

Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij
Doorwerth

Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth

P.W.F.M. Hommel
R.W. de Waal

Alterra-rapport 920

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2004. *Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwval bij Doorwerth*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 920. 66 blz.; 2 fig.; 21 tab.; 35 ref.

Dit rapport gaat in op de relatie tussen loofboomsoort, humus en ondergroei op een zwak lemige stuwwalbodem bij Doorwerth (Gelderland). Er werden opstanden vergeleken van linde, esdoorn, haagbeuk, eik en beuk. Onder invloed van het 'rijke', goed verterende bladstrooisel van linde, esdoorn en haagbeuk bleek een ontwikkeling in de richting van een 'rijker' bostype op gang te zijn gekomen. Alleen onder linde was echter binnen 40 jaar een goed ontwikkelde, soortenrijke *Carpinion*-vegetatie met meerdere oud-bossoorten ontstaan. De vegetatieontwikkeling onder linde lijkt wel sterk afhankelijk te zijn van de hoeveelheid licht die tot de bosbodem weet door te dringen.

Trefwoorden: basenhuishouding, bosesystemen, humusprofiel, lindenbos, oud-bossoorten, strooiselkwaliteit, Veluwe.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 920. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

Foto omslag:

Soortenrijke ondergroei van een circa 50 jaar oude lindenopstand met o.a. Bosanemoon en Witte klaverzuring.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Onderzochte opstanden	13
2.2 Veldonderzoek	14
2.3 Bodemanalyses	15
2.4 Statistische verwerking	16
3 Onafhankelijke factoren	19
3.1 Het mineraal bodemprofiel	19
3.2 Fosfaatgehalte in de ondergrond	22
3.3 Bemesting, bodembewerking en brand	23
4 Humusprofiel	27
4.1 Dikte van de strooisellaag	27
4.2 Humusvorm	28
4.3 Organisch-stofgehalte	32
4.4 C/P-verhouding	34
5 Basenhuishouding	37
5.1 Zuurgraad	37
5.2 Calcium-bezetting	39
5.3 H/Ca-verhouding	40
6 Vegetatie	43
6.1 Lindenopstanden	43
6.2 Esdoornopstand	45
6.3 Haagbeukenopstand	46
6.4 Eikenopstanden	47
6.5 Beukenopstanden	48
6.6 Soortenaantallen	49
7 Discussie	51
7.1 Onafhankelijke bodemkenmerken als verklarende factor	52
7.2 Strooiselkwaliteit als verklarende factor	53
7.3 Vegetatieontwikkeling	54
8 Conclusies	59
Literatuur	61
<i>Bijlagen</i>	
Bijlage A Groeikarakterisering van twee lindenopstanden	65

Woord vooraf

Het voor u liggend rapport doet verslag van een onderzoek dat werd uitgevoerd in het kader van het meerjarige Alterra-onderzoeksproject 'Boomsoortkeuze op verzuringsgevoelige bodem'. Dit project is gericht op de relatie tussen verschillende loofboomsoorten enerzijds en de ontwikkeling van bodem, humus en vegetatie anderzijds. Bijzondere aandacht wordt hierbij geschonken aan de betekenis van lindenstrooisel voor de bosontwikkeling.

Bij de uitvoering van het onderzoek hebben wij van diverse personen en instanties hulp ontvangen. Wij danken Jaap de Gruijter (Alterra) voor zijn statistische adviezen, Bas van Delft en Ad Olsthoorn (beide Alterra) voor het doorlezen en commentariëren van een eerdere versie van dit rapport, Bert van Os (Alterra) en Theo Heufkens (SBB) voor het achterhalen van gegevens betreffende de beheersgeschiedenis, Vincent de Boer (HAS Larenstein) voor houtmetingen in de lindenopstanden en Erwin Al (SBB) voor de begeleiding van het onderzoek.

Het onderzoek werd mogelijk gemaakt door financiële bijdragen van de onderzoeksprogramma's Functievervulling natuur, bos en landschap (DWK-programma 381) en Regionale identiteit en natuurontwikkeling (DWK-programma 382).

Samenvatting

In een eerder Alterra-rapport (Hommel *et al.*, 2002) werd aannemelijk gemaakt dat op matig voedselrijke, verzuringsgevoelige groeiplaatsen producenten van ‘arm’, slechtverterend strooisel (o.a. eik, beuk en de meeste soorten naaldhout) de bosontwikkeling kunnen sturen in de richting van een ‘arm’ bos (*Quercetea robur-petraeae*) en producenten van ‘rijk’, goedverterend strooisel (o.a. linde, es en esdoorn) de ontwikkeling kunnen doen verlopen in de richting van een ‘rijk’ bos (*Querceto-Fagetea*).

Het verband tussen boomsoort, humus en ondergroei is voor de bosbeheerder van belang omdat ‘rijke’ bossen in den regel een hogere natuurwaarde vertegenwoordigen en van grotere betekenis zijn voor de recreatie dan ‘arme’ bossen, terwijl juist ‘arme’ bossen op dit moment het grootste deel van de bosgroeiplaatsen in ons land bedekken.

Het voor u liggend rapport gaat in op de relatie tussen loofboomsoort, humus en ondergroei op een zwak lemige stuwwalbodembij Doorwerth (Gelderland). Het onderzoek was gericht op de verschillen tussen diverse loofboomsoorten; er werden negen opstanden vergeleken. Hiervan waren er zeven relatief jong (alle circa 50 jaar) en twee oud (> 100 jaar). De zeven jonge opstanden omvatten drie lindenopstanden en voorts opstanden van esdoorn, haagbeuk, eik en beuk (elk één). De oude opstanden zijn (voormalige) hakhoutbossen, één van eik en één van beuk. De drie onderzochte lindenopstanden hebben een zeer verschillende ondergroei: ‘rijk’ met Bosanemoon, vrijwel zonder ondergroei en ‘arm’ met dominantie van Adelaarsvaren.

In alle opstanden werd het humusprofiel, het minerale bodemprofiel en de vegetatie beschreven. Voorts werden op drie vaste dieptes (strooisellaag; 0-5 cm –mv; 5-25 cm –mv) bodemmonsters genomen en geanalyseerd.

De belangrijkste vragen van dit onderzoek waren:

- in hoeverre zijn verschillen in het moedermateriaal en/of bemesting bij aanleg de oorzaak van de geconstateerde verschillen in humusprofiel, basenhuishouding en vegetatie?
- in welke mate kunnen de verschillende boomsoorten via het geproduceerde bladstrooisel bijdragen aan herstel van de basenhuishouding en profielopbouw van de bovengrond?
- welke factoren bepalen of de vegetatie zich na herstel van de basenhuishouding van de bovengrond kan ontwikkelen in de richting van een ‘rijk’ bos?

Geconcludeerd werd dat binnen de onderzochte opstanden de invloed van onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van humusprofiel, basenhuishouding en vegetatie beperkt is. Met name de ontwikkeling van de opvallend ‘rijke’ ondergroei in de lindenopstand met Bosanemoon kan niet vanuit de onafhankelijke bodemkenmerken verklaard worden.

De invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel en de basenhuishouding bleek daarentegen erg groot te zijn. Onder linde, en in mindere mate onder haagbeuk en esdoorn, zijn veranderingen opgetreden ten opzichte van de oorspronkelijke toestand waarvoor de oude eikenopstand als referentie kan dienen. Deze veranderingen impliceren een 'rijker' humusprofiel en een gunstiger basenhuishouding.

De bodemontwikkeling onder esdoorn is niet geheel duidelijk: enerzijds lijkt in de minerale bovengrond een zeker herstel van de basenhuishouding op te treden, anderzijds is de strooiselvertering traag en vindt weinig doormenging plaats.

Onder invloed van 'rijk' goed verterend bladstrooisel is in de opstanden met linde, esdoorn en haagbeuk een ontwikkeling in de richting van een 'rijker' bostype op gang gekomen. Op de onderzochte zwak lemige stuwwalgronden bij Doorwerth lijkt echter alleen linde in staat te zijn geweest het ecosysteem volledig te laten 'kantelen' en een ontwikkeling van een arm *Quercion* naar een rijk *Carpinion* te bewerkstelligen, en dat slechts in één van de drie onderzochte opstanden.

De ontwikkeling onder linde lijkt sterk afhankelijk te zijn van de hoeveelheid licht dat tot de bosbodem weet door te dringen. Is de hoeveelheid licht te gering dan blijft de vegetatieontwikkeling achter bij de (gunstige) ontwikkeling van humusprofiel en basenhuishouding. Is de hoeveelheid licht te groot dan kan de ontwikkeling richting 'rijk' bos, al dan niet tijdelijk, worden gefrustreerd door een invasie van Adelaarsvaren.

1 Inleiding

Achtergrond

Bossen worden steeds meer beschouwd als multi-functionele systemen waarin naast de houtteelt ook ecologische en recreatieve belangen volwaardig meetellen. Deze ontwikkeling vraagt om nieuwe beheersvormen. Aanplant van gemengde opstanden, hoogdunning, creëren van open plekken, bosbegrazing, ‘niets-doen’ en dood hout laten liggen: het zijn allemaal maatregelen die de variatie in bosstructuur verhogen en daarmee bijdragen aan een gevarieerder boscossysteem. In eerdere publicaties werd aangegeven dat een alternatieve boomsoortsamenstelling hier nog een extra dimensie aan kan toevoegen (Hommel *et al.*, 2001, 2002, 2003a en 2003b; Hommel & de Waal 2003a en b).

Dat de boomsoort via de strooiselkwaliteit een grote invloed heeft op het humusprofiel en de ondergroei in loofbossen is inmiddels voldoende aangetoond. Boomsoorten die slecht afbreekbaar ‘arm’ strooisel produceren en daarmee op verzuringsgevoelige bodem bijdragen aan verarming en verzuring zijn eik, beuk en tamme kastanje. Soorten die dankzij goed afbreekbaar, ‘rijk’ strooisel verarming en verzuring tegengaan zijn o.a. linde, iep, es, esdoorn en hazelaar. Haagbeuk neemt waarschijnlijk een min of meer intermediaire positie in.

Probleem

In buitenlandse literatuur vinden wij aanwijzingen voor de mate waarin de verschillende leveranciers van rijk strooisel bijdragen aan behoud dan wel herstel van de basenhuishouding van de bovengrond (zie § 2.1). Onduidelijk is echter of deze gegevens zonder meer ook voor ons land, met zijn overwegend (zeer) voedselarme bosbodems van toepassing zijn. Met name over de toepasbaarheid van linde in het Nederlands bos is weinig bekend. Beide lindensoorten worden in de bosbouwpraktijk vrijwel niet gebruikt en zijn als bosboom in Nederland zelfs nagenoeg uitgestorven.

Bij het onderzoek van Hommel *et al.* (2002) kon voor een aantal situaties aannemelijk worden gemaakt dat de relatie tussen een boomsoort met goed afbreekbaar strooisel en een ‘rijke’ ondergroei niet berustte op behoud maar op herstel van de basenhuishouding in de bovengrond. In het algemeen is echter niet duidelijk in hoeverre herstel van een door verzuring en verarming gedegradeerde bosbodem mogelijk is en, zo ja, hoe lang dergelijke herstelprocessen duren.

Tenslotte is bij het hierboven genoemde veldonderzoek gebleken dat in de praktijk grote verschillen kunnen optreden in de mate waarin de invloed van goed afbreekbaar, ‘rijk’ strooisel tot uitdrukking komt in het humusprofiel en de ondergroei. Deze verschillen kunnen zelfs op korte afstand, binnen één bosgebied optreden. Inzicht in de factoren die het succes van het ‘rijk-strooieffect’ beïnvloeden is daarom van groot belang voor de natuurgerichte bosbouwpraktijk.

Doel

Om bovengenoemde hiaten in kennis te helpen opvullen werden in een bosgebied bij Doorwerth negen verschillende opstanden onderzocht. Het betreft hier opstanden van eik, beuk, esdoorn, linde en haagbeuk op (nagenoeg) identieke ondergrond. In alle gevallen betreft het oude bosbodems. Zeven van de onderzochte opstanden werden circa 50 jaar geleden aangelegd na kap van het aanwezige eikenhakhout. Daarnaast werden als referentie twee oude hakhoutgedeelten bij het onderzoek betrokken: één met eik, één met beuk als hoofdboomsoort.

De belangrijkste vragen waren:

- in hoeverre zijn verschillen in het moedermateriaal en/of bemesting bij aanleg de oorzaak van de geconstateerde verschillen in humusprofiel, basenhuishouding en vegetatie?
- in welke mate kunnen de verschillende boomsoorten via het geproduceerde bladstrooisel bijdragen aan herstel van de basenhuishouding en profielopbouw van de bovengrond?
- welke factoren bepalen of de vegetatie zich na herstel van de basenhuishouding van de bovengrond kan ontwikkelen in de richting van een 'rijk' bos?

Leeswijzer

Het onderzoek was gericht op de verschillen tussen diverse loofboomsoorten voor wat betreft hun invloed op bodem, humus en ondergroei. Er werden negen opstanden vergeleken. In hoofdstuk 2 van dit rapport worden deze negen onderzochte opstanden kort beschreven. Hierbij wordt onder andere ingegaan op boomsoort, ligging en ouderdom (zowel van de opstanden als van de bosbodem). Tevens wordt ingegaan op de methoden van het veldonderzoek, de bodemanalyses en de statistische verwerking.

In de daarop volgende vier hoofdstukken worden voor de negen opstanden de onderzoeksresultaten gepresenteerd. Hierbij wordt, in navolging van Jenny (1961) een onderscheid gemaakt in onafhankelijke factoren (hoofdstuk 3) en afhankelijke factoren: humusprofiel (hoofdstuk 4), basenhuishouding (hoofdstuk 5) en vegetatie (hoofdstuk 6). Voor elke onderzochte factor komen, voor zover relevant, de volgende zaken aan de orde:

- archiefgegevens, veldmetingen en analyseresultaten;
- de mate van significantie van de verschillen tussen de opstanden;
- een korte interpretatie.

In het laatste hoofdstuk (7) worden alle resultaten nog eens kort samengevat en weergegeven in één tabel (7.1). Aan de hand van deze tabel wordt getracht de drie belangrijkste vragen van dit onderzoek (zie hierboven) te beantwoorden.

In de negen onderzochte opstanden werd tevens micromorfologisch bodemonderzoek aan de hand van slijpplaten verricht. Dit levert onder andere een meer gedetailleerd inzicht in de strooiselvertering onder verschillende boomsoorten. De resultaten zullen in een apart deelrapport worden besproken (Pulleman *et al.*, in voorb.).

2 Materiaal en methoden

2.1 Onderzochte opstanden

Al de onderzochte opstanden liggen in de Staatsbossen bij Doorwerth op de stuwwal van Arnhem en maken deel uit van de Boswachterij Oostereng-Doorwerth. In alle onderzochte opstanden bestaat de bodem uit holtpodzolgronden (Van Delft *et al.*, 1988). De opstanden liggen op relatief vlakke delen van de stuwwal; het hellingspercentage bedraagt maximaal 3%. Er werden negen verschillende (delen van) opstanden onderzocht, elk gedomineerd door één loofhoutsoort en een specifiek type ondergroei (zie tabel 2.1). In dit rapport worden ook de onderzochte *delen van een opstand* kortweg als *opstand* aangeduid.

Twee van de onderzochte opstanden zijn oud: het betreft hier voormalig eiken- en beukenhakhout van meer dan honderd jaar oud (Th. Heufkens, mond. med.). In de overige gevallen gaat het om jongere opstanden die kort na de Tweede Wereldoorlog zijn aangelegd. Deze jongere opstanden zijn aangelegd ter vervanging van door oorlogsgeweld vernietigde eikenopstanden (waarschijnlijk voormalig eikenhakhout). Alle onderzochte opstanden zijn aangelegd op zeer oude bosbodems. Op de kadastrale kaart van 1832 staat het gehele onderzoeksgebied al aangegeven als (eiken)hakhout (Mouris, 1992).

De volgende boomsoorten werden bij het onderzoek betrokken: beuk, eik, haagbeuk, gewone esdoorn en linde. De eikenopstanden bestaan grotendeels uit zomereik; sporadisch is ook winteraik aanwezig. De lindenopstanden bestaan uit Hollandse linde, dwz de bastaard tussen winterlinde en zomerlinde. Afgaande op stam- en bladkenmerken is er sprake van aanzienlijke genetische diversiteit. Mogelijk zijn ook enige exemplaren zuivere winterlinde aanwezig; voorkomen van zomerlinde is niet waarschijnlijk.

Met betrekking tot de verschillen in strooiselkwaliteit van genoemde boomsoorten (al dan niet op vergelijkbare groeiplaats) zijn veel gegevens voorhanden (o.a. Heath *et al.*, 1966; Duvigneaud & Denaeyer-De Smet, 1973; Rackham, 1980; Miles, 1985; Nordén, 1994; Sioen *et al.*, 1991; Neirynck *et al.*, 2000): linde en esdoorn gelden als producenten van goed verterend, 'rijk' strooisel, eik en beuk als producenten van slecht verterend, 'arm' strooisel; haagbeuk lijkt voor wat betreft de strooiselproductie een intermediaire positie in te nemen. In enkele opstanden speelt ook Adelaarsvaren als strooiselproducent een belangrijke rol. Het onderzoek van Den Ouden (2000) maakt duidelijk dat we ook deze soort tot de producenten van 'arm' slechtverterend strooisel mogen rekenen. Voor wat betreft de kwaliteit van het strooisel van bovengenoemde boomsoorten moet worden opgemerkt dat deze tot op zekere hoogte groeiplaatsafhankelijk is (Muys, 1991). Onderzoeksresultaten uit het buitenland mogen daarom niet zonder meer geëxtrapoleerd worden naar de voedselarme bosbodems in het pleistoceen deel van Nederland.

In het onderzoek werd extra aandacht besteed aan de aanwezige lindenopstanden. Drie situaties met zeer verschillende ondergroei werden bemonsterd. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de negen onderzochte opstanden. De onderzochte (delen van) opstanden hadden minimaal een doorsnede van circa 20 meter.

Tabel 2.1. Overzicht van de onderzochte opstanden.

code (boomsoort)	leeftijd in 2002 (jr)	vaknr.	dichtstbijzijnde pad	afstand tot pad (m) *	opvallende soort ondergroei **)
linde 1	53	47t	verlengde holle weg	3	bosanemoon; witte klaverzuring
linde 2	53	47j	langs kleine sneppenvlucht	5	-
linde 3	53	47t	verlengde holle weg	20	adelaarsvaren
esdoorn	53	47m	langs kleine sneppenvlucht	25	-
haagbeuk	54	47h	langs kleine sneppenvlucht	15	-
eik (jong)	53	47r	verlengde holle weg	35	adelaarsvaren; braam
eik (oud)	> 100	46a	tussen 46a en 46 b	8	adelaarsvaren
beuk (jong)	54	47f	verlengde holle weg	25	-
beuk (oud)	> 100	46a	tussen 46a en 46 b	5	-

*) : afstand van rand van monsterplekken tot padrand; **) - : schaarse ondergroei

In Tabel 2.1 wordt ook de afstand tot het dichtstbijzijnde pad aangegeven. Dit is primair gedaan om de locatie van de onderzoekslocaties vast te leggen met het oog op eventuele herhalingsopnamen in de toekomst. Daarnaast levert de afstand tot het pad enige informatie over de hoeveelheid licht op de bosbodem. In het algemeen geldt dat in bosgedeelten langs paden meer licht op de bosbodem valt dan in de meer centrale bosgedeelten (zie ook Bijlsma *et al.*, 2001). In de onderzochte bosgedeelten is waarschijnlijk vooral in de opstanden 'linde 1' sprake van een relatief groot lichtaanbod; in 'linde 2' hoewel ook niet ver van een pad gelegen is dat veel minder het geval (Heufkens, mond. med.). Systematische vergelijking van het lichtklimaat werd echter niet zinvol geacht, aangezien in de winter voorafgaand aan het veldonderzoek (2001/2002) in alle jonge opstanden een intensieve dunning was uitgevoerd.

2.2 Veldonderzoek

In elke opstand werden drie monsterplekken geselecteerd op gelijke afstand van elkaar gelegen op een lijn door het midden van de opstand. De afstand tussen de monsterplekken is afhankelijk van de opstandsgroote en varieert van 5 tot 15 meter. Plekken met duidelijke verstoring door uitsleepsporen of gaten in het kronendak werden vermeden. In opstand 'linde 1' was de schade aan vegetatie en humusprofiel ten gevolge van dunningswerkzaamheden en houtopslag zo ingrijpend dat de monsterstrategie moest worden aangepast (niet op één lijn; geen vaste afstand tussen de opnamen; kleinere opnamen). Het veldonderzoek werd uitgevoerd in de periode van 28 mei tot en met 1 juli 2002.

Op elke monsterplek werd:

- een vegetatieopname gemaakt (5 x 5 m²; in opstand 'linde 1' 2 x 2 m² of 1 x 1 m²);

- de diameter van vijf bomen gemeten (dbh; de vijf dichtstbijzijnde bomen gerekend vanuit het centrum van de vegetatieopname);
- het humusprofiel beschreven (in vijfvoud: in het centrum en de vier hoekpunten van de vegetatieopname);
- het minerale bodemprofiel beschreven (voor zover niet gehinderd door grindrijke lagen tot 120 cm; in het centrum van de vegetatieopname);
- mengmonsters genomen van het ectorganisch humusprofiel (indien mogelijk per laag; excl. de L-laag) en van het minerale bodemprofiel op 0-5 en 5-25 cm diepte (met mes en Edelman-boor; per mengmonster vijf monsterpunten: één in het centrum en vier op de hoekpunten van de vegetatieopname);
- één monster genomen op een diepte van 80-100 cm (in het centrum van de vegetatieopname).

Bij de beschrijving van het mineraal bodemprofiel werd van elke substantiële horizont (bodemiaag) de pH in het veld bepaald met behulp van Merck pH-strookjes. De profielopbouw is beschreven door benoeming van bodemhorizonten. Voor elke horizont is de textuur (zand- en leemgehalte), de korrelgrootte van de zandfractie en het organisch-stofgehalte geschat. Verder is aandacht besteed aan eventuele hydromorfe kenmerken (reductie- en ijzervlekken). De ontkalkingsdiepte werd niet bepaald, omdat in deze bodems geen vrije kalk voorkomt. Ook de bepaling van de actuele grondwaterstand werd op deze hoog gelegen stuwwalgronden niet relevant geacht.

Het humusprofiel, bestaande uit de strooisellagen en de humushoudende minerale bodemlagen, is aan de hand van de volgende kenmerken beschreven tot een diepte van 40 cm:

- aard, herkomst en mate van vertering van de organische stof;
- aanwezigheid van macro-bodemfauna (voornamelijk regenwormen) of excrementen daarvan;
- zuurgraad;
- uitlogingsverschijnselen;
- aard van de humusovergangen (scherp of geleidelijk);
- dikte van de afzonderlijke lagen.

Bij de benoeming van de 'humusvormen' (humusprofieltypen) is de nomenclatuur gehanteerd zoals beschreven door Kemmers *et al.* (2001; zie ook Buis & Van Delft, 2003). Deze nomenclatuur is voor Nederlandse omstandigheden afgeleid van het humusclassificatiesysteem van Klinka *et al.* (1992).

2.3 Bodemanalyses

De in het veld verzamelde monsters zijn geanalyseerd op:

- pH(KCl);
- basen-verzadiging (Bascomb extractie bij pH = 8,1) gemeten in:
 - uitwisselbaar Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} en Na^{+} ;

- uitwisselbaar H^+ ;
- CEC;
- organisch-stofgehalte (gloeiverlies);
- gehalte P-totaal (Kjeldahl-destructie);
- gehalte P-anorganisch (extractie met 9% HCl).

Aan de hand van de analyse-uitkomsten zijn de volgende parameters bepaald:

- calciumbezetting (uitwisselbaar calcium / CEC);
- H^+/Ca^{2+} -verhouding (uitwisselbaar H^+ / uitwisselbaar calcium);
- C/P-verhouding (0,5 x organische stof / P-totaal).

De H/Ca-verhouding vertoont meestal een goede correlatie met de humificatie. Bij waarden < 1 is er sprake van een goede humificatie waarbij stabiele humus ontstaat en waarbij in lemige gronden klei-humuscomplexen kunnen ontstaan. Bij waarden tussen 1 en 10 vindt een gedeeltelijke humificatie plaats. Bij hogere waarden is de omzetting van organische stof in amorfe humus zeer langzaam en geschiedt grotendeels door schimmels en kleine bodemorganismen, zoals mijten en springstaarten.

Het belang van de pH voor de groeiverwachting van boomsoorten en de soortensamenstelling van de ondergroei is volgens Van de Burg (1996) in het verleden vaak overschat. De pH is slechts gedeeltelijk gecorreleerd aan meer verklarende bodemchemische kenmerken als calciumbezetting en N-beschikbaarheid. In combinatie met andere kenmerken van het humusprofiel blijkt de pH van de specifieke (humus)horizonten echter wel indicatief te zijn voor ontwikkelingen in het bosecosysteem.

De C/P-ratio is een grove maat voor de beschikbaarheid van fosfor. Door het stabielere karakter van P is de C/P-ratio iets betrouwbaarder en zeker meer differentiërend dan de C/N-ratio. Deze laatste parameter is dan ook niet bepaald. De P-getallen zijn onder meer gebruikt om te controleren of de gronden een vergelijkbare nutriënten-toestand bezitten in verband met mogelijke bemestings-invloeden in het verleden.

2.4 Statistische verwerking

Voor een aantal groeiplaatskenmerken is getoetst in hoeverre de gemeten waarden in de onderzochte opstanden als significant verschillend mogen worden beschouwd. Voor wat betreft de afhankelijke groeiplaatskenmerken (humusprofiel en basenhuishouding) hebben wij ons daarbij beperkt tot kenmerken van de bovengrond (0-5 en 5-25 cm – mv) aangezien hier de invloed van het bladstrooisel maximaal is en omdat deze kenmerken direct van belang zijn voor de soorten-samenstelling van de ondergroei. Voor wat betreft de onafhankelijke groeiplaatskenmerken (o.a. textuur) werd ook de ondergrond (80-100 cm -mv) van de onderzochte opstanden vergeleken.

Aangezien de steekproefgrootte per laag en per opstand gering is ($n = 3$), is moeilijk aantoonbaar dat de betreffende variabelen per opstand een normale verdeling hebben, al is dit in de meeste gevallen wel aannemelijk. Bovendien is duidelijk dat in veel gevallen de spreiding van de waarnemingen per opstand sterk kan verschillen. Dit betekent dat bij veronderstelling van een normale verdeling de varianties niet als gelijk mogen worden beschouwd. Om deze twee redenen is gekozen voor gebruik van een verdelingsvrije toets en wel voor de twee-steekproeventoets van Wilcoxon (Wijvekate, 1974).

In alle gevallen is getoetst met een tweezijdig 10% significantiegebied (overeenkomend met een ééNZijdige overschrijdingkans van 5%) waarbij als nulhypothese wordt gesteld dat er geen verschil is tussen de betreffende opstanden. Gezien de geringe steekproefgroottes (beide $n = 3$) betekent dit in de praktijk dat geen enkele overlap tussen de gevonden waarden van beide steekproeven wordt getolereerd.

De resultaten van de toetsing zijn per onderzochte factor gepresenteerd in de vorm van kruistabellen, waarbij de opstanden op grond van het steekproefgemiddelde zijn gerangschikt van 'rijk' naar 'arm' en waarbij de significante verschillen zijn gearceerd. Ook waar de verschillen bij toetsing niet significant zijn, maar waar het verschil in gemiddelde waarde een aanwijzing vormt voor een verschil tussen twee opstanden is dit aangegeven (lichtere arcering).

3 Onafhankelijke factoren

De ontwikkeling van het humusprofiel en de vegetatie speelt zich af binnen een, over langere tijd bezien, onveranderlijk abiotisch kader: de groeiplaats. De factoren die bepalend zijn voor de groeiplaats als min of meer onveranderlijk abiotisch kader worden onafhankelijke factoren genoemd (Jenny, 1961; zie ook Kemmers & de Waal, 1999). Deze onafhankelijke factoren kunnen zowel natuurlijk als antropogeen van aard zijn. Aangezien het doel van deze studie is vast te stellen in hoeverre verschillen in humusprofiel en vegetatie zijn ontstaan als gevolg van verschillen in strooiselkwaliteit is het van groot belang eerst vast te stellen in hoeverre er voor alle negen onderzochte opstanden sprake is van een (min of meer) gelijk abiotisch kader. Hierbij moet worden opgemerkt dat in geen enkel bosgebied sprake is van 100% identieke groeiplaatsen. Waar echter sprake is van significante verschillen in onafhankelijke factoren zal moeten worden nagegaan of deze, naast de strooiselkwaliteit, een verklaring kunnen bieden voor de verschillen in humusprofiel, basenhuishouding en vegetatie.

3.1 Het mineraal bodemprofiel

De bodemprofielen hebben zonder uitzondering betrekking op moderpodzolgronden in zwak lemige, gestuwde afzettingen, plaatselijk bedekt met een solifluctiedek van dekzand of grindhoudende en grofzandiger gestuwde afzettingen. In alle profielen komen door het hele profiel (meestal kleine) grindjes voor. Plaatselijk neemt het grindgehalte naar onder toe.

Op de lindeplek met Bosanemoon (linde 1) is het leemgehalte 13 tot 15%. De mediaan van de korrelgrootte is circa 180 μ ; er is door het gehele profiel regelmatig een grindje aan te treffen. De bodem bestaat hier uit moderpodzolen. Deze zijn niet overal duidelijk ontwikkeld (BCw in plaats van een Bw). Getuige het de afwezigheid van duidelijk uitgeloopte horizonten (AE of E) of micropodzols functioneren deze ook ecologisch gezien nog als een milde moderpodzol. Op een van de monsterplekken komen vage ijzer- en gleyvlekken in de ondergrond voor (op een diepte van 110 cm), hetgeen duidt op enige stagnatie van water op de gestuwde ondergrond.

Onder de linde zonder ondergroei (linde 2) is het leemgehalte 15%. De korrelgrootte van de zandfractie is gelijk aan die van de eerste lindeplek (circa 180 μ). Ook hier vindt in een van de profielen onderin wat stagnatie plaats getuige de vage ijzervlekken op een diepte van 100 cm. Het grindgehalte neemt onderin het profiel wat toe. In de profielen is al uitloging van de bovengrond zichtbaar (voorkomen van AE-horizonten). Er is hier dus al sprake van enige degradatie van de moderpodzolgronden en van een ontwikkeling naar een armere bodem (humuspodzol).

De profielen onder linde met Adelaarsvaren (linde 3) vertonen veel overeenkomst met die van de hiervoor besproken opstand (linde 2). Zandgrofheid (circa 180 – 190 μ) en leemgehalte (15%) komen overeen. Ook het voorkomen van lichtelijk uitgeloogde AE-horizonten en, op één monsterplek, lichte stagnatieverschijnselen komen overeen (diepte ijzervlekking: ongeveer 100 cm). In de bovengrond is plaatselijk wat verdichting opgetreden door bosbouwwerktuigen.

De bodem onder de esdoornopstand heeft een leemgehalte van 14%. De korrelgrootte van de zandfractie varieert van 160 – 200 μ . De moderpodzolen bestaan in twee van de drie beschreven profielen uit een enigszins gedegradeerde vorm met AE-horizonten; op de derde plek is geen spoor van verdere uitspoeling zichtbaar.

De bodemprofielen onder de haagbeukenopstand zijn iets lemiger dan onder linde en esdoorn (leemgehalte 17%). Toch wijzen uitlogingsverschijnselen ook hier op een humuspodzolregime, ondanks de aanwezigheid van een vage moderpodzol. De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 170 – 180 μ .

Het leemgehalte onder de jonge eikenopstand bedraagt 14 tot 16%. Het zand is gemiddeld iets fijner (meer dekzandachtig) dan in alle overige onderzochte opstanden; de korrelgrootte van de zandfractie varieert van 160 tot 180 μ . De B-horizonten zijn op een diepte van 50 cm iets rossiger dan in de hierboven besproken opstanden; ook de uitlogingsverschijnselen lijken wat duidelijker. Dit wijst op een sterkere uitspoeling van ijzer- en aluminumoxiden.

Onder de oude eikenopstand is het leemgehalte relatief hoog (17%). De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 180 μ ; naar onder treedt plaatselijk enige bijmenging met iets grover zand op (200 – 220 μ). De uitloging is plaatselijk verder gevorderd dan onder de opstand met jonge eik (E-horizont). In één profiel is, getuige de ijzervlekking, sprake van enige stagnatie van water. In een ander profiel neemt het grindgehalte toe op 90 cm. Ook komt door het hele profiel wat grover zand voor dan in de hierboven besproken opstanden.

De opstand met jonge beuk staat op bodems met een duidelijk geringer leemgehalte dan elders (10 tot 12%). De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 170 - 180 μ ; plaatselijk treedt, op verschillende diepte, enige bijmenging met iets grover zand op (tot circa 220 μ). De bodems vertonen wat meer teken van verstoring. De uitlogingsverschijnselen in de vage moderpodzol zijn wel duidelijk.

De profielen onder de oude beukenopstand liggen op de kam van de stuwwal; zij lijken in opbouw op die onder de oude eikenopstand. Het leemgehalte bedraagt 15 tot 16%; de korrelgrootte van de zandfractie varieert van 170 tot 210 μ . Opvallend is de iets rossiger kleuring van de B-horizont, hetgeen duidt op een meer humuspodzolachtig karakter van de aanwezige moderpodzolen.

Een overzicht van de verschillen in leemgehalte op verschillende diepte en de significantie van de verschillen wordt gegeven in tabel 3.1. De variatie in

korrelgrootte van de zandfractie is gering; er komen geen significante verschillen tussen de opstanden voor.

Tabel 3.1. Leemgehalte op verschillende diepte.

a. Veldschattingen per monsterpunt ($n = 3$)

opstand	% leem			% leem		
	10-20 cm -mv			80-100 cm - mv		
linde 1	13	13	15	13	13	15
linde 2	15	15	15	15	15	15
linde 3	15	15	15	15	15	15
esdoorn	14	14	14	14	14	14
haagbeuk	17	17	17	17	17	17
eik (jong)	16	14	14	16	14	14
eik (oud)	17	17	17	17	17	14
beuk(jong)	12	12	12	12	10	10
beuk (oud)	16	16	15	16	16	15

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde leemgehalte): 10-20 cm -mv

	haagbeuk	eik (oud)	beuk (oud)	linde 2	linde 3	eik (jong)	esdoorn	linde 1	beuk(jong)
gemiddelde	17.0	17.0	15.7	15.0	15.0	14.7	14.0	13.7	12.0
haagbeuk	x								
eik (oud)		x							
beuk (oud)			x						
linde 2				x					
linde 3					x				
eik (jong)						x			
esdoorn							x		
linde 1								x	
beuk(jong)									x

c. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde leemgehalte): 80-100 cm -mv

	haagbeuk	eik (oud)	beuk (oud)	linde 2	linde 3	eik (jong)	esdoorn	linde 1	beuk(jong)
gemiddelde	17.0	16.0	15.7	15.0	15.0	14.7	14.0	13.7	10.7
haagbeuk	x								
eik (oud)		x							
beuk (oud)			x						
linde 2				x					
linde 3					x				
eik (jong)						x			
esdoorn							x		
linde 1								x	
beuk(jong)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant).

Interpretatie

Door de geringe spreiding van de waarden binnen de opstanden kunnen op grond van verschillen in textuur vier significant verschillende groepen opstanden worden onderscheiden. Het is echter de vraag in hoeverre deze verschillen ook alle ecologisch relevant zijn. Duidelijk is wel dat de hoogste leemgehalten worden aangetroffen onder haagbeuk en 'oude eik'; onder 'jonge beuk' hebben de onderzochte profielen een significant lager leemgehalte.

3.2 Fosfaatgehalte in de ondergrond

Het totaal-fosfaatgehalte in de ondergrond (80 – 100 –mv) geeft een goede maat voor de voedingstoestand van het moedermateriaal. Ook chemische kenmerken van het bladstrooisel en eventuele mestgiften in het verleden zijn van invloed op het fosfaatgehalte, maar zijn op deze diepte zeker niet van grote betekenis. Tabel 3.2 geeft per opstand de analyse-cijfers en de resultaten van de toetsing.

Tabel 3.2. Totaal-fosfaatgehalte in de ondergrond (80–100 cm – mv).

a. Analyse-resultaten per monsterpunt (n = 3)

opstand	P-totaal-gehalte (mg / 100 gr)		
	80-100 cm – mv		
linde 1	11.5	16.0	20.9
linde 2	22.7	10.4	12.6
linde 3	11.3	24.2	17.2
esdoorn	31.1	16.7	14.4
haagbeuk	11.5	10.6	27.4
eik (jong)	12.2	12.7	30.8
eik (oud)	16.3	14.9	10.4
beuk(jong)	16.3	18.9	12.5
beuk (oud)	20.4	20.7	24.0

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde totaal-fosfaatgehalte)

opstand gemiddelde	beuk(oud) 21.7	esdoorn 20.7	eik (jong) 18.6	linde 3 17.6	haagbeuk 16.5	linde 1 16.1	beuk(jong) 15.9	linde 2 15.2	eik (oud) 13.9
beuk (oud)	x								
esdoorn		x							
eik (jong)			x						
linde 3				x					
haagbeuk					x				
linde 1						x			
beuk (jong)							x		
linde 2								x	
eik (oud)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant).

Interpretatie

Het blijkt dat de steekproefgemiddelden wel enige verschillen vertonen, maar de spreiding binnen de steekproeven is groot. De volgorde van de opstanden van 'rijk' naar 'arm' op grond van gemiddeld totaal-fosfaatgehalte is anders dan die op grond van het leemgehalte (zie Tabel 3.1). Opvallend is dat de uiteinden van de trofiegradiënt worden gevormd door de beide oude referentieplekken en hier is ook sprake van een significant verschil. De belangrijkste conclusie is echter dat binnen de jonge opstanden geen significante verschillen in totaal-fosfaatgehalte vastgesteld konden worden.

3.3 Bemesting, bodembewerking en brand

Bemesting

Blijkens de opstandslegger werd bij aanleg van de jonge opstanden bemest met kalk en slakkemeel, waarschijnlijk in de plantgaten (Tabel 3.3). Kalk wordt in de bosbouw als meststof doorgaans toegediend in de vorm van calciumcarbonaat, al dan niet in combinatie met magnesiumcarbonaat en een geringe hoeveelheid niet nader gedefiniëerde 'nevenbestanddelen'. Slakkenmeel (vuluit: Thomas slakkenmeel) is fijn-gemalen hoogovenslak; het bevat o.a. calciumfosfaat, ijzer-oxide en kalk (Commissie Advies Bosbemesting, 1990). Over de voorgeschiedenis van de oudere opstanden is weinig bekend; waarschijnlijk is hier nauwelijks sprake geweest van bemesting en/of bodembewerking bij aanleg. Wij gaan ervan uit dat bemesting met kalk en/of slakkenmeel in het geheel niet is toegepast.

Tabel 3.3. Bemesting en bodembewerking in de onderzochte opstanden (bron: opstandslegger 1976)

opstand	kalk (ton / ha)	slakkenmeel (kg / ha)	diepte grond- bewerking (cm) *)
linde 1	1 - 2,5	150 - 300	10-30
linde 2	2,5 - 5	150 - 300	10-30
linde 3	1 - 2,5	150 - 300	10-30
esdoorn	2,5 - 5	150 - 300	10
haagbeuk	2,5 - 5	150 - 300	10
eik (jong)	1 - 2,5	150 - 300	10-30
eik (oud)	-	-	?
beuk(jong)	2,5 - 5	150 - 300	10 **)
beuk (oud)	-	-	?

*) op plantplaats; **) tevens vlakdekkende tot circa 35 cm diepe grondbewerking (eigen waarneming).

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam.

Tabel 3.3 geeft aan dat de bemesting met slakkenmeel in alle jonge opstanden in de zelfde orde van grootte ligt. Bij de bemesting met kalk werden twee verschillende doses gebruikt. In het algemeen geldt dat de onnauwkeurigheid van de mestgift relatief groot is. De in tabel 3.3 gegeven verschillen in bemesting tussen de vakken als geheel mogen daarom niet zonder meer als representatief beschouwd worden voor de door ons beschreven proefvlakken. Het is bovendien de vraag in hoeverre de bemesting bij aanleg nog doorwerkt in de huidige voedingstoestand van de bodem. Met name voor wat betreft het calcium-gehalte in de bovengrond is dit moeilijk vast te stellen aangezien de gehele basenhuishouding van de bovengrond in hoge mate gestuurd wordt door de kwaliteit van het bladstrooisel. Deze is op zijn beurt sterk boomsoort-afhankelijk (zie Hoofdstuk 1). Alleen de verschillen in basenhuishouding

binnen opstanden van één en dezelfde boomsoort op vergelijkbaar moedermateriaal kunnen een indicatie geven van verschillen in kalkbemesting bij aanleg. Hier zal in hoofdstuk 5 nader op worden ingegaan.

In hoeverre verschillen in fosfaatbemesting nu nog doorwerken in de voedingstoestand van bovengrond valt ten dele af te leiden uit het gehalte anorganisch fosfaat. Deze factor wordt geacht nauwelijks beïnvloed te worden door de strooiselkwaliteit, maar wel door mestgiften in het verleden. Daarnaast spelen verschillen in natuurlijke bodemvruchtbaarheid een rol. Bovendien kan door vastlegging van organisch fosfaat in strooisel en biomassa het evenwicht tussen organisch en anorganisch fosfaat verschuiven (Van Delft, mond. med.). De verschillen in natuurlijke bodemvruchtbaarheid tussen de onderzochte (jonge) opstanden zijn gering (zie § 3.2); met betrekking tot de eventuele vastlegging van fosfaat in strooisel en biomassa zijn voor de verschillende onderzochte opstanden geen gegevens voorhanden. De geconstateerde verschillen in anorganisch fosfaat-gehalte geven daarom niet meer dan een indicatie van de verschillen in bemestingsniveau. Tabel 3.4 geeft per opstand de analyse-cijfers en de resultaten van de toetsing.

Andere bronnen van bemesting (anders dan vrij gelijkmatige atmosferische depositie) zijn hier waarschijnlijk niet aan de orde. Inwaai van meststoffen vanuit naburig landbouwgebied is niet aannemelijk. Daarvoor is de afstand te groot, variërend van enkele tientallen meters (vakken 47h, 47j en 47m) tot enkele honderden meters (overige vakken). Ook invloed van stuivend kalkstof van schelpenpaden is niet aan de orde. Verharding van paden vond vroeger plaats met split, dat wil zeggen gebroken grind. Vanaf 1975 zijn deze paden geasfalteerd (Th. Heufkens, mond. med.).

Tabel 3.4. Anorganisch fosfaatgehalte in de bovengrond (5–25 cm – mv).

a. Analyse-resultaten per monsterpunt (n = 3)

opstand	anorganisch-fosfaatgehalte (mg / 100 gr)		
	(5–25 cm – mv)		
linde 1	3.04	7.64	4.76
linde 2	12.67	6.68	5.55
linde 3	2.3	2.36	1.02
esdoorn	5.00	13.51	3.57
haagbeuk	13.43	14.13	3.15
eik (jong)	1.66	2.01	2.57
eik (oud)	2.07	2.74	2.31
beuk(jong)	13.14	8.20	4.66
beuk (oud)	2.59	4.82	8.98

b. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde anorganisch-fosfaatgehalte)*

opstand gemiddelde	haagbeuk 10.2	beuk 8.7	linde 2 8.3	esdoorn 7.4	beuk(oud) 5.5	linde 1 5.1	eik (oud) 2.4	eik 2.1	linde 3 1.9
haagbeuk	x								
beuk (jong)		x							
linde 2			x						
esdoorn				x					
beuk (oud)					x				
linde 1						x			
eik (oud)							x		
eik (jong)								x	
linde 3									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven-toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant).

Interpretatie

Uit tabel 3.4 blijkt dat de steekproefgemiddelden van de verschillende opstanden duidelijke verschillen vertonen: beide eikenopstanden en 'linde 3' hebben een significant lager anorganisch fosfaatgehalte in de bovengrond dan de overige onderzochte opstanden. Dit zijn juist de opstanden waarin Adelaarsvaren een prominente plaats in de ondergroei inneemt. Mitchell (1973) toonde aan dat de wortelstokken van Adelaarsvaren in staat zijn anorganisch fosfaat te mobiliseren. Vastlegging van fosfaat in strooisel en biomassa (wortelstokken) kan in bovengenoemde drie opstanden dus geleid hebben tot relatief lage anorganisch-fosfaatgehalten. Het is echter ook opvallend dat de vier opstanden die volgens de opstandleggers een relatief hoge kalkbemesting hebben ontvangen (tabel 3.3) blijken de analysecijfers ook het hoogste anorganisch fosfaatgehalte in de bovengrond hebben. Mogelijk hebben deze opstanden dus ook een hogere gift van Thomasslakkemeel ontvangen zonder dat dit in de opstandsleggers is vastgelegd.

Bodembewerking

Bij aanleg van de jonge opstanden vlak na de Tweede Wereldoorlog werden bomkraters geëgaliseerd en wortelkluiten uitgegraven (Th. Heufkens, mond. med.). De opstandslegger (1976) vermeldt grondbewerking bij aanleg tot een diepte van 30 cm op de plantplaatsen en een plantafstand van 1,5 meter. De diepte van grondbewerking bij aanleg staat voor elke onderzochte opstand vermeld in tabel 3.2. Bodemonderzoek geeft verder aan dat alleen in vak 47f (jonge beuk) vlakdekkend ondiepe bodembewerking heeft plaatsgevonden (eigen waarneming), maar het is niet duidelijk wanneer dit is gebeurd.

Brand

Schade aan de bast van de bomen in opstand 'linde 3' suggereert dat hier een oppervlakkige bosbrandje heeft gewoed dat de bomen wel heeft beschadigd, maar niet heeft gedood. Het vermoeden van een brand werd bevestigd door micro-morfologisch bodemonderzoek (Pulleman *et al.*, in voorb.) en door de achtergebleven groei van de lindebomen in dit terreingedeelte (zie tabel 6.1 en Bijlage A). In de opstandlegger van 1976 wordt deze schade niet vermeld en ook bij de huidige beheerder, dhr. Heufkens, (in dit gebied werkzaam sinds 1980), is niets van een

brand bekend. Wij nemen daarom aan dat deze gebeurtenis heeft plaatsgevonden in de periode tussen 1976 en 1980.

Een bosbrand kan de ontwikkeling van zowel humusprofiel als ondergroei hebben beïnvloed. Het is echter niet aannemelijk dat deze gebeurtenis de verklaring is voor het opvallend lage gehalte anorganisch fosfaat ter plekke. Kemmers (mond. med.) vond na een bosbrand bij Kootwijk juist hogere (totaal-)fosfaatgehalten in de bovengrond dan in de bovengrond van niet-verbrande referentieplekken.

4 Humusprofiel

4.1 Dikte van de strooisellaag

De dikte van de strooisellaag (exclusief de L-horizont) is een goede maat voor de efficiëntie van de strooiselvertering. De verschillen in dikte tussen de onderzochte opstanden worden gegeven in tabel 4.1. Een meer gedetailleerde bespreking van de opbouw van het humusprofiel volgt in § 4.2.

Tabel 4.1 Dikte van de strooisellaag.

a. Veldmetingen per monsterpunt ($n = 3$)

opstand	dikte ectorganische strooisellaag (cm)		
linde 1	2	2	2.5
linde 2	2.5	1.5	4.5
linde 3	6	7	2.5
esdoorn	3.5	6	3.5
haagbeuk	2	3.5	2.5
eik (jong)	10	7	6
eik (oud)	6	6	8
beuk(jong)	2	4.5	3
beuk (oud)	11	11	13

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde dikte van de strooisellaag)

gemiddelde	linde 1	haagbeuk	linde 2	beuk	esdoorn	linde 3	eik (oud)	eik	beuk (oud)
	2.2	2.7	2.8	3.2	4.3	5.2	6.7	7.7	11.7
linde 1	x								
haagbeuk		x							
linde 2			x						
beuk (jong)				x					
esdoorn					x				
linde 3						x			
eik (oud)							x		
eik (jong)								x	
beuk (oud)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproefentoets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant).

Interpretatie

De gemiddelde dikte van de ectorganische strooisellaag vertoont binnen de onderzochte opstanden duidelijke verschillen. Onder de eikenopstanden en vooral onder de oude beukenopstand vinden wij de dikste strooiselpakketen, onder linde met schaarse ondergroei, haagbeuk, jonge beuk en vooral linde met Bosanemoon de dunste. Linde met Adelaarsvaren en esdoorn nemen een intermediaire positie in. Deze resultaten zijn grotendeels conform onze verwachting. Opvallend is wel de relatief dunne strooisellaag onder jonge beuk, die mogelijk verband houdt met het relatief hoog bemestingsniveau en de bodembewerking in het verleden. Niet conform

de verwachting is verder de relatief dikke strooisellaag onder esdoorn. Deze lijkt niet verklaard te kunnen worden vanuit verschillen in onafhankelijke groeiplaatsfactoren.

4.2 Humusvorm

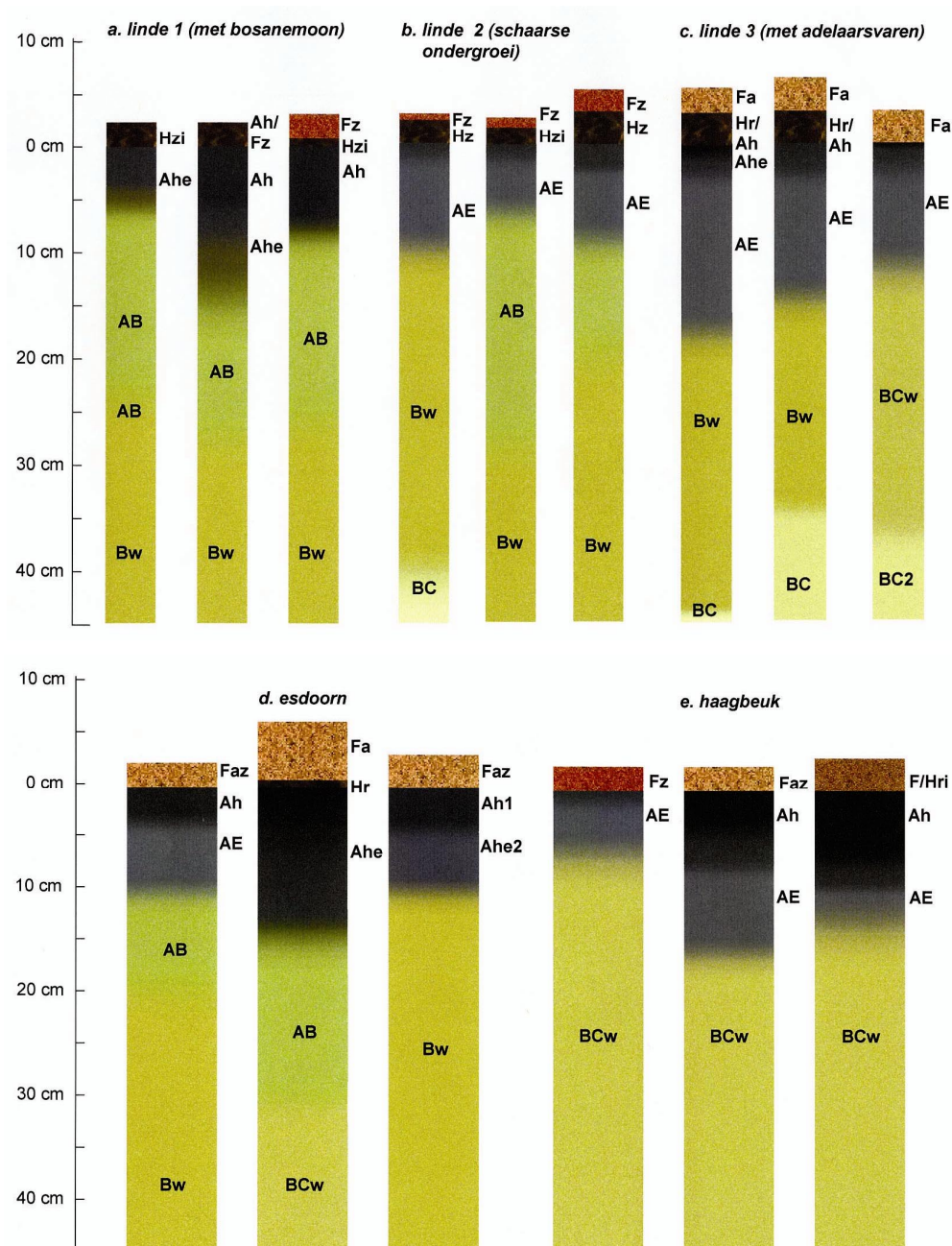
Onder linde met Bosanemoon (linde 1; figuur 4.1a) komen de minst prominente ectorganische lagen voor (zie § 4.1). Drie verschillende humusvormen werden aangetroffen: dunne moderprofielen (*wormxeromoder*), mullmoder profielen met een duidelijk ontwikkelde, licht uitgeloogde Ahe-horizont en zeer geleidelijke overgangen van de strooisellaag naar de minerale A-horizont (*zandxeromullmoder*), en dunne strooisellagen gemengd met minerale, niet uitgeloogde bodemdeeltjes (*ectozandmull*). Het ectorganische gedeelte is in alle gevallen opgebouwd uit een dunne, zeer luchtige, door bodemfauna gemengde Hz- of Ah/Fz-laag met een hoog gehalte aan moderbolletjes (excrementen) en minerale bestanddelen. Op één van de drie plekken ontbreekt de F-laag.

In de opstand van linde met een schaarse ondergroei (linde 2; figuur 4.1b) zijn moderprofielen aangetroffen met iets dikkere Fz en Hz-lagen (*humusxeromoder*). De minerale AE-laag is duidelijker uitgeloogd dan de Ahe onder linde met Bosanemoon (linde 1) en er heeft minder menging plaatsgevonden tussen minerale en organische bestanddelen.

Onder linde met Adelaarsvaren (linde 3; figuur 4.1c) zijn aanmerkelijk dikkere F-lagen aangetroffen, die niet zoals bij beide andere lindeopstanden, door afbraak door de bodemfauna worden overheerst (Fz-laag), maar door een afbraak waarin ook schimmels een belangrijke rol spelen (Fa). De Hr-laag is niet goed te scheiden van de slecht ontwikkelde Ah (Hr/Ah). De AE-horizont is aanmerkelijk dikker dan respectievelijk de AE onder linde met schaarse ondergroei en de Ahe onder linde met Bosanemoon. De profielen behoren hier niet tot de moders maar tot de mormoders (*humusxeromormoder*).

Onder esdoorn (figuur 4.1d) hebben zich dikkere F-lagen ontwikkeld dan onder beide lindeopstanden zonder Adelaarsvaren. De F-laag heeft een minder duidelijk zoögeen karakter (Faz) dan onder linde en er wordt geen duidelijke H-gevormd. Binnen de opstand werden drie verschillende humusvormen aangetroffen. In twee van de drie monsterplekken ligt op de AE-horizont nog een dunne Ah-laag, hetgeen het profiel toch een moderachtig karakter geeft. Deze profielen houden het midden tussen een *zandxeromullmoder* en een *vaagxeromormoder*. Het profiel op de derde monsterplek, met een dikke Fa-laag, behoort tot de *bosxeromormoders*.

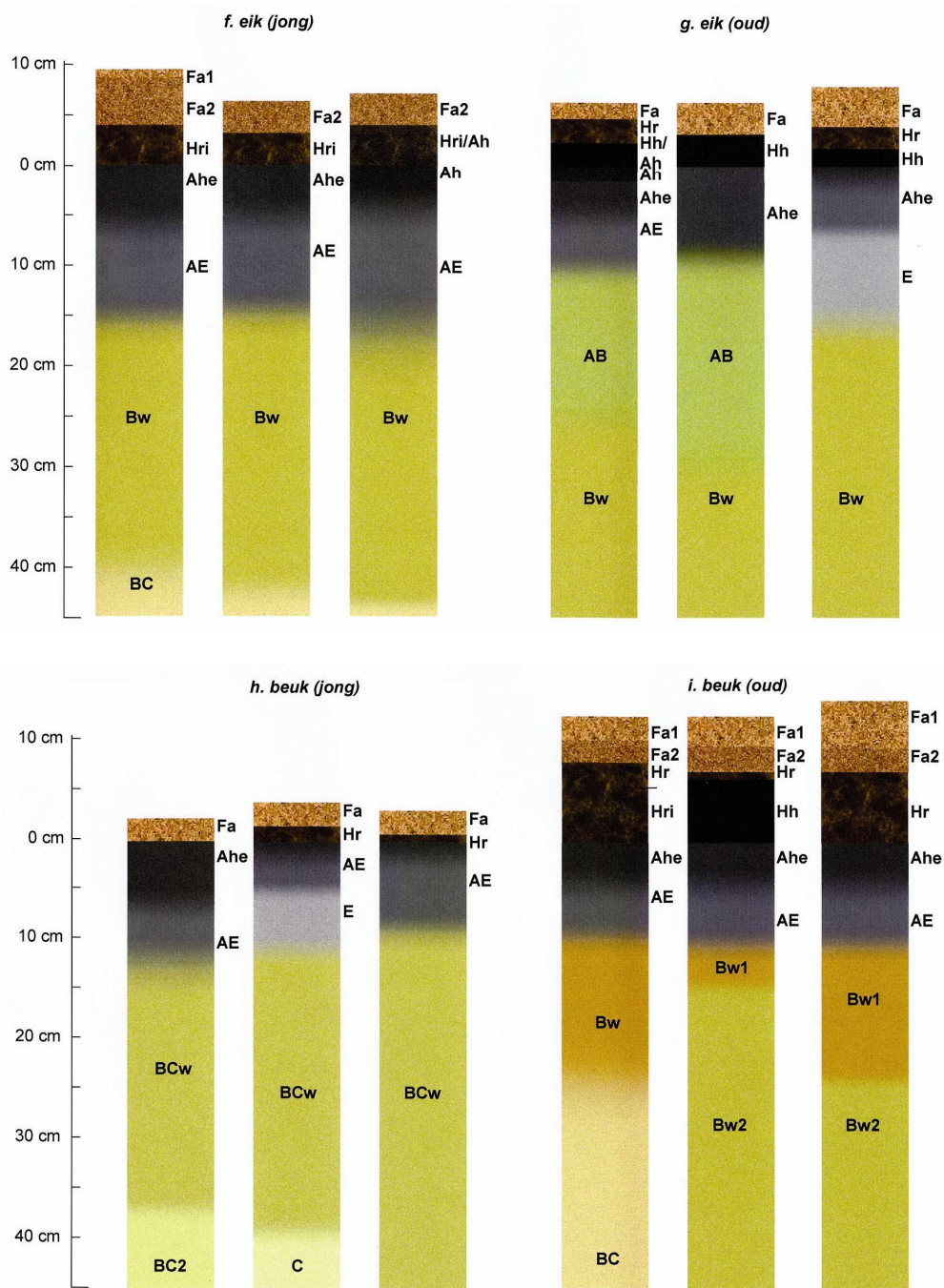
Onder haagbeuk (figuur 4.1e) lijken humusprofielen voor te komen die ten dele vergelijkbaar zijn met die onder esdoorn. Op twee van drie monsterplekken werd een vrij dikke Ah-laag aangetroffen (*zandxeromullmoder*). Het derde profiel is opgebouwd uit een dunne Fz en valt onder de *humusxeromoders*.



Figuur 4.1 a t/m e. Humusprofielen van de referentieplekken (strooisellaag en de bovenste 40 cm van de minerale bodem).

Ah = humushoudende minerale bovengrond; Ahe = Ah met enige gebleekte zandkorrels; AE = bovengrond met een hoog gehalte aan gebleekte zandkorrels; B(w) = podzol-B (moderpodzol); BC = overgangshorizont B naar C; C = onveranderd; moedermateriaal; Fa = halfverteerde strooisellaag met geringe activiteit van bodemfauna; Faz = halfverteerde strooisellaag matig rijk aan bodemfauna; Fz = halfverteerde strooisellaag rijk aan bodemfauna; Hh = amorfe, volledig gehumificeerde laag; Hr = gehumificeerde laag met wat herkenbare planteresten; Hz = gehumificeerde laag, rijk aan bodemfauna; i = bijmenging van minerale delen (zand).

Humusvormen: a: wormxeromoder (links), ectozandmull (midden) en zandxeromullmoder (rechts); b: humusxeromoder; c: humusxeromormoder; d: vaagxeromormoder (links), bosxeromormoder (midden) en zandxeromullmoder (rechts); e: humusxeromoder (links) en zandxeromullmoder (midden en rechts).



Figuur 4.1 f t/ m i. Humusprofielen van de referentieplekken (strooisellaag en de bovenste 40 cm van de minerale bodem).

Ah = humushoudende minerale bovengrond; Ahe = Ah met enige gebleekte zandkorrels; AE = bovengrond met een hoog gehalte aan gebleekte zandkorrels; B(w) = podzol-B (moderpodzol); BC= overgangshorizont B naar C; C= onveranderd; moedermateriaal; Fa = halfverteerde strooisellaag met geringe activiteit van bodemfauna; Faz = halfverteerde strooisellaag matig rijk aan bodemfauna; Fz = halfverteerde strooisellaag rijk aan bodemfauna; Hh = amorfe, volledig gehumificeerde laag; Hr = gehumificeerde laag met wat herkenbare planteresten; Hz = gehumificeerde laag, rijk aan bodemfauna; i = bijmenging van minerale delen (zand).

Humusvormen: f: bosxeromormoder; g: humusxeromormoder; h: vaagxeromormoder; i: bosxeromormoder (links en rechts) en holtxeromormoder (midden).

Onder ‘jonge eik’ (figuur 4.1f) is een duidelijk dikkere ectorganische laag aangetroffen met een geringe activiteit van de bodemfauna. Opvallend zijn de dikke F-horizont, de dikke Hri-laag en de scherpe overgangen tussen de horizonten. Ook de deels uitgelopen AE-horizonten zijn dik. Alle profielen kunnen tot de *bosxeromormoder* gerekend worden.

De profielen in de oude eikenopstand (figuur 4.1g) zijn minder dik maar hebben wel steeds compacte zwarte Hh- lagen van enkele centimeters dik (*humusxeromormoder*). In één van de profielen is een duidelijke E-horizont ontwikkeld. De overgangen tussen Ah en Hh zijn minder scherp dan in de jonge eikenopstand. Dit houdt mogelijk verband met de ouderdom van de humusprofielen, waarbij volgens sommige auteurs uiteindelijk weer een ontwikkeling naar moders plaatsvindt (Emmer, 1995).

De humusvormen onder ‘jonge beuk’ (figuur 4.1h) zijn niet duidelijk dikker dan de wat rijkere profielen onder linde, haagbeuk en esdoorn (zie ook § 4.1). Wel is de F-laag duidelijk van het Fa-type en is plaatselijk onder de AE-horizont een sterk uitgelopen E-laag aan te treffen. Hier is duidelijk sprake van humusprofielen van het mormodertype bestaande uit een Fa-laag met daaronder een dunne Hr-laag met weinig zoögene activiteit (*vaagxeromormoder*). De overgangen tussen de horizonten zijn scherp, maar men zou hier een veel dikker ectorganisch profiel verwachten (vergelijk met ‘jonge eik’). De verstoring op de beukenplek is echter relatief groot en wellicht heeft ook de bemesting bij aanleg de ectorganische ontwikkeling geremd.

De dikste humusprofielen worden aangetroffen onder ‘oude beuk’ (figuur 4.1i). Met name de dikte van de H-lagen is opvallend (meer dan 5 cm). Op twee van de drie monsterplekken gaat het hierbij om een Hr-laag (H-laag met nog enigszins herkenbare planten-resten). Deze profielen behoren tot de *bosxeromormoder*. In één profiel is er sprake van dikke amorfe Hh-laag (*holtmormoder*).

Tabel 4.2 geeft de verdeling van de verschillende humusvormen over de onderzochte opstanden, gerangschikt naar de mate van strooiselvertering: maximaal in de *ecto-zandmull* (onder linde met Bosanemoon), minimaal in de *holtxeromormoder* (onder ‘oude beuk’).

Tabel 4.2. Voorkomen van humusvormen in de onderzochte opstanden (gerangschikt naar afnemende mate van strooiselvertering).

		linde 1	haag- beuk	linde 2	esdoorn	beuk (jong)	linde 3	eik (oud)	eik (jong)	beuk (oud)
mull	ecto-zandmull	1								
mullmoder	zandxeromullmoder	1	2		1					
moder	wormxeromoder	1								
	humusxeromoder		1	3						
mormoder	vaagxeromormoder				1	3				
	humusxeromormoder						3	3		
	bosxeromormoder				1				3	2
	holtxeromormoder									1

4.3 Organisch-stofgehalte

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de gemeten organisch-stofgehalten in strooisellaag en minerale bovengrond (op twee diepten) en de significantie van de verschillen tussen de onderzochte opstanden. De waarden in de laag 0-5 cm – mv zijn in alle gevallen grofweg tweemaal zo hoog als in de laag 5-25 cm – mv. De relatieve verschillen tussen de opstanden zijn voor beide lagen min of meer gelijk. Bij een goede strooiselvertering, dat wil zeggen bij een intensieve doormenging van humus door de bodemfauna, verwachten wij een relatief laag organisch-stofgehalte in de strooisellaag en een relatief hoog organisch-stofgehalte in de minerale bovengrond.

Tabel 4.3. Organisch stofgehalte in de bovengrond.

a. Analyse-resultaten per monsterpunt ($n = 3$)

	organisch-stofgehalte (%) (strooisellaag; excl. L, Hh en Hr)			organisch-stofgehalte (%) (0-5 cm – mv)			organisch-stofgehalte (%) (5-25 cm – mv)		
linde 1	41.2	*	56.2	7.0	12.6	10.2	4.3	5.3	5.0
linde 2	47.7	32.8	56.2	9.7	6.8	7.0	2.8	4.1	4.5
linde 3	63.0	77.0	61.7	10.6	11.7	8.8	6.0	5.3	4.6
esdoorn	81.9	80.2	80.1	8.3	9.0	8.4	4.8	6.1	4.7
haagbeuk	59.6	82.0	67.3	7.4	7.7	9.5	4.6	4.5	4.9
eik (jong)	68.9	66.6	72.6	15.6	10.7	10.3	5.3	5.0	7.5
eik (oud)	90.5	86.5	87.6	7.6	8.4	5.4	4.9	5.0	4.2
beuk (jong)	68.1	73.8	78.1	6.5	6.4	7.8	3.1	3.6	4.2
beuk (oud)	86.5	90.2	87.6	6.1	6.5	7.0	3.6	4.3	5.5

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde organisch-stofgehalte):
strooisellaag (excl. L-, Hb- en Hr-horizonten)

gemiddelde	linde 1	linde 2	linde 3	eik (jong)	haagbeuk	beuk (jong)	esdoorn	beuk (oud)	eik (oud)
	44.4	45.6	67.2	69.4	69.6	73.3	80.7	88.1	88.2
linde 1	x								
linde 2		x							
linde 3			x						
eik (jong)				x					
haagbeuk					x				
beuk (jong)						x			
esdoorn							x		
beuk (oud)								x	
eik (oud)									x

c. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde organisch-stofgehalte): 0-5 cm – mv

gemiddelde	eik (jong) 12.2	linde 3 10.4	linde 1 9.9	esdoorn 8.6	haagbeuk 8.2	linde 2 7.8	eik (oud) 7.1	beuk(jong) 6.9	beuk(oud) 6.5
eik (jong)	x								
linde 3		x							
linde 1			x						
esdoorn				x					
haagbeuk					x				
linde 2						x			
eik (oud)							x		
beuk (jong)								x	
beuk (oud)									x

d. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde organisch-stofgehalte): 5-25 cm – mv

gemiddelde	eik (jong) 5.9	linde 3 5.3	esdoorn 5.2	linde 1 4.9	eik (oud) 4.7	haagbeuk 4.7	beuk(oud) 4.5	linde 2 3.8	beuk(jong) 3.6
eik (jong)	x								
linde 3		x							
esdoorn			x						
linde 1				x					
eik (oud)					x				
haagbeuk						x			
beuk(oud)							x		
linde 2								x	
beuk(jong)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: F-laag ontbreekt, bij toetsing is uitgegaan van gemiddelde van overige twee monsterplekken.

Interpretatie

De verschillen in gemiddelde waarden tussen de opstanden zijn gering en de spreiding van de organisch-stof gehalten binnen de opstanden zijn relatief groot. Voor beide minerale bodemlagen geldt dat de gehalten relatief laag zijn in beide oude opstanden en onder jonge beuk en relatief hoog in beide jonge opstanden met Adelaarsvaren ('linde 3' en 'jonge eik'). De gevonden verschillen lijken niet verklaard te kunnen worden vanuit verschillen in onafhankelijke groeiplaatsfactoren of de strooiselkwaliteit van de boomsoorten. Dit is wel het geval in de strooisellaag waar de laagste waarden (beste doormenging) gevonden werden onder de drie linde-opstanden, vooral in de lindenopstanden met Bosanemoon (linde 1) en met schaarse ondergroei (linde 2). De oude opstanden hebben een significant hoger organisch-stof gehalte in de strooisellaag dan alle jonge opstanden. Opvallend, tenslotte, is de geringe mate van doormenging van strooisellaag en bovengrond onder esdoorn.

4.4 C/P-verhouding

De C/P-ratio is een goede maat voor de beschikbaarheid van fosfor in de organische stof (Kemmers, 1990). Hommel *et al.* (2002) constateerden dat in 'rijke' bossen (*Quercus-Fagetea*) deze ratio lager is dan in 'arme' bossen op vergelijkbare groeiplaats. Tabel 4.4 geeft de gemeten waarden in de strooisellaag en de minerale bovengrond (op twee diepten), en de significantie van de verschillen voor de onderzochte opstanden bij Doorwerth. In alle gevallen zijn de C/P-waarden in de strooisellaag het hoogst, en in de bovenste 5 cm van de minerale bovengrond hoger dan in de onderliggende 20 cm.

Tabel 4.4. C/P-verhouding in de bovengrond.

a. Analyse-resultaten per monsterpunt ($n = 3$)

	C/P-verhouding (strooisellaag; excl. L, Hh en Hr)			C/P-verhouding (0-5 cm – mv)			C/P-verhouding (5-25 cm – mv)		
linde 1	286	*	286	94	109	190	91	78	75
linde 2	328	222	377	157	136	102	53	91	117
linde 3	368	402	363	110	136	86	109	74	69
esdoorn	526	404	317	105	106	119	75	106	86
haagbeuk	306	446	232	92	146	146	62	71	66
eik (jong)	389	383	465	191	149	144	117	91	124
eik (oud)	727	434	328	127	141	148	88	116	68
beuk (jong)	432	414	485	106	79	93	65	58	82
beuk (oud)	425	476	480	137	138	115	53	113	98

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde C/P-verhouding): strooisellaag (excl. L-, Hh- en Hr-horizonten)

	linde 1	linde 2	haagbeuk	linde 3	eik (jong)	esdoorn	beuk (jong)	beuk (oud)	eik (oud)
gemiddelde	286	309	328	378	412	416	443	460	496
linde 1	x								
linde 2		x							
haagbeuk			x						
linde 3				x					
eik (jong)					x				
esdoorn						x			
beuk (jong)							x		
beuk (oud)								x	
eik (oud)									x

c. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde C/P-verhouding): 0-5 cm – mv*

gemiddelde	beuk (jong)	esdoorn	linde 3	haagbeuk	beuk (oud)	linde 1	linde 2	eik (oud)	eik (jong)
	92.6	109.7	110.7	128.2	130.1	131.0	131.3	138.5	161.7
beuk (jong)	x								
esdoorn		x							
linde 3			x						
haagbeuk				x					
beuk (oud)					x				
linde 1						x			
linde 2							x		
eik (oud)								x	
eik (jong)									x

d. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde C/P-verhouding): 5-25 cm - mv*

gemiddelde	haagbeuk	beuk(jong)	linde 1	linde 3	linde 2	beuk (oud)	esdoorn	eik (oud)	eik (jong)
	66.3	68.4	81.2	84.2	87.10	88.1	89.0	90.7	110.5
haagbeuk	x								
beuk		x							
linde 1			x						
linde 3				x					
linde 2					x				
beuk (oud)						x			
esdoorn							x		
eik (oud)								x	
eik									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproefentoets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: F-laag ontbreekt, bij toetsing is uitgegaan van gemiddelde van overige twee monsterplekken.

Interpretatie

De relatieve verschillen in C/P-waarden tussen de opstanden vertonen binnen beide minerale lagen duidelijke overeenkomsten. De verschillen zijn gradueel, maar voor beide lagen geldt dat de organische stof onder eik de 'slechtste' kwaliteit heeft. De kwaliteit van de organische stof in de oude beukenopstand wordt mogelijk in positieve zin beïnvloed door de iets hogere natuurlijke nutriëntenrijkdom in de ondergrond (zie § 3.2), die van de jonge beuken- en haagbeukenopstand vrijwel zeker door het relatief hoge bemestingsniveau (zie § 3.4) en in het geval van haagbeuk mogelijk ook door het relatief hoge leemgehalte van de bovengrond (zie § 3.1). Kijken wij naar de strooisellaag dan is de rangvolgorde duidelijk anders. De 'beste' kwaliteit organische stof wordt hier gevonden in de lindenopstanden, met name die zonder Adelaarsvaren. Overeenkomstig de verwachting is de C/P-ratio hier het hoogst (dus de kwaliteit het minst) onder eik en beuk. Opmerkelijk is echter dat ook onder esdoorn de kwaliteit van de organische stof gering is.

5 Basenhuishouding

De pH, de H/Ca verhouding, de Ca-bezetting en het Ca-gehalte zijn goede indicatoren voor de zuur- en base-huishouding (buffering). De verschillende factoren zijn sterk gecorreleerd maar zijn beslist niet identiek. De pH(KCl) is niet altijd differentiërend in het traject 4,0 tot 5,5; de H/Ca verhouding is hier een betere indicator voor verzuring. In de door ons onderzochte bodems werden echter geen pH-KCl-waarden van 4.0 en hoger gemeten (§ 5.1). Van beide hierboven genoemde calcium-parameters is de bezetting het betrouwbaarst, omdat zij minder gevoelig is voor verschillen in de hoeveelheid organische stof (Kemmers & de Waal, 1999). Wij bespreken hier daarom alleen de Ca-bezetting en niet het Ca-gehalte.

5.1 Zuurgraad

Tabel 5.1 geeft de gemeten waarden in de strooisellaag en de bovenste twee minerale bodemlagen, en de significantie van de verschillen. De strooisellaag heeft in alle gevallen een lagere pH dan de minerale bovengrond; de laag van 0-5 cm heeft een lagere pH dan de daaronder liggende laag van 5-25 –mv.

Tabel 5.1. pH-KCl in de bovengrond..

a. Analyse-resultaten per monsterpunt (n = 3)

	pH-KCl (strooisellaag; excl. L, Hh en Hr)			pH-KCl (0-5 cm – mv)			pH-KCl (5-25 cm – mv)		
linde 1	2.98	*	2.95	3.14	3.24	2.87	3.62	3.6	3.36
linde 2	2.89	2.85	2.65	2.98	3.07	3.11	3.57	3.4	3.59
linde 3	2.16	2.27	2.22	2.70	2.60	2.67	3.09	3.2	3.17
esdoorn	2.19	2.02	1.99	2.77	3.02	2.69	3.34	3.3	3.33
haagbeuk	2.18	2.12	2.20	2.69	2.65	2.66	2.96	2.8	2.95
eik (jong)	2.08	2.12	1.99	2.48	2.60	2.62	2.93	3.0	2.77
eik (oud)	1.94	1.96	1.85	2.57	2.59	2.70	2.86	3.0	2.93
beuk (jong)	2.11	2.00	2.07	2.68	2.74	2.76	3.35	3.4	3.63
beuk (oud)	1.92	1.83	1.87	2.66	2.60	2.67	2.90	2.8	2.81

b. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde pH-KCl): strooisellaag (excl. L-, Hb- en Hr-horizonten)*

gemiddelde	linde 1 2.97	linde 2 2.80	linde 3 2.22	haagbeuk 2.17	esdoorn 2.07	eik (jong) 2.06	beuk (jong) 2.06	eik (oud) 1.92	beuk (oud) 1.87
linde 1	x								
linde 2		x							
linde 3			x						
haagbeuk				x					
esdoorn					x				
eik (jong)						x			
beuk (jong)							x		
eik (oud)								x	
beuk(oud)									x

c. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde pH-KCl): 0 – 5 cm –mv*

gemiddelde	linde 1 3.08	linde 2 3.05	esdoorn 2.83	beuk(jong) 2.73	haagbeuk 2.67	linde 3 2.66	beuk(oud) 2.64	eik (oud) 2.62	eik 2.57
linde 1	x								
linde 2		x							
esdoorn			x						
beuk				x					
haagbeuk					x				
linde 3						x			
beuk(oud)							x		
eik (oud)								x	
eik									x

d. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde pH-KCl): 5 – 25 cm –mv*

gemiddelde	linde 2 3.55	linde 1 3.55	beuk(jong) 3.48	esdoorn 3.35	linde 3 3.17	eik (oud) 2.96	haagbeuk 2.92	eik (jong) 2.90	beuk(oud) 2.87
linde 2	x								
linde 1		x							
beuk			x						
esdoorn				x					
linde 3					x				
eik (oud)						x			
haagbeuk							x		
eik								x	
beuk(oud)									x

Linde 1: met bosaanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: F-laag ontbreekt, bij toetsing is uitgegaan van gemiddelde van overige twee monsterplekken.

Interpretatie

Voor beide minerale bodemlagen geldt dat onder de lindenopstanden zonder Adelaarsvaren (linde 1 en 2) een significant hogere pH wordt gevonden dan onder beide eikenopstanden, de oude beukenopstand, de haagbeukenopstand en de lindenopstand met Adelaarsvaren (linde 3). Esdoorn en jonge beuk nemen een intermediaire positie in. De relatief hoge pH onder jonge beuk hangt waarschijnlijk samen met het relatief hoge bemestingsniveau (zie § 3.3). In het algemeen lijken de verschillen in zuurgraad vooral samen te hangen met de kwaliteit van het strooisel, zowel van de bomen als de Adelaarsvaren. Opvallend hierbij is dat de Haagbeuk-opstand, ondanks het relatief hoge bemestingsniveau, wat de zuurgraad betreft in de groep van de ‘arme’ bossen getrokken wordt. Bekijken wij de pH-KCl in de

strooisellaag hebben beide linde-opstanden zonder Adelaarsvaren een significant hogere en pH dan alle overige opstanden. Onder oud bos (eik en beuk) worden significant lagere pH's gevonden dan onder alle jonge opstanden. In het tussenliggend gebied zijn de verschillen graduëel waarbij opvalt dat de rangorde van de opstanden op grond van de gemiddelde waarde geheel overeenkomt met onze verwachtingen (zie hoofdstuk 1).

5.2 Calcium-bezetting

Tabel 5.2 geeft de gemeten waarden in de strooisellaag en de bovenste twee minerale bodemlagen, en de significantie van de verschillen. De strooisellaag heeft in alle gevallen een hogere Ca-bezetting dan de minerale bovengrond; de laag van 0-5 cm heeft een hogere Ca-bezetting dan de daaronder liggende laag van 5-25 –mv.

Tabel 5.2. Calcium-bezetting in de bovengrond.

a. Analyse-resultaten per monsterpunt ($n = 3$)

	Ca-bezetting (strooisellaag; excl. L, Hh en Hr)			Ca-bezetting (0-5 cm – mv)			Ca-bezetting (5-25 cm – mv)		
linde 1	78.8	*	89.7	10.5	15.2	13.3	5.0	8.5	6.7
linde 2	85.2	42.4	85.8	19.4	8.8	12.1	5.4	7.5	6.9
linde 3	32.5	87.3	78.1	7.3	5.0	6.4	1.7	0.3	1.4
esdoorn	36.8	18.6	29.1	6.0	3.6	5.4	3.9	2.0	3.4
haagbeuk	28.5	55.7	30.8	4.7	7.4	6.3	2.5	4.7	2.0
eik (jong)	56.8	47.1	27.7	6.3	0.9	1.3	1.1	1.1	0.7
eik (oud)	40.2	40.9	26.6	3.5	1.9	2.5	0.1	0.6	0.9
beuk(jong)	46.4	35.0	53.1	5.7	3.5	3.9	1.1	1.8	1.9
beuk (oud)	26.8	34.0	26.9	1.4	1.2	1.9	1.4	1.0	1.5

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde calcium-bezetting):
strooisellaag (excl. L-, Hb- en Hr-horizonten)

gemiddelde	linde 1	linde 2	linde 3	beuk(jong)	eik (jong)	haagbeuk	eik (oud)	beuk(oud)	esdoorn
gemiddelde	84.3	71.1	66.0	44.8	43.9	38.3	35.9	29.3	28.2
linde 1	x								
linde 2		x							
linde 3			x						
beuk(jong)				x					
eik (jong)					x				
haagbeuk						x			
eik (oud)							x		
beuk (oud)								x	
esdoorn									x

c. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde calcium-bezetting): 0 – 5 cm –mv*

gemiddelde	linde 2	linde 1	linde 3	haagbeuk	esdoorn	beuk(jong)	eik (jong)	eik (oud)	beuk(oud)
	13.4	13.0	6.2	6.1	5.0	4.4	2.8	2.6	1.5
linde 2	x								
linde 1		x							
linde 3			x						
haagbeuk				x					
esdoorn					x				
beuk (jong)						x			
eik (jong)							x		
eik (oud)								x	
beuk(oud)									x

d. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde calcium-bezetting): 5 – 25 cm –mv.*

gemiddelde	linde 1	linde 2	esdoorn	haagbeuk	beuk(jong)	beuk(oud)	linde 3	eik (jong)	eik (oud)
	6.7	6.6	3.1	3.1	1.6	1.3	1.1	0.9	0.5
linde 1	x								
linde 2		x							
esdoorn			x						
haagbeuk				x					
beuk (jong)					x				
beuk(oud)						x			
linde 3							x		
eik (jong)								x	
eik (oud)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: F-laag ontbreekt, bij toetsing is uitgegaan van gemiddelde van overige twee monsterplekken.

Interpretatie

In beide minerale lagen zien wij dat de lindenopstanden zonder Adelaarsvaren (linde 1 en 2) een significant hogere calcium-bezetting hebben dan alle overige opstanden. De laagste waarden vinden wij bij de boomsoorten met ‘arm’ verzurend bladstrooisel: eik en beuk. Esdoorn en haagbeuk nemen een intermediaire positie in en alleen de positie van de lindeopstand met Adelaarsvaren (linde 3) varieert enigszins: van intermediair in de bovenste bodemlaag (0-5 cm –mv) tot een lage base-bezetting in de daarondergelegen bodemlaag (5-25 cm –mv). Bekijken wij de calcium-bezetting in de strooisellaag in de verschillende opstanden dan worden de hoogste waarde opnieuw onder linde aangetroffen. Lage waarden vinden wij onder de oude eiken- en beukenopstand. Zeer opvallend is echter dat hier, anders dan in de minerale bodemlagen, de laagste waarde wordt gevonden in de esdoornopstand.

5.3 H/Ca-verhouding

Tabel 5.3 geeft de berekende waarden van de H/Ca-ratio in de strooisellaag en de bovenste twee minerale bodemlagen, en de significantie van de verschillen. In alle gevallen geldt dat de H/Ca-ratio het laagst is in de strooisellaag en het hoogst in de laag van 5-25 cm –mv. De verschillen tussen en in sommige gevallen ook binnen de onderzochte opstanden zijn zeer groot. Hierbij dient echter te worden aangetekend

dat de verschillen tussen waarden groter dan 50 een beperkte ecologische betekenis hebben. We hebben hier namelijk te maken met zo lage calcium-gehalten dat een geringe variatie van deze factor tot een grote variatie in de ratio kan leiden. Bij waarden tussen 1 en 10 vindt een gedeeltelijke humificatie plaats (zie § 2.3). Lagere waarden werden in de door ons onderzochte bodems niet gemeten.

Tabel 5.3. H/Ca-verhouding in de bovengrond.

a. Analyse-resultaten per monsterpunt ($n = 3$)

	H/Ca-verhouding (strooisellaag; excl. L _s , Hh en Hr)			H/Ca-verhouding (0-5 cm – mv)			H/Ca-verhouding (5-25 cm – mv)		
linde 1	2.2	*	2.0	3.7	7.4	8.1	21.3	12.7	18.1
linde 2	2.4	2.0	2.4	5.2	11.5	7.9	15.7	14.0	14.3
linde 3	6.5	5.1	3.8	18.9	26.7	20.7	85.9	465.6	105.3
esdoorn	5.2	10.1	7.4	21.2	33.2	20.9	26.1	58.6	31.8
haagbeuk	6.4	4.7	6.6	25.0	15.9	21.7	44.6	23.6	68.7
eik (jong)	6.2	7.3	7.9	22.9	150.0	104.9	137.6	135.4	201.0
eik (oud)	7.4	9.0	8.6	36.5	70.9	54.0	972.0	247.9	155.0
beuk(jong)	5.9	6.3	6.6	23.7	36.8	36.7	113.2	91.3	89.3
beuk (oud)	10.0	8.7	9.0	100.0	112.7	70.8	128.8	148.1	98.7

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde H/Ca-verhouding): strooisellaag (excl. L_s, Hh- en Hr-horizonten)

gemiddelde	linde 1	linde 2	linde 3	haagbeuk	beuk(jong)	eik (jong)	esdoorn	eik (oud)	beuk(oud)
	2.1	2.3	5.1	5.9	6.3	7.1	7.6	8.3	9.2
linde 1	x								
linde 2		x							
linde 3			x						
haagbeuk				x					
beuk (jong)					x				
eik (jong)						x			
esdoorn							x		
eik (oud)								x	
beuk(oud)									x

c. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde H/Ca-verhouding): 0 – 5 cm –mv

gemiddelde	linde 1	linde 2	haagbeuk	linde 3	esdoorn	beuk(jong)	eik (oud)	eik (jong)	beuk (oud)
	6.4	8.2	20.9	22.1	25.1	32.4	53.8	92.6	94.6
linde 1	x								
linde 2		x							
haagbeuk			x						
linde 3				x					
esdoorn					x				
beuk(jong)						x			
eik (oud)							x		
eik (jong)								x	
beuk (oud)									x

d. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar de gemiddelde H/Ca-verbinding): 5 – 25 cm –mv*

gemiddelde	linde 2	linde 1	esdoorn	haagbeuk	beuk(jong)	beuk (oud)	eik (jong)	linde 3	eik (oud)
	14.7	17.4	38.8	45.6	97.9	125.2	158.0	218.9	458.3
linde 1	x								
linde 2		x							
haagbeuk			x						
linde 3				x					
esdoorn					x				
beuk(jong)						x			
eik (oud)							x		
eik (jong)								x	
beuk (oud)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeftoets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: F-laag ontbreekt, bij toetsing is uitgegaan van gemiddelde van overige twee monsterplekken.

Interpretatie

De trends komen in hoge mate overeen met de resultaten voor de calcium-bezetting (§ 5.2). Beide lindenopstanden zonder Adelaarsvaren (linde 1 en 2) hebben een significant gunstiger H/Ca-ratio (lage waarden) dan alle andere andere opstanden, de eiken- en beukenopstanden hebben de minst gunstige (hoogste) waarden en esdoorn en haagbeuk nemen een intermediaire positie in. Ook hier is de positie van de lindenopstand met Adelaarsvaren (linde 3) in de bovenste bodemlaag (0-5 cm –mv) en vooral in de strooisellaag gunstiger dan in de direct daaronderliggende laag (5-25 cm –mv). Tenslotte kan ook hier gewezen worden op de opvallend ‘slechte’ kwaliteit (in dit geval hoge H/Ca-ratio) van het esdoornstrooisel.

6 Vegetatie

6.1 Lindenopstanden

Tabel 6.1. Vegetatieopnamen in de lindenopstanden.

Opstand (zie tabel 2.1)	linde1	linde1	linde1	linde2	linde2	linde2	linde3	linde3	linde3	
Oppervlakte (m ²)	4	4	1	25	25	25	25	25	25	
Hoogte boomlaag (m)*	22	24	22	21	21	21	16	20	20	
Bedekking boomlaag (%)	95	95	95	98	98	98	80	70	70	
Gemiddelde dbh (cm)	29	29	29	27	23	22	20	20	21	
Hoogte struiklaag (m)	0,6	-	-	-	0,8	2	-	-	-	
Bedekking struikl. (%)	1	-	-	-	1	3	-	-	-	
Hoogte kruidlaag (cm)	5-10	10(80)	7-10	15	5-10	5-10	90	125	135	
Bedekking kruidlaag (%)	85**	80**	80**	2	<1	<1	60	80	80	
Bedekking moslaag (%)	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Totaal aantal soorten ***	16	13	16	3	5	6	10	7	7	
Aantal oud-bossoorten	6	5	6	1	1	0	3	1	1	
Aantal soorten 'rijk' bos ***5	6	4		1	0		2	0		
Aantal soorten 'arm' bos ***	2	2	3	0	0	3	2	3	2	
Boomlaag:										
Tilia x vulgaris s.l.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	Hollandse linde s.l.
Struiklaag:										
Sorbus aucuparia	+	-	-	-	-	+	-	-	-	Wilde lijsterbes A
Cytisus scoparius	+	-	*	-	-	-	-	-	-	Brem
Acer pseudoplatanus (juv.)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	Gewone esdoorn (j.) R
Tilia x vulgaris s.l.	*	-	*	-	+	-	-	-	-	Hollandse linde s.l. -
Kruidlaag:										
Oxalis acetosella	5	4	4	-	-	-	0	-	-	Witte klaverzuring R
Anemone nemorosa	2b	3	*	-	-	-	-	-	-	Bosanemoon R
Impatiens parviflora	1	+	+	-	-	-	-	-	-	Klein springzaad
Rubus fruticosus agg.	+	+	*	-	0	-	+	+	-	Gewone braam
Sorbus aucuparia (juv.)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	Wilde lijsterbes (j.) A
Carex pilulifera	+	-	+	r	-	0	0	+	1	Pilzegge
Pteridium aquilinum	+	-	*	-	-	-	4	5	5	Adelaarsvaren
Fagus sylvatica (juv.)	r	+	+	-	-	-	-	-	-	Beuk (juv.)
Scrophularia nodosa	r	+	*	-	-	-	-	-	-	Knopig helmkruid R
Polygonatum multiflorum	0	+	0	1	0	-	0	-	-	Gew. salomonszegel R
Acer pseudoplatanus (juv.)	0	+	0	1	+	+	-	-	-	Gew. esdoorn (juv.) R
Viola riviniana	*	0	-	-	-	-	-	-	-	Bleeksp. bosviooltje R
Teucrium scorodonium	*	0	*	-	-	-	-	-	-	Valse salie
Luzula multiflora	*	-	*	-	-	-	-	-	-	Veelbloemige veldbies
Sorbus aucuparia (juv.)	*	-	*	-	-	-	-	r	-	Wilde lijsterbes (jv.) A
Betula spec. (juv.)	*	-	*	-	-	-	-	r	-	Berk (juv.)
Carpinus betulus (juv.)	*	-	-	r	-	-	-	-	-	Haagbeuk (juv.) R
Moehringia trinervia	-	1	-	-	-	-	-	-	-	Drienerfmuur R
Galeopsis tetrahit	-	+	-	-	-	-	-	-	-	Gewone hennepnetel
Urtica dioica	-	r	-	-	-	-	-	-	-	Grote brandnetel
Acer pseudoplatanus (k)	-	r	-	-	+	+	-	-	+	Gewone esdoorn (k) R
Maianthemum bifolium	-	-	3	-	-	-	-	-	-	Dalkruid A
Quercus robur (k)	-	-	-	r	-	+	-	-	-	Zomereik (k)
Carpinus betulus (k)	-	-	-	r	-	-	-	-	-	Haagbeuk (k) R
Dryopteris carthusiana	-	-	-	-	+	-	-	-	-	Smalle stekelvaren
Prunus serotina (juv.)	-	-	-	-	+	-	-	-	-	Amer. vogelkers (j.)
Ceratocarpus claviculata	-	-	-	-	-	+	-	-	-	Rank. helmbloem A
Prunus serotina (k)	-	-	-	-	-	-	r	-	-	Amer. vogelkers (k)
Sorbus aucuparia (k)	-	-	-	-	-	-	-	r	-	Wilde lijsterbes (k) A
Betula spec. (k)	-	-	-	-	-	-	-	r	-	Berk (k)

Vervolg tabel 6.1

Opstand (zie tabel 2.1)	linde1	linde1	linde1	linde2	linde2	linde2	linde3	linde3	linde3
Oppervlakte (m²)	4	4	1	25	25	25	25	25	25
Hoogte boomlaag (m)*	22	24	22	21	21	21	16	20	20
Bedekking boomlaag (%)	95	95	95	98	98	98	80	70	70
Gemiddelde dbh (cm)	29	29	29	27	23	22	20	20	21
Hoogte struiklaag (m)	0,6	-	-	-	0,8	2	-	-	-
Bedekking struikl. (%)	1	-	-	-	1	3	-	-	-
Hoogte kruidlaag (cm)	5-10	10(80)	7-10	15	5-10	5-10	90	125	135
Bedekking kruidlaag (%)	85**	80**	80**	2	<1	<1	60	80	80
Bedekking moslaag (%)	-	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Totaal aantal soorten ***	16	13	16	3	5	6	10	7	7
Aantal oud-bossoorten	6	5	6	1	1	0	3	1	1
Aantal soorten 'rijk' bos ***5	6	4		1	1	0	2	0	
Aantal soorten 'arm' bos ***	2	2	3	0	0	3	2	3	2

Moslaag:										
Mnium hornum	*	*	*	1	1	+	-	-	1	Gewoon sterremos
Brachythecium rutabulum	*	*	*	-	-	-	-	1	-	Gewoon dikkopmos
Orthodontium lineare	*	-	*	-	-	-	-	-	-	Geelsteeltje
Hypnum jutlandicum	-	-	-	-	-	1	2m	2m	1	Heideklauwtjesmos
Polytrichum formosum	-	-	-	-	-	()	-	-	1	Fraai haarmos
Dicranum scoparium	-	-	-	-	-	-	+	-	2m	Gew. gaffeltandmos
Eurhynch. praelongum	-	-	-	-	-	-	+	-	-	Fijn snavelmos
Campylopus pyriformis	-	-	-	-	-	-	+	-	-	Gew. kronkelsteeltje
Dicranella heteromalla	-	-	-	-	-	-	-	+	-	Gewoon pluïjesmos

A: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercetea robori-petraeae en kensoorten lagere eenheden; R: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercus-Fagetea en kensoorten lagere eenheden (naar Stortelder et al., 1999). Gearceerd: oud-bossoorten (naar Honnay et al. 1999). * schattingen gecorrigeerd op grond van metingen in september 2003 (zie Bijlage A); ** bedekking excl. recent verstoorte plekken, soorten toegevoegd op grond van opname 2001; *** aantallen excl. boomsoorten en verjonging.

Interpretatie

De drie onderzochte lindenopstanden verschillen zeer sterk in ondergroei. Opstand 'linde 1' is relatief soortenrijk en bovendien rijk aan oud-bossoorten. De vegetatie kan geclassificeerd worden als een goed ontwikkeld voorbeeld van het *Stellario-Carpinetum oxalidetosum*. Opstand 'linde 2' heeft een zeer schaarse ondergroei; het totaal aantal soorten en het aantal oud-bossoorten is laag. De aanwezigheid van *Polygonatum multiflorum* duidt op een ontwikkeling richting 'rijke bossen' (*Quercus-Fagetea*). Het voorkomen van *Anemone nemorosa* in de berm van het fietspad langs deze opstand wijst in dezelfde richting. Één van de vegetatieopnamen vertoont echter met name op grond van de mosflora overeenkomsten met de 'arme bossen' (*Quercetea-roborei petraeae*) aanwezig. In alle gevallen is de vegetatie te slecht ontwikkeld om op (sub)associatie-niveau geclassificeerd te worden. Opstand 'linde 3' heeft gemiddeld een iets hoger soortenaantal en iets meer oud-bossoorten dan 'linde 2'. De vegetatie wordt gedomineerd door *Pteridium aquilinum* en kan geclassificeerd worden als *Fago-Quercetum pteridietosum*. Het voorkomen van *Oxalis acetosella* en *Polygonatum multiflorum* geven aan dat het hier een 'rijke' variant van deze subassociatie betreft.

6.2 Esdoornopstand

Tabel 6.2. Vegetatieopnamen in de esdoornopstand.

Oppervlakte (m ²)	25	25	25		
Hoogte boomlaag (m)	18	18	18		
Bedekking boomlaag (%)	95	95	95		
Gemiddelde dbh (cm)	27	25	23		
Hoogte struiklaag (m)	2-3	1.5-2.5	2-3		
Bedekking struiklaag (%)	7	10	20		
Hoogte kruidlaag (cm)	5-15	5-15	10		
Bedekking kruidlaag (%)	1	7	<1		
Bedekking moslaag (%)	<1	<1	<1		
Totaal aantal soorten *	6	3	5		
Aantal oud-bossoorten	1	1	0		
Aantal soorten 'rijk' bos *	1	1	0		
Aantal soorten 'arm' bos *	3	1	2		
Boomlaag:					
Acer pseudoplatanus	5	5	5**	Gewone esdoorn	R
Struiklaag:					
Acer pseudoplatanus (juv.)	2a	2a	2b	Gewone esdoorn (juv.)	R
Kruidlaag:					
Acer pseudoplatanus (juv.)	+	-	+	Gewone esdoorn (juv.)	R
Polygonatum multiflorum	0	+	-	Gewone salomonszegel	R
Carex pilulifera	0	-	-	Pilzegge	
Sorbus aucuparia (k)	0	-	-	Wilde lijsterbes (k)	A
Quercus robur (k)	0	-	-	Zomereik (k)	
Rubus fruticosus agg.	-	2a	-	Gewone braam	
Acer pseudoplatanus (k)	-	1	-	Gewone esdoorn (k)	R
Quercus rubra (juv.)	-	-	+	Amerikaanse eik (juv.)	
Carpinus betulus (k)	-	-	r	Haagbeuk (k)	R
Moslaag:					
Mnium hornum	1	-	+	Gewoon sterremos	
Hypnum jutlandicum	+	+	+	Heideklauwtjesmos	A
Dicranella heteromalla	+	-	0	Gewoon pluisjesmos	A
Brachythecium rutabulum	-	-	+	Gewoon dikkopmos	
Polytrichum formosum	-	-	+	Fraai haarmos	

A: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercetea robori-petraeae en kensoorten lagere eenheden; R: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercio-Fagetea en kensoorten lagere eenheden (naar Stortelder et al., 1999). Gearceerd: oud-bossoorten (naar Honnay et al. 1999). *: aantallen excl. boomsoorten en verjonging; **: incl. 25% donkerbladige variëteit.

Interpretatie

De ondergroei van de esdoornopstand vertoont veel overeenkomsten met die van de opstand 'linde 2'. Ook hier is de begroeiing zeer schaars en soortenarm, pleit de aanwezigheid van van *Polygonatum multiflorum* duidt op een ontwikkeling richting 'rijke bossen' (*Quercio-Fagetea*) en vertoont de mosflora (meer nog dan in 'linde 2') eerder affiniteit met de 'arme bossen' (*Quercetea-robori-petraeae*). De vegetatie is (nog) te slecht ontwikkeld om eenduidig op klasse-niveau geassocieerd te worden. Een ontwikkeling in de richting van het *Fago-Quercetum* lijkt echter het meest waarschijnlijk.

6.3 Haagbeukenopstand

Tabel 6.3. Vegetatieopnamen in de haagbeukenopstand.

Oppervlakte (m ²)	25	25	25		
Hoogte boomlaag (m)	15	15	15		
Bedekking boomlaag (%)	98	98	98		
Gemiddelde dbh (cm)	20	19	20		
Hoogte struiklaag (m)	1,5	1-2,5	1,5		
Bedekking struiklaag (%)	<1	4	2		
Hoogte kruidlaag (cm)	5-25	5-25	5-25		
Bedekking kruidlaag (%)	<1	<1	1		
Bedekking moslaag (%)	<1	<1	<1		
Totaal aantal soorten *	7	5	5		
Aantal oud-bossoorten	1	0	0		
Aantal soorten 'rijk' bos *	1	0	0		
Aantal soorten 'arm' bos *	3	2	2		
Boomlaag:					
Carpinus betulus	5	5	5	Haagbeuk	R
Struiklaag:					
Ilex aquifolium	+	-	-	Hulst	
Acer pseudoplatanus (juv.)	-	+	+	Gewone esdoorn (juv.)	R
Kruidlaag:					
Rubus fruticosus agg.	+	+	+	Gewone braam	
Acer pseudoplatanus (juv.)	+	+	+	Gewone esdoorn (juv.)	R
Carpinus betulus (k)	+	2m	1	Haagbeuk (k)	R
Acer pseudoplatanus (k)	+	1	-	Gewone esdoorn (k)	R
Polygonatum multiflorum	+	-	-	Gewone salomonszegel	R
Ilex aquifolium (juv.)	r	r	-	Hulst (juv.)	
Ceratocarpus claviculata	()	+	-	Rankende helmbloem	A
Carex pilulifera	-	-	+	Pilzegge	
Prunus serotina (k)	-	-	+	Amerik. vogelkers (k)	
Moslaag:					
Dicranella heteromalla	+	+	+	Gewoon pluisjesmos	A
Hypnum jutlandicum	+	-	+	Heideklauwtjesmos	A
Mnium hornum	+	-	+	Gewoon sterremos	
Leucobryum glaucum	-	()	-	Kussentjesmos	

A: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercetea robori-petraeae en kensoorten lagere eenheden; R: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercus-Fagetea en kensoorten lagere eenheden (naar Stortelder et al., 1999). Gearceerd: oud-bossoorten (naar Honnay et al. 1999). *: aantallen excl. boomsoorten en verjonging.

Interpretatie

De ondergroei komt sterk overeen met die zoals hierboven beschreven voor de esdoornopstand. Ook hier is de vegetatie (nog) te slecht ontwikkeld om eenduidig op klasse-niveau geclassificeerd te worden en lijkt een ontwikkeling in de richting van het *Fago-Quercetum* het meest waarschijnlijk.

6.4 Eikenopstanden

Tabel 6.4. Vegetatieopnamen in de eikenopstanden.

Opstand (zie tabel 2.1)	jong	jong	jong	oud	oud	oud	
Oppervlakte (m²)	25	25	25	25	25	25	
Hoogte boomlaag (m)	14	14	14	12-14	12-14	12-14	
Bedekking boomlaag (%)	75	80	80	85	85	85	
Gemiddelde dbh (cm)	21	21	20	28	29	31	
Hoogte struiklaag (m)	1-3,5	1,2-3	3	4-5	2,5-5	1,2-4	
Bedekking struiklaag (%)	50	20	4	20	15	7	
Hoogte kruidlaag (cm)	40-80	60-90	60-90	100	90	60	
Bedekking kruidlaag (%)	50	40	70	70	60	100	
Bedekking moslaag (%)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Totaal aantal soorten	8	8	8	8	8	9	
Aantal oud-bossoorten	1	1	1	1	1	1	
Aantal soorten 'rijk' bos *	0	0	0	0	0	0	
Aantal soorten 'arm' bos *	4	4	5	3	3	3	
Boomlaag:							
Quercus robur	4	5	5	5	5	5	Zomereik
Struiklaag:							
Prunus serotina	3	2a	.	+	+	.	Amerikaanse vogelkers
Sorbus aucuparia	2b	2b	+	2b	2a	+	Wilde lijsterbes A
Amelanchier lamarckii	.	.	.	.	Ø	+	Am. krenteboompje
Fagus sylvatica (juv.)	.	.	.	.	.	+	Beuk (juv.)
Ilex aquifolium	.	.	.	.	.	Ø	Hulst
Kruidlaag:							
Rubus fruticosus agg.	3	2b	4	.	+	+	Gewone braam
Pteridium aquilinum	2b	2b	2b	4	4	4	Adelaarsvaren
Ceratocarpus claviculata	.	.	Ø	.	.	.	Rankende helmbloem A
Quercus robur (juv.)	.	.	.	+	+	+	Zomereik (juv.)
Prunus serotina (juv.)	.	.	.	+	.	r	Amerikaanse vogelkers
Amelanchier lamarckii (juv.)	.	.	.	+	.	.	Am. krenteboompje
Fagus sylvatica (juv.)	.	.	.	.	+	.	Beuk (juv.)
Moslaag:							
Hypnum jutlandicum	+	2m	1	+	1	2m	Heideklauwtjesmos A
Dicranella heteromalla	+	1	+	+	.	+	Gewoon pluisjesmos A
Leucobryum glaucum	Ø	+	+	1	1	1	Kussentjesmos
Dicranum scoparium	Ø	1	+	.	.	.	Gewoon gaffeltandmos A
Polytrichum formosum	.	.	.	1	.	.	Fraai haarmos
Aulacomnium androgynum	.	.	.	.	+	.	Gewoon knopjesmos A

A: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercetea robori-petraeae en kensoorten lagere eenheden; R: ken- en differentiërende soorten van klasse Querco-Fagetea en kensoorten lagere eenheden (naar Stortelder et al., 1999). Gearceerd: oud-bossoorten (naar Honnay et al. 1999). *: aantallen excl. boomsoorten en verjonging.

Interpretatie

Beide opstanden zijn vrij soortenarm; de enige oud-bosoort die voorkomt is *Pteridium aquilinum*. Het bedekkend, in de oude eikenopstand zelfs dominant optreden van deze soort pleit voor een classificatie als *Fago-Quercetum pteridietosum*. Het volledig ontbreken van 'rijke' soorten geeft aan dat het hier een relatief 'arme' variant van deze subassociatie betreft. Opvallend is verder dat in de jonge opstand weliswaar een aanzienlijke verruiging met bramen is opgetreden, maar dat het aantal soorten die kenmerkend zijn voor de 'arme bossen' (*Quercetea-robori-petraeae*) hier nog iets groter is dan in de niet verbraamde oude opstand. Waarschijnlijk betreft het hier een tijdelijke bramenfase na aanleg zoals vooral in 'lichte' bossen vaker optreedt.

6.5 Beukenopstanden

Tabel 6.5. Vegetatieopnamen van beukenopstanden bij Doorwerth.

Opstand (zie tabel 2.1)	jong	jong	jong	oud	oud	oud		
Oppervlakte (m²)	25	25	25	25	25	25		
Hoogte boomlaag (m)	20	20	20	20	22	24		
Bedekking boomlaag (%)	90*	98	85	100	100	100		
Gemiddelde dbh (cm)	31	28	30	**	**	**		
Hoogte struiklaag (m)	-	-	-	-	-	1,8		
Bedekking struiklaag (%)	-	-	-	-	-	-		
Hoogte kruidlaag (cm)	<1	<1	10	-	5-10	-		
Bedekking kruidlaag (%)	10	5-15	-	-	<1	-		
Bedekking moslaag (%)	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
Totaal aantal soorten ***	5	5	4	3	3	4		
Aantal oud-bossoorten	1	0	0	0	0	0		
Aantal soorten 'rijk' bos ***	0	0	0	0	0	0		
Aantal soorten 'arm' bos ***	2	3	3	1	2	2		
Boomlaag:								
Fagus sylvatica	5	5	5	5	5	5	Beuk	
Quercus petraea	.	.	.	0	.	0	Wintereik	A
Quercus robur	.	.	.	0	.	.	Zomereik	
Struiklaag:								
Sorbus aucuparia	.	.	.	.	.	0	Wilde lijsterbes	A
Kruidlaag:								
Carex pilulifera	+	+	0	.	.	.	Pilzegge	
Fagus sylvatica (juv.)	1	+	.	.	.	.	Beuk (juv.)	
Vaccinium myrtillus	0	.	.	.	.	.	Blauwe bosbes	A
Rubus fruticosus agg.	0	.	.	.	.	.	Gewone braam	
Acer pseudoplatanus (k)	0	.	.	.	.	.	Gewone esdoorn (k)	R
Ceratocarpus claviculata	.	r	.	.	.	.	Rankende helmbloem	A
Quercus petraea (juv.)	.	.	.	.	+	.	Wintereik (juv.)	A
Moslaag:								
Hypnum jutlandicum	2m	1	1	1	1	1	Heideklauwtjesmos	A
Lophocolea heterophylla	+	.	.	+	.	.	Gedrongen kantmos	
Dicranella heteromalla	.	1	1	.	+	.	Gewoon pluisjesmos	A
Eurhynchium praelongum	.	1	.	.	.	.	Fijn snavelmos	
Dicranum scoparium	.	.	+	.	.	.	Gewoon gaffeltandmos	A
Leucobryum glaucum	.	.	.	1	.	0	Kussentjesmos	
Mnium hornum	.	.	.	.	0	.	Gewoon sterremos	
Isopterygium elegans	.	.	.	.	.	+	Gewoon pronkmos	A

A: ken- en differentiërende soorten van klasse Quercetea robori-petraeae en kensoorten lagere eenheden; R: ken- en differentiërende soorten van klasse Querco-Fagetea en kensoorten lagere eenheden (naar Stortelder et al., 1999). Gearceerd: oud-bossoorten (naar Honnay et al. 1999). *: vrij veel zijlicht door dunning; **: n.v.t., complexe, veelstammige stobben tot 150 cm hoog; ***: aantallen excl. boomsoorten en verjonging.

Interpretatie

Beide beukenopstanden hebben een zeer schaarse ondergroei en zijn soortenarm. Oud-bossoorten zijn nagenoeg afwezig; kenmerkende soorten van de 'rijke bossen' (Querco-Fagetea) ontbreken volledig. Beide opstanden zijn te classificeren als Deschampsio-Fagetum typicum. Opvallend is dat in de jonge beukenopstand het aantal soorten dat kenmerkend is voor de 'arme bossen' (Quercetea-robori-petraeae) nog iets groter is dan in de oude opstand. Mogelijk houdt dit (geringe) verschil verband met verschillen in de natuurlijke nutriëntenrijkdom van de groeiplaats (zie § 3.2).

6.6 Soortenaantallen

In Tabel 6.6.a wordt per vegetatieopname een overzicht gegeven van het totale soortenaantal, het aantal oud-bossoorten en de aantallen indicatoren voor 'rijk' dan wel 'arm' bos (respectievelijk *Quercus-Fagetea* en *Quercetea-robori petraeae*). In Tabel 6.6.b t/m d wordt weergegeven welke verschillen tussen de opstanden significant zijn.

Tabel 6.6. Soortenaantallen in de onderzochte opstanden.

a. Aantallen per vegetatieopname ($n = 3$)*

	totaal soortenaantal			aantal oud-bossoorten			aantal soorten 'rijk' bos			aantal soorten 'arm' bos		
linde 1	16	13	16	3	5	6	5	6	4	2	2	3
linde 2	3	5	6	1	1	0	1	1	0	0	0	3
linde 3	10	7	7	3	1	1	2	0	0	2	3	2
Esdoorn	6	3	5	1	1	0	1	1	0	3	1	2
Haagbeuk	7	5	5	1	0	0	1	0	0	3	2	2
eik (jong)	8	8	8	1	1	1	0	0	0	4	4	5
eik (oud)	8	8	9	1	1	1	0	0	0	3	3	3
beuk(jong)	5	5	4	1	0	0	0	0	0	2	3	3
beuk (oud)	3	3	4	0	0	0	0	0	0	1	2	2

b. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde soortenaantal): totaal soortenaantal *

	linde 1	eik (oud)	linde 3	eik (jong)	haagbeuk	linde 2	esdoorn	beuk(jong)	beuk (oud)
gemiddelde	15.0	8.3	8.0	8.0	5.7	4.7	4.7	4.7	3.3
linde 1	x								
eik (oud)		x							
linde 3			x						
eik (jong)				x					
haagbeuk					x				
linde 2						x			
esdoorn							x		
beuk(jong)								x	
beuk (oud)									x

c. Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde soortenaantal): aantal oud-bossoorten

	linde 1	linde 3	eik (jong)	eik (oud)	linde 2	esdoorn	haagbeuk	beuk(jong)	beuk (oud)
gemiddelde	4.7	1.7	1.0	1.0	0.7	0.7	0.3	0.3	0.0
linde 1	x								
linde 3		x							
eik (jong)			x						
eik (oud)				x					
linde 2					x				
esdoorn						x			
haagbeuk							x		
beuk(jong)								x	
beuk (oud)									x

d. *Significantie van de verschillen tussen de opstanden (gerangschikt naar het gemiddelde soortenaantal): aantal soorten 'rijk' bos – aantal soorten 'arm' bos**

gemiddelde	linde 1	linde 2	esdoorn	linde 3	beuk (oud)	haagbeuk	beuk(jong)	eik (oud)	eik (jong)
	2.7	-0.3	-1.3	-1.7	-1.7	-2.0	-2.7	-3.0	-4.3
linde 1	x								
linde 2		x							
esdoorn			x						
linde 3				x					
beuk (oud)					x				
haagbeuk						x			
beuk(jong)							x		
eik (oud)								x	
eik (jong)									x

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: verschil significant bij een tweezijdige overschrijdingskans van 10% (twee-steekproeven toets van Wilcoxon); lichte arcering: gemiddelde waarden duiden op een verschil (niet significant). *: aantallen excl. boomsoorten en verjonging.

Interpretatie

Voor wat betreft het totale soortenaantal is de opstand van linde met Bosanemoon (linde 1) significant rijker dan alle andere opstanden. De opstanden met een schaarse ondergroei (linde 2, haagbeuk, esdoorn en beide beukenopstanden) zijn het armst; de drie opstanden met Adelaarsvaren (linde 3 en beide eikenopstanden) nemen een intermediaire positie in. Kijken wij naar het aantal oud-bossoorten, dan vinden wij exact dezelfde klasse-indeling. Het verschil tussen het gemiddeld aantal indicatoren voor rijk- en voor arm bos geeft indruk van de te verwachten vegetatie-ontwikkeling in met name de jonge opstanden. Ook hier springt de lindenopstand met Bosanemoon (linde 1) er uit: alleen hier zijn de 'rijke' soorten duidelijk in de meerderheid. Beide eikenopstanden worden daarentegen gekenmerkt door een significant hogere aandeel aan 'arme' soorten. Alleen in de lindenopstand met schaarse ondergroei houden beide soortengroepen elkaar min of meer in evenwicht; alle overige opstanden neigen in meer of mindere mate naar de 'arme bossen' (*Quercetea-robori-petraeae*).

7 Discussie

In Tabel 7.1 worden de archiefgegevens (uit de opstandslegger), de veldmetingen en de analyseresultaten, zoals deze in de voorafgaande hoofdstukken werden gepresenteerd, nog eens kort samengevat. Voor de verschillende factoren is de rangvolgorde van de negen onderzochte opstanden aangegeven, waar mogelijk van 'rijk' naar 'arm'. Tevens is aangegeven welke opstanden voor een gegeven factor significant 'rijker' zijn dan de overige.

Tabel 7.1. Samenvatting van archiefgegevens, veldmetingen en analyseresultaten.

	linde 1	linde2	linde 3	esdoorn	haag-beuk	eik (jong)	eik (oud)	beuk (jong)	beuk (oud)
<i>Moedermateriaal:</i>									
textuur 10-20 cm –mv	8	4	5	7	1	6	2	9	3
textuur 80-100 cm –mv	98	4	5	7	1	6	2	9	3
totaal fosfaat 80-100 cm –mv	6	8	4	2	5	3	9	7	1
<i>Bemesting / bewerking:</i>									
kalkbemesting (opstandslegger)	5-7	1-4	5-7	1-4	1-4	5-7	8-9	1-4	8-9
P-anorganisch (5-25 cm –mv)	6	3	9	4	1	8	7	2	5
bodembewerking	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Overige milieufactoren:									
brandinvloed	-	-	+	-	-	-	-	-	-
licht op bosbodem (geschat)	+	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Humusprofiel:</i>									
dikte strooisellaag	1	3	6	5	2	8	7	4	9
humusvorm	1	3	6-7	4	2	8	6-7	5	9
organische stof (strooisellaag)	1	2	3	7	5	4	9	6	8
organische stof (0-5 cm –mv)	3	6	2	4	5	1	7	8	9
organische stof (5-25 cm –mv)	4	8	2	3	6	1	5	9	7
C/P-verhouding (strooisellaag)	1	2	4	6	3	5	9	7	8
C/P-verhouding (0-5 cm –mv)	6	7	3	2	4	9	8	1	5
C/P-verhouding (5-25 cm –mv)	3	5	4	7	1	9	8	2	6
<i>Basenhuishouding:</i>									
pH-KCl (strooisellaag)	1	2	3	5	4	6	8	7	9
pH-KCl (0-5 cm –mv)	1	2	6	3	5	9	8	4	7
pH-KCl (5-25 cm –mv)	2	1	5	4	7	8	6	3	9
Ca-bezetting (strooisellaag)	1	2	3	9	6	5	7	4	8
Ca-bezetting (0-5 cm –mv)	2	1	3	5	4	7	8	6	9
Ca-bezetting (5-25 cm –mv)	1	2	7	3	4	8	9	5	6
H/Ca-verhouding (strooisellaag)	1	2	3	7	4	6	8	5	9
H/Ca-verhouding (0-5 cm –mv)	1	2	4	5	3	8	7	6	9
H/Ca-verhouding (5-25 cm –mv)	2	1	8	3	4	7	9	5	6
<i>Vegetatie:</i>									
Adelaarsvaren (bedekkend)	-	-	+	-	-	+	+	-	-
soortenrijkdom (totaal)	1	6-8	3-4	6-8	5	3-4	2	6-8	9
oud-bosoorten	1	5-6	2	5-6	7-8	3-4	3-4	7-8	9
indicatie 'rijk' bos	1	2	4-5	3	6	9	8	7	4-5

Linde 1: met bosanemoon; linde 2: met schaarse ondergroei; linde 3: met adelaarsvaren en braam. Donkere arcering: significant 'rijker' dan 7 of 8 andere opstanden. Lichte arcering: significant 'rijker' dan 4, 5 of 6 andere opstanden. Rangnummers hebben betrekking op indicatiewaarde voor 'rijk' bosecosysteem: 1 = rijk, 9 = arm.

Aan de hand van Tabel 7.1 zal worden ingegaan op de belangrijkste vragen van dit onderzoek (zie hoofdstuk 1):

- in hoeverre zijn verschillen in het moedermateriaal en/of bemesting bij aanleg de oorzaak van de geconstateerde verschillen in humusprofiel, basenhuishouding en vegetatie?
- in welke mate kunnen de verschillende boomsoorten via het geproduceerde bladstrooisel bijdragen aan herstel van de basenhuishouding en profielopbouw van de bovengrond?
- welke factoren bepalen of de vegetatie zich na herstel van de basenhuishouding van de bovengrond kan ontwikkelen in de richting van een ‘rijk’ bos?

Deze vragen komen respectievelijk aan de orde in § 7.1 (onafhankelijke bodemkenmerken als verklarende factor), § 7.2 (strooiselkwaliteit als verklarende factor) en § 7.3 (vegetatieontwikkeling).

7.1 Onafhankelijke bodemkenmerken als verklarende factor

Dit onderzoek was primair gericht op de invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel en de vegetatie. Binnen de onderzoeksopzet, met negen verschillende opstanden op nagenoeg identieke standplaatsen, zijn verschillen in onafhankelijke (onveranderlijke) bodemkenmerken dus vooral op te vatten als ruisfactor.

Inderdaad blijken er binnen de negen onderzochte opstanden verschillen aanwezig in textuur, natuurlijke nutriëntenhuishouding, bodembewerking en bemestingsgeschiedenis. De haagbeuken- en oude eikenopstand hebben een relatief hoog leempercentage; de jonge beukenopstand heeft gemiddeld het laagste leemgehalte. De verschillen zijn echter gering en vallen afgezien van de extremen binnen de marge van de schattingsfout.

Voor wat betreft de natuurlijke rijkdom aan nutriënten valt de oude beukenopstand op door een relatief hoog fosfaatgehalte in de ondergrond, de jonge beukenopstand, de lindenopstand met schaarse ondergroei (linde 2) en de oude eikenopstand door een relatief laag fosfaatgehalte. Ook hier zijn de verschillen gering en bovendien niet significant. Een eenduidige relatie met de vegetatieontwikkeling is hoe dan ook niet aannemelijk: de opstand die het duidelijkst een ontwikkeling richting ‘rijk bos’ (*Quercus-Fagetea*) vertoont (linde 1) en significant gunstige basenhuishouding heeft een relatief laag leemgehalte en een laag fosfaatgehalte in de ondergrond. De lindenopstand met schaarse ondergroei (linde 2) die eveneens gekenmerkt wordt door een significant gunstige basenhuishouding heeft een laag fosfaatgehalte in de ondergrond en gemiddelde textuur. Alleen de relatief gunstige basenhuishouding onder haagbeuk zou mede verklaard kunnen worden door het relatief hoge leemgehalte.

Afgezien van een lichte bodemverstoring rond de plantgaten zijn alle bodems onbewerkt met uitzondering van de jonge beukenopstand (circa 35 cm diep). Kijken

wij naar kenmerken van het humusprofiel en de basenhuishouding dan scoort deze opstand iets 'rijker' dan verwacht hetgeen mogelijk samenhangt met bodembewerking in combinatie met een relatief hoge kalkgift bij aanleg. Een en ander vertaalt zich overigens niet in de vegetatie, die uitgesproken 'arm' is.

Over alle negen opstanden gezien is er geen duidelijke relatie is tussen vegetatieontwikkeling en kalkbemesting bij aanleg. Volgens de opstandslegger heeft de opstand met de 'rijkste' vegetatie (linde 1) een relatief geringe mestgift bij aanleg gehad. Van inwaai van kalk of meststoffen vanuit de omgeving (fietspad; landbouwgronden) kan hier ook geen sprake zijn. Overigens zijn de bij aanleg gebruikte hoeveelheden kalkmeststof gelijk aan tot driemaal zo groot als de standaardhoeveelheden die in de jaren '80 en begin jaren '90 werden geadviseerd ter bestrijding van de verzuring door atmosferische stikstofdepositie (1,5 ton/ha; Nederlands Meststoffen Instituut, 1987; Commissie Advies Bosbemesting, 1990). Het effect van een kalkgift van 1,5 ton/ha wordt door de Commissie Advies Bosbemesting geschat op een pH-verhoging in de minerale bovengrond (0-25 cm) van maximaal 0,5 eenheid en de werkingsduur op slechts 15 jaar.

Volgens de opstandslegger hebben alle opstanden bij aanleg een gelijke bemesting met Thomasslakkemeel gekregen. De opgegeven hoeveelheden zijn gering in vergelijking tot de door de Commissie Advies Bosbemesting (1990) genoemde standaardhoeveelheid van 850 kg/ha; de werkingsduur van een dergelijke bemesting wordt geschat op 60 jaar. Om te controleren of eventuele verschillen in fosfaatbemesting bij aanleg nog steeds doorwerken in de nutriëntenhuishouding van de bosbodem onder de verschillende opstanden, werden de anorganisch fosfaatgehalten in de bovengronden vergeleken. Er blijken wel significante verschillen tussen de verschillende opstanden te bestaan, maar van een eenduidige relatie met de vegetatieontwikkeling is wederom geen sprake: in de 'rijkste'opstand (linde 1) werd een relatief laag anorganisch fosfaatgehalte gemeten. Opvallend is echter wel dat de drie opstanden met Adelaarsvaren (beide eikenopstanden en linde 3) significant lagere fosfaatgehalten in de bovengrond hebben dan alle overige opstanden. Waarschijnlijk wordt dit niet of niet alleen verklaard door verschillen in bemesting bij aanleg, maar (ook) door vastlegging van fosfaat door Adelaarsvaren in strooisel en biomassa (wortelstokken).

Samenvattend kan worden gesteld dat de invloed van de verschillen in onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van humusprofiel en de basenhuishouding zeer beperkt is. Met name de ontwikkeling van de opvallend 'rijke' ondergroei in de lindenopstand met Bosanemoon (linde 1) kan niet vanuit de onafhankelijke bodemkenmerken verklaard worden.

7.2 Strooiselkwaliteit als verklarende factor

In deze paragraaf komt de vraag aan de orde in hoeverre de verschillende boomsoorten via hun bladstrooisel invloed uitoefenen op het humusprofiel en de basenhuishouding. De oude eiken- en beukenopstand met hun dikke

strooiselpakketten en verzuurde bovengronden dienen daarbij als referentie. Volgens onze verwachting zouden de ‘rijkste’ situaties te vinden moeten zijn onder linde en de ‘armste’ onder eik en beuk (oud en jong); esdoorn en haagbeuk zouden een intermediaire positie moeten innemen (zie Hoofdstuk 1).

Verschillende kenmerken van het humusprofiel ondersteunen onze veronderstelling dat onder linde de snelste strooiselvertering plaatsvindt. Met name de beide lindenopstanden zonder Adelaarsvaren (linde 1 en linde 2) scoren hoog met een dunne strooisellaag, een ‘rijke’ humusvorm en een relatief laag organisch-stofgehalte van de strooisellaag (veel doormenging). De lage C/P-verhouding van het strooisel duidt op een relatief goede strooiselkwaliteit. De lindenopstand met Adelaarsvaren (linde 3) scoort voor al deze kenmerken relatief ongunstig: het slecht verterend Adelaarsvaren-strooisel onderdrukt hier dus kennelijk het ‘linde-effect’ op het humusprofiel. Kijken wij de overige opstanden dan blijken opstanden met bomen die slecht afbreekbaar strooisel produceren (eik, beuk) voor bovengenoemde kenmerken inderdaad ook ‘slecht’ te scoren. Van de intermediair geachte boomsoorten blijkt de haagbeuk voor wat betreft het humusprofiel duidelijk tot de ‘rijke’ boomsoorten te behoren, terwijl de esdoorn eerder in het ‘arme’ kamp thuis lijkt te horen. Met name de geringe doormenging van strooisellaag en minerale bovengrond is opvallend. Overigens geven niet alle in Tabel 7.1 opgenomen kenmerken van het humusprofiel een duidelijk verband met de (veronderstelde) strooiselkwaliteit per boomsoort te zien. Met name de organisch-stofgehalte en de C/P-ratio in het mineraal bodemprofiel zijn weinig onderscheidend. Alleen de relatief hoge C/P-ratio onder eik is opvallend.

De invloed van de strooiselkwaliteit op de basenhuishouding van de bovengronden blijkt zeer groot te zijn. Afgezien van de hierboven genoemde invloed van bodembewerking en bemesting bij aanleg onder de jonge beukenopstand (zie § 7.1) die o.a. ook in de pH-KCl tot uitdrukking komt, is strooiselkwaliteit zonder meer de dominante milieufactor. De drie gemeten factoren pH-KCl, calciumbezetting en H/Ca-verhouding geven, zowel voor de laag van 0-5 als van 5-25 cm –mv, een vrijwel identiek beeld te zien. De twee lindenopstanden zonder Adelaarsvaren (linde 1 en 2) hebben steeds significant de meest gunstige basenhuishouding; de oude beukenopstand en beide eikenopstanden de minst gunstige. De positie van esdoorn en haagbeuk is volgens verwachting intermediair, waarbij opvalt dat in de esdoornopstand de minerale bovengrond systematisch beter scoort dan de ‘arme’ strooisellaag. De positie van linde met Adelaarsvaren (linde 3) en jonge beuk varieert van ongunstig tot intermediair. In de lindenopstand met Adelaarsvaren zien we net het omgekeerde effect van wat hierboven over esdoorn werd opgemerkt: de minerale bovengrond scoort systematisch slechter dan de strooisellaag.

7.3 Vegetatieontwikkeling

In een eerdere studie (Hommel *et al.*, 2002) werd al aangetoond dat op matig voedselrijke, verzuringsgevoelige groeiplaatsen vooral de kenmerken die betrekking hebben op de basenhuishouding goed correleren met de vegetatieontwikkeling: een

gunstige basenhuishouding (onder invloed van goed verterend ‘rijk’ strooisel) stuurt de vegetatieontwikkeling richting *Carpinion betuli* dan wel *Ulmenion carpinifoliae* (in binnenduinrand), een ongunstige basenhuishouding (onder invloed van slecht verterend ‘arm’ strooisel) richting *Quercion*. Dezelfde relaties zien wij ook in de negen onderzochte opstanden bij Doorwerth.

Verreweg de ‘rijkste’ vegetatie (te classificeren als *Stellario-Carpinetum oxalidetosum*) vinden wij in één van de onderzochte lindenopstanden (linde 1). De overige twee lindenopstanden hebben een duidelijk afwijkende ondergroei: de opstand met schaarse ondergroei (linde 2) is min of meer intermediair tussen ‘rijk’ en ‘arm’, in de lindenopstand met Adelaarsvaren overheersen al duidelijk soorten van de ‘arme bossen’. Van de overige opstanden hebben de esdoorn-, haagbeuken- en beukenopstanden een zeer schaars ontwikkelde ondergroei. Soorten van de ‘arme’ bossen overheersen maar in het geval van esdoorn en haagbeuk is het vooralsnog niet zeker in welke richting de vegetatieontwikkeling zal leiden. Een rijke vorm van het *Fago-Quercetum* (mogelijk de subassociatie *convallarietosum*) ligt het meest voor de hand. In de eiken- en beukenopstanden komen wisselende aantallen indicatoren voor ‘arm’ bos voor. Alle opnamen hebben echter gemeen dat indicatoren voor ‘rijk’ bos geheel ontbreken. Beide opstandstypen kunnen dan ook eenduidig tot de ‘arme’ bossen gerekend worden respectievelijk tot het *Fago-Quercetum pteridietosum* (eik) en het *Deschampsio-Fagetum* (beuk).

In § 7.2 werd aangegeven dat in de negen onderzochte opstanden de relaties tussen strooiselkwaliteit, humusprofiel en basenhuishouding in grote lijnen conform de verwachting zijn. Binnen de drie lindenopstanden vinden wij echter zeer aanzienlijke verschillen in ondergroei (zie hierboven). Wat zijn nu de redenen voor deze verschillen in ondergroei op nagenoeg identieke groeiplaatsen onder dezelfde boomsoort?

Vergelijken wij eerst de eerste opstand met Bosanemoon met de tweede opstand met een schaarse ondergroei. De verschillen in onafhankelijke groeiplaatskenmerken blijken gering te zijn: voor wat betreft de textuur en de bemesting bij aanleg is de opstand met de schaarse ondergroei gemiddeld iets ‘rijker’, voor wat betreft het fosfaatgehalte in de ondergrond geldt hetzelfde voor de opstand met Bosanemoon. Geen van deze verschillen is echter significant. Kijken wij naar de basenhuishouding in de bovengrond dan blijken beide opstanden zelfs nagenoeg identiek te zijn. Het belangrijkste verschil tussen beide opstanden is echter de hoeveelheid licht die tot de bosbodem weet door te dringen. Bij de soortenrijke opstand met Bosanemoon, die direct grenst aan een pad met laanbeplanting van vooral een aantal grote oude eiken, is de hoeveelheid licht beduidend groter. Dit komt ook tot uitdrukking in de gemiddelde hoogte en diameter van de bomen (zie Tabel 6.1). Volgens de beheerder, dhr. Heufkens, hebben zowel Bosanemoon als Dalkruid zich de laatste jaren iets uitgebreid als gevolg van stormschade in de oude laanbomen. Het gunstiger lichtklimaat is hier dus kennelijk belangrijker voor de vegetatieontwikkeling dan de minder gunstige bijmenging van enig eikenstrooisel. Dit komt zeer goed overeen met onze waarnemingen in oude gemengde lindenbossen op Jutland (Hommel *et al.*, 2003).

Ontwikkeling van een soortenrijke *Carpinion*-ondergroei is uiteraard mede afhankelijk van de aanwezigheid van de betreffende soorten in de directe omgeving. Veel van deze soorten behoren namelijk tot de groep der 'oud-bossoorten' en worden gekenmerkt door een (zeer) geringe dispersiesnelheid (Grashof-Bokdam, 1997). In de bossen van Doorwerth zijn de kansen op vestiging van deze soorten gunstig omdat op relatief korte afstand, op de overgang van de stuwwal naar het Rijndal, een strook 'rijk' bos met veel van deze soorten aanwezig is (o.a. Gewone salomonszegel). Een kleinere maar zeer nabije bron is voorts een meer dan 300 jaar oude lindeboom aan de bosrand (de 'Kappelleboom') waaronder een kleine populatie van Bosanemoon groeit. Tenslotte zijn veel van de typische 'rijke' soorten ook in het omringende oude Wintereiken-Beukenbos aanwezig, zij het met veel lagere dichtheden (o.a. Witte klaverzuring). In het verleden werd ook Bosanemoon (zeer) plaatselijk wel aangetroffen op de Veluwe in eikenbossen en wel op de meest leemrijke bosgronden (Bijlsma, 2002). Voor de bossen rond Doorwerth werden dergelijke situaties nog in de jaren '30 beschreven door J. Vlieger (bron: database vegetatieopnamen Alterra). Tegenwoordig zijn deze vrijwel geheel verdwenen, afgezien van enkele verspreide groeiplaatsen langs padranden. Bijlsma (2002) ziet strooiselaccumulatie en gebrek aan oppervlakkige verstoring van de bosbodem hiervoor als belangrijkste oorzaken.

Zijn de omstandigheden gunstig, zoals bij Doorwerth het geval is, dan blijkt de ontwikkeling van een *Carpinion*-vegetatie onder linde zich relatief snel te kunnen voltrekken, zelfs op een zwak lemige bosbodem (leemgehalte 13 tot 15%). De door ons bestudeerde opstanden zijn circa 50 jaar oud. Het is overigens niet geheel duidelijk wanneer de vegetatie in de lindenopstand met Bosanemoon (linde 1) precies is ontstaan. De oudste ons bekende opname van deze plek dateert van 1991 en komt sterk overeen met de huidige situatie, zij het dat hier toen ook Grote muur werd gevonden (bron: database vegetatieopnamen Alterra). Volgens de beheerder, dhr. Heufkens, is de plek met Bosanemoon (linde 1) al zeker 15 jaar aanwezig.

Op grond van de kenmerken van het humusprofiel en de basenhuishouding moeten wij concluderen dat de lindenopstand met schaarse ondergroei (linde 2) in abiotisch opzicht 'gereed' is voor de vestiging van een soortenrijkere *Carpinion*-ondergroei en dat het wachten slechts is op een iets gunstiger lichtklimaat. De benodigde soorten zijn in de directe omgeving al grotendeels aanwezig. Zo groeit er (buiten onze opnamen) al Bosanemoon onder de lindes langs de rand van het naburige fietspad.

Vergelijken wij de groeiplaats van beide lindenopstanden zonder Adelaarsvaren met de derde lindenopstand met Adelaarsvaren, dan zien wij niet alleen de aan het verschil *Carpinion-Quercion* gekoppelde verschillen in humusvorm en basenhuishouding. Het is zeer aannemelijk dat deze verschillen zijn ontstaan onder invloed van het slecht verterend strooisel van Adelaarsvaren (zie Den Ouden, 2000). Naast de verschillen in humusvorm en basenhuishouding tussen de lindenopstanden met en zonder Adelaarsvaren is er ook een aanzienlijk verschil in anorganisch fosfaatgehalte van de bovengrond. Mogelijk duidt dit verschil op een verschil in mestgift bij aanleg, maar het lijkt aannemelijker dat Adelaarsvaren fosfaat vastlegt in biomassa (wortelstokken) en strooisellaag en zo fosfaat aan de kringloop onttrekt (zie ook § 7.1). Wij hebben dit echter niet nader onderzocht.

De vraag is nu waarom Adelaarsvaren één van de lindenopstanden (linde 3) heeft weten binnen te dringen en de aansluitende opstand (linde 1) niet. Vóór aanleg van de lindenopstanden was in beide vakken eikenhakhout aanwezig, naar wij mogen aannemen met Adelaarsvaren net als nu het geval is in het aangrenzende oude eikenhakhout en de jongere eikenopstanden. Een mogelijke verklaring voor het verschil tussen beide opstanden is dat in de lindenopstanden met een gesloten kronendak de Adelaarsvaren is verdwenen ten gevolge van lichtgebrek (net als onder beuk, haagbeuk en esdoorn), terwijl de opstand met Adelaarsvaren geleden heeft onder een bosbrand die de bomen wel beschadigd maar niet gedood heeft (zie § 3.3). Het is zeer aannemelijk dat de plotselinge en zeer sterke toename van licht in de beschadigde opstand heeft geleid tot een invasie van Adelaarsvaren vanuit de aangrenzende eikenopstand, dan wel tot het ontwaken van nog aanwezige ‘slapende’ rhizomen. Het is bekend dat Adelaarsvaren sterk reageert op veranderingen in de beschikbare hoeveelheid licht, o.a. bij opstandswisseling, en onder gunstige omstandigheden een gemiddelde laterale uitbreiding van circa 2 meter per jaar kan realiseren (Den Ouden en Hommel, 2000). Het verhoogde lichtaanbod na de bosbrand was ongetwijfeld veel groter dan het subtiele ‘zijlicht’ in de lindenopstand met Bosanemoon (zie hierboven). Eenmaal gevestigd zal het ‘arme’, slecht verterende strooisel van de Adelaarsvaren humusvorm en basenhuishouding sterk hebben beïnvloed. Opvallend is echter dat de calcium-bezetting en H/Ca-verhouding in de strooisellaag van de opstand van linde met Adelaarsvaren vergeleken met de overige opstanden aanzienlijk gunstiger is dan in de de direct daaronder liggende laag het geval is. Vergelijken wij de scores in Tabel 7.1 voor de basenhuishouding in de twee bemonsterde lagen binnen het minerale bodemprofiel dan zien wij het zelfde verschijnsel. Dit suggereert dat het ‘rijke’ lindenstrooisel in de loop van de tijd aan invloed heeft gewonnen ten opzichte van het ‘arme’ strooisel van de Adelaarsvaren. Met herstel van de boomlaag en afname van de hoeveelheid licht op de bosbodem zal naar verwachting de Adelaarsvaren terugtreden en zullen, op termijn, tevens basen en nutriënten vanuit de strooisellaag en wortelstokken weer in de kringloop worden opgenomen.

8 Conclusies

Binnen de onderzochte opstanden is de invloed van onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van humusprofiel en de basenhuishouding beperkt. Met name de ontwikkeling van de opvallend 'rijke' ondergroei in de lindenopstand met Bosanemoon (linde 1) kan niet vanuit de onafhankelijke bodemkenmerken worden verklaard.

De invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel en de basenhuishouding is erg groot. Onder linde, en in mindere mate onder haagbeuk en esdoorn, zijn veranderingen opgetreden ten opzichte van de oorspronkelijke toestand waarvoor de oude eikenopstand als referentie kan dienen. Deze veranderingen impliceren een 'rijker' humusprofiel en een gunstiger basenhuishouding.

Het slechtverterend strooisel van Adelaarsvaren kan het 'verrijkend' effect van lindenstrooisel op humusprofiel en de basenhuishouding ten dele ongedaan maken.

De bodemontwikkeling onder esdoorn is niet geheel duidelijk: enerzijds lijkt in de minerale bovengrond een zeker herstel van de basenhuishouding op te treden, anderzijds is de strooisellaagvertering traag en vindt weinig doormenging plaats.

Onder invloed van 'rijk' goed verterend bladstrooisel is in enkele van de onderzochte opstanden een ontwikkeling in de richting van een 'rijker' bos op gang is gekomen. Op de onderzochte arme groeiplaatsen op de stuwwal bij Doorwerth (met leemgehalte van 13-17%) lijkt echter alleen linde in staat te zijn geweest het ecosysteem volledig te laten 'kantelen' en een ontwikkeling van een arm *Quercion* naar een rijk *Carpinion* te bewerkstelligen.

De ontwikkeling van een soortenrijk *Carpinion*-bos met diverse oud-bossoorten blijkt zich binnen enkele decennia te hebben kunnen voltrekken. In de omgeving waren reeds populaties van betreffende soorten aanwezig. De dispersiesnelheid van oud-bossoorten in relatie tot een duidelijke verbetering van het vestigingsmilieu dient echter nog nader onderzocht te worden.

Ook onder esdoorn en haagbeuk hebben zich 'rijke' soorten weten te vestigen (in onze opnamen alleen Gewone salomonszegel), maar het is vooralsnog niet duidelijk hoe de verdere ontwikkeling zal verlopen. Een rijke vorm van het *Fago-Quercetum* (mogelijk de subassociatie *convallarietosum*) is het meest waarschijnlijk.

De ontwikkeling onder linde lijkt sterk afhankelijk te zijn van de hoeveelheid licht die tot de bosbodem weet door te dringen. Is de hoeveelheid licht te gering dan blijft de vegetatieontwikkeling achter bij de (gunstige) ontwikkeling van humusprofiel en basenhuishouding. Is de hoeveelheid licht te groot dan kan de ontwikkeling richting 'rijk' bos, al dan niet tijdelijk, worden gefrustreerd door een invasie van Adelaarsvaren.

Literatuur

Bijlsma, R.J., 2002. *Bosrelicten op de Veluwe. Een historisch-ecologische beschrijving*. Rapport 647. Alterra, Wageningen. 92 pp.; 3 bijlagen.

Bijlsma, R.J., H. van Blitterswijk, A.P.P.M. Clerkx, J.J. de Jong, M.N. van Wijk & L.J. van Os, 2001. *Bospaden voor bosplanten. Bospaden en –wegen als transportroute, vestigingsmilieu, refugium en uitvalsbasis voor bosplanten*. Rapport 193. Alterra, Wageningen. 99 pp.

Böckmann, Th., 1990. *Wachstum und Ertrag der Winterlinde (Tilia cordata Mill.) in Niedersachsen und Nordbessen*. Diss. Georg-August-Universität, Göttingen. 143 pp.; 4 bijlagen.

Burg, J. van den, 1996. *De betekenis van bodem en klimaat voor het Nederlandse bos*. IBN Scientific Contributions 4. IBN-DLO, Wageningen; 276 pp.

Buis, E. en S. P. J. van Delft, 2003. *Handleiding Humusvormen 1; Een programma ter classificatie van humusvormen vanuit de Ecologische Bodemtypering*, Wageningen, Alterra. Rapport 708. 86 pp.

Commissie Advies Bosbemesting, 1990. *Eindadvies Commissie Advies Bosbemesting*. Rapportnr. 1990-11. Min. van landbouw, natuurbeheer en visserij, 's-Gravenhage. 63 pp.; 2 bijlagen.

Delft, S.P.J. van, C.M.A. Hendriks, E.E.J.M. Leeters, P. Mekking en H. Kleijer, 1988. *De bodemgeschiedenis voor bosbouw van de boswachterij Oostereng-Doorwerth. Een bodemgeografisch en vegetatiekundig onderzoek naar de invloed van de bodemgesteldheid en bodemvruchtbaarheid op de groeiverwachting voor 14 boomsoorten*. Rapport 1941. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen; 204 pp., 6 bijlagen.

Duvigneaud & Denaeyer-De Smet, 1973. *Biological Cycling of Minerals in Temperate Deciduous Forests*. In: D.E. Reichle (red.). *Analysis of Temperate Forests Ecosystems*.

Emmer, I.M., 1995. *Humus form and soil development during a primary succession of monoculture Pinus sylvestris forests on poor sandy substrates*. Proefschrift; Universiteit van Amsterdam. 135 pp.

Grashof-Bokdam, C.J., 1997. *Colonization of forest plants: the role of fragmentation*. IBN-Scientific Contributions. IBN-DLO, Wageningen. 103 pp.

Heath, G.W., M.K. Arnold & C.A. Edward, 1966. *Studies in leaf litter breakdown. I. Breakdown rates of leaves of different species*. Pedobiologica, Bd. 6: 1-12.

Hommel, P.W.F.M., P.C. de Hullu, J. den Ouden, Th. Spek & R.W. de Waal, 2001. *Terug naar het lindenwoud? Alternatieve boomsoortkeuze verhoogt ecologische en recreatieve waarde van bossen op verzuringsgevoelige bodem*. NBT 73(6): 12-23..

Hommel, P.W.F.M., Th. Spek & R.W. De Waal, 2002. *Boomsoort, strooiselkwaliteit en ondergroei op verzuringsgevoelige bodem; een verkennend literatuur- en veldonderzoek*. Rapport 509. Alterra, Wageningen. 112 pp.

Hommel, P.W.F.M., R.W. de Waal & Th. Spek, 2003a. *Oude lindenbossen op Jutland. Referentiebeelden voor bosontwikkeling in Nederland?* NBT 75(2): 13-21.

Hommel, P.W.F.M., Th. Spek & R.W. de Waal, 2003b. *De winterlinde terug in het Nederlandse bos? 'Rijk' strooisel geeft meer gevarieerde ondergroei*. In: F. Dijs (red.), *Vraag het de bomen; creativiteit in bosbeheer*. Matrijs, Utrecht; p. 71-75.

Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2003a. *Boomsoort bepaalt bostype op verzuringsgevoelige bodem*. Stratiotes 23: 3-19.

Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2003b. *Rijke bossen op arme bodems. Alternatieve boomsoortenkeuze verhoogt soortenrijkdom ondergroei op verzuringgevoelige gronden*. Landschap 20(4): 193-204.

Honnay, O., M. Hermy & P. Coppin, 1999. *Effects of area, age and diversity of forest patches in Belgium on plant species richness, and implications for conservation and reforestation*. Biological conservation 87: 73-84.

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

Kemmers, R.H., 1990. *De stikstof- en fosforhuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water*. Utrecht plant ecology news report 10: 7-22.

Kemmers, R.H. & R.W. de Waal, 1999. *Ecologische typering van bodems. Deel 1: Raamwerk en humusvormtypologie*. Rapport 667-1. Staring Centrum. Wageningen. 72 pp.

Kemmers, R.H., R.W. de Waal & S.P.J. van Delft, 2001. *Ecologische typering van bodems. Deel 3: Van typering naar kartering*. Rapport 352; Alterra, Wageningen. 45 pp.; 5 bijlagen.

Klinka, K., R.N. Green, R.L. Trowbridge & L.E. Lowe, 1981. *Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia*. B.C. Min. For. Land Manag. Rep. no. 8. Victoria, British Columbia.

Miles, J., 1985. *The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession*. J. Soil Science 36: 571-584.

Mitchell, J., 1973. *Mobilisation of phosphorus by Pteridium aquilinum*. Plant and Soil 38: 489-491.

Mouris, J.H., 1992. *Eikenbakhout in verleden, heden en toekomst. Studie naar teelt, beheer, toekomstmogelijkheden en natuurwaarde van eikenbakhout op de zuidelijke Veluwezoom*. Stage-verslag I.A.H. Larenstein, Velp / Staring Centrum, Wageningen. 44 pp., 2 bijlagen.

Muys, B., 1991. *Strooisel en humus: onbekend is onbemind*. Groene band 83-84: 11-35. Gent.

Nederlands Meststoffen Instituut, 1987. *Bosbemesting*. Brochure NMI, 's-Gravenhage; 9 pp.

Neiryneck, J. S. Mirtcheva, G. Sioen & N. Lust, 2000. *Impact of Tilia platyphyllos Scop., Fraxinus excelsior L., Acer pseudoplatanus and Fagus sylvatica L. on earthworm biomass and physico-chemical properties of a loamy topsoil*. Forest Ecology and Management 133: 275-286.

Nordén, U., 1994. *Influence of broad-leaved tree species on pH and organic matter content of Forest Topsoils in Scania, South Sweden*. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 1-8.

Ouden, J., 2000. *Above- and below-ground interference by bracken*. In: J. den Ouden. The role of bracken (*Pteridium aquilinum*) in forest dynamics. Proefschrift; LU Wageningen; p. 71-89.

Ouden, J. & P.W.F.M. Hommel, 2000. *Bracken dynamics in a managed forest ecosystem*. In: J. den Ouden. The role of bracken (*Pteridium aquilinum*) in forest dynamics. Proefschrift; LU Wageningen; p. 43-69.

Pulleman, M.P., M.J. Kooistra, Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, in voorb. *Strooiselvertering onder verschillende loofboomsoorten op de stuwval bij Doorwerth; micromorfologisch bodemonderzoek aan de hand van slijpplaten* (werktitel). Alterra-rapport.

Rackham, O., 1980. *Ancient Woodland; its history, vegetation and uses in England*. Edward Arnold, London. 402 pp.

Sioen, G., J. Neiryneck, D. Maddelein & B. Muys, 1991. *Site classification in a mixed hardwood forest (Hallerbos, Belgium) with a homogeneous ground vegetation dominated by Hyacinthoides non-scripta (L.) Chouard ex Rothm.* Paper gepresenteerd op IUFRO-congres. Clermond-Ferrand. 11 pp.

Wijvekate, M.L., 1974. *Verklarende statistiek. Het onderscheiden van toeval, schijn en werkelijkheid in cijfermateriaal*. Aula-boeken 39. Het Spectrum. Utrecht / Antwerpen. 14^{de} druk; 251 pp.

Bijlage A Groeikarakterisering van twee lindenopstanden

(metingen en berekeningen door V. de Boer, HAS Larenstein, Velp)

De metingen werden verricht met behulp van de 6^{de} boommethode. De dominante hoogte werd bepaald aan slechts één boom. Dit kan een geringe overschatting van de volkomenheidsgraad hebben veroorzaakt. Recente dunningen (winter 2001-2002) leiden tot een onderschatting. Voor de relatieve verschillen tussen de vier opnamen is dit alles van weinig betekenis. Bij de bepaling van het grondvlak en volume werd uitgegaan van de opbrengstabellen van Böckmann (1990; tabel 34).

Opname 1a. Vak 47j. Oostelijk van fietspad. In proefvlak 'linde 2'; schaarse ondergroei; niet beïnvloed door inwaai van meststoffen. Jaar van aanleg: 1949. Datum opname: 18 september 2002

Oppervlakte plot (m ²)	103,90
Gemiddelde dbh (cm)	23,20
Gemiddelde hoogte (m)	21,3
Dominante hoogte (m)	24,00
Aantal bomen per ha	577,70
Grondvlak in opstand (m ² /ha)	25,50
Grondvlak volgens tabel (m ² /ha)	26,30
Volkomenheidsgraad	0,97
Volume volgens tabel (m ³ /ha)	302,50
Volume in opstand (m ³ /ha)	293,40

Opname 1b. Vak 47j. Westelijk van fietspad. Bij proefvlak 'linde 2', maar dicht bij bosrand; schaarse ondergroei; mogelijk beïnvloed door inwaai van meststoffen. Jaar van aanleg: 1949. Datum opname: 18 september 2002.

Oppervlakte plot (m ²)	130,70
Gemiddelde dbh (cm)	26,50
Gemiddelde hoogte (m)	22,60
Dominante hoogte (m)*	24,10
Aantal bomen per ha	459,10
Grondvlak in opstand (m ² /ha)	25,30
Grondvlak volgens tabel (m ² /ha)	26,30
Volkomenheidsgraad	0,96
Volume volgens tabel (m ³ /ha)	302,50
Volume in opstand (m ³ /ha)	290,40

Opname 2a. Vak 47t. Noordoostelijk van dwarspad; in proefvlak 'linde 3'; met Adelaarsvaren; waarschijnlijk enigszins beïnvloed door brand. Jaar van aanleg: 1949. Datum opname: 24 september 2002.

Oppervlakte plot (m ²)	98,5
Gemiddelde dbh (cm)	22,3
Gemiddelde hoogte (m)	19,9
Dominante hoogte (m)*	24,7
Aantal bomen per ha	609,0
Grondvlak in opstand (m ² /ha)	23,9
Grondvlak volgens tabel (m ² /ha)	26,4
Volkomenheidsgraad (%)	0,91
Volume volgens tabel (m ³ /ha)	311,5
Volume in opstand (m ³ /ha)	283,5

Opname 2b. Vak 47t. Zuidwestelijk van dwarspad; proefvlak 'linde 3'; dominantie van Braam; grenst aan deels afgestorven haagbeukenopstand (vak 47s); waarschijnlijk sterker beïnvloed door brand. Jaar van aanleg: 1949. Datum opname: 24 september 2002.

Oppervlakte plot (m ²)	91,6
Gemiddelde dbh (cm)	19,8
Gemiddelde hoogte (m)	17,7
Dominante hoogte (m)	24,7
Aantal bomen per ha	655,0
Grondvlak in opstand (m ² /ha)	20,2
Grondvlak volgens tabel (m ² /ha)	26,4
Volkomenheidsgraad (%)	0,76
Volume volgens tabel (m ³ /ha)	311,5
Volume in opstand (m ³ /ha)	238,0

* Dominante hoogte werd bepaald in aangrenzende strook met proefvlak 'linde 1'. Ten gevolge van rigoreuze dunning in winter 2001-2002 werd een houtmeting in deze relatief smalle strook niet verantwoord geacht.