voorspelt) een nadere detaillering van de conclusies mogelijk. Deze extrapolatie en detaillering kunnen op een kaart worden gepresenteerd door een koppeling van het regressie-model aan het ARC-INFO-bestand.

3 HET ONDERZOEKSGEBIED

3.1 Grootte en ligging

Het Speulderbos ligt op het westelijke deel van de Veluwe, in de provincie Gelderland, binnen de gemeente Ermelo (fig. 1). De grootte van het gebied is ongeveer 950 ha. Hiervan werd circa 920 ha bij de kaartvergelijking betrokken. De overige 30 hectaren werden in 1958 en/of 1985 in beslag genomen door boomkwekerijen, recreatieterreinen, wildakkers, enz.

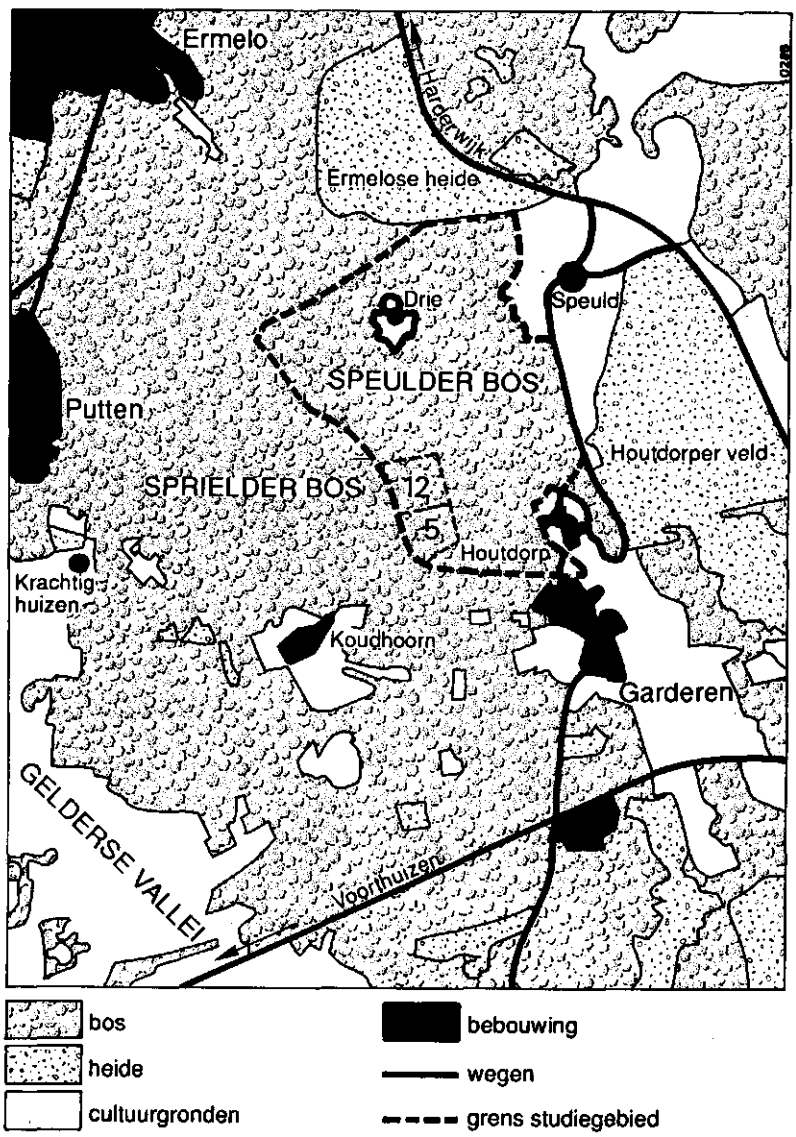


Fig. 1 Ligging van het onderzoeksgebied

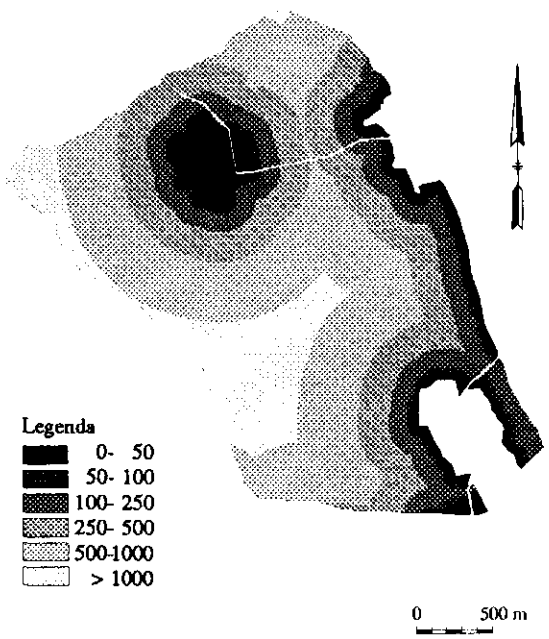


Fig. 2 Afstand (m) tot de dichtstbijzijnde cultuurgonden

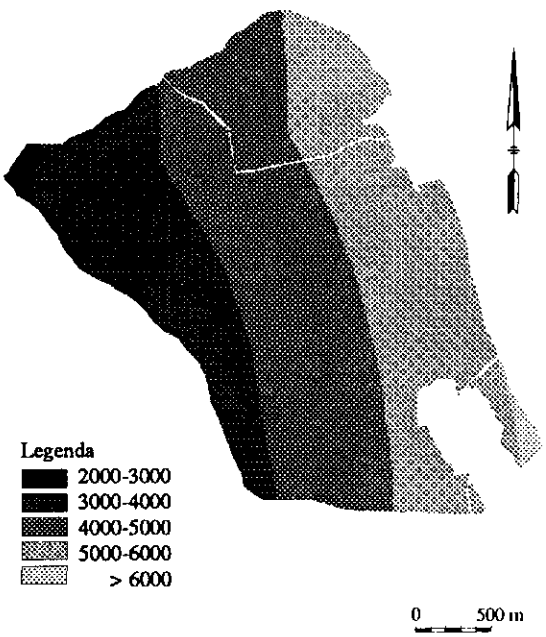


Fig. 3 Afstand (m) tot de Gelderse Vallei

De weg De Laak vormt de west- en gedeeltelijk de zuidgrens van het Speulderbos en is tevens de scheiding tussen het Speulder- en het Sprielderbos. Aan de zuidoostelijke grens bevinden zich de landbouwgronden rond de dorpen Garderen en Houtdorp. De oostgrens wordt in hoofdzaak gevormd door de Speulderweg. Het bos grenst hier zowel aan de landbouwgronden van het dorp Speuld, als aan het Speulderveld, een heidegebied dat als militair oefenterrein in gebruik is. Aan de

noordzijde grenst het Speulderbos aan de Ermelosche heide, eveneens een militair oefenterrein. Centraal in de boswachterij bevindt zich de landbouw-enclave van de oude nederzetting Drie.

Het Speulderbos is dus gelegen temidden van andere bossen, heideterreinen en relatief kleine complexen cultuurland. De afstand tot het dichtstbijzijnde cultuurland is in fig. 2 weergegeven. De oppervlakte van de in deze figuur gebruikte zones wordt gegeven in tabel 4.

Het dichtstbijzijnde grote gebied gebied met aaneengesloten cultuurgronden is de Gelderse Vallei. De afstand tot deze cultuurgronden is weergegeven in fig. 3. De oppervlakte van de in deze figuur gebruikte zones wordt weergegeven in tabel 5.

Tabel 4 Afstand tot dichtstbijzijnde cultuurgronden en oppervlakte van de onderscheiden zones

Zone	Afstand (m)	Oppervlakte	
		(ha)	(%)
1	0- 50	39	4
2	50- 100	40	4
3	100- 250	129	14
4	250- 500	224	24
5	500-1000	363	39
6	1000-2000	127	14

Tabel 5 Afstand tot cultuurgronden in de Gelderse Vallei en oppervlakte van de onderscheiden zones

Zone	Afstand (m)	Oppervlakte	
		(ha)	(%)
7	2000-3000	12	1
8	3000-4000	234	25
9	4000-5000	361	39
10	5000-6000	309	33
11	6000-7000	7	1

3.2 Geologie en geomorfologie

Voor het Saalien (de voorlaatste ijstijd) werd in het gebied waar nu het Speulderbos ligt, door verschillende rivieren materiaal afgezet. Het betreft hier vooral mineralogisch relatief rijke bruine zanden, afgezet door de Maas en de Rijn.

In het Saalien drongen grote ijsmassa's van uit Scandinavië de rivierdalen binnen. In deze relatief smalle dalen ondervond het landijs grote weerstand. Het gevolg hiervan was een grote druk van de ijslobben op de dalwand en de dalbodem. Dit

resulteerde in een sterke vervorming van de dalen, waarbij de rivierzanden uit hun oorspronkelijke horizontale ligging werden opgestuwd en plaatselijk in een bijna verticale stand omhoog werden geperst. De aldus ontstane hoogten, de "stuwwallen", liggen nu als langgerekte heuvelrijen langs de randen van de voormalige ijslobben. Uit de studiekartering van Schelling (1953) blijkt dat de stuwwal, waar op het Speulderbos ligt, waarschijnlijk gevormd is door een ijslob die gelegen heeft in het dal van de Leuvenumse beek.

In het Laat-Saalien smolt het landijs. Het smeltwater erodeerde een deel van de stuwwallen weg en het meegevoerde materiaal werd op de flanken en aan de voet van de stuwwallen weer afgezet als ijssmeltwaterafzettingen: de "fluvioglaciale zanden".

In de laatste ijstijd (het Weichselien) bereikte het landijs Nederland niet. In deze periode heerste er hier een periglaciaal klimaat. In de zomer ontdooide slechts een dunne bovenlaag van de diep bevroren grond. Langs de hellingen van de stuwwallen gleed een met water verzadigde grondmassa als een modderbrij naar beneden. Op veel plaatsen in de boswachterij ligt dit materiaal als een ca. 50-80 cm dik, zogeheten solifluctiedek aan het oppervlak, of op enige diepte, afgedekt door jongere afzettingen. Tevens werden er door sneeuwsmeltwater een groot aantal dalen op de stuwwal uit geslepen. Deze dalen worden thans, omdat ze geen water meer afvoeren "droogdalen" genoemd.

Aan het eind van het Weichselien zijn door windafzettingen de dekzanden gevormd. Tot deze dekzanden behoren ook de opvallend hoge smalle landduinen die voorkomen in het zuiden van de boswachterij en een west-oost oriëntatie hebben. Dergelijke steile hoge ruggen worden ook wel met de naam "pseudo-osars" aangeduid. In het Holoceen zijn deze landduinen bij Garderen lokaal weer door de wind verstoven; zo zijn de stuifzanden ontstaan.

Allerlei vormen van erosie hebben sterk het geomorfologische beeld van de boswachterij Speuld bepaald. Globaal wordt het beeld bepaald door grote vrijwel vlakke stuwwalplateaus die worden doorsneden door tal van erosiedalen, de bovengenoemde "droogdalen". Daarnaast vallen in het zuid-oosten de zeer hoge steile dekzandruggen op, de eerder genoemde "pseudo-osars". Veel minder spectaculaire dekzandafzettingen komen in de directe omgeving van de pseudo-osars voor en worden aangeduid als dekzandwelvingen.

Naast de door natuurlijke processen ontstane terreinvormen, heeft ook de mens zijn sporen in dit gebied achter gelaten. Zo treft men in de boswachterij een vrij groot aantal grafheuvels, akker- en wildwallen aan. Door winning van zand, grind of leem zijn op diverse plaatsen kleine groeves ontstaan.

3.3 Bodem

De bodem in de boswachterij bestaat geheel uit zandgronden. Deze zandgronden kunnen naar de aard van de bodemvormende processen en de daardoor ontstane bodemhorizonten onderverdeeld worden in podzolgronden, eerdgronden en vaaggronden.

Er komen twee hoofdtypen podzolgronden voor, nl. moderpodzolgronden en humuspodzolgronden. Binnen het onderzoeksgebied komen alleen droog ontwikkelde humuspodzolgronden voor, de zgn. haarpodzolgronden. De moderpodzolgronden komen in hoofdzaak voor in het al eeuwenlang beboste gebied, dat geologisch bestaat uit niet-verspoelde, gestuwde bruine zanden. De haarpodzolgronden daarentegen komen in een smalle strook voor aan de oost- en noordrand van de boswachterij, in vooral de verspoelde leemarme zanden en in het zuiden plaatselijk binnen de arme dekzanden. Laatst genoemde gebieden zijn pas in de loop van de tweede helft van de vorige eeuw uit heide ontgonnen en vervolgens bebost.

De eerdgronden in dit gebied bestaan uitsluitend uit zwarte enkeerdgronden (met een meer dan 50 cm dikke, minerale eerdlaag). Evenals de loopodzolgronden (moderpodzolgronden met een 30-50 cm dikke minerale eerdlaag) komen deze gronden uisluitend in de directe omgeving van de oude nederzettingen Drie en Houtdorp voor. De minerale eerdlaag van deze gronden is ontstaan door eeuwen lange bemesting met potstalmest; een mengsel van schapemest, heideplaggen en bosstrooisel. Van deze oude bouwlanden zijn in het Speulderbos vrijwel alleen de loopodzolgronden bebost; de enkeerdgronden zijn grotendeels nog in agrarisch gebruik en zijn derhalve voor deze studie van geen belang.

De vaaggronden tot slot komen in het zuiden van de boswachterij voor in het gebied met stuifzanden.

In het onderzoek van Mekkink et al. (1986) zijn in de boswachterij Speuld 23 enkelvoudige en 2 samengestelde kaarteenheden onderscheiden. De gebruikte indeling berust op de grofheid en het leemgehalte van het zand en in mindere mate op de aard van de ondergrond. In tabel 6 wordt een vereenvoudigd overzicht van de gekarteerde typen gegeven.

Bewerking van de bodem bij bosaanleg is in het Speulderbos op grote schaal toegepast. Het totaal aantal hectaren bewerkte grond bedraagt meer dan 500 (ca. 55%). Het betreft hier voornamelijk (ca. 370 ha) een volledige bewerking van de percelen tot een diepte van 50 tot 70 cm. In een kleiner deel van de boswachterij is de bodem in stroken en/of minder diep (tot 50 cm) bewerkt.

Een sterk vereenvoudigde versie van de bodemkaart van Mekkink et al. (1986) wordt gegeven in figuur 4. Voor uitgebreidere gegevens omtrent geologie, geomorfologie en bodemkunde van het Speulderbos wordt naar bovengenoemd rapport verwezen.

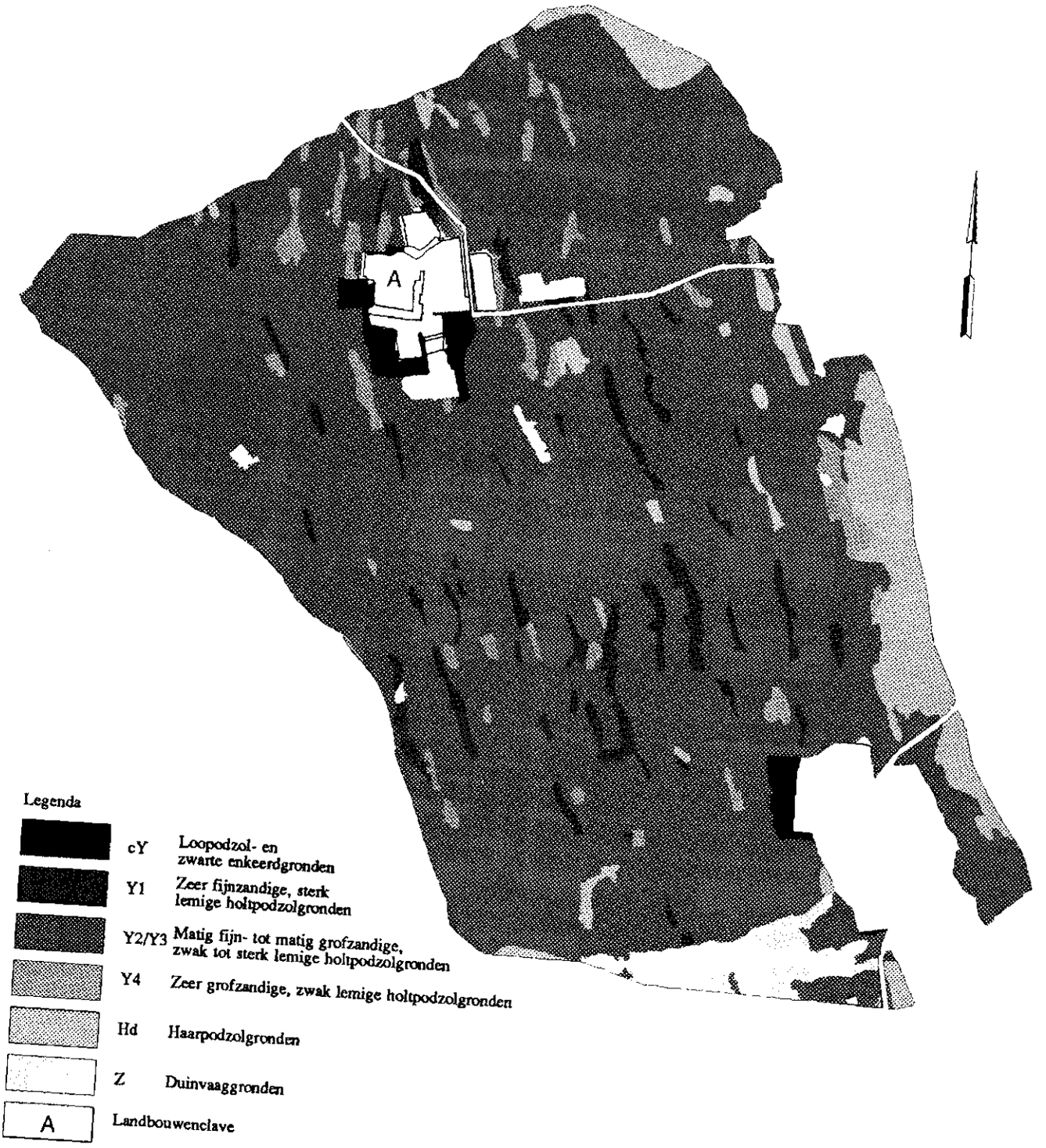


Fig. 4 Vereenvoudigde bodemkaart van het Speulderbos; naar Mekkink et al., (1986)

Tabel 6 Bodemeenheden, codering en oppervlakte

Bodemeenheid (*)	Code		Oppervlakte	
	1990 (**)	1986 (***)	(ha)	(%)
loopodzolgronden zwarte enkeerdgronden	**cY**	**cY35, cY64, *cY74*, cY93, EZ74**	**12**	**1**
holtpodzolgronden (zeer fijn zandig, sterk lemig)	**Y1**	***Y35*, Y35l**	**40**	**4**
holtpodzolgronden (matig fijn, zwak/sterk lemig)	**Y2**	**Y53, Y62, *Y64*, Y64l**	**177**	**19**
holtpodzolgronden (matig grof, zwak/sterk lemig)	**Y3**	***Y72*, Y72l, Y74**	**584**	**63**
holtpodzolgronden (zeer grof, zwak lemig)	**Y4**	***Y93***	**31**	**3**
haarpodzolgronden	**Hd**	**Hd53, Hd62, Hd72, *Hd82*, Hd92**	**56**	**6**
duinvaaggronden (incl. associaties)	**Z**	***Hd/bZ*, Z35z, aZ51p, aZ51p/aZ51z, bZ51p, bZ51z, Z51z, Z62z**	**21**	**2**

(*) bodemsubgroepen volgens De Bakker en Schelling (1966);
(**) beknopte code, zoals gebruikt in dit rapport;
(***) naar Mekkink et al. (1986).
De toevoegingen ...g en g... zijn niet opgenomen. De code van de belangrijkste legenda-eenheid van elke eenheid is cursief gedrukt.

3.4 Bosgeschiedenis

Over de geschiedenis van het Speulderbos is veel informatie beschikbaar. Onderstaande samenvatting is grotendeels ontleend aan het werk van Hacke-Oudemans (1969).

Eeuwenlang heeft de boswachterij het Speulderbos deel uitgemaakt van het maalschap het Speulderbosch, dat behalve uit het bosgebied, bestond uit de heidevelden het Speulderveld en het Houtdorperveld. In 1835 vindt er een scheiding plaats. De beide heideterreinen komen in het bezit van de gemeente Ermelo. In 1857 kreeg vervolgens koning Willem III beide heidevelden in erfpacht. Hij geeft deze gebieden aan het ministerie van oorlog. Tot op heden zijn deze gebieden nog als militair oefenterrein in gebruik.

In 1884 wordt het bosmaalschap het Speulderbosch omgezet in een naamloze vennootschap. Het Speulderbos dat voornamelijk uit loofhout bestond behield zijn

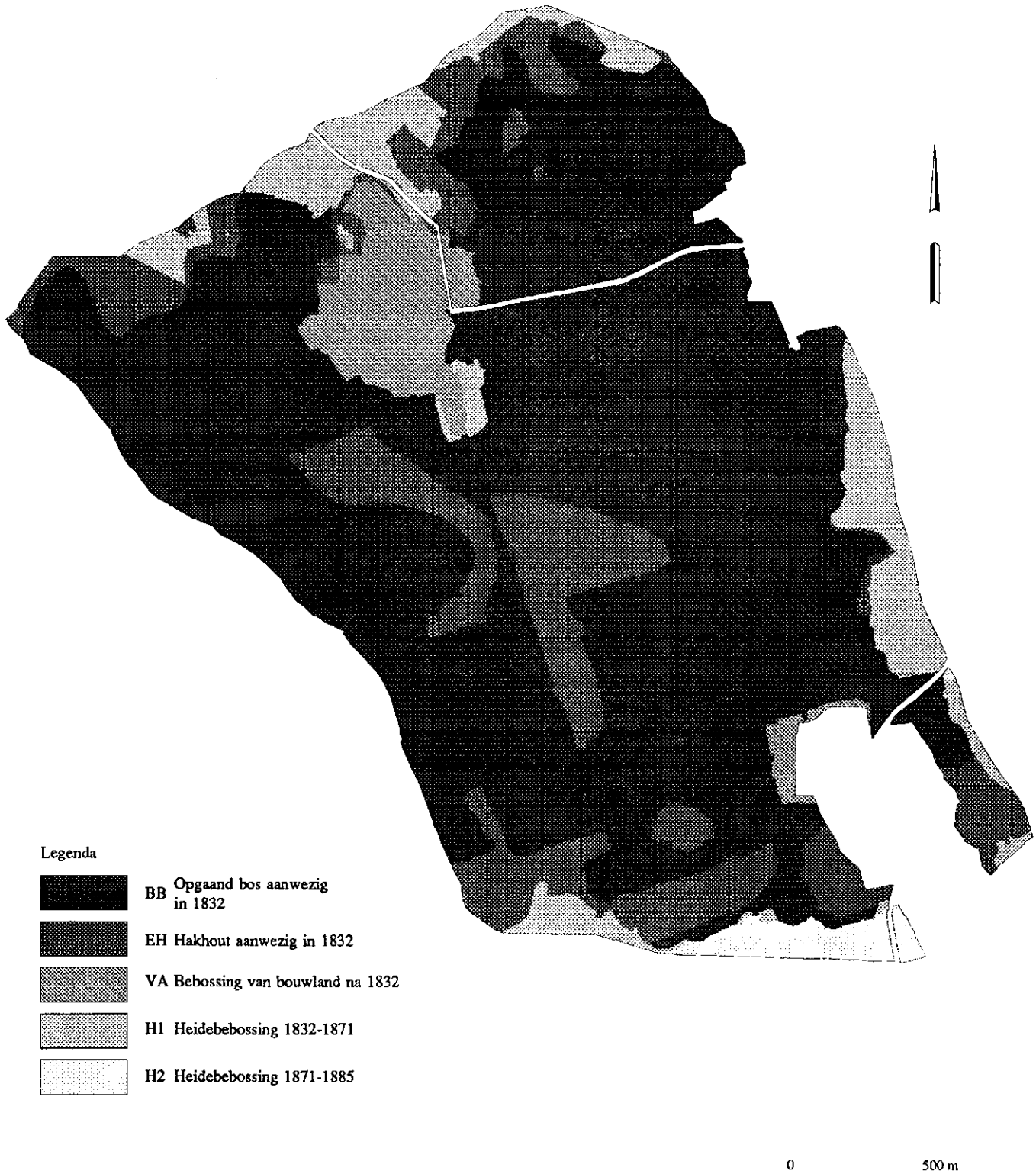


Fig. 5 Bosgeschiedenis

karakter, in tegenstelling tot het Sprielderbos waar na de omzetting in een naamloze vennootschap veel loofhout werd gekapt en vervangen werd door Grove den. De loofbossen van het Speulderbos bestonden deels uit opgaand bos ("boombossen") en deels uit eikenhakhout. Tegenwoordig is nog ca. 70 ha te herkennen als voormalig eikehakhout. Dit is deels na 1832 aangelegd (zie par. 2.2). De toename van het areaal hakhout in de negentiende eeuw kan worden verklaard uit de stijging van de prijzen van eikeschors na 1840 (Buis, 1985).

Kort na de eeuwwisseling is men in de boswachterij Speuld begonnen met proefbeplantingen van Douglasspar en Larix. In 1918 komen zowel het Speulder- als het Sprielderbos in handen van de staat.

Met behulp van archivalisch kadastrale gegevens en oude topografische kaarten kan de bosgeschiedenis van de boswachterij worden gereconstrueerd. De resultaten worden weergegeven in figuur 5. De oppervlakte van de verschillende onderscheiden legenda-eenheden van deze "bosgeschiedeniskaart" worden gegeven in tabel 7.

Tabel 7 Bosgeschiedenis, codering en oppervlakte

Bostype	**Code**	**Oppervlakte**	
		(ha)	**(%)**
Opgaand bos aanwezig in 1832	**BB**	**651**	**71**
Hakhout aanwezig in 1832	**EH**	**158**	**17**
Heidebebossing 1832 - 1871	**H1**	**74**	**8**
Heidebebossing 1871 - 1885	**H2**	**14**	**2**
Bebossing van bouwland na 1832	**VA**	**25**	**3**

3.5 Enkele bosbouwkundige aspecten

De "boombossen" in het gebied zijn overwegend spontaan opgegroeide, gemengde loofbossen met Beuk, Zomer- en Wintereik. In deze bossen treffen we bomen van diverse leeftijden naast elkaar aan. Opvallend is dat de laatste decennia de Beuk geleidelijk beide eikensoorten verdringt.

De proeven met de aanplant van Douglasspar uit het begin van deze eeuw zijn bosbouwkundig een succes gebleken. De nog aanwezige opstanden hebben een hoogte bereikt van 30 tot meer dan 35 meter. Plaatselijk probeert, men met succes, deze oude opstanden door middel van natuurlijke verjonging om te vormen tot een volgende generatie Douglas.

De grote oppervlakte eikehakhout, die in dit gebied aanwezig was, is na het wegvallen van de vraag naar eek, omgevormd in een opgaand eikenbos. Na de geslaagde invoering van de Douglasspar, zijn in een later stadium door het Staatsbosbeheer o.a. *Abies grandis, Tsuga heterophylla, Thuja spec.* en *Picea omorika* geïntroduceerd.

In tabel 8 wordt het aandeel van de verschillende opstandstypen in 1958 en 1988 (gedefinieerd naar dominante boomsoort) weergegeven.

Tabel 8 Opstandstypen onderscheiden naar de dominante boomsoort, codering en oppervlakte

Opstandstype	Code	Oppervlakte			
		1958		1988	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Beuk (incl. menging met Eik)	BU	361	39	353	38
Eik (*Q. robur* en *Q. rubra*; incl. menging met Berk)	EI	103	11	64	7
Populier; Wilg	-	-	-	1	0
Pinus-soorten	DE	184	20	92	10
Douglasspar en *Tsuga*-soorten (incl. menging met overige naaldhoutsoorten)	DG	150	16	215	23
Larix-soorten	LA	61	7	64	7
Abies-, Picea- en Thuja-soorten	SP	28	3	52	6
Menging van naald- en loofhoutsoorten	ME	30	3	57	6
Kapvlakte	KA	4	0	18	2
Heide	-	-	-	1	0

Tabel 9 geeft een indruk van de leeftijdsopbouw van de opstanden in 1958 en 1988. In de periode 1958-1988 is er over een oppervlakte van 316 ha, d.w.z. in 34% van de boswachterij sprake geweest van opstandswisseling na kaalkap of omvorming. Aangezien in het geval van omvorming de leeftijd van de oudste bomen als leeftijd van de opstand is aangehouden, is het aantal hectaren waar sprake is van opstandswisseling hoger dan op grond van tabel 9 verwacht zou kunnen worden.

Tabel 9 Leeftijd en oppervlakte van de opstanden in 1958 en 1988

Leeftijd (jr)	Oppervlakte			
	1958		1988:	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
0- 4	80	9	27	3
5-14	135	15	32	3
15-24	124	13	84	9
25-34	106	12	143	16
35-44	35	4	132	14
45-54	70	8	54	6
55-64	25	3	49	5
65-74	50	5	39	4
75-84	6	1	52	6
85-94	1	0	11	1
95 en ouder	289	31	293	32

Voor zover ons bekend vindt tegenwoordig geen bemesting van de bosbodem meer plaats. Wel zijn in de vijftiger jaren door Van Goor (van het toenmalige Bosbouw-proefstation "De Dorschkamp") plaatselijk enige bemestingsproeven gedaan. Deze lokale bemestingsinvloed interfereert echter niet of nauwelijks met de in dit rapport beschreven veranderingen van de spontane bosvegetatie. De proefperken van Van Goor konden namelijk bij de kartering van 1957-1959 gemakkelijk herkend worden aan hun sterk afwijkende, verstoring indicerende vegetatie (legenda-eenheid "RR"; Leys, mond. med.). Dit vegetatietype is niet in de kaartvergelijking betrokken.

Uit de opstandsleggers blijkt dat in vroeger jaren ook op beperkte schaal sprake is geweest van bosbemesting. Tabel 10 geeft aan over hoe grote oppervlakte en op welke wijze de bosbodem is bemest, voor zover opgetekend in de opstandsleggers. Waarschijnlijk is dit beeld echter niet compleet. Wij kunnen er vanuit gaan dat met name in de eikenhakhout percelen er vaker bemest is dan de gegevens uit tabel 10 suggereren. Bemesting van hakhoutpercelen vond normaliter niet plaats bij aanleg, maar pas als na enige omlopen de groei begon te stagneren (Buis, 1985).

Tabel 10 Bosbemesting en betrokken oppervlakte (bron: opstandsleggers)

Type bemesting	**Oppervlakte**	
	(ha)	**(%)**
onbemest	**854**	**93**
kalkgift	**58**	**6**
kalk- en fosfaatgift	**4**	**+**
kalk-, fosfaat- en kaligift	**2**	**+**
fosfaatgift	**3**	**+**
fosfaatgift en lupine-voorbouw	**+**	**+**
lupine-voorbouw	**1**	**+**

+: wel toegepast, maar verwaarloosbaar

3.6 Vegetatie

Een beschrijving van de spontane vegetatie van het Speulderbos kan het best gegeven worden aan de hand van de typologie van Leys (1964). Het betreft hier namelijk een gedetailleerde, locale typologie i.t.t. tot de door Mekkink et al. (1986) gebruikte landelijke typologie van Bannink, Leys en Zonneveld (1973).

De oppervlakte die door de verschillende door Leys (1964) onderscheiden typen wordt ingenomen wordt gegeven in tabel 11. Een vereenvoudigde versie van de vegetatiekaart van 1958 wordt gegeven in figuur 6.

Alle onderscheiden typen kunnen syntaxonomisch geplaatst worden binnen het verbond *Quercion robori-petraeae*. Voor een beknopte presentietabel wordt verwezen naar Leys (1964). De typologie van 1964 is enigszins vereenvoudigd t.o.v. de in par. 2.4 besproken legenda van de vegetatie kaart van 1958. De verschillende



Fig. 6 Vegetatiekaart van het Speulderbos in 1958 (naar ongepubliceerd kaartmateriaal; bron: archief STIBOKA; opname: H.N. Leys

Witte klaverzuring typen worden wel genoemd maar zijn in de tabel tot één type samengevoegd; het type RDr is komen te vervallen, het is bij het Bramen-type (R) getrokken.

Tabel 11 Vegetatietypen in 1958, codering en oppervlakte

Vegetatietype	Code	Oppervlakte	
		(ha)	(%)
Witte klaverzuring type	O	2	0
Wilde kamperfoelie type	L	73	8
Braam-Wilde kamperfoelie type	RL	35	4
Braam type	R	50	5
Bochtige smele type	D	142	15
Blauwe bosbes-Bochtige smele type	VD	233	25
Blauwe bosbes type	V	15	2
Kruidenarme type (schaarse ondergroei)	r	157	17
Kussentjesmos type	Le	15	2
Vossebes type	Vi	31	3
Mostype (Klauwtjesmos, etc.)	M	22	2
Zonder ondergroei	A	148	16
Toevoeging:			
Adelaarsvaren	p	141	15

4 ECOLOGISCHE RELATIES

In dit hoofdstuk komen relaties tussen ecosysteem-componenten aan de orde. Slechts die relaties worden besproken die van belang zijn bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten die in hoofdstuk 5 gepresenteerd worden: de relatie tussen de milieuveranderingen in de afgelopen dertig jaar en de afzonderlijke componenten van het ecosysteem.

De correlatie-berekeningen die in dit hoofdstuk gepresenteerd worden berusten op een geautomatiseerde kaartvergelijking met ARC-INFO. Het basismateriaal is hetzelfde als werd gebruikt voor het onderzoek naar de vegetatie-veranderingen in de afgelopen dertig jaar (zie hoofdstuk 2). De cijfers worden gepresenteerd in de vorm van gewogen percentages. Dit wil zeggen dat de cijfers gecorrigeerd zijn voor verschillen in oppervlakte tussen de verschillende klassen van de (veronderstelde) verklarende factor. Ter illustratie van deze werkwijze zijn in één geval ook de tussenstappen van de berekening in dit rapport opgenomen (tabel 12).

Waar het de relatie tussen de oorspronkelijke, in 1958 aanwezige vegetatie en andere ecosysteem-componenten betreft, is er voor gekozen niet uit te gaan van het vegetatietype (Leys, 1964), maar van het door de vegetatie geïndiceerde trofieniveau (zie par. 2.4). Bij het onderzoek naar de milieu-veranderingen (hfdst. 5) wordt namelijk eveneens niet uitgegaan van het vegetatietype, maar van het daarvan afgeleide trofie-niveau.

4.1 Vegetatie en bodemeenheid

De relatie tussen de oorspronkelijke, in 1958 aanwezige vegetatie en de bodemeenheid wordt weergegeven in tabel 12. Uitgegaan werd van het door de vegetatie geïndiceerde trofieniveau (zie par. 2.4). De bodemeenheden in tabel 12 staan (van boven naar beneden) globaal gerangschikt naar afnemende voedselrijkdom. Tabel 12 laat zien dat er een duidelijke correlatie bestaat tussen vegetatie (uitgedrukt in indicatiewaarde voor voedselrijkdom) en bodem.

Opvallend is dat de correlatie het sterkst is aan beide uiteinden van de trofie-gradient. Vegetaties die indicatief zijn voor het hoogste trofieniveau (6) zijn nagenoeg geheel gebonden aan de oude bouwlanden (loopodzolgronden). Het betreft hier de vegetatietypen met Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*). Vegetaties indicatief voor het op één na hoogste trofieniveau (5) komen eveneens vooral voor op loopodzolgronden, maar zijn daarnaast ook te vinden op de rijkere moder-podzolen. Het betreft hier vegetatietypen met Wilde kamperfoelie (*Lonicera periclymenum*) of Braam (*Rubus fruticosus*), waarin tevens Hulst (*Ilex aquifolium*) voorkomt.

Tabel 12 De relatie tussen de door de vegetatie geïndiceerde trofiegraad in 1958 en de bodemeenheid

1 Oppervlakte in 0,1 ha; ongewogen (werkelijke oppervlakte)

Bodemeenheid	Trofiegraad					Totaal
	2	3	4	5	6	
cY	-	10	67	8	6	91
Y1	12	131	177	10	-	330
Y2	58	727	692	81	2	1560
Y3	236	2270	243	4	10	4950
Y4	22	144	90	-	-	256
Hd	156	217	59	-	-	432
Z	126	70	16	-	-	212
Totaal:	610	3569	3531	103	18	7831

2 Oppervlakte in 0,1 ha; gewogen (alle bodemeenheden: 100 ha)

Bodemeenheid	Trofiegraad:					Totaal
	2	3	4	5	6	
cY	-	109	736	88	66	1000
Y1	36	397	536	30	-	1000
Y2	37	466	444	52	1	1000
Y3	418	459	491	1	2	1000
Y4	86	563	352	-	-	1000
Hd	361	502	137	-	-	1000
Z	594	330	75	-	-	1000
Totaal	1162	2826	2771	171	69	7000

3 Percentage; gewogen (alle bodemeenheden: 100 ha)

Bodemeenheid	Trofiegraad					Totaal
	2	3	4	5	6	
cY	-	4	27	51	96	14
Y1	3	14	19	18	-	14
Y2	3	16	16	30	1	14
Y3	4	16	18	1	3	14
Y4	7	20	13	-	-	14
Hd	31	18	5	-	-	14
Z	51	12	3	-	-	14
Totaal	100	100	100	100	100	100

verklaring van de gebruikte codering van bodemeenheden:
cY oud bouwland (loopodzolgronden)
Y1 zeer fijn zandige, sterk lemige holtpodzolgronden
Y2 matig fijne, zwak tot sterk lemige holtpodzolgronden
Y3 matig grove, zwak tot sterk lemige holtpodzolgronden
Y4 zeer grof zandige, zwak lemige holtpodzolgronden
Hd haarpodzolgronden
Z duinvaaggronden

Aan de arme kant van de trofiegradiënt zien wij een duidelijke voorkeur van de vegetatietypen indicatief voor het laagste trofieniveau (2) voor de armste bodems: de haarpodzolgronden en vooral de duinvaaggronden. Het betreft hier zowel het "arme" mossentype, als vegetaties gedomineerd door Blauwe - of Rode bosbes (*Vaccinium myrtillus* en *vitis-idaea*).

Vegetaties indicatief voor de intermediaire trofieniveaus (3 en 4) zijn minder selectief voor wat betreft hun standplaats. Toch is ook hier nog sprake van een duidelijke correlatie. De relatief arme vegetaties indicatief voor niveau 3 ontbreken vrijwel geheel op de loopodzolgronden; de relatief rijke vegetaties indicatief voor niveau 4 hebben juist een voorkeur voor de loopodzolgronden en komen nauwelijks voor op de arme haarpodzol- en duinvaaggronden. Een voorbeeld van een vegetatie indicatief voor niveau 3 is het type gedomineerd door Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*); vegetaties indicatief voor trofieniveau 4 zijn bijvoorbeeld Braam- en Wilde kamperfoelie vegetaties, waarin Hulst ontbreekt, en diverse typen waarin Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*) voorkomt.

4.2 Vegetatie en bosgeschiedenis

Tabel 13 geeft weer in hoeverre er sprake is van een correlatie tussen het door de vegetatie geïndiceerde trofieniveau (in 1958) en de verschillende onderscheiden bosgeschiedenisklassen. Deze bosgeschiedenisklassen zijn in de tabel zodanig gerangschikt dat een zo duidelijk mogelijke diagonaal ontstaat.

***Tabel 13** De relatie tussen de door de vegetatie geïndiceerde trofiegraad in 1958 en de bosgeschiedenis (percentage; gewogen, d.w.z. cijfers gecorrigeerd voor verschillen in oppervlakte tussen bosgeschiedenis-klassen)*

Bosgeschiedenis	Trofiegraad					Totaal
	2	3	4	5	6	
VA	-	12	35	-	96	20
BB	8	19	25	100	4	20
EH	8	2	25	-	-	20
H1	40	25	8	-	-	20
H2	44	24	8	-	-	20
Totaal	100	100	100	100	100	100

Verklaring van de codering van de bosgeschiedenis-klassen:
***VA** bebossing van bouwland na 1832*
***BB** opgaand bos aanwezig in 1832*
***EH** hakhout aanwezig in 1832*
***H1** heidebebossing 1832-1871*
***H2** heidebebossing 1871-1885*

Tabel 13 geeft aan dat er inderdaad sprake is van een duidelijke correlatie tussen vegetatie en bosgeschiedenis. Deze correlatie is het sterkst in het rijkste deel van de trofiegradiënt. De vegetaties met Witte klaverzuring (*Oxalis acetocella*,

trofieniveau 6) komen vrijwel alleen voor op voormalige akkers; vegetaties van Wilde kamperfoelie (*Lonicera periclymenum*) of Braam (*Rubus fruticosus*), waarin ook Hulst (*Ilex aquifolium*) voorkomt (trofieniveau 5), zijn beperkt tot de oude "boom-bossen".

Aan de arme kant van de trofiegradiënt zien we dat de vegetaties die indicatief zijn voor het laagste in het Speulderbos voorkomende trofie-niveau (2), "arme" mosvegetaties en begroeiïngen van Blauwe- of Rode bosbes (*Vaccinium myrtillus* en *vitis-idaea*) vooral voorkomen op de heideontginningen.

Zoals ook voor de relatie vegetatie-bodem werd geconcludeerd (zie par. 4.1), blijken de intermediaire vegetaties (indicatief voor trofieniveau 3 en 4) over een bredere range voor te kunnen komen. Vegetaties indicatief voor het relatief arme niveau 3, waaronder het type met Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), hebben echter een zwakke voorkeur voor de heideontginningen. Vegetaties indicatief voor het relatief rijke niveau 4 hebben daarentegen juist een zwakke voorkeur voor de voormalige akkers en komen maar sporadisch voor op de heideontginningen. Voorbeelden van laatstgenoemde begroeiingstypen zijn Wilde kamperfoelie- en Braamvegetaties, waarin Hulst ontbreekt, alsmede bossen met een ondergroei van Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*).

Een algemene conclusie die uit tabel 13 kan worden getrokken is dat er voor de indicatiewaarde van de vegetatie voor de trofiegraad (in 1958) geen verschil is tussen de beide onderscheiden periode van heide-ontginningen. In feite kan men een zelfde conclusie formuleren voor wat betreft de twee in 1832 aanwezige typen van bos ("bomen-bos" en eikenhakhout). Er is slechts één uitzondering: Wilde kamperfoelie en Braamvegetatie, waarin ook Hulst voorkomt (trofie-niveau 5) is beperkt tot de boom-bossen. Dit is te meer opvallend aangezien Wilde kamperfoelie-vegetaties zonder Hulst juist erg algemeen zijn in voormalige (en nog steeds als zodanig te herkennen) hakhoutpercelen.

4.3 Bosgeschiedenis en bodemeenheid

De relatie tussen bosgeschiedenis en bodemeenheid wordt weergegeven in tabel 14. De bodemeenheden zijn (van boven naar beneden) globaal gerangschikt naar afnemende voedselrijkdom. De bosgeschiedenis klassen zijn zodanig gerangschikt dat een zo duidelijk mogelijke diagonaal ontstaat. Dit resulteert in een volgorde die overeenkomt met de volgorde in de kruistabel van vegetatie en bosgeschiedenis (tabel 13).

Opvallend is dat ook hier (vergelijk tabel 12 en 13) de sterkste correlaties gevonden worden aan beide uiteinden van de trofiegradiënt. Aan de rijke zijde vinden wij de voormalige akkers, die nagenoeg geheel beperkt zijn tot de loopodzolgronden. Dat in 1832 akkers gelegen waren op oude bouwlandbodems (met een opgebracht dek uit de potstal) hoeft ons niet te verbazen. Interessant is wel dat men in dit gebied (i.t.t. bijvoorbeeld veel plekken op de Utrechtse Heuvelrug) nooit is overgegaan tot

Tabel 14 De relatie tussen de bosgeschiedenis en de bodemeenheid (percentage; gewogen, d.w.z. cijfers gecorrigeerd voor verschillen in oppervlakte tussen de bodemeenheden).

Bodemeenheid	Bosgeschiedenisklassen					Totaal
	H2	H1	EH	BB	VA	
cY	-	-	1	1	92	14
Y1	-	4	15	23	1	14
Y2	-	9	27	18	1	14
Y3	2	3	19	22	1	14
Y4	-	17	8	20	5	14
Hd	7	60	8	8	-	14
Z	90	8	22	9	-	14
Totaal	100	100	100	100	100	100

Voor een verklaring van de gebruikte codering van de bodemeenheden, zie tabel 12; voor een verklaring van de gebruikte codering van bosgeschiedenis-klassen, zie tabel 13.

bebossing van de gronden met de dikkere cultuurdekken. Deze "enkeerdgronden" zijn in de omgeving van het Speulderbos nog steeds als cultuurland in gebruik.

Aan het arme uiteinde van de trofie-gradiënt vinden wij de heide-ontginningen. Opvallend is dat de jongste heide-ontginningen vrijwel geheel gelegen zijn op de armste bodems, de duinvaaggronden. De eerdere heide-ontginningen zijn gelegen op een veel breder scala aan bodemeenheden met een duidelijk zwaartepunt op de haarpodzolgronden. Wij kunnen hieruit twee conclusies trekken. In de eerste plaats waren voor 1832 de heidevelden in dit gebied goeddeels gebonden aan de armste gronden (de haarpodzol- en duinvaaggronden). In de tweede plaats heeft men bij de ontginning en bebossing van de heidevelden de allerarmste gronden (de duinvaaggronden) het langst onder heide laten liggen.

Beide onderscheiden typen oud bos (het "bomenbos" en het eikenhakhout) kwamen in 1832 op het volledige scala aan bodemeenheden voor, maar niet overal evenveel. Bebossing van oud bouwland was toen nog een grote uitzondering. Het opgaande bomenbos was in feite nagenoeg beperkt tot de moderpodzolen. Opvallend is dat het eikenhakhout ook op de armere gronden (met name op de duinvaaggronden) niet zeldzaam was. Waarschijnlijk speelde bij de locatie-keuze voor de hakhoutcultuur de bodemgesteldheid een minder belangrijke rol dan andere factoren, bijvoorbeeld de afstand tot de nederzetting.

4.4 Vegetatie en de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden

In tabel 15 wordt aangegeven in hoeverre het door de vegetatie geïndiceerde trofieniveau in 1958 gecorreleerd is met de afstand tot het dichtstbijzijnde cultuurland. Een dergelijke correlatie kan veroorzaakt worden door twee factoren met tegengestelde invloed op de spontane vegetatie. Het betreft hier in de eerste plaats bemestingsinvloed die maximaal is in de omgeving van de cultuurgronden. In de tweede plaats kan voormalige strooiselroof en bosbegrazing een verarmende invloed

hebben gehad op het bosecosysteem. Strooiselroof en bosbegrazing waren doorgaans intensiever in de directe omgeving van de nederzettingen.

Aangezien in 1958 de atmosferische depositie van stikstofverbindingen nog geen rol van betekenis speelde, mag men aannemen dat de bemestingsinvloed beperkt beperkt bleef tot de directe omgeving van de cultuurgronden, terwijl de eventuele invloed van voormalige strooiselroof en bosbegrazing in een veel verder reikende gradiënt tot uitdrukking kwam.

Tabel 15 De relatie tussen de door de vegetatie geïndiceerde trofiegraad in 1958 en de afstand tot de dichtsbijzijnde cultuurgronden (percentage; gewogen, d.w.z. cijfers gecorrigeerd voor verschillen in oppervlakte tussen afstandsklassen)

Afstand (m)	Trofiegraad					Totaal
	2	3	4	5	6	
0- 50	11	12	21	12	84	17
50- 100	25	18	14	8	-	17
100- 250	22	18	15	3	1	17
250- 500	13	16	19	12	-	17
500-1000	8	19	16	19	-	17
> 1000	21	17	15	45	5	17
Totaal	100	100	100	100	100	100

Tabel 15 geeft aan dat in 1958 er inderdaad sprake is van een duidelijke bemestingsinvloed, die niet verder reikt dan 50 m van de bosrand. De vegetatie die indicatief wordt geacht voor het hoogste trofieniveau (6) is nagenoeg beperkt tot deze zone. Het betreft hier typen met Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*). Deze zone is tevens sterk gecorreleerd met de loopodzolgronden (tabel 12) en de bosgeschiedenisklasse "voormalige akkers" (tabel 13).

In hoeverre er ook sprake is van een trofiegradiënt ten gevolge van voormalige strooiselroof en bosbegrazing is onduidelijk. Wij zien in het traject 50-1000 m van de bosrand een zekere afname van vegetaties indicatief voor het laagste trofieniveau (2) en voor het gehele traject > 50 m een toename van de vegetaties, indicatief voor het op één na hoogste trofieniveau (5). De cijfers zijn echter weinig overtuigend. Bovendien zijn de intermediaire trofieniveaus 3 en 4 opvallend gelijkmatig verdeeld over de verschillende afstandsklassen. Mogelijk wordt de verdeling van met name de allerarmste vegetaties (trofieniveau 2) in relatie tot de afstand tot de cultuurgronden mede bepaald door de ligging van de heideontginngingen op de armere gronden (haarpodzolgronden bij Speuld; duinvaaggronden bij Houtdorp). Hoe dan ook kan worden geconcludeerd dat, als er al sprake is van een invloed van voormalige strooiselroof en bosbegrazing op het patroon van vegetatietypen in 1958, dit geen factoren van groot belang zijn.

Tenslotte dient op één opvallend verschijnsel gewezen te worden. Uit tabel 15 blijkt dat op grote afstand van de cultuurgronden (en daarmee van de oude nederzettingen) er een plotselinge toename van vegetaties optreedt die indicatief zijn voor het laagste

trofieniveau (2). Het betreft hier vooral vegetaties van het Blauwe bosbestype (*Vaccinium myrtillus*). Dit is te meer opvallend daar het voorkomen van dit type hier niet gekoppeld kan worden aan bosgeschiedenis of bodem. Het gaat namelijk om oud opgaand bos op moderpodzolgronden. Wat de verklaring is van de lokale verarming op deze plekken is niet bekend.

Mogelijk betreft het hier de gevolgen van illegale strooiselroof of plaggenwinning. Het is bekend dat dergelijke activiteiten in de Sijsselt op vergelijkbare bodem tot een aanzienlijke verarming van het milieu hebben geleid (van Goor en van Oosten Slingeland, 1963). In de Sijsselt lagen de meest intensief geëxploiteerde delen in de directe omgeving van de boerderijen, maar daar werden, in tegenstelling tot de situatie in het Speulderbos, de buurtbewoners niet gehinderd door de strenge regelgeving van het maalschap (Hacke-Oudemans, 1969).

5 VERANDERINGEN 1958-1988

Uitgangspunt bij de bespreking van de milieu-veranderingen die gedurende de periode 1958-1988 in het Speulderbos zijn opgetreden vormt de "veranderingen-kaart". Deze kaart is het resultaat van een geautomatiseerde overlay van de vegetatiekaart van 1958 en die van 1988 (zie par. 2.1).

In dit hoofdstuk wordt eerst deze veranderingen-kaart kort besproken (par. 5.1). Vervolgens worden de geconstateerde veranderingen in verband gebracht met diverse, afzonderlijke omgevingsfactoren én met de in 1958 aanwezige vegetatie (par. 5.2 tot en met 5.6). Hiertoe wordt steeds de gemiddelde verandering per onderscheiden type of klasse gegeven. Bijvoorbeeld: voor wat betreft de relatie tussen de veranderingen en de bodem, wordt het gewogen gemiddelde gegeven van de veranderingen binnen de duinvaaggronden, binnen de haarpodzolgronden, enz.

In een laatste par. (5.7) worden tenslotte de resultaten van de multipele regressie analyse kort besproken. Het gaat hierbij met name om de volgende vragen:
(1) wat is het "verklarend vermogen" van het gehele complex van omgevings factoren;
(2) welke rangorde kan op grond van de verschillen in "verklarend vermogen" binnen de componenten worden aangebracht en
(3) is er sprake van interacties tussen de verschillende componenten?

5.1 Grootte en aard van de veranderingen

Een enigszins gegeneraliseerde versie van de veranderingen-kaart (fig. 7) laat zien in welke delen van het terrein sprake is van verrijking en in welke delen van verarming. De oppervlakte die door de verschillende legenda-eenheden wordt ingenomen, wordt vermeld in tabel 16.

Uit figuur 7 en tabel 16 blijkt dat verrijking van het bosmilieu de belangrijkste tendens van de veranderingen vormt en dat deze verrijking optreedt verspreid door vrijwel het gehele gebied.

Verarming is daarentegen van zeer weinig betekenis. Het grootste deel van de terreingedeelten waar verarming lijkt te spelen betreft opstanden waar in 1985/1988 jonge Douglasspar aanwezig was. Het is een bekend verschijnsel dat in zeer jonge "donkere" opstanden de "arme" mossoorten, eerder verschijnen dan de indicatoren voor rijkere milieu-omstandigheden (ervaringsfeit bij vegetatiekarteringen van boswachterijen door de STIBOKA; zie ook Stortelder en Hommel, 1990). Dit kan leiden tot onderschatting van de voedingstoestand van de bodem. Het systeem van Bannink, Leys en Zonneveld (1973) is dan ook, strikt genomen, niet bedoeld voor de indeling van opstanden jonger dan 30 jaar.

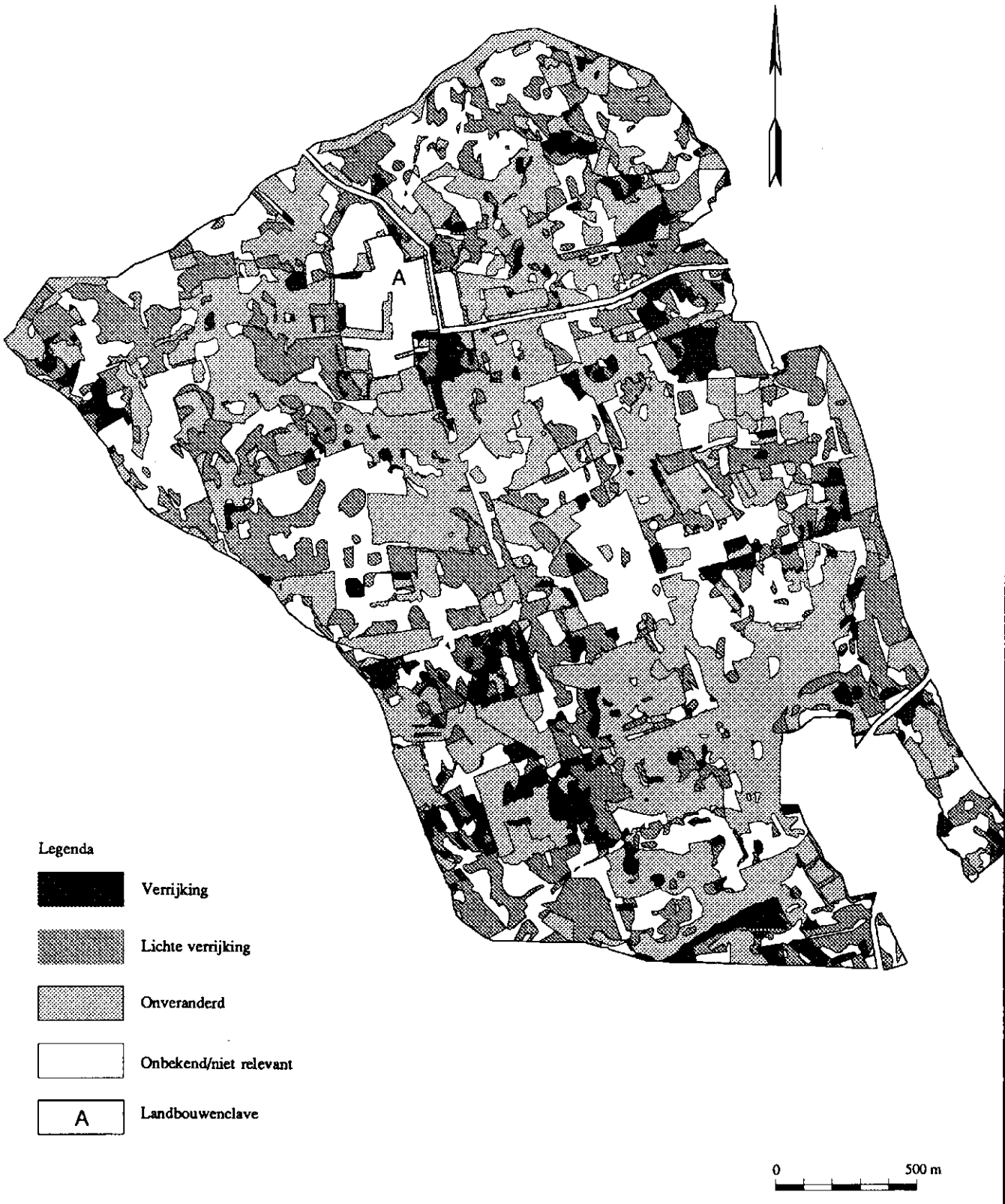


Fig. 7 Door de vegetatie geïndiceerde milieu-veranderingen in het Speulderbos (1958-1988)

Tabel 16 Milieu-veranderingen geïndiceerd door veranderingen in de vegetatie (1958-1988) naar oppervlakte

Verandering	Oppervlakte ongecorrigeerd			Oppervlakte gecorrigeerd (*)		
	(ha)	(%T)	(%R)	(ha)	(%T)	(%R)
sterke verrijking (+3)	9	1	1	7	1	1
matige verrijking (+2)	70	7	12	48	6	9
lichte verrijking (+1)	237	25	39	219	25	40
onveranderd (0)	257	27	43	241	28	45
lichte verarming (-1)	27	3	4	25	3	5
matige verarming (-2)	1	0	0	1	0	0
onbekend (**)	331	32	-	308	35	-
niet relevant (***)	26	3	-	19	2	-
Totaal	958	100	100	868	100	100

(*) gecorrigeerd voor onderlinge verschillen karteerders (d.w.z. met uitsluiting van vak 5 en 12);
(**) geen ondergroei aanwezig in 1958 en/of 1988;
(***) speelweide, boomkwekerij, bebouwing, enz;
%T percentage berekend over gehele gebied;
%R percentage voor zover bekend en relevant.

Verder is opvallend dat, voor zover bekend, bijna de helft van het gebied als "onveranderd" gekarteerd is. De grofheid van de methode speelt hierbij zeer waarschijnlijk een rol. Met name binnen de terreingedeelten waar in 1958 al een "rijke" vegetatie aanwezig was (bijv. vele oude hakhoutpercelen) zijn de veranderingen veelal te subtiel om met de hier gevolgde methode herkend te worden. Dit is echter geen bezwaar. Het gaat ons hier om het herkennen van de hoofdtrends in de vegetatie-ontwikkeling en het koppelen van deze trends aan de belangrijkste omgevingsfactoren.

Tenslotte valt op dat de verrijking, hoewel verspreid door het gehele gebied voorkomend, niet in alle terreingedeelten even sterk op de voorgrond treedt. Er zijn patronen te herkennen. In de nabijheid van cultuurgronden, met name bij Drie en Speuld, is er sprake van een sterkere verrijking. Het zelfde geldt voor het zuidelijk deel van het Speulderbos met de relatief jonge heide-ontginningen op duinvaag- en haarpodzolgronden. Op dergelijke relaties zal in de volgende paragrafen uitgebreid worden ingegaan.

Hier dient echter gewezen te worden op een ander patroon dat als artefact gezien moet worden. Het betreft hier het zuidwestelijk deel van het Speulderbos. Op de veranderingen-kaart is hier vaag het patroon van de vakgrenzen te herkennen. In de betreffende vakken (vak 5 en 12; zie fig. 1) is echter geen sprake van afwijkende milieu-omstandigheden ten opzichte van de omgeving. De iets sterkere verrijking in deze vakken is naar alle waarschijnlijkheid terug te voeren op kleine verschillen in inzicht tussen de afzonderlijke karteerders in 1985. Deze verschillen hebben betrekking op het beoordelen van de betekenis van het frequent voorkomen van Hulst in vrijwel ondergroeiloze beukenbossen. Dergelijke bossen zijn moeilijk te

plaatsen in het systeem van Bannink, Leys en Zonneveld (1973). Dit systeem is oorspronkelijk alleen voor naaldhoutbossen ontworpen, maar kan in de praktijk ook in de meeste loofbossen op de zandgronden worden toegepast.

Bij de in de volgende paragrafen aan de orde komende correlatie-berekeningen worden de iets afwijkende vakken 5 en 12 buiten beschouwing gelaten. Het totaalbeeld van de veranderingen wordt hier overigens nauwelijks door gewijzigd (zie tabel 16).

5.2 Veranderingen in relatie tot de nabijheid van cultuurgronden

De invloed van nabij gelegen cultuurgronden is op twee schaalniveaus onderzocht: lokaal (kleine landbouwenclaves in of grenzend aan het Speulderbos) en regionaal (de Gelderse vallei). De resultaten worden weergegeven in tabel 17 en 18.

Tabel 17 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden

Afstand (m)	Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)
0- 50	+ 0,81
50- 10	+ 0,79
100- 250	+ 0,76
250- 500	+ 0,49
500-1000	+ 0,50
> 1000	+ 0,56

Uit tabel 17 blijkt dat de gemiddelde verrijking sterk gecorreleerd is aan de afstand tot het dichtstbijzijnde cultuurland. Met name in de terreingedeelten die minder dan 250 m van de bosrand zijn gelegen is de invloed van de nabij gelegen cultuurgronden duidelijk. Op grotere afstand dan 250 m stabiliseert de waarde van de gemiddelde verrijking zich.

Dit resultaat komt redelijk overeen met de uitkomsten van Asman en Maas (1987) die de relatie tussen mate van stikstof-depositie en afstand van de bron beschrijven aan de hand van modelberekeningen. Het verband is asymptotisch; bij een afstand van ca. 250 vlakt de curve duidelijk af.

Zowel de modelberekeningen van Asman en Maas (1987), als concrete metingen van Draaijer et al. (1987) wijzen er op dat in de eerste 50 tot 100 m van de bosrand sprake is van een relatief zeer hoge depositie. Dit gegeven wordt niet door onze waarnemingen bevestigd. Waarschijnlijk is er wel degelijk sprake van een relatief hoge depositie in deze zone, maar wordt de mate van door de vegetatie geïndiceerde eutrofiëring van de bosbodem beperkt door de al in de uitgangssituatie aanwezige "rijke" vegetatietypen, o.a met Witte klaverzuring (*Oxalis acetosella*; zie ook tabel 18).

Opvallend is dat in de terreingedeelten die het verst van de bosrand verwijderd zijn de gemiddelde verrijking weer iets toeneemt. Dit kan twee oorzaken hebben. In de eerste plaats waren in deze uithoeken van oudsher vooral "arme" vegetaties aanwezig (zie par. 4.5). Deze vegetaties zijn sinds 1958 relatief sterk veranderd (zie par. 5.6). Ten tweede betreft het hier de meest westelijke delen van het bos, die het meest onder invloed van de ammoniak uitstoot van de Gelderse vallei staan.

Tabel 18 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot de afstand tot de Gelderse Vallei

Afstand (m)	**Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)**
2000-3000	**+ 0,81**
3000-4000	**+ 0,49**
4000-5000	**+ 0,53**
> 5000	**+ 0,66**

Tabel 18 geeft eveneens aan dat de meest westelijke, op minder dan 3 kilometer van de Gelderse Vallei gelegen bosgedeelten relatief sterk verrijkt zijn. Deze zone komt grotendeels overeen met de hierboven genoemde zone op meer dan 1000 m van de dichtstbijzijnde landbouwgronden. Op meer dan 3 kilometer afstand is de mate van verrijking niet meer te verklaren uit de afstand tot de bron. De gemiddelde verrijking en de afstand tot de Gelderse Vallei zijn hier zelfs positief gecorreleerd. Dit wijst erop dat op meer dan 3 kilometer afstand van de Gelderse vallei, de lokale invloed (vanuit landbouw-enclaves in het oosten en zuid-oosten) de regionale invloed (vanuit Gelderse Vallei in het westen) overheerst.

Ook de modelberekeningen van Asman en Maas (1987) suggereren dat op enkele kilometers afstand van de bron, de mate van stikstof-depositie bij toenemende afstand nog maar zeer traag afneemt en niet meer te scheiden is van de "achtergrond-depositie".

5.3 Veranderingen in relatie tot de bodem

De relatie tussen verrijking en bodemeenheid wordt gegeven in tabel 19. In deze tabel zijn de bodemeenheden grofweg gerangschikt naar afnemende initiële vruchtbaarheid. Het is duidelijk dat er, m.b.t. de respons van de plantengroei, een sterke correlatie bestaat tussen de vruchtbaarheid van de bodemeenheid en de mate van verrijking. De armste gronden vertonen de hoogste gemiddelde verrijking. Alleen voor de oude bouwlanden geldt dit niet. De verklaring voor het afwijkend gedrag van de loopodzolgronden is dat in het Speulderbos alle beboste oude bouwlanden gelegen zijn in de directe omgeving van de huidige cultuurgronden. Het omgevingseffect (zie par. 5.1) is hier voor de vegetatie-ontwikkeling vermoedelijk belangrijker dan de bodemkundige gesteldheid.

Tabel 19 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot de bodemeenheid

Bodemeenheid (zie tabel 6)	Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)
loopodzolgronden (oud bouwland)	+ 1,31
zeer fijn zandige, sterk lemige holtpodzolgronden	+ 0,50
matig fijne tot matig grove, zwak tot sterk lemige holtpodzolgronden	+ 0,54
zeer grof zandige, zwak lemige holtpodzolgronden	+ 0,61
haarpodzolgronden	+ 0,68
duinvaaggronden	+ 1,25

De bodemeenheden zijn grofweg gerangschikt naar afnemende bodemvruchtbaarheid.

Voor alle overige bodemeenheden is de correlatie tussen bodemvruchtbaarheid en mate van verrijking echter duidelijk, hoewel binnen de podzolgronden de verschillen gering zijn. Hier kunnen verschillende oorzaken aan ten grondslag liggen. Vanuit bodemkundig oogpunt kan de gevoeligheid voor eutrofiëring gerelateerd worden aan de snelheid waarmee en de mate waarin $N(NH_3)$-depositie tot een verhoging van de stikstof beschikbaarheid (voor de spontane vegetatie) leidt (De Vries et al., 1989). Deze snelheid is uiteraard afhankelijk van de mate waarin de stikstof die het systeem binnenkomt wordt "weggevangen".

Er vanuitgaande dat in de droge gronden van het Speulderbos denitrificatie-processen geen rol van betekenis spelen, kan het wegvangen van stikstof via drie processen verlopen (W. de Vries, mond. med.):

(1) boomgroei, d.w.z. opname van stikstof in de biomassa van de opstand; de snelheid van boomgroei is voornamelijk afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid en het vochtleverend vermogen;
(2) vastlegging van ammonium aan het adsorptie-complex; de mate van vastlegging is afhankelijk van zowel het lutum-, als het organische stofgehalte in de (boven)grond; ondanks de geringe preferentie van het adsorptie-complex voor ammonium, kan dit proces in bodems met relatief hoge humus- en/of lutumgehaltes van wezenlijke betekenis zijn;
(3) stikstof-immobilisatie door vastlegging van stikstof (in organische vorm) in humus, onder andere in de strooiselllaag; de mate waarin stikstof in organische vorm nog kan worden vastgelegd is afhankelijk van het C/N-quotiënt van de humus; gronden met een lage C/N-quotiënt zijn relatief gevoelig voor eutrofiëring (De Vries et al., 1989).

Alle drie de genoemde processen kunnen hebben bijgedragen tot de relatie tussen bodemeenheden en gemiddelde verrijking zoals weergegeven in tabel 19. Beperken wij ons tot de gronden zonder cultuurdek (de reeks: holtpodzol-, haarpodzol- en duinvaaggronden) dan valt op dat binnen deze bodemeenheden een aantal tendensen waarin sprake is van toenemende eutrofiëring onderscheiden kunnen worden:

(1) afnemende bodemvruchtbaarheid en vochtleverend vermogen: geringere boomgroei;
(2) afnemend lutumgehalte en organische-stofgehalte in de bovengrond: geringere adsorptie van ammonium;

(3) relatief laag C/N-quotiënt in de bovengrond van de duinvaaggronden: geringere N-immobilisatie. Deze trend is overigens niet erg sterk en wordt slechts onderbouwd door een beperkt aantal waarnemingen, verspreid over Nederland verzameld (bron: BIS). Binnen de podzolgronden lijkt de tendens zelfs omgekeerd; de haarpodzolgronden hebben een relatief hoog C/N quotiënt.

5.4 Veranderingen in relatie tot de bosgeschiedenis

De relatie tussen de gemiddelde verrijking en het bostype (in termen van bosgeschiedenis) wordt gegeven in tabel 20. Uit deze tabel kunnen een aantal conclusies worden getrokken.

In de eerste plaats is het opvallend dat er geen duidelijk verschil blijkt tussen de mate van verrijking van de oude opgaande bossen en de oudste heideontginningen. Dit is te meer opvallend aangezien deze heide-ontginningen gemiddeld op armere gronden en op kortere afstand van het dichtstbijzijnde cultuurland zijn gelegen dan de oude boombossen. Men kan dus zelfs veronderstellen dat netto de oude heide-ontginningen in de afgelopen dertig jaar iets minder gevoelig zijn geweest voor eutrofiëring dan de boombossen (zie ook par. 5.8). Een verklaring kan zijn dat in de betreffende gebieden het effect van uitgewerkt raken van de mestgift bij ontginning (zoals voor de Stippelberg gesuggereerd door Van Kasteel en Kruizinga, 1989) het effect van natuurlijk herstel na eeuwenlange verschraling overheerst, met name daar waar hakhoutpercelen werden aangelegd. Deze verklaring is echter uiterst speculatief. Wij beschikken niet over informatie over de mestgift bij aanleg in deze oude ontginningen. Ook het (waarschijnlijk) relatief hoge C/N quotiënt van de haarpodzolgronden (waarmee de oude heide-ontginningen sterk gecorreleerd zijn) kan een rol spelen (zie ook par. 5.3).

Tabel 20 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot de bosgeschiedenis

Bostype (zie tabel 3d)	**Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)**
opgaand bos aanwezig in 1832	**+ 0,60**
hakhout aanwezig in 1832	**+ 0,41**
heidebebossing 1832 - 1871	**+ 0,58**
heidebebossing 1871 - 1885	**+ 1,04**
bebossing van bouwland na 1832	**+ 0,89**

Voor deze studie is echter de conclusie van belang dat er zeker geen sprake is van een door de vegetatie geïndiceerde verrijking van de oude heideontginningen ten gevolge van een natuurlijk herstel van de bodemvruchtbaarheid in de bovengrond.

In de jongere heideontginningen is wel sprake is van een relatief sterke mate van verrijking. Men dient hier echter te bedenken dat dit effect versterkt wordt door de invloed van de bodem. De jongere heideontginningen zijn immers gebonden aan

de armste bodems en de verrijking op armere bodems is over het gehele gebied gezien duidelijk hoger dan op de rijkere bodems.

In de voormalige hakhoutpercelen is de gemiddelde verrijking relatief laag. Dit kan verklaard worden door het feit dat een groot deel van deze percelen in 1958 (en ook nu nog) bestonden uit eike-spaartelg-bossen met een relatief rijke ondergroei. In de afgelopen 30 jaar zijn de van oorsprong "rijkste" vegetaties relatief weinig veranderd (zie ook par. 5.6).

De relatief sterke verrijking op de oude bouwlanden werd hierboven (zie par. 5.3) al verklaard uit hun ligging in de onmiddelijke nabijheid van de huidige cultuurgronden.

5.5 Veranderingen in relatie tot enkele beheersaspecten

In deze paragraaf komen de volgende bosbouwkundige aspecten aan bod: leeftijd van de opstand, opstandstype, verwerking van de bodem, bemesting en opstandswisseling. Voor elk van deze aspecten wordt onderzocht in hoeverre er sprake is van een relatie met de gemiddelde verrijking van het bosmilieu in de afgelopen dertig jaar. Voor wat betreft het opstandstype en de leeftijd van de opstand is er voor gekozen uit te gaan van de situatie in 1988 (en niet 1958).

Tabel 21 Gemiddelde verrijking van het bosmileu in relatie tot de leeftijd van de opstand in 1988

Leeftijd (1988) (jr.)	**Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)**
0- 4	**+ 0,74**
5- 24	**+ 0,48**
25- 44	**+ 0,44**
45- 64	**+ 0,61**
65- 84	**+ 0,74**
85-104	**+ 0,76**
> 105	**+ 0,68**

De relatie tussen de leeftijd van de opstand (in 1988) en de gemiddelde verrijking wordt gegeven in tabel 21. Het gevonden verband lijkt grotendeels goed te verklaren. De volgende hypothese kan worden geformuleerd:
In de allerjongste opstanden wordt een opvallend sterke verrijking geconstateerd. Dit is het gevolg van het zogenaamde kapvlakte-effect. Onder invloed van de zonnestraling (hogere temperatuur) vindt versnelde mineralisatie van de strooisellaag plaats waardoor de beschikbaarheid van voedingsstoffen tijdelijk wordt vergroot (Westhoff et al., 1973). Diverse eutrafente soorten, zoals bramen, Gewoon wilgeroosje en Boskruiskruid) kunnen hiervan profiteren.

Door toedoen van het kapvlakte-effect heeft het ecosysteem enige tijd ingeteerd op zijn voorraad voedingsstoffen. Het heeft als het ware boven zijn stand geleefd en

na kroonsluiting zien wij dan ook een terugval in trofie-niveau, die hier tot uitdrukking komt in een relatief geringe verrijking. Dit effect is maximaal (d.w.z. de verrijking is minimaal) bij een opstandsleeftijd van 30-40 jaar waarin voor de meeste boomsoorten de groeisnelheid van de bomen en daarmee de opname van nutriënten (o.a. afkomstig van atmosferische depositie van stikstof) door de opstand maximaal is.

In de daarop volgende decennia zien wij de gemiddelde verrijking weer toenemen. Kennelijk komen er geleidelijk weer meer nutriënten beschikbaar voor de kruidlaag. De strooisellaag is na het potverteren van de kapvlakte-fase weer grotendeels hersteld en de groeisnelheid van de bomen neemt af. Met name in oude Douglas-opstanden speelt ook de toename van de lichtval op de bosbodem (resulterend in versnelde mineralisatie van strooisel een rol). In de oudste, nu ca. 90-jarige Douglas-opstanden van het Speulderbos is de ontwikkeling van een relatief zeer eutraphente ondergroei zelfs zeer spectaculair, met een explosieve toename van o.a. Brede stekelvaren (*Drypoteris dilatata*) en bepaalde mossoorten o.a. het Gerimpeld platmos (*Plagiothecium undulatum*) en Groot laddermos (*Pseudoscleropodium purum*).

Opvallend is dat bij (nog) hogere leeftijden van de opstand de gemiddelde verrijking weer iets terug valt. Mogelijk wordt dit mede veroorzaakt door het feit dat bij zeer hoge leeftijden van de opstand de boomlaag in verval raakt en de spontane verjonging snel in biomassa toeneemt, daarmee de beschikbaarheid van nutriënten voor de kruidlaag verminderend. Het effect is echter ook deels een artefact aangezien in de hoogste leeftijdsklasse geen Douglas-opstanden voorkomen.

De relatie tussen opstandstype in 1988 en gemiddelde verrijking wordt gegeven in tabel 22. Het blijkt dat de sterkste verrijking plaats vond in de kapvlakten. Dit verschijnsel werd hierboven al besproken.

Tabel 22 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot het opstandstype in 1988 (gedefinieerd naar de dominante boomsoort)

Opstandstype (1988) (zie tabel 8)	**Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)**	
	Totaal	**45 - 104 jarige opstanden op moderpodzolen**
beuk (incl, menging met eik)	**+ 0,64**	**+ 0,53**
eik (incl, menging met berk)	**+ 0,56**	**+ 0,55**
Pinus-soorten	**+ 0,60**	**+ 0,57**
Douglasspar en Tsuga-soorten	**+ 0,51**	**+ 0,68**
Larix-soorten	**+ 0,50**	**(*)**
Abies-, Picea- en Thuia-soorten	**+ 0,36**	**(*)**
menging van naald- en loofhout	**+ 0,58**	**+ 0,93**
kapvlakte	**+ 0,72**	**(**)**

(*) berekening van het gewogen gemiddelde is niet verantwoord vanwege de zeer geringe oppervlakte van dit opstandstype;

(**) niet van toepassing.

Voor de verschillen in gemiddelde verrijking tussen de verschillende opstandstypen valt vooral de relatief geringe verrijking op van de opstanden met uitheemse naaldbomen. Men zou het omgekeerde verwachten. Van met name Douglas- en Fijnspar is bekend dat zij relatief veel droge stof invangen. In een onderzoek naar de samenstelling van het bodemvocht onder 150 opstanden verspreid over Nederland bleek dat o.a. de hoogste concentraties stikstof onder deze boomsoorten voorkomen (W. de Vries, mond. med.).

Van de inheemse houtsoorten geeft de eik de laagste gemiddelde verrijking te zien. Dit houdt verband met het feit dat in 1958 in voormalige eikenhakhout-percelen al veelal relatief eutrafente vegetaties aanwezig waren. Deze vegetaties zijn betrekkelijk weinig veranderd in de afgelopen dertig jaar (zie par. 5.6).

De verklaring voor de relatief geringe verrijking onder opstanden met uitheemse naalhoutsoorten kan gevonden worden in hun gemiddeld lage leeftijd. De opstanden met eik, beuk en grove den zijn gemiddeld veel ouder. Op de relatie tussen leeftijd van de opstand en verrijking werd hierboven al uitgebreid ingegaan. Deze verklaring wordt bevestigd door de gemiddelde verrijking per opstandstype te berekenen voor alleen opstanden met een leeftijd van 45-104 jaar, die voorkomen op moderpodzolgronden (tabel 22). Deze laatste inperking is bedoeld om de (dominante) invloed van het bodemtype op de gemiddelde verrijking enigszins uit te filteren.

De gemiddelde verrijking per opstandstype (voor 45-104 jarige opstanden op moderpodzolgronden) zoals weergegeven in de rechterkolom van tabel 22 suggereert dat de uitheemse naaldhoutsoorten inderdaad gevoeliger zijn voor eutrofiëring dan de verschillende inheemse boomsoorten. Met name opstanden van Douglasspar vertonen een relatief hoge gemiddelde verrijking; de resultaten voor Fijnspar liggen in dezelfde orde van grootte, maar het betreft hier een zo geringe oppervlakte dat het niet verantwoord is hier conclusies aan te verbinden.

Beperken wij ons tot de vergelijking van opstanden ouder dan 45 jaar, dan is de relatief hoge verrijking van de gemengde (loof-naaldhout) opstanden opvallend. Een verklaring ligt voor de hand. Met name Douglasspar levert een rijke soort strooisel die bij mineralisatie een forse eutrofiëring oplevert. Mineralisatie van het Douglasstrooisel o.i.v. directe inval van zonlicht zal in met loofhout gemengde opstanden eerder plaats vinden dan in ongemengde Douglas opstanden.

De invloed van vroegere bemesting, bodembewerking en opstandswisseling op de vegetatie-ontwikkeling wordt gegeven in tabel 23.

Het is duidelijk dat de onbemeste percelen in de afgelopen dertig jaar iets sneller verrijkt zijn dan de bemeste percelen. Dit is niet verwonderlijk. In de delen van het bos die eens, bijvoorbeeld bij aanleg, zijn bemest, kan een natuurlijke vegetatie-ontwikkeling verwacht worden die tendeert naar herstel van de oorspronkelijke minder voedselrijke situatie, een tendens die overeenkomt met de normale vegetatie-ontwikkeling op beboste oude bouwlanden (zie hierboven, par. 5.3). Deze natuurlijke verarming kan de verrijking ten gevolge van de atmosferische depositie enigszins compenseren.

Tabel 23 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot bewerking, bemesting en opstandswisseling

Type ingreep	Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)	
	met ingreep	zonder ingreep
bemesting (vóór 1958):	**+ 0,48**	**+ 0,58**
bewerking (vóór 1958):	**+ 0,57**	**+ 0,58**
opstandswisseling (1958-1988):	**+ 0,51**	**+ 0,61**

Invloed van bodembewerking op de gemiddelde verrijking van het bosmilieu kon niet worden aangetoond.

Opstandswisseling heeft wel duidelijk gevolgen. De gevonden tendens kan goed worden verklaard. Opstandswisseling leidt namelijk weliswaar eerst tot het kapvlakte-effect, maar het daarop volgend stadium van herstel van de strooiselllaag (immobilisatie van stikstof), gekoppeld aan relatief hoge opname van nutriënten door de bomen (zie hierboven bij de bespreking van tabel 19), is in opppervlakte gerekend van veel groter belang. Daarom is de gemiddelde verrijking lager in die delen van het bos waar in de afgelopen dertig jaar opstandswisseling heeft plaatsgevonden. Men kan echter de effecten van opstandswisseling niet los zien van de betrokken boomsoort en de standplaats. Veldervaring (bij het herhalen van vegetatie-opnamen; zie *woord vooraf*) heeft uitgewezen dat de "verbeuking", met name op de armere gronden, een sterk nivellerend effect heeft op de vegetatie-ontwikkeling.

5.6 Veranderingen in relatie tot de vegetatie in 1958

De relatie tussen de gemiddelde verrijking en het vegetatietype in 1958 wordt gegeven in tabel 23. Deze tabel is om meerdere redenen van belang. In de eerste plaats geeft de tabel enig inzicht in de belangrijkste trends van de vegetatie-ontwikkeling in de afgelopen dertig jaar. Dit is van belang vanuit een oogpunt van natuurbehoud en -ontwikkeling. Binnen deze vraagstelling wordt de vegetatie als "respons-variabele" beschouwd.

Daarnaast kan men de vegetatie ook als "verklarende" variabele beschouwen: in hoeverre is het in 1958 aanwezige vegetatietype mede bepalend voor de grootte en richting van de veranderingen in de afgelopen dertig jaar? De invloed van het oorspronkelijk vegetatietype op de verdere ontwikkeling kan zowel direct als indirect zijn. Bij directe ontwikkeling zijn zaken als stabiliteit en plaats in de successie-reeks aan de orde. Bij indirecte invloed moet gedacht worden aan het totale complex van (verklarende) abiotische factoren waar het vegetatietype (gedefinieerd als plantengemeenschap) volgens de plantensociologische theorie de uitdrukking van vormt.

Uit tabel 23 blijkt dat er een zeer duidelijke relatie bestaat tussen de grootte van de verandering (in termen van verrijking) en de indicatie-waarde van de vegetatietypen voor het trofie-niveau. De "armste" typen veranderen zeer sterk, de "rijkere" typen niet of nauwelijks. Deze conclusie komt goed overeen met de conclusie van par. 5.3 (sterkste verrijking op de armste bodems) en wijst op een duidelijke nivellering van de oorspronkelijke variatie aan vegetaties.

Deze conclusie wordt tevens bevestigd door tabel 25, waarin de relatie tussen de verrijking en het trofie-niveau van de bosbodem, geïndiceerd door de vegetatie, wordt gegeven. Ook hier blijkt duidelijk dat de armste plekken het sterkst veranderen, de rijkere niet of nauwelijks.

Tabel 24 Gemiddelde verrijking van het bosmilieu in relatie tot het in 1958 aanwezige vegetatietype

Vegetatietype (*)	Code (**)	Gemiddelde verrijking (rel. schaal)	Oppervlakte verdwenen door verrijking (%)
Witte klaverzuring	**O/OL/OR**	**0,00**	**0**
Braam-Wilde kamperfoelie	**RL**	**+ 0,09**	**20**
Wilde kamperfoelie	**L**	**+ 0,06**	**18**
Braam	**R/RDr**	**+ 0,19**	**22**
Bochtige smele	**D**	**+ 0,68**	**62**
Blauwe bosbes-Bochtige smele	**VD**	**+ 0,61**	**56**
Blauwe bosbes	**V**	**+ 1,47**	**88**
Vossebes	**Vi**	**+ 1,53**	**91**
Mostype (incl. Cladonia)	**M**	**+ 1,51**	**100**
schaarse ondergroei (incl. Kussentjesmostype)	**Le/r**	**+ 0,52**	**46**
Toevoeging			
Adelaarsvaren	**p**	**+ 0,03**	**-**
Geen	**-**	**+ 0,70**	**-**

(*) hoofdtypen naar Leys (1964); de rangschikking is eveneens naar Leys en wordt voor wat betreft de typen O/OL/OR tot en met M grofweg bepaald door de afnemende voedselrijkdom van de bosbodem;

(**) zie paragraaf 2.4.

Uit tabel 24 valt eveneens af te lezen hoeveel van het in 1958 aanwezige areaal van de verschillende vegetatietypen door verrijking is verdwenen. Het blijkt dat beide bosbestypen nagenoeg en het "arme" mossentype (incl. *Cladonia* soorten) geheel uit het gebied zijn verdwenen. Deze typen zijn niet door lokale verarming van arme typen elders in het gebied nieuw verschenen.

Het areaal van het "rijkste" type van het gebied, het Witte klaverzuring type, is onveranderd gebleven. Er is nergens sprake van incidentele verarming en verrijking is met de hier gehanteerde methode niet waarneembaar. Overigens is het areaal van dit aan de randen van de oude bouwlanden gebonden type ook niet toegenomen door verrijking van oorspronkelijk armere typen.

Tabel 25 Gemiddelde verrijking in relatie tot het trofieniveau in 1958 (geïndiceerd door de vegetatie)

Trofie-niveau 1958 (zie tabel 2)	Gemiddelde verrijking (relatieve schaal)	Oppervlakte (ha)
2	+ 1,62	43
3	+ 0,84	250
4	+ 0,14	243
5	- 0,91 (*)	3
6	0,00 (*)	1

(*) klasse 5 en 6 beslaan een zo geringe oppervlakte dat deze cijfers statistisch van weinig betekenis zijn; de gemiddelde verrijking voor de klassen 4 t/m 6 bedraagt + 0,13.

Tabel 24 geeft voor het type "schaarse ondergroei" een mate van verrijking aan die in de orde van grootte ligt van de voor beide typen met Bochtige smele gevonden waarden. Hiermee lijkt de positie op de trofiegradiënt van dit in de vegetatie-tabel moeilijk plaatsbare type (zie Leys, 1964) goed weergegeven. De gevolgde methode doet echter weinig recht aan de grote veranderingen die zijn opgetreden in de in 1958 aanwezige vegetaties met hoge bedekkingen van Kussentjesmos (*Leucobryum glaucum*), een bijzondere vorm van het type met schaarse ondergroei. Deze vegetaties zijn in de afgelopen dertig jaar nagenoeg geheel uit het gebied verdwenen.

Tenslotte dient gewezen te worden op de relatie tussen de mate van verrijking en het voorkomen van Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*). De vegetaties die in 1958 gekenmerkt werden door een hoge bedekking van Adelaarsvaren blijken dertig jaar later nauwelijks verrijkt. Hiervoor zijn twee redenen aan te geven. In de eerste plaats zijn vegetaties met Adelaarsvaren indicatief voor een relatief hoge voedselrijkdom (klasse 4 in tabel 25). In de tweede plaats kan gewezen worden op het stabiele karakter van de velden met Adelaarsvaren, een soort die het gehele ecosysteem gaat domineren en verdere successie sterk vertraagt. Adelaarsvaren-velden kunnen zo het karakter krijgen van een pseudo-climax (Stortelder en Hommel, 1990).

5.7 Veranderingen in relatie tot het complex van ecosysteem-componenten

De invloed van het complex van onderzochte ecosysteem-componenten op de verandering in trofie-niveau van de vegetatie is onderzocht met behulp van multipele regressie-analyse. De volgende componenten zijn als predictor-variabelen in de analyse meegenomen: de vegetatie in 1958, het voorkomen van Adelaarsvaren in 1958, de bodemeenheid, de bosgeschiedenis, de dominante boomsoort in 1988, de leeftijd van de opstand in 1988, opstandswisseling, eventuele verwerking en/of bemesting bij aanleg, de afstand tot de dichtsbijzijnde cultuurgrond en de afstand tot de cultuurgronden in de Gelderse vallei.

De oppervlakten van de steekproefeenheden (de unieke combinaties van ecosysteem-componenten) zijn als gewichten gebruikt (zie par. 2.5). De uitkomst van de

regressie-analyse is een rekenkundig model dat de verbanden tussen de verklarende factoren (ecosysteem-componenten) en de respons variabele (vegetatie-verandering) zo goed mogelijk beschrijft.

Bij de multipele regressie-analyse is eerst gekeken naar de invloed van de hoofdeffecten, dus zonder interactie. Vervolgens is gezocht naar de invloed van eventuele interacties. Van interactie tussen predictoren is sprake als blijkt dat de invloed van de ene predictor op de vegetatie-verandering afhangt van de waarde van een andere predictor.

Als alleen de hoofdeffecten in het model worden opgenomen, dan blijken bij voorwaartse selectie van variabelen de ecosysteem-componenten: vegetatie in 1958, bosgeschiedenis, afstand tot dichtsbijzijnde cultuurgrond, bodemeenheid en leeftijd van de opstand in 1988 significant te zijn. De invloed van interactie tussen de componenten bleek niet significant te zijn.

Het model dat de relatie tussen vegetatie-verandering enerzijds en de bovengenoemde vijf relevante predictor-variabelen beschrijft, wordt gegeven in de volgende vergelijking:

$$V = 3{,}8T + G + A + B + L$$

De in deze vergelijking gebruikte variabelen hebben de volgende betekenis:
V door de vegetatie geïndiceerde verandering in trofieniveau (1958-1988)
T door de vegetatie geïndiceerd trofieniveau in 1958
G bosgeschiedenis
A afstand tot dichtstbijzijnde cultuurgronden
B bodemeenheid
L leeftijd van de opstand in 1988

Voor de variabelen G, A, B en L geldt dat bij iedere klasse een andere parameter van toepassing is. Deze parameters zijn:

Voor de bosgeschiedenis (G)		Voor de afstand tot de dichtst-bijzijnde cultuurgronden (A)	
heidebebossing 1871-1885	0,00	0 - 50 m	0,00
heidebebossing 1832 - 1871	-0,45	50- 100 m	-0,24
opgaand bos aanwezig in 1832	-0,04	100- 250 m	-0,25
hakhout aanwezig in 1832	-0,16	250- 500 m	-0,44
bebossing van bouwland na 1832	0,03	500-1000 m	-0,43
		> 1000 m	-0,40
Voor de bodemeenheid (B)		Voor de leeftijd van de opstand in 1988 (L)	
duinvaaggronden (incl. associaties)	0,00	0- 4 jaar	0,00
haarpodzolgronden	-0,31	5- 24 jaar	-0,17
holtpodzolgronden (zeer grofzandig, zwak lemig)	-0,11	25- 44 jaar	-0,17
holtpodzolgronden (matig grof, zwak/sterk lemig)	0,00	45- 64 jaar	-0,07
holtpodzolgronden (matig fijn, zwak/sterk lemig)	0,02	65- 84 jaar	0,05
holtpodzolgronden (zeer fijnzandig, sterk lemig)	0,08	85-104 jaar	-0,19
loopodzol- en zwarte enkeerdgronden	0,73	> 105 jaar	0,01

Ter verduidelijking wordt een rekenvoorbeeld gegeven:
Rekenvoorbeeld: Stel op een bepaalde plek komt de volgende combinatie van factoren voor: de vegetatie in 1958 had een trofieniveau van 3, er is al opgaand bos sinds 1832 de plek ligt op 300 m van het dichtsbijzijnde cultuurland, de bodem bestaat uit een matig fijne, sterk lemige holtpodzolgrond en de opstand is 50 jaar oud. De door het model voorspelde vegetatie-verandering is dan: 3,8 - (0,8x3) + (-0,04) + (-0,44) + (0,02) + (-0,07) = 0,91.

De parameters geven aan hoe de waarden van de variabelen zich verhouden ten opzichte van een referentie-niveau, in dit geval het niveau van de eerste klasse (voor de bosgeschiedenis bijvoorbeeld: heidebebossing 1871-1885). Doordat er correlaties bestaan tussen verschillende componenten komen niet alle in de vergelijking mogelijke combinaties van variabelen ook werkelijk voor.

Het model verklaart 44% van de variantie van de vegetatie-verandering. Dit komt overeen met een correlatie-coëfficient van 0,67 voor het verband tussen voorspelde en waargenomen waarden. Voor ecologische, kwalitatieve variabelen, verkregen uit observationeel onderzoek, is een verklaarde variantie van 44% geen slecht resultaat (Oude Voshaar, mond. med.).

De verklarende componenten zijn gerangschikt in de volgorde, waarin ze nog een significant deel van de vegetatie verandering verklaren, ervan uitgaande dat de voorgaande componenten al zijn opgenomen. Dit kan aan de hand van een voorbeeld worden toegelicht. De componenten bosgeschiedenis en bodem zijn sterk gecorreleerd (zie ook tabel 14). De component bodem zit dus ook al voor een deel in de component bosgeschiedenis. Doordat deze predictoren niet orthogonaal zijn (d.w.z. niet alle mogelijke combinaties van variabelen zijn bemonsterd) zijn de afzonderlijke effecten niet te isoleren.

De vegetatie in 1958 geeft verreweg de grootste verklaring van de vegetatie-verandering, de andere componenten in dit model geven slechts een nuancering. Dit is niet verwonderlijk, omdat de vegetatie in 1958 ook reeds een afspiegeling is van de diverse ecosysteem-componenten.

De variabelen Adelaarsvaren, dominante boomsoort in 1988, opstandswisseling, verwerking, bemesting en afstand tot de cultuurgronden in de Gelderse Vallei hebben geen significante invloed op de verandering. Dit hoeft niet te betekenen dat zij geen rol spelen. Zij voegen alleen geen essentiële nadere verklaringen toe aan wat ook al door de componenten vegetatie in 1958, bosgeschiedenis, afstand tot dichtsbijzijnde lokale cultuurland, bodem en leeftijd in 1988 wordt verklaard. De invloed van de variabele Adelaarsvaren is bijvoorbeeld sterk gecorreleerd met de vegetatie in 1958; minder duidelijke correlaties bestaan tussen dominante boomsoort en bodem, opstandswisseling en opstandsleeftijd, bemesting/verwerking en bosgeschiedenis. Beïnvloeding op regionale schaal vanuit de Gelderse Vallei is blijkbaar ondergeschikt aan de lokale beïnvloeding vanuit de dichtstbijzijnde cultuurgronden.

De conclusies vanuit de multipele regressie-analyse komen in grote lijnen overeen met de conclusies uit de voorafgaande paragrafen waarin de relatie tussen vegetatie-verandering en de afzonderlijke ecosysteem-componenten werd onderzocht.

De waarde van de multipele regressie-analyse schuilt niet alleen in het feit dat zij de vegetatie-verandering bekijkt vanuit het geheel aan ecosysteem-componenten en als zodanig de resultaten van het onderzoek naar de betekenis van de afzonderlijke ecosysteem-componenten ondersteunt. Belangrijk is ook dat met behulp van bovenstaande vergelijking:
(1) een voorspelling kan worden gedaan voor de eutrofiëring van het bosmilieu voor elke voorkomende combinatie van ecosysteem-componenten;
(2) een extrapolatie van de resultaten mogelijk is naar terreingedeelten die om practische redenen buiten de vegetatievergelijking zijn gehouden;
(3) een nadere detaillering van de mate van eutrofiëring mogelijk is.

Deze toepassingsmogelijkheden behoeven wellicht een nadere uitleg:
Ad 1. Een directe bepaling van de werkelijke eutrofiëring met behulp van naar oppervlakte gewogen gemiddelden is niet verantwoord. Ook de meest algemene combinaties van ecosysteem componenten beslaan een te geringe oppervlakte. Enkele voorbeelden van de voorspelling van de mate eutrofiëring worden gegeven in tabel 26.

Tabel 26 Enkele voorbeelden van toepassing van het model dat de eutrofiëring van het Speulderbos gedurende de periode 1958-1988 beschrijft. Dit model is het resultaat van multipele regressie-analyse. (De residuele standaarddeviatie van het regressie-model is 0,58).

Vegetatie-type 1958	Trofie-graad	Bos-geschiedenis	Afstand bosrand (m)	Bodem eenheid (*)	Leeftijd opstand (jr)	Eutro-fiëring
Vossebes	**2**	**heideontg. 1871-1885**	**400**	**duinvaag gronden (Z)**	**50**	***+ 1,69***
"Arme" mossen	**2**	**heideontg. 1832-1871**	**200**	**haarpodzol-gronden (Hd)**	**20**	***+ 1,02***
Kussentjes-mos	**3**	**"bomenbos" 1832**	**400**	**moderpodzol-gronden (Y3)**	**120**	***+ 1,02***
Bochtige smele/Hulst	**4**	**"bomenbos" 1832**	**700**	**moderpodzol-gronden (Y2)**	**80**	***+ 0,20***
Braam/ Kamperfoelie	**4**	**hakhout 1832**	**300**	**moderpodzol-gronden (Y1)**	**60**	***+ 0,01***
Witte klaverzuring	**6**	**voormalige akker**	**20**	**loopodzol-gronden (cY)**	**150**	***- 0,23***

(*) zie tabel 6

Ad 2. Het betreft hier zowel de vakken 5 en 12 (die in 1988 enigszins afwijkend gekarteerd zijn) en alle opstanden die in 1958 niet en in 1988 wel ondergroeiloos waren.
Ad 3. De formule maakt een inschatting van de eutrofiëring op een continue schaal mogelijk; deze kan omgewerkt worden tot een discrete verdeling.

Figuur 8 geeft de door bovenstaande formule voorspelde, op de hoofdtrends van vegetatie-verandering gebaseerde, eutrofiëring in de afgelopen 30 jaar ruimtelijk weer op basis van de situatie in 1958. Het kaartbeeld van figuur 8 blijkt goed overeen te komen met het beeld van de werkelijk geconstateerde veranderingen, zoals weergegeven in figuur 7.

Duidelijk in het oog springend is de relatief sterke verrijking in de zone grenzend aan cultuurgronden. Tot op een afstand van ca. 250 m van de bosrand is de invloed van de aangrenzende cultuurgronden dominant over de invloed van andere factoren. Duidelijk is ook de sterke relatief verrijking in het zuiden van het gebied op de voor eutrofiëring zeer gevoelige duinvaaggronden. Het betreft hier vooral jonge heide-ontginningen.

In de overige delen van het Speulderbos is de mate van verrijking sterk gerelateerd aan de oorspronkelijke, door de plantengroei geïndiceerde trofiegraad. In het patroon van de sterkst verrijkte plekken kan duidelijk de oorspronkelijke verspreiding (in 1958) van de Blauwe bosbes-, Vossebes-, en Arme mossen vegetaties worden teruggekend.

De belangrijkste verschillen tussen beide kaarten hebben betrekking op de al besproken vlakdekkendheid, de mate van verrijking van de eeuwenoude boskern op de moderpodzolgronden en het aandeel van de terreingedeelten waar sprake is van een zekere verarming. Op de laatste twee aspecten zal nu kort worden ingegaan.

Het model voorspelt in grote delen van de oude boskern op de moderpodzolgronden een zeer lichte eutrofiëring, ook daar waar volgens figuur 7 (werkelijk geconstateerde veranderingen) er geen sprake van verandering is. Op grond van veldervaring bij het herhalen van vegetatie-opnamen (zie *woord vooraf*) kan worden gesteld dat het model hier meer recht aan de werkelijkheid doet dan figuur 7. De opgetreden veranderingen zijn echter doorgaans te gering om met de gehanteerde vrij grove wijze van kaartvergelijking herkend te worden. Voorbeelden van de opgetreden veranderingen zijn de afname van Kussentjesmos (*Leucobryum glaucum*) en de toename van Brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*) en Rankende helmbloem (*Corydalis claviculata*).

Verarming van het bosmilieu is van zeer weinig betekenis. Op de kaart met werkelijk waargenomen veranderingen (7) kunnen de vlakken waar verarming aan de orde is zelfs niet worden weergegeven vanwege hun kleine afmetingen. Deze niet karteerbare vlakken hebben voor een belangrijk deel betrekking op jonge, "donkere" bossen, waarin de "arme" mossen na opstandswisseling eerder verschijnen dan de meer eutraphente soorten en de vegetatie dus tijdelijk een minder juist beeld geeft van de trofie-graad van het milieu. De op grond van het rekenmodel voor-



Fig. 8 De eutrofiëring van het Speulderbos geïndiceerd door de vegetatie gedurende de periode 1958-1988 op grond van modelberekeningen; de mate van eutrofiëring is weergegeven in een relatieve schaal

spelde verarming (figuur 8) heeft echter vrijwel geheel betrekking op terreingedeelten waar in 1958 een uitzonderlijk "rijke" vegetatie aanwezig was en in de afgelopen dertig jaar een zekere terugval in trofie niveau te verwachten viel. In hoeverre er in deze terreingedeelten ook een (zeer lichte) terugval in het door de plantengroei geïndiceerde trofie-niveau is opgetreden, kan op grond van veldervaring niet worden gezegd en zal moeten blijken uit een systematische vergelijking van vegetatie-opnamen.

6 CONCLUSIES

6.1 Resultaten

De hoofdtrend van de door de plantengroei geïndiceerde veranderingen in de afgelopen 30 jaar is een verrijking van het bosmilieu met voedingsstoffen.

De verrijking treedt verspreid door vrijwel het gehele gebied op; de mate van verrijking verschilt sterk van plek tot plek. In grote delen van het gebied schommelt de mate van verrijking rond de detectie-grens van de gehanteerde methode (bepaling van verandering van het door de vegetatie geïndiceerde trofieniveau in 5 klassen). Modelberekeningen op grond van de geconstateerde verbanden tussen de mate van verrijking enerzijds en abiotische, biotische en historische factoren anderzijds geven een meer realistisch beeld van de geografische spreiding van de veranderingen (zie fig. 8).

De verrijking betreft ook de oude boskernen, waar eeuwenlang onafgebroken bos aanwezig is geweest, de opstanden veelal een hoge leeftijd hebben en in veel gevallen (de "boombossen") in de afgelopen decennia nauwelijks een actief beheer is gevoerd. Dit duidt er op dat in deze oude boskernen de verrijking vooral door externe invloeden veroorzaakt wordt.

Er werd een duidelijke relatie gevonden tussen de mate van verrijking en de afstand tot de dichtstbijzijnde cultuurgronden. Op korte afstand van deze cultuurgronden verloopt de verrijking sneller.

Ook werd een duidelijke relatie aangetoond tussen de mate van verrijking en de initiële voedselrijkdom van de bodemeenheid. Op armere bodems is het effect van verrijking duidelijker.

De relaties tussen verrijking, afstand tot de cultuurgronden en bodemeenheid duidt er op dat de verrijking mede veroorzaakt wordt door atmosferische stikstof depositie ten gevolge van ammoniakemissie vanuit de intensieve veehouderij. Relaties tussen de verrijking en de verschillende omgevingsfactoren kunnen worden geïnterpreteerd in termen van verschillen in gevoeligheid van het ecosysteem voor atmosferische eutrofiëring.

Naast atmosferische depositie van stikstof kunnen veranderingen in het door de vegetatie geïndiceerd trofieniveau ook door andere (interne) oorzaken veroorzaakt worden: herstel van de oorspronkelijke voedingstoestand na verschraling door heide-beheer, versnelde mineralisatie van de strooisellaag bij ijler worden van de boomlaag en bij kaalkap. Deze factoren zijn echter alleen lokaal van belang. Bovendien kan versnelde mineralisatie ook in 1958 tot een overschatting van het trofieniveau en daarmee tot onderschatting van de verrijking in de afgelopen dertig jaar hebben geleid.

Er kon geen relatie worden vastgesteld tussen de mate van verrijking en de afstand tot de Gelderse Vallei, het dichtstbijzijnde grote, aaneengesloten gebied met intensieve veehouderij. De afstand tussen de Gelderse Vallei en het Speulderbos bedraagt 3 tot 7 km. Ervan uitgaande dat er wel sprake is van beïnvloeding, dan is deze betrekkelijk homogeen of overschaduwd door andere factoren.

De invloed van de bosgeschiedenis op de mate van verrijking is niet eenduidig. Er zijn geen aanwijzingen dat de vegetatie-verandering in de oudste heideontginningen (1832-1871) sneller verloopt dan in de oude opgaande bossen. In de (voormalige) eikenhakhout-percelen is de gemiddelde mate van verruiging relatief laag, in de jongste heide-ontginningen (1871-1885) opvallend hoog. De jongste heide-ontginningen zijn echter gelegen op de armste, dus meest gevoelige gronden. Jongere heide-ontginningen dan 1885 zijn in het Speulderbos niet aanwezig.

De relatie tussen verrijking en leeftijd van de opstand in 1988 geeft een interessant beeld. De verrijking weerspiegelt de hoeveelheid nutriënten die beschikbaar is voor de ondergroei in de verschillende groeifases van de opstand. Deze is maximaal in de allereerste jaren (0-4): het kapvlakte-effect. Na kroonsluiting neemt de gemiddelde verrijking snel af, het systeem herstelt zich van de kapvlakte-fase en de boomgroei vraagt veel nutriënten. De verrijking is minimaal in opstanden van 25-44 jaar. Dit komt globaal overeen met de periode van maximale groei van de bomen. Daarna neemt de verrijking weer toe.

De relatie tussen opstandstype (dominante boomsoort) en verrijking is volledig ondergeschikt aan de invloed van de leeftijd van de opstand. Voor de ongemengde opstanden is de verrijking het sterkst in opstanden van Douglasspar. Opvallend is de relatief hoge mate van verrijking in gemengde opstanden van naald- en loofhoutsoorten, ouder dan 45 jaar.

Er kon geen relatie worden aangetoond tussen de verrijking en het al dan niet bewerkt zijn van de bosbodem. In gedeelten van het bos waar bij aanleg of later bodembemesting heeft plaatsgevonden, is de gemiddelde verrijking iets lager dan in de onbemeste gedeelten. Een verklaring kan waarschijnlijk worden gevonden in de natuurlijke tendens naar herstel van de oorspronkelijke minder voedselrijke situatie. Deze tendens vormt een tegenwicht voor de atmosferische eutrofiëring.

Er is een zeer duidelijke relatie tussen de verrijking en het vegetatietype in 1958. Toen aanwezige vegetatietypen die indicatief zijn voor een laag trofie-niveau zijn relatief sterk verrijkt, "rijke" typen zijn relatief weinig veranderd.

De "armste" typen, het Blauwe bosbestype, het Rode bosbestype en het "Arme" mossentype (met *Cladonia's*) blijken in de afgelopen dertig jaar vrijwel volledig uit het gebied te zijn verdwenen. Het areaal van het "rijkste" vegetatietype (Witte klaverzuring) is onveranderd gebleven. Nader onderzoek, aan de hand van herhaalde vegetatie-opnamen zal moeten uitwijzen of er binnen dit type sprake is van een achteruitgang van de "rijke" bosplanten. Een dergelijke ontwikkeling is door De Vries (1982) beschreven voor de stuifzandbebossingen bij Kootwijk en door Van Kasteel en Kruizinga (1989) voor het landgoed De Stippelberg in de Peel. Voor het

Speulderbos voorspellen onze modelberekeningen, gebaseerd op de geconstateerde verbanden tussen verrijking enerzijds en omgevingsfactoren anderzijds ook een dergelijke ontwikkeling.

De hoofdtendens van de vegetatiekundige veranderingen in het Speulderbos kan, voor zover het de indicatie-waarde voor het trofieniveau van het bosmilieu betreft, worden gekenschetst als een duidelijke nivellering, een verkleining van de oorspronkelijk aanwezige variatie aan typen. Deze conclusie komt overeen met de resultaten van ander onderzoek naar vegetatie-verandering in bossen op de pleistocene zandgronden, met name met het werk van De Vries (1982) bij Kootwijk. De vegetatie in het Speulderbos lijkt echter naar een duidelijk hoger trofieniveau te convergeren dan in de stuifzandbebossingen van Kootwijk, ondanks de directe nabijheid van de intensieve veehouderij (ammoniak-emissie) bij Kootwijk.

Binnen het complex van milieu-veranderingen is de vegetatie niet alleen respons-variabele, maar ook "verklarende" variabele. Een voorbeeld is de rol van de Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*). Aanwezigheid van Adelaarsvaren in hoge bedekkingen vormt een duidelijke rem op verdere vegetatie-ontwikkeling ("pseudo-climax"). Verrijking van het bosmilieu werd nagenoeg alleen geconstateerd buiten de in 1958 aanwezige Adelaarsvaren-velden.

6.2 Methode

De ontwikkelde methode blijkt goed te werken. Er wordt een goed beeld verkregen van de door atmosferische depositie veroorzaakte vegetatie-veranderingen op landschappelijke schaal. Ook kunnen zinvolle relaties met achterliggende factoren worden aangegeven.

Het gebruik van multipele regressie-analyse, waarbij de mate van verrijking wordt "verklaard" uit het complex van omgevingsfactoren heeft een duidelijke meerwaarde ten opzichte het onderzoek naar correlaties met de afzonderlijke factoren. Zij levert een toetsing en statistische onderbouwing van de "single-factor"-correlaties en de mogelijkheid tot ruimtelijke extrapolatie en detaillering van de geconstateerde mate van eutrofiëring.

Gebruik van de ontwikkelde methode in andere gebieden is mogelijk, indien twee opeenvolgende karteringen van één gebied beschikbaar zijn, verricht met overeen-komstige of in elkaar vertaalbare legenda's. In de praktijk komt dit voor veel bosgebieden op de zandgronden neer op het gebruik van de typologie van Bannink, Leys en Zonneveld (1973).

Bij gebruik van dezelfde typologie kunnen de resultaten van verschillende, volgens de ontwikkelde methode verrichte vegetatie-vergelijkingen op zinvolle wijze met elkaar vergeleken worden, ondanks het feit dat de resultaten (de gemiddelde verrijking van het bosmilieu) worden uitgedrukt op een relatieve schaal.

De ontwikkelde methode wordt, in aangepaste vorm, ook zinvol geacht voor andere doelstellingen, zoals het volgen van de vegetatie-ontwikkeling in natuurgebieden met korte vegetaties en het evalueren van het resultaat van het gevoerde beheer.

De methode wordt ook gekenmerkt door een aantal beperkingen, zowel van praktische als van theoretische aard. Deze zullen nu kort besproken worden:
De relaties die gevonden worden tussen veranderingen en achterliggende factoren zijn altijd uitsluitend van correlatieve aard, waarbij de interpretatie bemoeilijkt wordt door de vaak zeer complexe correlaties tussen de achterliggende factoren onderling. Voor het aangeven van werkelijk causale relaties blijft diepgaander proces-onderzoek noodzakelijk. De ontwikkelde methode verschaft hiervoor wel een goed kader.

Onder vegetatie-veranderingen wordt in deze studie verstaan: door de vegetatie geïndiceerde veranderingen in het trofieniveau van het bosmilieu. Deze inperking is niet zozeer inherent aan de ontwikkelde methode maar, is het gevolg van het feit dat in dit concrete geval (het Speulderbos) niet twee karteringen met volledig vergelijkbare data-sets beschikbaar waren. Deze inperking lijkt overigens aanvaardbaar in een studie die gericht is op het onderkennen van de gevolgen van atmosferische verrijking. Andere veranderingen, veelal meer subtiel van aard, die geen relatie hebben met het trofie-niveau bleven buiten beeld. Deze veranderingen kunnen evenwel bestudeerd worden via gerichte herhaling van vegetatie-opnamen, waarvoor de resultaten van deze studie het kader vormen.

De beperkingen van de gebruikte typologie(ën) werken door in de kaartvergelijking. In het geval van de typologie van Bannink, Leys en Zonneveld (1973) dient men er rekening mee te houden dat het systeem eigenlijk alleen bedoeld is voor naaldhoutbossen. Toepassing in lichte loofbossen blijkt in de praktijk weinig problemen op te leveren; in de beukenbossen werkt het systeem minder goed. Deze beperking bleek ook bij het onderzoek in het Speulderbos. Voor dit onderzoek zijn dan ook grote delen beukenbos in 1988 opnieuw gekarteerd aan de hand van de oorspronkelijke in 1958 gebruikte typologie.

Een verdere tekortkoming van de ontwikkelde methode is dat de indeling van vegetatietypen in hoofdgroepen, indicatief voor bepaalde trofieniveaus, ordinaal van aard is, maar als een ratio-indeling gebruikt wordt. (Ordinaal: volgorde van onderscheiden klassen is zinvol, grootte invervallen is variabel; ratio: volgorde is zinvol, grootte intervallen is constant, er is een absoluut nulpunt). Dit levert geen onoverkomelijke bezwaren op zolang, zoals in deze studie, onderzoek naar verschuivingen tussen de vegetatietypen het hoofddoel van onderzoek is en relaties met achterliggende factoren slechts globaal en in kwalitatieve zin bestudeerd worden. Bij gebruik van de methode voor het onderkennen van meer exacte, kwantitatieve relaties met het abiotisch milieu zal de methode bijgesteld moeten worden door de opgestelde indeling in trofie-niveaus met een ijking op het abiotisch milieu tot een werkelijke ratio-indeling te maken.

6.3 Beheer

De mogelijkheden van de terreinbeheerder om de nivellerende effecten van de atmosferische stikstof-depositie tegen te gaan zijn uiterst beperkt. Enige sturing van de vegetatie-ontwikkeling is echter wel mogelijk. Binnen het kader van dit onderzoek zijn deze mogelijkheden niet uitputtend verkend. Twee hoofdlijnen kunnen echter wel worden aangegeven.

In de eerste plaats is het duidelijk dat de geconstateerde trend van verrijking en nivellering alleen effectief kan worden doorbroken door een drastische vermindering van de atmosferische depositie van stikstof. Uiteraard ligt dit grotendeels buiten het vermogen van de beheerder. Wel kunnen op korte termijn de randinvloeden vanuit de aangrenzende cultuurgronden verminderd worden door beheersovereenkomsten of aankoop van gronden. Hiervoor kunnen de volgende redenen worden aangegeven:

(1) Uit dit onderzoek blijkt dat er in het Speulderbos duidelijk sprake is van een relatief hoge mate van stikstof-depositie in de directe omgeving van de huidige cultuurgronden; dergelijke randeffecten zijn ook uit de literatuur bekend.
(2) Bepaalde waardevolle "rijke" vegetaties (met name het Witte klaverzuring type) zijn juist aan deze randzone gebonden.
(3) Literatuurgegevens over andere bosgebieden op de pleistocene zandgronden én onze modelberekeningen voor het Speulderbos geven aan, dat de trend van convergentie in de vegetatie-ontwikkeling ten gevolge van atmosferische depositie van stikstof uiteindelijk ook ten koste van de relatief eutrafente vegetaties zullen gaan.

De voorgestelde maatregelen ter bescherming van de randzones hebben prioriteit in de omgeving van Houtdorp en Drie.

Een tweede ingang voor de terreinbeheerder om de vegetatie-ontwikkeling bij te sturen is de keuze van het opstandstype. Uit ons onderzoek blijkt duidelijk dat er in het Speulderbos een relatie bestond en nog bestaat tussen opstandstype en ondergroei. Het belang van deze relatie wordt o.i. door Leys (1964) onderschat. Van groot belang in dit verband is de rol van de beuk in de vegetatie-ontwikkeling. In het Speulderbos neemt het aandeel van de beuk niet alleen toe door spontane vestiging in andersoortige opstanden of door verdringing in oorspronkelijk gemengde opstanden ("verbeuking"), maar ook door aanplant. Dit heeft de nivellering van de vegetaties van het gebied verder versterkt, met name op de armere gronden. Spontane verbeuking en aanplant van jonge beuken-opstanden hebben de teloorgang van de *Cladonia*-rijke mosvegetaties op de haarpodzolgronden in het oosten, en van de Rode bosbes-vegetaties op de stuifzanden in het zuiden van het gebied zeker versneld. Zomereik, Grove den en eventueel Larix (plaatselijk op de haarpodzolgronden) vormen hier een betere keuze. Ook op de moderpodzolgronden verdient het aanbeveling geen "donkere" opstanden (Beuk, Douglasspar, Fijnspar, enz.) aan te planten, waar nu nog Rode bosbes-vegetaties voorkomen.

Ook is bekend dat de mate van atmosferische eutrofiëring mede afhankelijk is van het opstandstype, al is dit blijkens de resultaten van dit onderzoek geen factor van

grote betekenis. Het verdient echter wel aanbeveling met de aanplant van Douglas-spar en Fijnspar, soorten die o.a. veel stikstof invangen, enige terughoudendheid te betrachten. Nader onderzoek naar de rol van genoemde boomsoorten in relatie tot de ontwikkeling van de spontane ondergroei is gewenst.

De onderzoeksresultaten wijzen er tenslotte op dat onder gemengde opstanden van loof- en naaldhout (vooral Beuk-Douglas en Beuk-Larix-combinaties) in de afgelopen dertig jaar relatief eutrafente vegetaties zijn ontstaan. Vermoedelijk speelt versnelde mineralisatie van met name Douglas-strooisel hierbij een belangrijkere rol dan externe eutrofiëring. Ook op dit punt is nader onderzoek gewenst.

LITERATUUR

AART, P.J.M. van der, R. AERTS, R. BOBBINK, H.F.G. van DIJK en W. KOERSELMAN, 1988. "De invloed van vermesting op terrestrische ecosystemen". *Landschap* 5 (4), p. 253-269.

ARTS, G.H.P., 1990. *Deterioration of Atlantic soft-water systems and their flora; a historical account.* Nijmegen KU, Dissertatie.

ASMAN, W.A.H. en H.F.M. MAAS, 1987. *Schatting van de depositie van ammoniak en ammonium in Nederland.* Leidschendam. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Publikatie-reeks Lucht no. 69.

BAKKER, J.P. en J.C. RUYTER, 1981. "Effects of five years grazing on a salt-marsh vegetation". A study with sequential mapping. *Vegetatio* 44, 81-100.

BAKKER, H. de en J. SCHELLING, 1966. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveau*; Wageningen, PUDOC.

BANNINK, J.F., H.N. LEIJS en I.S. ZONNEVELD, 1973. *Vegetatie, groeiplaats en boniteit in de Nederlandse naaldhoutbossen.* Wageningen, STIBOKA. Bodemkundige studies 9.

BOBBINK, R. en J.H. WILLEMS, 1987. "Increasing dominance of Brachypodium pinnatum (L.) Beauv. in chalk grasslands: a threat to a species-rich ecosystem." *Biol. Conserv.* 40, 301-314.

BREEMEN, N. van en H.F.G. van DIJK, 1988. "Ecosystem effects of Atmosferic Deposition of Nitrogen in the Netherlands". *Environmental pollution* 54, p. 249-274.

BURG, J. van den, 1983. "Zure depositie en luchtverontreiniging - hun betekenis voor het bos". *Nederlands Bosbouwtijdschrift* 55 (11/12), 371-379.

BUIS, J., 1985. *Historia forestris; Nederlandse bosgeschiedenis.* A.A.G. Wageningen. Bijdragen 26/27.

DAM, H. van, 1987. *Accidification of moorland pools: a process in time.* Dissertatie, Wageningen LU.

DAM, H. van, H.F. van DOBBEN, C.F.J. ter BRAAK en T. de WIT, 1986. "Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in The Netherlands". *Vegetatio* 65, 47-52.

DANGERMOND, J., 1983. "A classification of software components commonly used in geographic information systems". In: DONNA, P. en J. O'CALLAGHAN (eds.), 1983. *Design and implementation of computer-based geographic information systems.* 23-57. Amherst, New York, USA: Commision on Geographical Data Sensing and Processing.

DENNEMAN, W.D., 1989. "Stikstofdepositie en normstelling voor bos en heide". *Landschap* 6(3), 197-219.

DORP, D. van, R. BOOT en E. van der MAAREL, 1985. "Vegetation succession on the dunes near Oostvoorne, The Netherlands, since 1934, interpreted from air photographs and vegetation maps". *Vegetatio* 58(3), 123-136.

DRAAIJERS, G.P.J., W.D.M.F. IVENS en W. BLEUTEN, 1987. *Atmosferische depositie in bosranden, met name met betrekking tot ammoniak en ammonium.* Nat. Progr. Zure Regen nr. 37-08.

ESRI (Environmental Systems Research Institute), 1989. *Users guide ARC/INFO. Vol. 1: The Geographic System Software.* ESRI, Redlands (California, USA).

FALKENGREN-GRERUP, U., 1990. "Distribution of field layer species in Swedish deciduous forests in 1929-54 and 1979-88 as related to soil pH". *Vegetatio* 86, 143-150.

GEERDES, B., 1985. *Ontwikkeling van de ondergroei in dennenbossen van de Sijsselt bij Ede na 25 jaar.* RU Utrecht; Leersum. RIN, Doctoraalonderzoek fysisch geografische landschapskunde.

GOOR, C.P. en J.F. van OOSTEN SLINGELAND, 1963. "De bodemvruchtbaarheid van de Sijsselt, plaggenwinningsgebied van de voormalige buurtschap Maanen." *Nederlands Bosbouw-tijdschrift* 35, 1-13.

HACKE-OUDEMANS, J.J., 1969. "Enige facetten van de invloed van de mens op het Veluwse landschap en op het Speulder- en Sprielderbosch in het bijzonder". In: HACKE-OUDEMANS, J.J. en enige anderen, 1969. *Bijdragen tot de geschiedenis van de Veluwe en andere onderwerpen.* Nijkerk, Callenbach.

HERMY, M., 1985. *Ecologie en fytosociologie van oude en jonge bossen in Binnen-Vlaanderen.* Gent, Rijksuniversiteit Diss.

HOUTE DE LANGE, S.M. ten, 1977. *Rapport van het Veluwe-onderzoek. Een onderzoek van natuur, landschap en cultuurhistorie ten behoeve van de ruimtelijke ordening en het recreatiebeleid.* Wageningen, PUDOC.

JONGMAN, R.H.G., C.J.F. ter BRAAK en O.F.R. van TONGEREN, 1987. *Data analysis in community and landscape ecology.* Wageningen, PUDOC.

LANE P. and N. GALWAY, 1987. *Genstat 5 An Introduction.* Oxford sience publication, Clarendon press, Oxford.

LEYS, H.N., 1964. "Een vegetatiekartering van het Speulderbos". *De Levende Natuur* 67(1), 17-24.

LONDO, G., 1974. "Successive mapping of dune slack vegetation". *Vegetatio* 29, 51-61.

MAAREL, E. van der, R. BOOT, D. van DORP en J. RIJNTJES, 1985. "Vegetation succession on the dunes near Oostvoorne, The Netherlands, a comparison of the vegetation in 1959 and 1980". *Vegetatio* 58(3), p. 137-187.

MEERJARENPLAN BOSBOUW, 1984. *Beleidsvoornemen.* Brief van de minister van Landbouw en Visserij. Tweede Kamer der Staten Generaal.

MEDWECKA-KORNAŚ A. en S. GAWRÓNSKI, 1990. "The dieback of fir Abies alba Mill. and changes in the Pino-Quercetum stands in the Ojców National Park (Southern Poland)". *Vegetatio* 87, p. 175-186.

MEKKINK, P., G.W. de LANGE, G.H.P. DIRKX en M.W. van den BERG, 1986. *Een geomorfologische, een bodemkundige en een vegetatiekundige kartering van het Speulder- en Sprielderbos.* Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 1835.

OOSTEN SLINGELAND, J.F. van, 1958. *De Sijsselt. Een bijdrage tot de kennis van de Veluwse bosgeschiedenis.* 142 pp. Wageningen, Ponsen & Looijen, Diss.

OUDE VOSHAAR, J.H., 1990. *Toegepaste statistiek, PHLO-cursus onderzoekstechniek,* Wageningen.

PAYNE, R.W., P.W. LANE e.a., 1989. *Genstat 5 Reference Manual.* Oxford sience publications. Oxford, Clarendon press.

QUENÉ-BOTERBROOD, A.J., 1988. *Veranderingen in de flora van 17 overwegend droge natuurgebieden met verschillende ammoniakemissies in Nederland.* Utrecht, Staatsbosbeheer, rapport 1988-11.

ROELOFS, J.G.M., L.G.M. CLASQUIN, J.M.C. DRIESSEN en A.J. KEMPERS, 1984. "De gevolgen van zwavel- en stikstofhoudende neerslag op de vegetatie in heide en heidevenmilieus". In: E.H. Adema en J. van Ham, 1984. *Zure regen, oorzaken, effecten en beleid.* Wageningen, PUDOC.

SCHELLING, J., 1953. *Twee studiekarteringen op de stuwwallen van de Veluwe.* Boor en Spade VI: 113-125. Wageningen, Veenman;

STORTELDER, A.H.F. en P.W.F.M. HOMMEL (red.), 1990. *De bossen van de Utrechtse Heuvelrug; classificatie van bos-ecosystemen op basis van groeiplaats, ondergroei en boomsoort.* Wageningen, De Dorschkamp/Staring Centrum, Dorschkamp-rapport 615.

TIMMERMANS, W. en H.P.J.J. CUPPEN, 1988. "Een gemeentelijk landschapsecologisch onderzoek naar effecten van vermesting op bosvegetatie". *De Levende Natuur* 89 (6), p. 182-188.

TWEEL, P.A. van den, en W.M.J. den BOER, 1986. "De vitaliteit van de Nederlandse bossen: situatie, oorzaken en onderzoek". *Nederlands Bosbouwtijdschrift* 58 (4), 83-90.

VRIES, I.M. de, 1982. *De invloed van luchtverontreiniging/zure neerslag op hogere planten.* Leersum, RIN. Doctoraalverslag RU Utrecht.

VRIES, W. de, A. BREEUWSMA en F. de VRIES, 1989. *Kwetsbaarheid van de Nederlandse bodem voor verzuring; een voorlopige indicatie in het kader van de Richtlijn Ammoniak en Veehouderij.* Wageningen, Staring Centrum. Rapport 29.

WERNER, D.J. en M. MAY, 1989. Änderungen nach 38 Jahren in den Buchenwäldern der Bergisch Gladbacher Kalkmulde. In: SJÖGREN, E. (Ed.), 1989. *Forests of the world: diversity and dynamics (Abstracts).* Uppsala. Stud. Plant Ecol. 18.

WESTHOFF, V., P.A. BAKKER, C.G. van LEEUWEN, E.E. van der VOO en I.S. ZONNEVELD, 1973. *Wilde planten; flora en vegetatie in onze natuurgebieden. Deel 3: de hogere gronden.* 's Graveland, Vereninging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland.