

Strooiselafbraak onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth

Strooiselafbraak onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth

Micromorfologisch onderzoek van de humusprofielen

**M.M. Pulleman
M.J. Kooistra
P.W.F.M. Hommel
R.W. de Waal**

Alterra-rapport 1052

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

Pulleman, M.M., M.J. Kooistra, P.W.F.M. Hommel, & R.W. de Waal, 2005. *Strooiselafbraak onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth; Micromorfologisch onderzoek van de humusprofielen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1052. 82 blz. 41 fig.; 2 tab.; 23 ref.

Dit rapport presenteert de resultaten van een micromorfologisch onderzoek van slijpplaten gemaakt in humusprofielen onder verschillende loofboomsoorten op een zwak lemige stuwwalbodem bij Doorwerth (Gelderland). Er werden opstanden vergeleken van linde, esdoorn, haagbeuk, eik en beuk. Het onderzoek was het vervolg van eerder gepubliceerd onderzoek naar de relatie tussen loofboomsoort, humus en ondergroei op dezelfde locaties (Alterra-rapport 920). Hieruit bleek dat onder invloed van het 'rijke', goed verterende bladstrooisel van linde, esdoorn en haagbeuk 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. Het micromorfologisch onderzoek ondersteunt deze resultaten, geeft inzicht in de onderliggende processen en laat zien welke groepen bodemorganismen bij de vorming van de verschillende humusvormen betrokken zijn. Ook wordt duidelijk dat bodemverdichting ten gevolge van berijding de ontwikkeling naar een 'rijker' bostype kan vertragen.

Trefwoorden: bodemverdichting, bodemfauna, bodemflora, boscossystemen, humusprofiel, lindenbos, slijpplaten, strooiselkwaliteit, Veluwe.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1052. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

Foto omslag

Slijpplaat van het humusprofiel van een circa 50 jaar oude lindenopstand met soortenrijke ondergroei (o.a. Bosanemoon en Witte klaverzuring). Opvallend zijn de dunne strooisellaag, de sterke menging van organisch en mineraal bodemmateriaal, en het voorkomen van veel meso- en macrofauna excrementen (foto: Mirjam Pulleman).

© 2005 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	13
2 Materiaal en methoden	17
2.1 Het studiegebied	17
2.2 De onderzochte opstanden	18
2.3 Werkwijze	21
3 Resultaten	29
3.1 Linde 1 (met soortenrijke ondergroei)	29
3.2 Linde 2 (met schaarse ondergroei)	33
3.3 Linde 3 (met ondergroei van Adelaarsvaren)	39
3.4 Esdoorn	43
3.5 Haagbeuk	48
3.6 Eik (jong)	52
3.7 Eik (oud)	57
3.8 Beuk (jong)	60
3.9 Beuk (oud)	64
4 Discussie	69
4.1 De onderzoeksopzet en de vergelijkbaarheid van de onderzoekslocaties	69
4.2 Ecologisch relevante bodemkenmerken	69
4.3 Vergelijking van de drie lindenopstanden	72
4.4 De overige opstanden	73
5 Conclusies	77
Literatuur	81

Woord vooraf

Het voor u liggend rapport doet verslag van een micromorfologisch onderzoek dat werd uitgevoerd in het kader van het meerjarige Alterra-onderzoeksproject 'Boomsoortkeuze op verzuringgevoelige 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.

Het micromorfologisch onderzoek was het vervolg van eerder gepubliceerd onderzoek naar de relatie tussen loofboomsoort, humus en ondergroei op dezelfde locaties (Alterra-rapport 920). In het voorliggend rapport staat de relatie tussen bodemorganismen, strooiselafbraak en humusprofiel onder verschillende loofboomsoorten centraal. Het onderzoek werd verricht met behulp van slijpplaten, vervaardigd door Dick Schreiber (Alterra).

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

Ecologische en recreatieve waarden spelen een steeds belangrijkere rol in het Nederlandse bosbeheer. Dit vraagt om nieuwe vormen van beheer, o.a. gericht op verhoging van de biodiversiteit. De boomsoortkeuze kan hierbij een rol spelen, omdat deze bepalend is voor de strooiselsamenstelling. De afbreekbaarheid van het strooisel heeft een grote invloed op de ontwikkeling van de bodem en de ondergroei.

In een eerder onderzoek vonden Hommel *et al.* (2002) dat op matig voedselrijke, verzuringgevoelige groeiplaatsen (zoals de Veluwe stuwwallen) producenten van slechtverterend strooisel (o.a. eik, beuk en naaldboomsoorten) de bosontwikkeling sturen in de richting van een soortenarm bos. Producenten van goedverterend strooisel (o.a. linde en esdoorn) bevorderen de ontwikkeling van een soortenrijke ondergroei. In de praktijk kunnen echter grote verschillen optreden in de mate waarin de invloed van goed afbreekbaar strooisel tot uitdrukking komt in de vegetatie. Voor een beter begrip van de omstandigheden en processen die bepalen in welke richting een bossysteem zich ontwikkelt, is er vanuit het bosbeheer behoefte aan nader onderzoek naar de dynamische aspecten van de relaties tussen boomsoort, humusprofielontwikkeling en ondergroei.

Deze relaties zijn onderzocht in verschillende loofboomopstanden op éénzelfde verzuringgevoelig bodemtype (een leemarme stuwwalbodem bij Doorwerth). Negen verschillende opstanden zijn bestudeerd, variërend in boomsoort, leeftijd en samenstelling van de ondergroei. Het betreft zeven opstanden van eik, beuk, esdoorn, linde en haagbeuk, die circa 50 jaar geleden zijn aangelegd na kap van het aanwezige eikenhakhout. Daarnaast zijn als referentie een oude eiken- en een oude beukenhakhoutopstand (> 100 jaar) bestudeerd. Er zijn drie verschillende lindenopstanden onderzocht, variërend in ondergroei: (i) soortenrijk met o.a. Bosanemoon en Witte klaverzuring (ii) vrijwel zonder ondergroei; en (iii) met dominantie van Adelaarsvaren.

Het onderzoek in deze opstanden bestond uit twee delen: Hommel & De Waal (2004) hebben de vegetatiesamenstelling, humusvorm en chemische bodemeigenschappen onderzocht. Het rapport dat nu voor u ligt beschrijft het aanvullende micromorfologische onderzoek naar de opbouw en samenstelling van het humusprofiel, gericht op de onderliggende processen die bepalend zijn voor de in het veld geconstateerde diversiteit in humustypen.

De belangrijkste vragen van het micromorfologisch onderzoek waren:

- Hoe verloopt de strooiselomzetting en de ontwikkeling van het humusprofiel onder verschillende loofboomsoorten?
- Welke andere factoren (bijvoorbeeld verstoringen) zijn van invloed geweest op de geconstateerde verschillen in humusprofielontwikkeling?
- Welke factoren kunnen de verschillen in vegetatieontwikkeling in de drie lindenopstanden van gelijke leeftijd en op één en hetzelfde bodemtype verklaren?

- Zijn de verschillen in strooiselomzetting te verklaren doordat bepaalde bodemorganismen niet alle onderzochte opstanden hebben weten te bereiken of is er sprake van ‘ontwijk-gedrag’?

In alle opstanden is een ongestoord monster genomen van het humusprofiel. Deze monsters zijn geïmpregneerd, verwerkt tot slijpplaten en geanalyseerd met een polarisatie lichtmicroscop. De slijpplaten zijn systematisch beschreven en geïnterpreteerd, waarbij specifiek is gekeken naar de opbouw van het humusprofiel, de omzettingsprocessen van het strooisel, de rol van de bodemfauna en –flora (vnl. microben en schimmels) en het voorkomen van diverse verstoringen.

De resultaten van het micromorfologisch onderzoek bevestigen dat alle opstanden zijn gelegen op hetzelfde moedermateriaal. Het uitgangsmateriaal betreft in alle gevallen een goed gedraineerde, oude bosbodem met duidelijke huidjes om de zandkorrels in de B-horizont. Inmiddels zijn er in de humusprofielen onder de verschillende opstanden veranderingen opgetreden ten opzichte van de oorspronkelijke toestand, waarbij de oude eikenopstand als referentie dient. Het slijpplaatonderzoek toont verder aan dat er grote verschillen zijn in het verloop van de strooiselvertering onder de verschillende loofboomopstanden op arme zandgrond. Dit resulteert in verschillen in de dikte van het ectorganisch profiel, de mate van uitloging van de zandkorrels direct onder het ectorganische profiel en de ontwikkeling van de humusvorm. Deze varieert van een ‘rijke’ mull(modern) naar ‘arme’ mor(modern) binnen éénzelfde groeiplaats.

De invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel is groot. De kwaliteit van het strooisel heeft vooral een grote invloed op de dikte van de strooisellaag en de ontwikkeling van het humusprofiel. Er bestaat een duidelijk verband tussen de humusvorm en de diversiteit van de bodemfauna in de verschillende opstanden. Vooral de macrofauna speelt een belangrijke rol bij de initiële verkleining van het strooisel en de meniging van organische resten met de minerale bodem. Veel van de verschillen tussen de profielen zijn dan ook te verklaren aan de hand van verschillen in de diversiteit van de aanwezige strooiselverterende organismen ten gevolge van variaties in strooiselkwaliteit of verstoringen van het bodemmilieu.

In de soortenrijke lindenopstand (Linde 1) leidt de goede afbreekbaarheid van het lindestrooisel tot de aanwezigheid van een diverse bodemfauna, een relatief dunne strooisellaag en een goede menging van organisch en mineraal materiaal. Het humusprofiel worden gekarakteriseerd als een mull(modern). Duidelijke verschillen tussen de drie linde-opstanden laten echter zien dat ook andere factoren zoals lichtinval en verstoringen als brand en bodemverdichting invloed kunnen hebben op de strooiselafbraak en de bodemfaunasamenstelling. Opstand Linde 2 wordt gekenmerkt door het nagenoeg ontbreken van ondergroei en door een geringere diversiteit en activiteit van de bodemfauna. Mogelijk is dit het gevolg van een verminderde lichtinval in deze (tot voorkort) zeer gesloten opstand. Ook toont de slijpplaat duidelijke sporen van bodemverdichting, die remmend werkt op de strooiselafbraak. De dominantie van Adelaarsvaren in opstand Linde 3 is

waarschijnlijk het gevolg van de sterk toegenomen lichtinval na een brand. Het slechtverterende strooisel van Adelaarsvaren doet het gunstige effect van het lindestrooisel weer gedeeltelijk teniet, resulterend in de ontwikkeling van een moder, zonder duidelijke mullachtige eigenschappen.

Niet alleen de chemische samenstelling van het strooisel maar ook de fysische kenmerken zijn van belang voor de afbreekbaarheid van het strooisel. Ondanks de relatief goede chemische kwaliteit van het strooisel in de esdoornopstand is hier toch een redelijk dik ectorganisch profiel aanwezig en heeft opvallend weinig menging met de minerale bodem plaatsgevonden. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de dakpansgewijze structuur van de bladresten in de onderkant van het ectorganisch profiel, waartussen het zo vochtig blijft dat schimmels beter gedijen dan de bodemfauna. In de minerale bodem wordt het afbraakproces gedomineerd door de vertering van de opvallend grote hoeveelheid wortelmateriaal die hier aanwezig is. Hierdoor is er sprake van een 'twee-fasen systeem', waarbij het bodemmilieu voornamelijk wordt gereguleerd door de afbraak van ondergrondse biomassa in plaats van door de strooiselkwaliteit.

De dikste humusprofielen worden gevormd onder beide beuken- en eikenopstanden. Hier wordt de omzetting gedomineerd door mesofauna en schimmels en bacteriën wat resulteert in verzuring, de vorming van amorfe humus en vervloeiing van de moder tot een meer mor-achtig profiel. Dit is in mindere mate ook het geval in de haagbeukenopstand, waardoor haagbeuk wat betreft strooiselkwaliteit en diversiteit van de afbraak een middenpositie inneemt tussen linde en esdoorn enerzijds, en eik en beuk anderzijds.

Verdere verzuring en ontwikkeling in de richting van een mor-achtig profiel vindt plaats onder Eik (jong), zelfs sterker dan in Eik (oud). Dit houdt mogelijk verband met de ouderdom van de humusprofielen, waarbij uiteindelijk weer een ontwikkeling naar een moder kan plaatsvinden. Beide profielen onder beuk lijken erg op elkaar, hoewel Beuk (jong) zich minder duidelijk ontwikkeld heeft. De humusvorm onder jonge beuk is een mormoder profiel, terwijl in Beuk (oud) de moder sterker gedegradéerd is en meer neigt naar een mor-achtig profiel. Het is echter onduidelijk of dit verklaard wordt door het verschil in ouderdom van de profielen of dat het voorkomen van een verstoring in het profiel onder Beuk (jong) door een of andere vorm van groundbewerking, de humusprofielontwikkeling richting mor(modér) geremd heeft.

1 Inleiding

Achtergrond

Natuurwaarde en recreatie worden in toenemende mate beschouwd als belangrijke functies van de Nederlandse bossen. Ecologische en recreatieve waarden spelen daarom een steeds grotere rol in het beheer van de bossen. Dit vraagt om nieuwe vormen van bosbeheer, die gericht zijn op het verhogen van de diversiteit in de bosstructuur en zo bijdragen aan een gevarieerd boscossysteem met een hoge natuurwaarde. Enkele voorbeelden van natuurgericht en geïntegreerd bosbeheer zijn het creëren van open plekken, bosbegrazing en het laten liggen van dood hout. Maar ook via de boomsoortkeuze is de ecosysteemontwikkeling te sturen. De samenstelling van de boomlaag beïnvloedt de soortensamenstelling van de ondergroei. Dit is niet alleen vanwege een effect op lichtinval en wortelconcurrentie; de boomsoort is ook bepalend voor de samenstelling en afbreekbaarheid van het strooisel. Dit beïnvloedt vervolgens de ontwikkeling van de bodem en de ondergroei. Vanuit het bosbeheer is er behoefte aan een beter inzicht in de relatie tussen boomsoort, strooisellaag en ondergroei om de ontwikkeling van gevarieerde, ecologisch waardevolle en recreatief aantrekkelijke bossen doelgericht te kunnen sturen.

De bodemfauna en -flora reageert selectief op verschillende typen bladstrooisel, waardoor de vertering van strooisel op één en dezelfde groeiplaats anders verloopt onder verschillende boomtypen. Afhankelijk van de samenstelling van de bodemfauna, verloopt de vertering van strooisel sneller onder linde, iep, es en berk dan onder eik en beuk en de verschillen in afbreeksnelheid worden versterkt naarmate de groeiplaats zuurder en armer is (Heath *et al.*, 1966). Verschillen in de samenstelling van de bodemfauna en -flora (vnl. microben en schimmels) de snelheid van strooiselafbraak resulteren in verschillen in zuurgraad, basenhuishouding en humusvorm die vervolgens van invloed zijn op de samenstelling van de ondergroei. In dit verband spreken Hommel *et al.* (2002), in navolging van Jenny (1961), van de *afhankelijke standplaatsfactoren*. De factoren die bepalend zijn voor de groeiplaats als min of meer onveranderlijk abiotisch kader worden *onafhankelijke factoren* genoemd. Binnen het traject van de matig voedselrijke, verzuringgevoelige bodemtypen is de invloed van de boomsoort (de strooiselkwaliteit) op de secundaire standplaatsfactoren dominant en bepalend voor de richting waarin het ecosysteem zich ontwikkelt.

In een verkennend literatuur- en veldonderzoek in een zestal Nederlandse bosgebieden gelegen op verschillend moedermateriaal vonden Hommel *et al.* (2002) dat verschillende boomsoorten resulteerden in verschillen in afhankelijke standplaatsfactoren en soortensamenstelling van de ondergroei. Boomsoorten met een goed verterend strooisel zoals es, esdoorn en vooral linde leidden tot een rijker bos, terwijl boomsoorten met slechter verterend strooisel als eik, beuk en de meeste naaldhoutsoorten leidden tot een armer bossysteem. Vooral op matig voedselrijke, verzuringgevoelige groeiplaatsen, zoals de Veluwe stuwwal, bleken producenten van

slechtverterend strooisel de bosontwikkeling te kunnen sturen in de richting van een 'arm' bos (*Quercetea roburi-petraeae*). Producenten van goedverterend strooisel bleken de ontwikkeling te kunnen doen omslaan in de richting van een 'rijk' bos (*Querceto-Fagetum*). Dit zou betekenen dat met name op matig voedselrijke, verzuringgevoelige groeiplaatsen de aanplant van boomsoorten met goed verterend strooisel de ontwikkeling van een recreatief aantrekkelijk en ecologisch waardevol bos kan bevorderen. Vooral linde leek wat dit betreft potentie te hebben om de ontwikkeling van een 'rijk' bos met een diverse, aantrekkelijke ondergroei te bevorderen (Hommel *et al.*, 2002).

Probleem

Voor een beter begrip van de omstandigheden en processen die bepalen in welke richting een bossysteem ('arm' dan wel 'rijk') zich ontwikkelt onder invloed van verschillende loofboomsoorten, is nader onderzoek nodig naar de dynamische aspecten van de relatie tussen boomsoort, strooisellaag, en ondergroei.

Een belangrijke vraag is of de verschillende producenten van rijk strooisel kunnen bijdragen aan behoud of herstel van de basenhuishouding van de bovengrond in de overwegend voedselarme bosbodems van Nederland. Het is onduidelijk in hoeverre herstel van door verzuring en verarming gedegradeerde bosbodems mogelijk is en, zo ja, hoe lang dergelijke herstelprocessen duren. Vooral over de toepasbaarheid van linde in het Nederlands bos is weinig bekend.

Bij het veldonderzoek is bovendien 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 op korte afstand, binnen één bosgebied en zelfs tussen opstanden met een zelfde boomsoort, optreden. Inzicht in de factoren die bepalend zijn voor het succes van het 'rijk-strooiseleffect' is daarom van groot belang voor de natuurgerichte bosbouwpraktijk. (Hommel & de Waal, 2004).

Doelstelling

Om deze vragen te beantwoorden is de relatie tussen boomsoort, strooisellaag, bodemeigenschappen en ondergroei onderzocht in verschillende loofboomopstanden op één zelfde (verzuringgevoelig) bodemtype. In een gebied met een leemarme stuwwalbodem bij Doorwerth (Gelderland) zijn negen verschillende opstanden geselecteerd, variërend in boomsoort, leeftijd en samenstelling van de ondergroei. Het betreft hier opstanden van eik (2), beuk (2), esdoorn (1), linde (3) en haagbeuk (1). Zeven van deze opstanden zijn circa 50 jaar geleden aangelegd na kap van het aanwezige eikenhakhout. Daarnaast werden als referentie twee oude hakhoutopstanden (> 100 jaar) bij het onderzoek betrokken: één met eik en één met beuk. Opvallend was dat de drie onderzochte lindenopstanden een zeer verschillende ondergroei hadden: 'rijk' met bosanemoon; vrijwel zonder ondergroei; en 'arm' met dominantie van adelaarsvaren.

Het onderzoek in deze opstanden bestond uit twee delen: In de eerste plaats zijn de vegetatiesamenstelling, humusvorm en chemische bodemeigenschappen bepaald. De

resultaten van dit onderdeel worden beschreven in het rapport van Hommel & de Waal (2004). Het rapport dat nu voor u ligt beschrijft het micromorfologisch onderzoek van de humusprofielen in de negen verschillende loofboomopstanden. Hierbij is specifiek gekeken naar de opbouw en samenstelling van het humusprofiel. Micromorfologische bestudering van de ongestoorde humusprofielen in slijpplaten biedt de mogelijkheid om de opbouw en genese van het humusprofiel in detail te onderzoeken. Vooral het verloop van de strooiselafbraak en de samenstelling en rol van de bodemflora en fauna kan bij uitstek door slijpplaatonderzoek worden bestudeerd. Bovendien kan eventuele invloed van verstoringen in het verleden, zoals bodemverdichting of brand, in de slijpplaten worden teruggevonden.

De specifieke vragen van het micromorfologisch onderzoek waren:

- Hoe verloopt de strooiselomzetting en de ontwikkeling van het humusprofiel onder verschillende loofboomsoorten?
- Welke andere factoren (bijvoorbeeld verstoringen) zijn van invloed geweest op de geconstateerde verschillen in humusprofielontwikkeling?
- Welke factoren kunnen de verschillen in vegetatieontwikkeling in de drie lindenopstanden van gelijke leeftijd en op één en hetzelfde bodemtype verklaren?
- Zijn de verschillen in strooiselomzetting te verklaren doordat bepaalde bodemorganismen niet alle onderzochte opstanden hebben weten te bereiken of is er sprake van 'ontwijk-gedrag'?

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport worden het onderzoeksgebied en de negen onderzochte opstanden kort beschreven. Hierbij worden het bodemtype, de ouderdom van de opstanden en de samenstelling van de ondergroei besproken. Tevens wordt ingegaan op de bemonsteringsaanpak, het vervaardigen van de slijpplaten en de werkwijze van het micromorfologisch onderzoek. In het daarop volgende hoofdstuk worden de slijpplaten uit de negen opstanden systematisch beschreven en voor elke opstand wordt een korte interpretatie gegeven van de waargenomen verschijnselen. In hoofdstuk 3 wordt een discussie van de resultaten gegeven. Hierbij wordt een koppeling gemaakt met de resultaten van het eerste onderdeel van het onderzoek (Hommel & De Waal, 2004). Daarnaast worden onze bevindingen ook vergeleken met, of verklaard aan de hand van, bestaande literatuur.

2 Materiaal en methoden

2.1 Het studiegebied

De onderzochte opstanden liggen in de Staatsbossen bij Doorwerth op de stuwwal van Arnhem en maken deel uit van de Boswachterij Oostereng-Doorwerth. De opstanden liggen op relatief vlakke delen van de stuwwal; het hellingspercentage bedraagt maximaal 3%. De ondergrond bestaat uit zwak lemige, gestuwde afzettingen, plaatselijk bedekt met een solifluctiedek van dekzand of grindhoudende en grofzandiger gestuwde afzettingen (Hommel & De Waal, 2004). Hierin hebben zich Holtpodzolgronden (een subgroep binnen de Moderpodzolen) ontwikkeld (van Delft *et al.*, 1988; de Bakker & Schelling, 1989).

Holtpodzolgronden liggen veel op de rijkere delen van de Veluwe stuwwallen. Vooral op de Veluwe zijn deze bodems in het verleden op veel plaatsen diep omgezet voor de eikenhakhoutcultuur. De door de grondbewerking versterkte oxidatie van de humus heeft deze vergraven Holtpodzolen aanzienlijk verarmd. De bodems worden gekenmerkt door de aanwezigheid van een strooisellaag van enkele centimeters dik en een humusrijke bovengrond. In de bovenkant van het minerale profiel komt uitloging voor, resulterend in bleke zandkorrels en een grijze kleur (AE-horizont). In de 'moder-B'-horizont is inspoeling van amorfe humus en sesquioxiden opgetreden en zijn de zandkorrels omhuld met donkergekleurde huidjes. Organische stof komt echter overwegend voor in niet-amorfe vorm in zogenaamde moderbolletjes die tussen de zandkorrels liggen. Hierin is de organische stof sterk vermengd met silt en klei door de activiteit van mesofuana, vooral potwormen. Het onderliggende moedermateriaal bestaat uit geelbruin, humusarm, kalkloos, zwak lemig grof zand met ijzerhuidjes om de zandkorrels. Meestal bevat het gehele profiel grind (de Bakker & Schelling, 1989).

Binnen het studiegebied zijn negen verschillende loofboomopstanden onderzocht: Twee beukenopstanden, twee eikenopstanden, een opstand met Haagbeuk, een met Gewone esdoorn en drie met linde (Tabel 2.1). De eikenopstanden bestaan grotendeels uit Zomereik; sporadisch is ook Wintereik aanwezig. De lindenopstanden bestaan uit Hollandse linde, dwz de bastaard tussen Winterlinde en Zomerlinde. Mogelijk zijn ook enige exemplaren zuivere Winterlinde aanwezig (Hommel & De Waal, 2004). Twee van de onderzochte opstanden zijn meer dan honderd jaar oud: het betreft hier voormalig eiken- en beukenhakhout (Th. Heufkens, Staatsbosbeheer, mond. med.). In de overige gevallen gaat het om jongere opstanden, die kort na de Tweede Wereldoorlog 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).

Bij aanleg van de jonge opstanden vlak na de Tweede Wereldoorlog werden bomkraters geëgaliseerd en wortelkluiten uitgegraven (Th. Heufkens, mond. med.). De opstandlegger (1976) vermeldt grondbewerking bij aanleg tot een diepte van 10 à 30 cm op de plantplaatsen en een plantafstand van 1,5 meter. Bij aanleg van de jonge opstanden is bemest met kalk en Thomas slakkenmeel, waarschijnlijk in de plantgaten. 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 gedefinieerde ‘nevenbestanddelen’. Thomas slakkenmeel is fijngemalen hoogovenslak en 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 bij aanleg nauwelijks sprake geweest van bodembewerking en/of bemesting. Wij gaan ervan uit dat hier geen bemesting met kalk of slakkenmeel is toegepast.

Volgens veldschattingen varieert het gemiddelde leemgehalte in de bovenste 100 cm van het bodemprofiel onder de opstanden van 11-17%. De korrelgrootte van de zandfractie varieert weinig met de diepte en in de ruimte; er komen geen significante verschillen tussen de opstanden voor (Hommel & De Waal, 2004). Gezien de geringe variaties in bodemtextuur, natuurlijke nutriëntenrijkdom en grondbewerkings- en bemestingsgeschiedenis, en het ontbreken van een eenduidige relatie met de vegetatieontwikkeling, is het zeer onwaarschijnlijk dat deze verschillen een significante invloed hebben op de vegetatieontwikkeling (Hommel & De Waal, 2004).

Tabel 2.1. Overzicht van de onderzochte opstanden

Code (boomsoort)	leeftijd op tijdstip van bemonstering (2003) (jr)	Ondergroei *)
Linde 1	54	Rijke ondergroei met o.a. Bosanemoon en Witte klaverzuring
Linde 2	54	-
Linde 3	54	Adelaarsvaren
Esdoorn	54	-
Haagbeuk	55	-
Eik (jong)	54	Adelaarsvaren, Braam
Eik (oud)	> 100	Adelaarsvaren
Beuk (jong)	55	-
Beuk (oud)	> 100	-

*) - : schaarse ondergroei

Voor meer gedetailleerde informatie over de ligging van de bemonsterde opstanden zie Hommel & De Waal (2004).

2.2 De onderzochte opstanden

Linde 1 (met soortenrijke ondergroei)

Deze 54-jaar oude lindenopstand heeft een goed ontwikkelde vegetatie. De soortenrijke ondergroei bevat oud-bossoorten als Witte Klaverzuring, Bosanemoon, Gewone Salomonszegel en Dalkruid (Hommel & De Waal, 2004). In deze opstand

waren vegetatie en bodem behoorlijk verstoord ten gevolge van dunningswerkzaamheden en houtopslag. De bodem bestaat hier uit moderpodzolen. Deze zijn niet overal duidelijk ontwikkeld (BCw in plaats van een Bw). Getuige de afwezigheid van duidelijk uitgeloopte-horizonten (AE of E) of micropodzolen functioneert de bodem ook ecologisch gezien nog als een milde moderpodzol. Het leemgehalte varieerde van 13 tot 15% en de mediaan van de korrelgrootte is circa 180 µm; er is door het gehele profiel regelmatig een grindkorrel aan te treffen. In deze lindenopstand is altijd sprake geweest van een relatief groot lichtaanbod, ook voor de recente dunning. (Hommel & De Waal, 2004).

Linde 2 (met schaarse ondergroei)

Ook deze lindenopstand is 54 jaar oud. De vegetatie is hier slecht ontwikkeld. Zowel het totaal aantal soorten als het aantal oud-bossoorten is laag. De aanwezigheid van Salomonszegel in de opstand en Bosanemoon aan de rand van de opstand duidt op een ontwikkeling richting 'rijke bossen' (*Quercus-Fagetum*). Er zijn echter ook plekken die, vooral op grond van de mosflora, overeenkomsten vertonen met die van 'arme bossen' (*Quercus-robore petraeae*) (Hommel & De Waal, 2004). De plek is 2 jaar geleden gedund, maar had daarvoor minder lichtinval. De opstand is aanzienlijk verstoord door werkzaamheden van de bosbouwers. In deze opstand is het leemgehalte 15% en de korrelgrootte van de zandfractie is gelijk aan die van de eerste lindeplek (mediaan circa 180 µm). Het grindgehalte neemt onderin het profiel wat toe. In de profielen is enige uitloging van de bovengrond zichtbaar (voorkomen van Ahe-horizonten). Er is hier dus al sprake van enige degradatie van de moderpodzolgronden (Hommel & De Waal, 2004).

Linde 3 (met Adelaarsvaren)

Wederom betreft dit een 54 jaar oude lindenopstand. De ondergroei heeft gemiddeld een iets hoger soortenaantal en iets meer oud-bossoorten dan Linde 2. De vegetatie wordt gedomineerd door Adelaarsvaren. Ook komen Witte Klaverzuring en Gewone Salomonszegel voor. Dit wijst op een 'rijke' variant van de associatie *Fago-Quercetum pteridietosum* (Hommel & De Waal, 2004). De plek is 2 jaar geleden gedund, maar had daarvoor minder lichtinval. Ook deze opstand is sterk beschadigd. In de bovengrond is plaatselijk wat verdichting opgetreden door bosbouwwerktuigen. Het is onduidelijk waarom hier zoveel Adelaarsvaren voorkomt. Mogelijk wordt dit verklaard door vicinisme of door de effecten van brand. Schade aan de bast van de bomen in suggereert namelijk dat hier een oppervlakkig bosbrandje heeft gewoed die de bomen wel heeft beschadigd, maar niet heeft gedood. De bodemprofielen vertonen veel overeenkomst met die van de opstand Linde 2. Ook de korrelgrootte van de zandfractie en het leemgehalte komen overeen. Eveneens komen hier enigszins uitgeloopte Ahe-horizonten voor (door Hommel & De Waal (2004) als AE betiteld).

Esdoorn

De esdoornopstand is 54 jaar oud. De ondergroei is schaars en soortenarm en vertoont overeenkomsten met die in Linde 2. De aanwezigheid van Gewone Salomonszegel duidt op een ontwikkeling richting 'rijke bossen' (*Quercus-Fagetum*), maar de aanwezige mosflora komt eerder overeen met de 'arme bossen' (*Quercus-robore petraeae*). Ook komt hier wat Braam voor. De vegetatie is (nog) te slecht

ontwikkeld om eenduidig geassocieerd te worden, maar ontwikkeling richting *Fago-Quercetum* lijkt het meest waarschijnlijk. De bodem onder de esdoornopstand heeft een leemgehalte van 14%. De korrelgrootte van de zandfractie varieert van 160 – 200 µm. De moderpodzolen bestaan in twee van de drie beschreven profielen uit een enigszins gedegradeerde vorm met Ahe-horizonten; op de derde plek is geen spoor van verdere uitspoeling zichtbaar. (Hommel & De Waal, 2004).

Haagbeuk

Deze opstand is 55 jaar oud. De ondergroei komt sterk overeen met die van de esdoornopstand. Ook hier is de vegetatie te slecht ontwikkeld om deze eenduidig te kunnen classificeren, maar lijkt ontwikkeling richting het *Fago-Quercetum* het meest waarschijnlijk. Eveneens komt plaatselijk Braam voor. Er is jonge aanwas van Gewone esdoorn en Amerikaanse vogelkers. De plek is sterk verstoord door machines. De bodemprofielen onder de haagbeukenopstand zijn iets lemiger dan onder linde en esdoorn (leemgehalte 17%). Toch wijzen uitlogingsverschijnselen ook hier op een humuspodzol, ondanks de aanwezigheid van een vage moderpodzol. De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 170 – 180 µm (Hommel & De Waal, 2004).

Eik (jong)

Dit is een 54 jaar oude eikenopstand met een ondergroei bestaande uit Wilde lijsterbes, Amerikaanse vogelkers, Braam en Adelaarsvaren. De opstand is vrij soortenarm. Adelaarsvaren is de enige oud-bossoort die hier voorkomt. Qua classificatie gaat hier om een ‘arme’ variant van de subassociatie *Fago-Quercetum pteridietosum*. 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 µm. 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 aluminiumoxide (Hommel & De Waal, 2004).

Eik (oud)

Het betreft een meer dan honderd jaar oude opstand van eikenhakhout. Ook deze opstand is vrij soortenarm. In de ondergroei domineert de Adelaarsvaren. Ook hier pleit het bedekkend optreden van Adelaarsvaren voor een classificatie als *Fago-Quercetum pteridietosum* en gaat het om een ‘arme’ variant. Het leemgehalte van de bodem is relatief hoog (17%). De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 180 µm; naar onder treedt plaatselijk enige bijmenging met iets grover zand op (200 – 220 µm). De uitloging is plaatselijk verder gevorderd dan onder de opstand met jonge eik (E-horizont). In het hele profiel komt wat grover zand voor dan in de hierboven besproken opstanden (Hommel & De Waal, 2004).

Beuk (jong)

De opstand is 55 jaar oud en de ondergroei is zeer schaars en soortenarm. Oud-bossoorten zijn nagenoeg afwezig; kenmerkende soorten van de ‘rijke bossen’ ontbreken volledig. De opstand wordt geassocieerd als *Deschampsio-Fagetum typicum*. Opvallend is dat het aantal soorten dat kenmerkend is voor de ‘arme bossen’ hier

nog iets groter is dan in de oude beukenopstand (Hommel & De Waal, 2004). Deze plek is wederom sterk verstoord door machines. Ook het bodemprofiel is verstoord en het lijkt het alsof hier in het verleden is geakkerd of anderszins bodembewerking heeft plaatsgevonden. De opstand met jonge beuk staat op bodems met een geringer leemgehalte dan elders (10 tot 12%). De korrelgrootte van de zandfractie bedraagt circa 170 - 180 μm ; plaatselijk treedt, op verschillende diepte, enige bijmenging met iets grover zand op (tot circa 220 μm). De uitlogingsverschijnselen in de vage moderpodzol zijn wel duidelijk (Hommel & De Waal, 2004).

Beuk (oud)

Deze meer dan honderd jaar oude opstand bestaat uit Beukenhakhout en een enkele eik. Er is nauwelijks ondergroei, maar wel wat mossen. Net als in de jonge beukenopstand ontbreken kenmerkende soorten van de 'rijke bossen' volledig en is de vegetatie geclassificeerd als *Deschampsio-Fagetum typicum* (Hommel & De Waal, 2004). De plek is relatief weinig, of minder recent, verstoord. 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 μm . Opvallend is de iets rossiger kleuring van de B-horizont, hetgeen duidt op een meer humuspodzolachtig karakter van de aanwezige moderpodzolen. Het monster voor de slijpplaat is genomen op een plek nabij de rand van het plateau.

2.3 Werkwijze

De bemonstering van de ongestoorde monsters voor de slijpplaten is in twee fasen uitgevoerd. Linde met rijke ondergroei (Linde 1); linde zonder ondergroei (Linde 2); linde met ondergroei van Adelaarsvaren (Linde 3); Esdoorn; Eik (jong) en Eik (oud) werden bemonsterd op 3 juni 2003. De opstanden Haagbeuk; Beuk (jong) en Beuk (oud) zijn bemonsterd op 1 oktober 2003.

Binnen elk van de negen onderzochte opstanden is eerst een representatieve locatie geselecteerd voor de bemonstering. Hierbij is een plek gekozen die zo min mogelijk verstoord was door dunning, berijding of uitsleepsporen, dus naast of tussen de sporen. Verder lagen de bemonsteringsplekken op minimaal 1,5 m afstand van de bomen om de aanwezigheid van dikke wortels zoveel mogelijk te vermijden en omdat in het voormalige plantgat vaak een bemestingsgift is gegeven. Ook depressies en hoger gelegen delen zijn uitgesloten als bemonsteringsplek omdat hier respectievelijk veel strooisel wordt ingevangen of juist relatief weinig strooisel ophoopt. In geval van twijfel zijn in de opstand meerdere kuilen gegraven om te verifiëren of het bodemprofiel op de geselecteerde locatie inderdaad representatief was voor de hele opstand.

Op de geselecteerde plekken zijn vegetatie en omgevingskenmerken opgenomen en is een kuil gegraven met een diepte van ca. 25 cm –mv. Vervolgens is het bodemprofiel beschreven. Hierbij werd vooral gelet op de dikte, kleur (Munsell scale) en classificatie van de verschillende-horizonten volgens de nomenclatuur voor de beschrijving van bodemprofielen van de FAO (1990). In sommige gevallen komt de veldbeschrijving niet geheel overeen met de micromorfologische beschrijving van de

slijpplaten. In dat geval moet de micromorfologische beschrijving gezien worden als een correctie of verfijning van de veldobservaties. Voor het maken van de slijpplaten zijn ongestoorde monsters genomen van het humusprofiel en de bovenkant van de minerale horizont. Hiervoor zijn voorzichtig metalen monsterblikjes ingesneden van 15 cm hoog en 8 cm breed (Jongierius & Heintzberger, 1975; Murphy, 1986). De bovenkant van het blikje lag gelijk aan het maaiveld, d.w.z. de bovenkant van de strooisellaag.

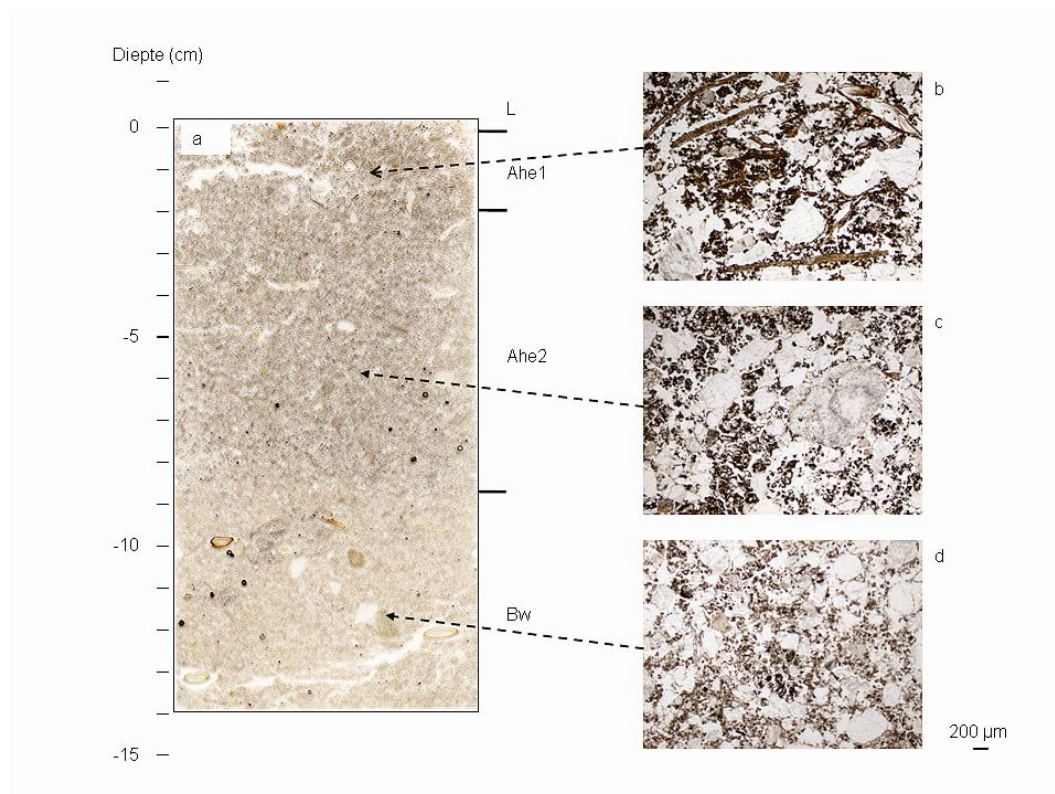
De ongestoorde bodemonsters zijn gedroogd in de stoof bij 40°C en daarna geïmpregneerd met een kleurloze onverzadigde polyesteroplossing. Na verdamping van het grootste gedeelte van de aceton uit deze oplossing zijn de monsters verhard met gammaraadatie. De slijpplaten van $\pm 7 \times 14,5$ cm en een dikte van 25 μm zijn gemaakt uit de kern van de verharde blokken, om verstoringen zoveel mogelijk uit te sluiten. De hardingsmethode met gammaraadatie staat vermeld in Bisdom & Schoonderbeek (1983).

De slijpplaten zijn geanalyseerd met een polarisatie lichtmicroscop met vergrotingen tot 200 $\times$. Slijpplaten worden in principe van onder naar boven beschreven omdat dieper in een profiel het materiaal meestal ouder is. Op deze manier wordt de genese in chronologische volgorde bestudeerd. Voor de systematische beschrijving van de slijpplaten zijn de platen eerst onderverdeeld in verschillende lagen (horizonten) op basis van verschillen in samenstelling. Met het oog op het doel van dit onderzoek, de beschrijving van de opbouw van het humusprofiel en de omzettingen van het strooisel door bodemfauna en -flora, zijn voor elke afzonderlijke laag de volgende verschijnselen beschreven:

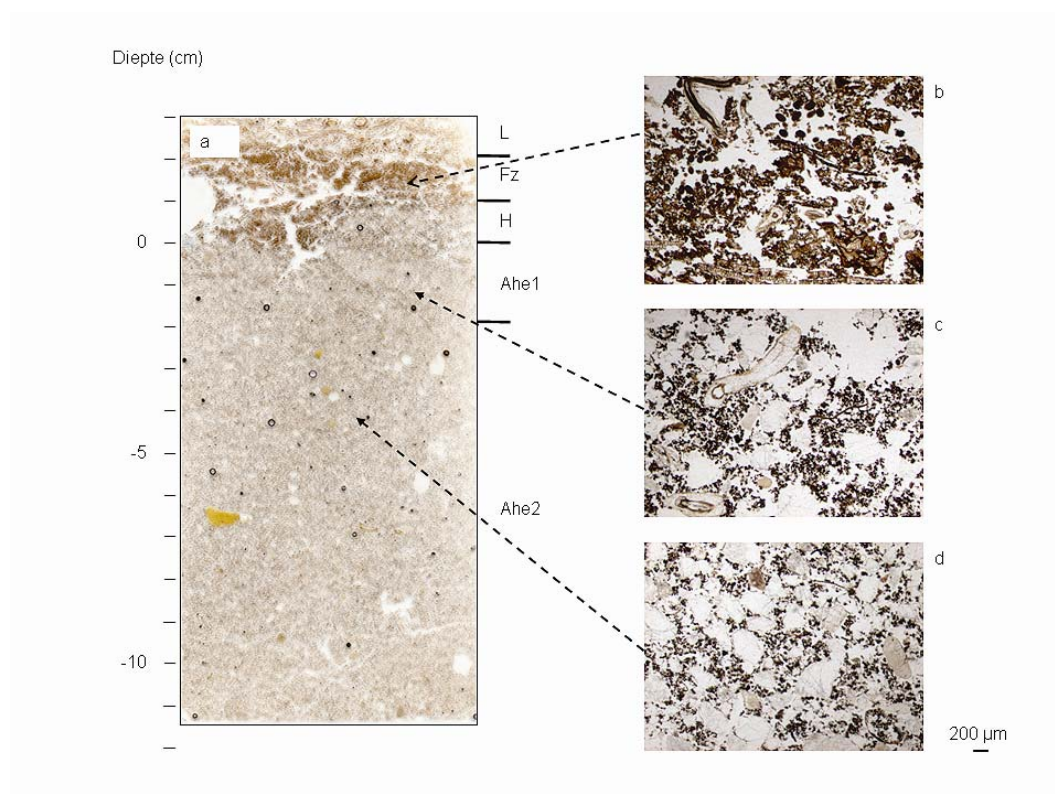
Verschijsel	Minerale horizonten:	Organische lagen:
Mineraal materiaal	+	-
Mate van uitloging van de korrels	+	-
Organisch materiaal	+	+
Poriën	+	-
Wortels	+	+
Bodemfauna-activiteit	+	+
Microbiële activiteit	+	+
(Mechanische) verstoringen / menselijke invloed	+	+
Eventuele overige verschijnselen	+	+

Voor de beschrijving hebben wij ons gericht op de belangrijkste verschillen tussen de verschillende locaties. Verschijnselen die nauwelijks variatie vertonen tussen de locaties worden niet in detail besproken. Aan de hand van de beschrijvingen van de profielen in de slijpplaten zijn de opbouw van het organische profiel en daarin optredende omzettingsprocessen geïnterpreteerd. Bij de benoeming van de 'humusvormen' (humusprofieltypen) is de nomenclatuur gehanteerd zoals beschreven door Kemmers *et al.* (2001). Deze nomenclatuur is voor Nederlandse omstandigheden afgeleid van het humusclassificatiesysteem van Klinka (Klinka *et al.*, 1981; Green *et al.*, 1993).

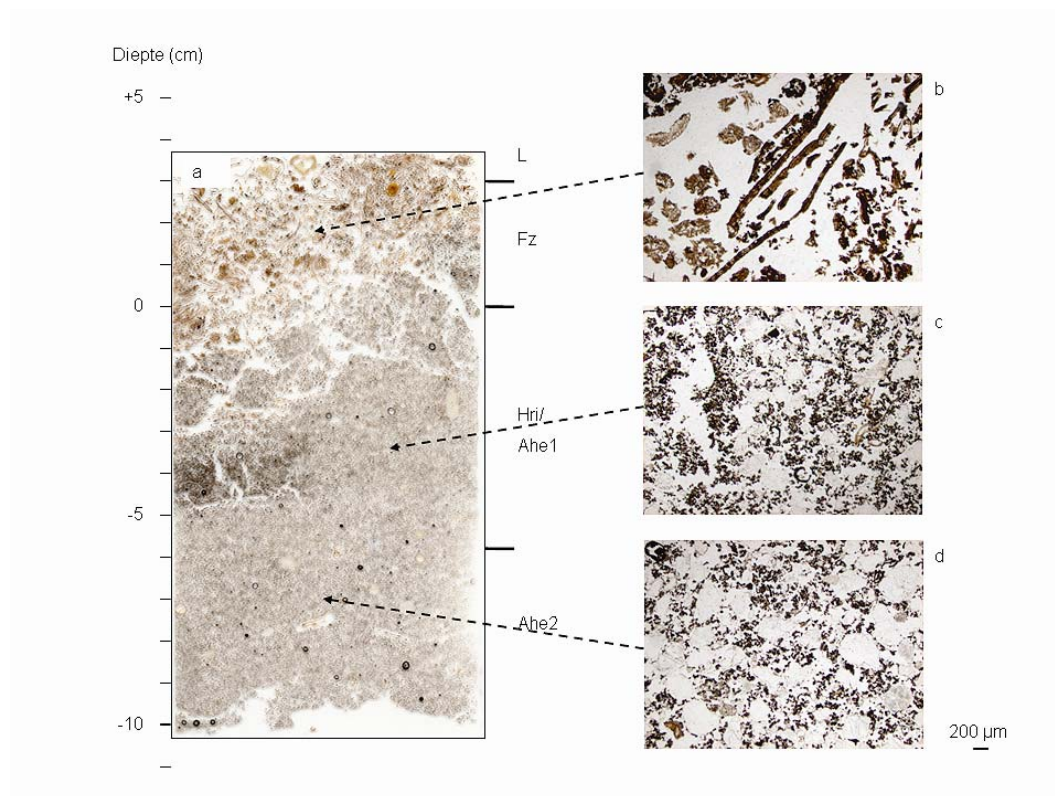
Tenslotte zijn de belangrijkste micromorfologische eigenschappen van de bodem- en humusprofielen onder de verschillende opstanden samengevat in een tabel (Tabel 4.1).



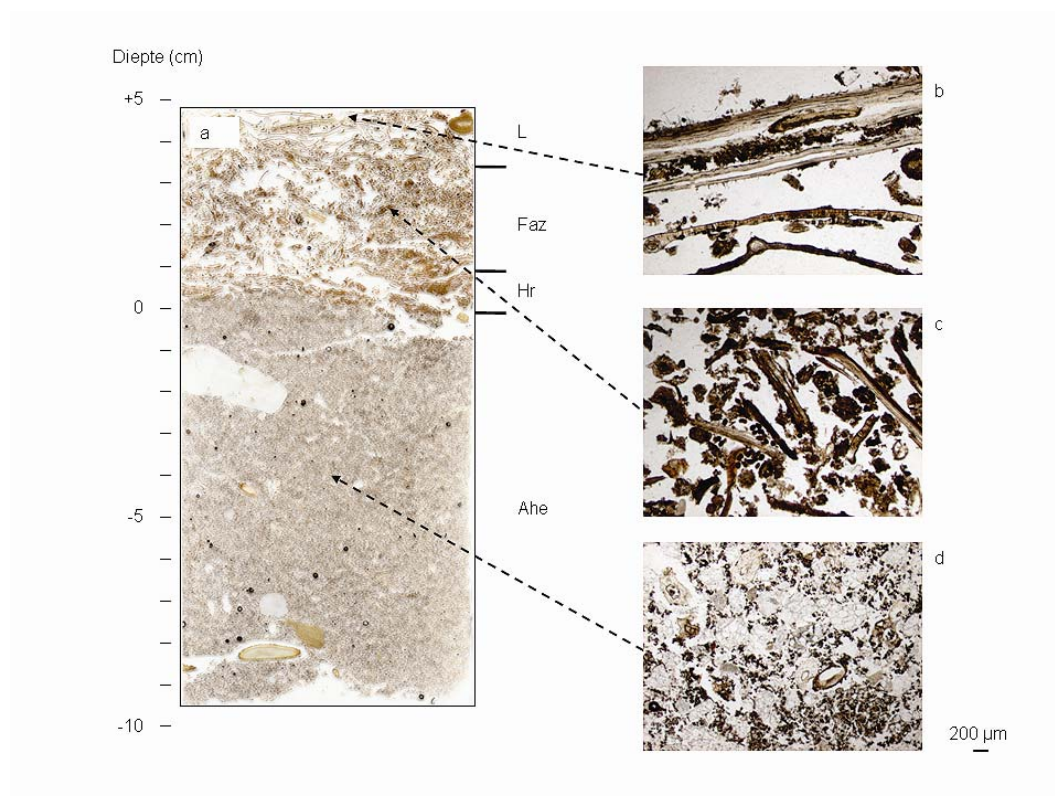
Figuur 3.1.1 Slijpplaat Linde 1



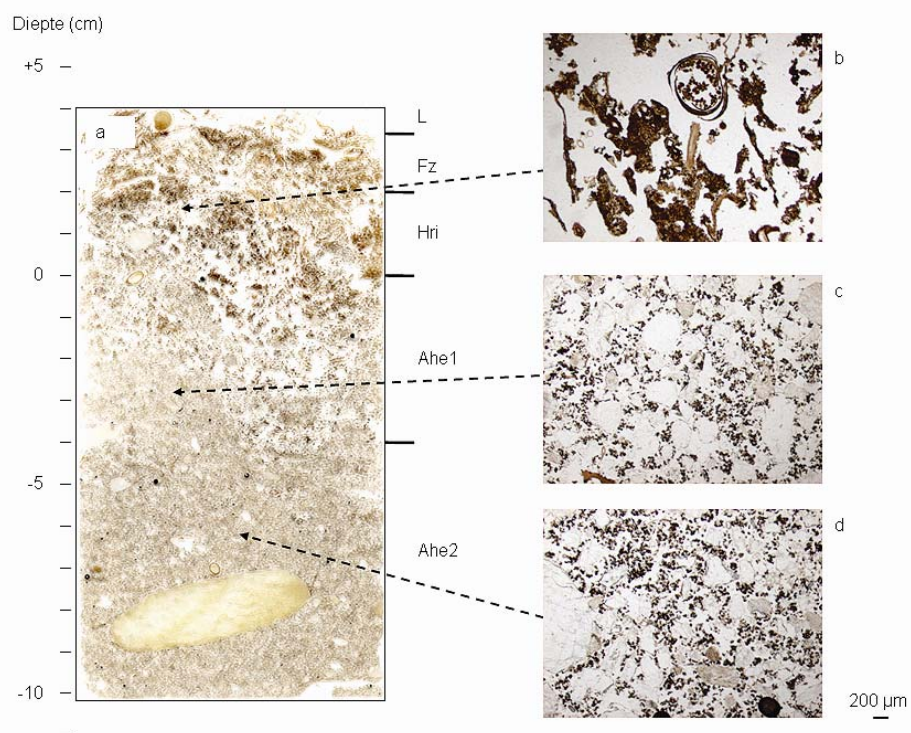
Figuur 3.2.1 Slijpplaat Linde 2



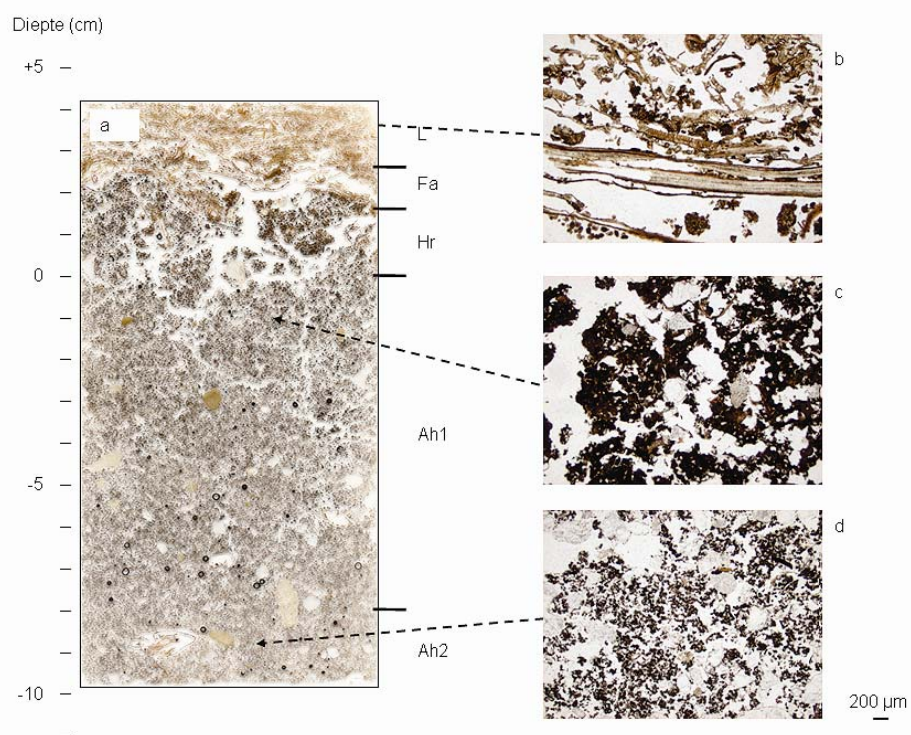
Figuur 3.3.1 Slijpplaat Linde 3



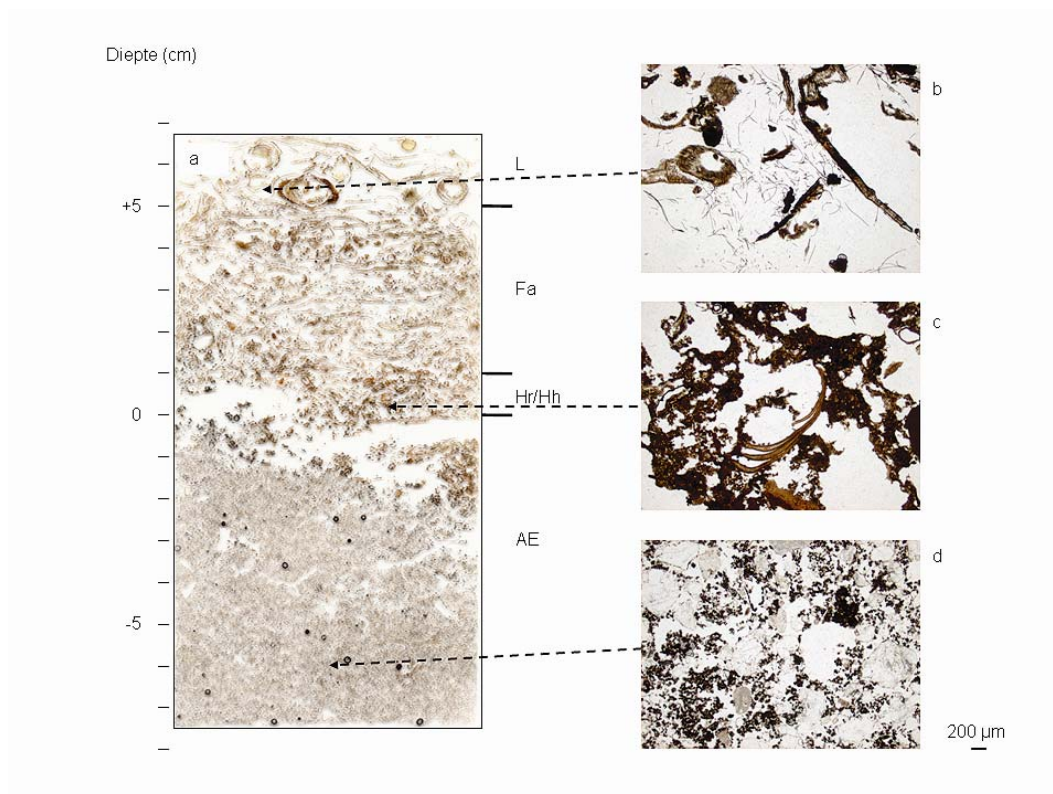
Figuur 3.4.1 Slijpplaat Esdoorn



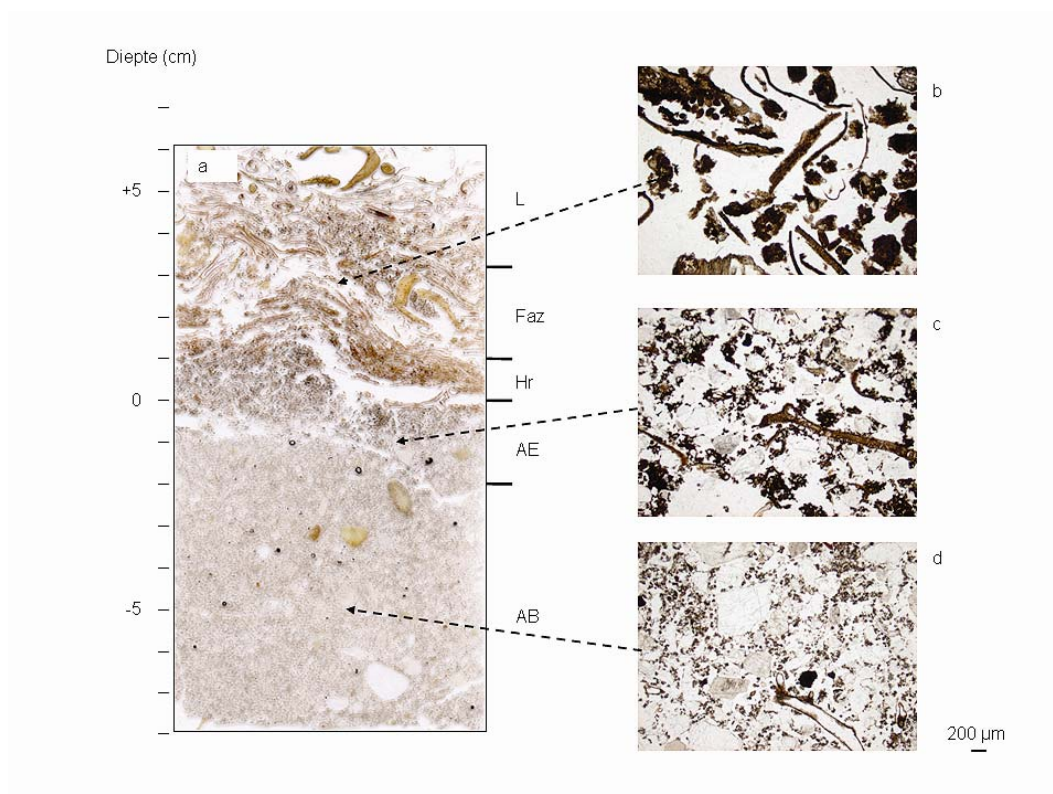
Figuur 3.5.1 Slijpplaat Haagbeuk



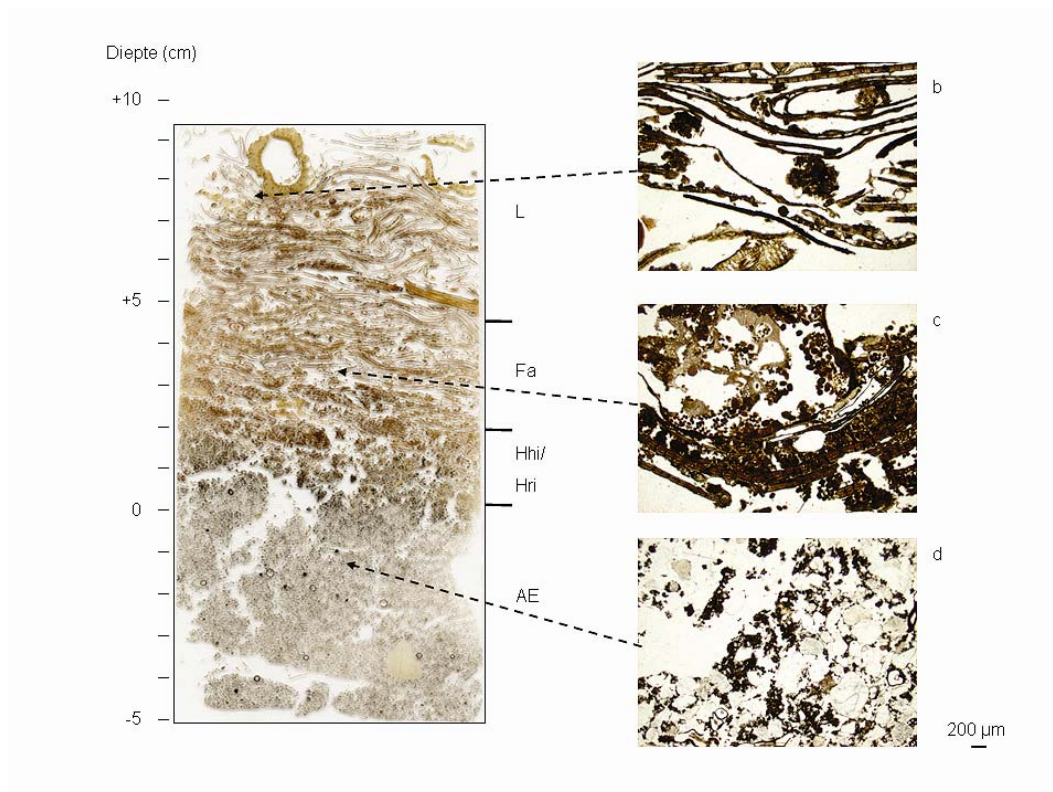
Figuur 3.6.1 Slijpplaat Eik (jong)



Figuur 3.7.1 Slijpplaat Eik (oud)



Figuur 3.8.1 Slijpplaat Beuk (jong)



Figuur 3.9.1 Slijpplaat Beuk (oud)

Legenda figuur 3.1.1 t/m 3.9.1.

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 plantenresten; Hz = gehumificeerde laag, rijk aan bodemfauna; i = bijmenging van minerale delen (zand).

3 Resultaten

3.1 Linde 1 (met soortenrijke ondergroei)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
0,4-0	L	Zeer dunne strooisellaag bestaande uit eiken- en beukenblad; hierin loopt een pissebed rond.
0-2	Ahe1	Zeer donker grijsbruine (5Y2.5/2) humeuze laag met grijze geloogde kwartskorrels, een luchtige pakking en veel wortels. Ondergrens: geleidelijke overgang naar Ah2
2-7	Ahe2	Enigszins grijzige, bruine (2.5Y3/2) humeuze laag met grijze geloogde kwartskorrels, grind en veel (boom)wortels.
7-12	AB	Bruin (10YR3/4) leemarm zand met grind en veel (boom)wortels
>12	Bw	Donker geelbruin (10YR4/4) leemarm zand met veel excrementen in de vorm van moderbolletjes.

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +0,02 tot -14 cm (Fig. 3.1.1a).

-9 tot -14 cm (Bw):

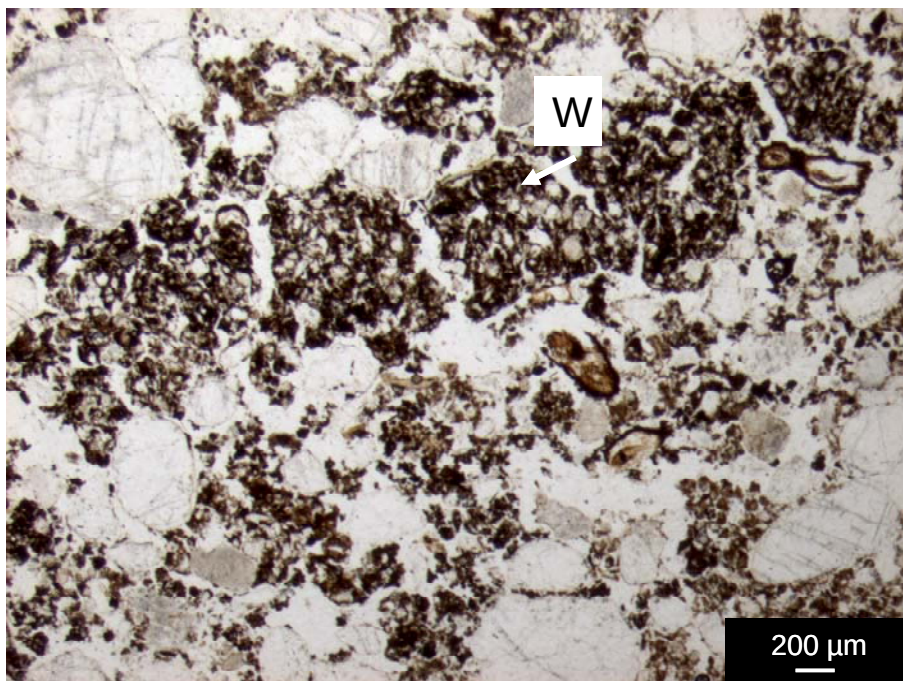
- Mineraal materiaal: Zand ($\emptyset$ 50-2000 μm ; slecht gesorteerd) en grind ($\emptyset$ 2000-4000 μm), afgerond tot hoekig. Ca. 60 vol% zand en grind; weinig silt en klei (ca. 15%).
- Mate van uitloging: Huidjes rond de zandkorrels maar vaak discontinu.
- Organisch materiaal: Tussen de korrels bevindt zich moderachtig organisch en organo-mineraal materiaal bestaande uit mesofauna excrementen. De moderbolletjes zijn lichter bruin van kleur dan bovenin in het profiel. Ook zijn er enkele grotere organo-minerale excrementen, met name rond aangevreten wortelmateriaal (Fig. 3.1.1 d).
- Poriën: Circa 25 vol%, bestaande uit pakkingsholtes en bioporiën ($\emptyset$ 400-2000 μm). Dit zijn met name wortelgangen en onregelmatig gevormde, onderling verbonden 'sluipgangen' van potwormen. Veel biologische gangen zijn met excrementen opgevuld. Het holtepatroon verschilt van die in de Ah door de minder diverse samenstelling van de bodemfauna.
- Wortels: Houtige wortels ($\emptyset$ 1500-3000 μm), maar niet in grote hoeveelheden.
- Bodemfauna-activiteit: Voornamelijk mesofauna excrementen (potwormen; $\emptyset$ 50-150 μm). Plaatselijk zijn ook grotere macrofauna excrementen aanwezig ($\emptyset$ 150-400 μm), met name rond de verteerde wortelresten (Fig. 3.1.2). Excrementen >100 μm bevatten ook mineraal materiaal (silt- en zandkorrels <100 μm). Op deze

diepte is echter niet al het moedermateriaal door bodemfauna omgezet.

Microbiële activiteit: Bruine schimmeldraden ($\varnothing \pm 5\mu\text{m}$) zijn aanwezig in relatief kleine hoeveelheden en met name rond organisch materiaal, maar ook op de randen van zandkorrels.

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: De B-horizont bestaat uit geel zand, maar daarin bevinden zich concentraties met aanrijking van organisch materiaal door verteerde wortelresten. Op 10-12 cm diepte liggen 2 grote brokken met donkerder materiaal (macroscopisch). Microscopisch is te zien dat dit grotendeels afgebroken wortelmateriaal is (epidermis is nog over), opgevuld met excrementen van wormen, potwormen en springstaarten (fig. 3.1.1a en 3.1.2). Verder bevat deze-horizont veel sporanchia, vermoedelijk van varens ($\varnothing 200\text{-}1500\ \mu\text{m}$).



Figuur 3.1.2. Detailfoto van de Bw-horizont van Linde 1 op een diepte van 10 cm.

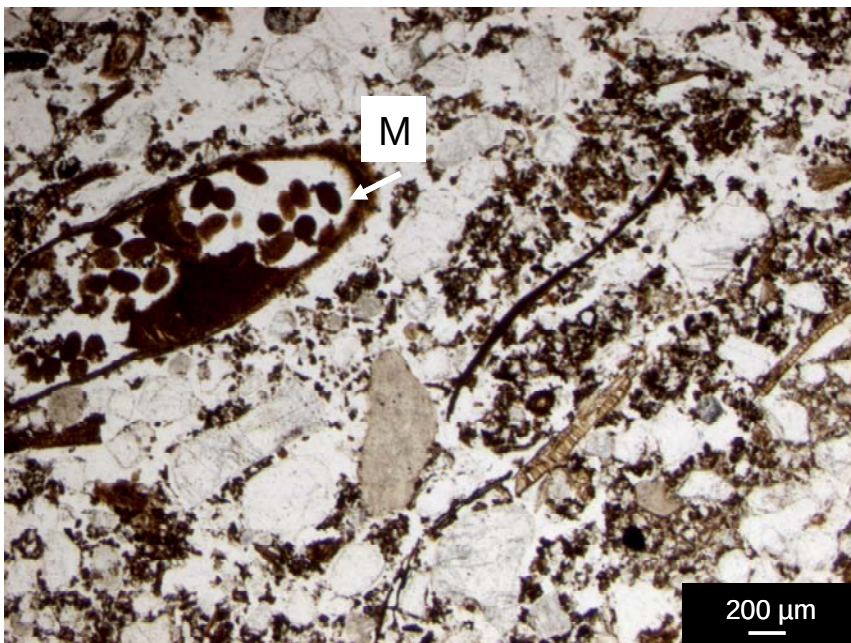
W = Wormgang opgevuld met excrementen daar waar zich een aanrijking van organisch materiaal bevindt in de vorm van verteerde wortelresten.

-2 tot -9 cm (Ahe2):

Mineraal materiaal: Minerale samenstelling als onderliggende Bw-horizont.
Mate van uitloging: Vrij veel (gedeeltelijk) geloogde zandkorrels (ca. 50%), soms wel met huidjes maar dan zijn deze discontinu.

Organisch materiaal: De moderbolletjes ($50\text{-}200\ \mu\text{m}$) zijn regelmatiger van vorm en donkerder van kleur (donkerbruin tot zwart) dan in de ondergelegen B-horizont (Fig. 3.1.1c). Onder de 8 cm diepte zijn nauwelijks herkenbare bladresten meer aanwezig.

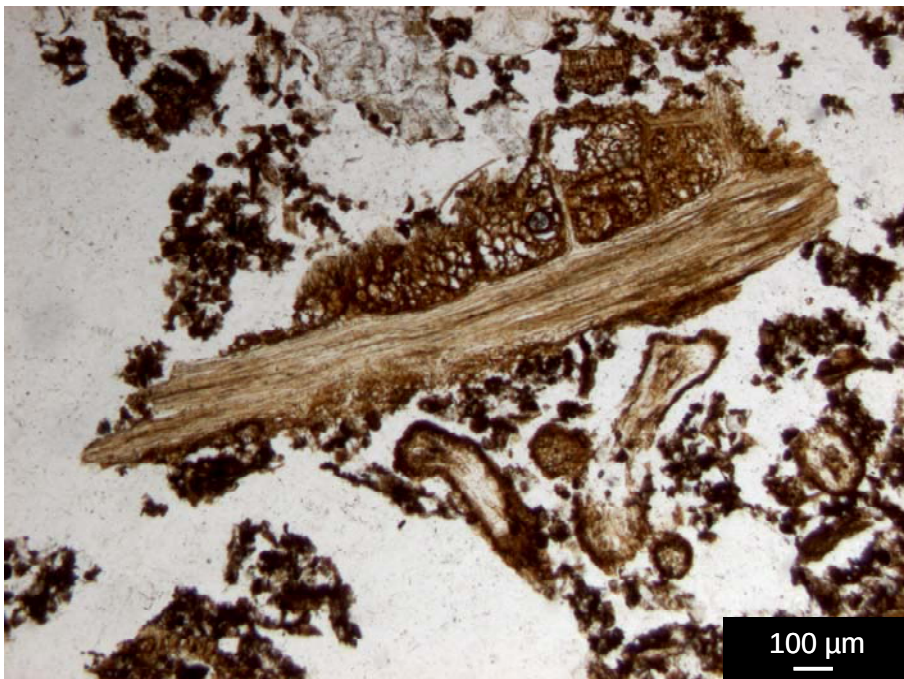
- Poriën: Ca. 30 vol%. Er zijn er meer gangen van macrofauna ($\varnothing$ ca. 1 mm) dan in de B-horizont. De grotere diversiteit van de bodemfauna levert hierdoor een ander holtepatroon op dan in de B-horizont. Op 2-4 cm diepte is de pakking dichter dan onderin het profiel.
- Wortels: Meer en fijnere wortels ($\varnothing$ 400-600 μ m) dan in de B-horizont.
- Bodemfauna-activiteit: Veel mesofauna, maar ook veel organo-minerale macrofauna excrementen van 200-1000 μ m $\varnothing$ (>50% Vol%). Dit zijn wormexcrementen, die deels weer zijn aangevreten door potwormen. Vooral op 6-8 cm diepte is goed zichtbaar dat potwormen deze macrofauna-excrementen hebben aangevreten. Veel wortel- en wormgangen zijn opgevuld met excrementen. Dit wijst op een grotere macrofauna activiteit dan in de B-horizont. Bovenin de Ah2 zijn ook enkele mijtenexcrementen zichtbaar in deels afgebroken plantaardige resten (Fig. 3.1.3).
- Microbiële activiteit: Lichtbruine schimmeldraden ($\varnothing$ $\pm$ 5 μ m) komen wel voor, maar niet in grote hoeveelheden.
- Verstoringsen: Tussen 2-4 cm diepte is de pakking dichter dan onder in het profiel en plaatselijk (rechts) is de oriëntatie van de korrels overwegend horizontaal. Ook zijn er horizontaal-georiënteerde drukontlastingsholtes te zien. Deze ontstaan wanneer het materiaal na sterke compactie weer enigszins terugveert. Een voorbeeld hiervan is te zien in Fig. 3.2.5.
- Andere verschijnselen: Veel sporanchia ($\varnothing$ 200-1500 μ m) en enkele verkoolde fragmentjes in de vorm van asresten.



*Figuur 3.1.3. Detailfoto van de Ah2-horizont van Linde 1 op een diepte van 4 cm.
M = Excrementen van mijten.*

0 tot -2 cm (Ahe1):

- Mineraal materiaal: Samenstelling en korrelgrootte verdeling als in de Ahe2-horizont, maar lossere pakking. Naar onderen toe geleidelijk iets meer zand.
- Mate van uitloging: In deze horizont is meer dan 50% van de zandkorrels geloofd.
- Organisch materiaal: Meer organisch materiaal dan in de Ahe2. Zeer veel organische resten zoals zaadjes, blaadjes, takjes, variërend van weinig omgezet tot zeer fijn verdeeld en meestal horizontaal georiënteerd. Verder zijn er veel excrementen (Fig. 3.1.1b en Fig. 3.1.4)
- Poriën: Zeer losse pakking. Veel holtes zijn biologische gangen gevormd door macro- en mesofauna en halfafgebroken wortelmateriaal.
- Wortels: Iets fijnere wortels dan in de Ahe2 ($\varnothing$ 400-500 μ m).
- Bodemfauna-activiteit: Mesofauna-excrementen van potwormen en springstaarten komen veel voor. Onderin deze horizont zijn ook excrementen van macrofauna wormen zichtbaar. Vezelige excrementen van macrofauna ($\varnothing$ 400-600 μ m), bijvoorbeeld larven en pissebedden, en excrementen van mijten komen sporadisch voor. Mijten zitten in plantenresten als knopjes.
- Microbiële activiteit: De schimmeldraden zijn van het lichtbruine type met relatief dikke mycelia ($\varnothing$ $\pm$ 5 μ m), maar komen weinig voor.
- Andere verschijnselen: Sporanchia en enkele asrestjes (waarschijnlijk ingewaaaid vanaf nabijgelegen plek waar brand is geweest).



Figuur 3.1.4. Detailfoto van verteerde bladresten, met daarin het overgebleven sponsparenchym en pallisadenparenchym in de Ah1-horizont van Linde 1 op een diepte van 1 cm

0 tot +0,2 (L):

Organisch materiaal: Voornamelijk enigszins afgebroken bladstrooisel en excrementen met daartussen enkele zandkorrels. De overgang naar de onderliggende minerale horizont is geleidelijk.

Wortels: geen

Bodemfauna-activiteit: De excrementen van de mesofauna zijn onregelmatiger van vorm dan in de ondergelegen Ahe-horizont. Dit betekent dat er een dominante invloed is van springstaarten in de L-laag. Ook excrementen van oppervlakkig levende wormen (vermengd met mineraal materiaal en rond tot langgerekt van vorm) en allerlei vezelige macrofauna excrementen zijn rijkelijk aanwezig. Excrementen van mijten zijn er relatief weinig (vooral in knopjes).

Microbiële activiteit: Schimmeldraden zijn aanwezig in relatief kleine hoeveelheden.

Andere verschijnselen: Sporanchia van varens.

Interpretatie:

De dunne strooisellaag, de afwezigheid van een fermentatie- en humuslaag en de sterke menging van organisch en mineraal bodemmateriaal in de vorm van meso- en macrofauna excrementen wijzen op een mull(modér) profiel. Door de diverse bodemfauna vergeleken met de andere profielen is er sprake van een geleidelijke en volledige omzetting van organisch materiaal en goede menging van organisch materiaal in de minerale bodem. De overgang tussen de Ahe en de Bw lijkt onregelmatig door het voorkomen van concentraties van afgebroken wortelresten in de bovenkant van de Bw-horizont, waarin het bodemmateriaal erg lijkt op de samenstelling van de Ahe2-horizont.

Vergeleken met de andere locaties heeft het bodemmateriaal in de Ahe een iets dichtere pakking. Dit is mogelijk een gevolg van de sterke omzetting van het bodemmateriaal door de bodemfauna. De plaatselijk lichte verdichting en horizontale oriëntatie van de zandkorrels op 2-4 cm diepte duidt op berijding onder vochtige omstandigheden. Aangezien de excrementen niet zijn vervormd gaat het hier om een oudere verdichting. Deze verdichting is niet ernstig en zal de waterhuishouding niet verstoren. Gedeeltelijk is hij ook al weer opgeruimd door wortelgroei en de activiteit van de bodemfauna. De in de Ah2 voorkomende asresten lijken te zijn ingewaaid want er zijn geen aanwijzingen dat hier brand is geweest.

3.2 Linde 2 (met schaarse ondergroei)***Veldbeschrijving***

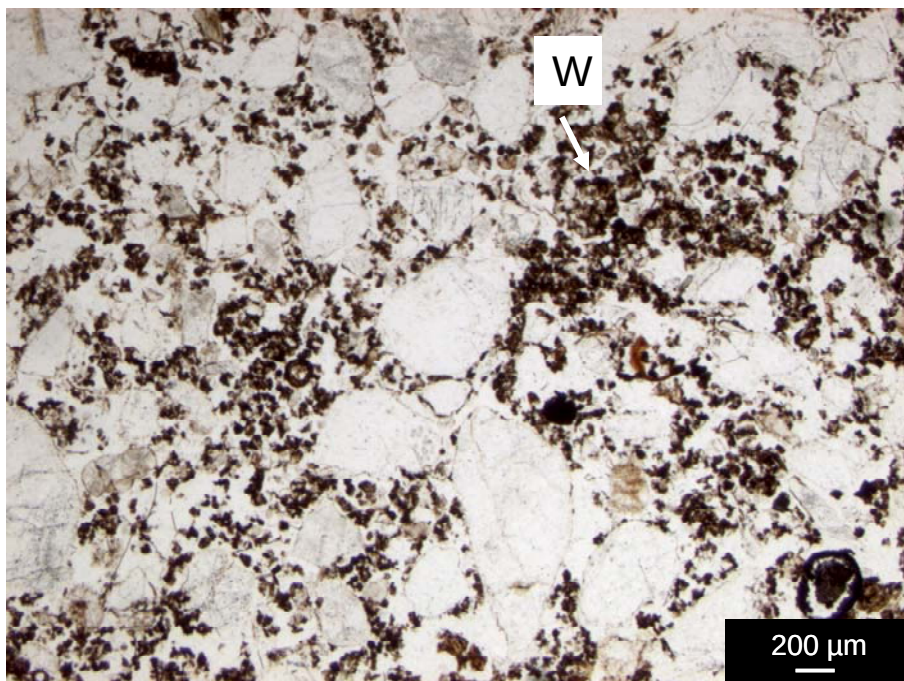
Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
4-3	L	Strooisellaag
3-0,5	F	Donkere, enigszins roodachtige, bruine laag (2.5YR3/2) van deels afgebroken strooisel met veel fijne wortels
0,5-0	H	Zeer donkerbruine (5YR2.5/2) humeuze laag
0-11	Ahe	Zwartbruin (10YR2/2) leemarm zand met gebleekte kwartskorrels en enkele grindkorrels
>11	Bw	Bruin (10YR3/4) leemarm zand

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +3 tot -11,5 cm (Fig. 3.2.1a).

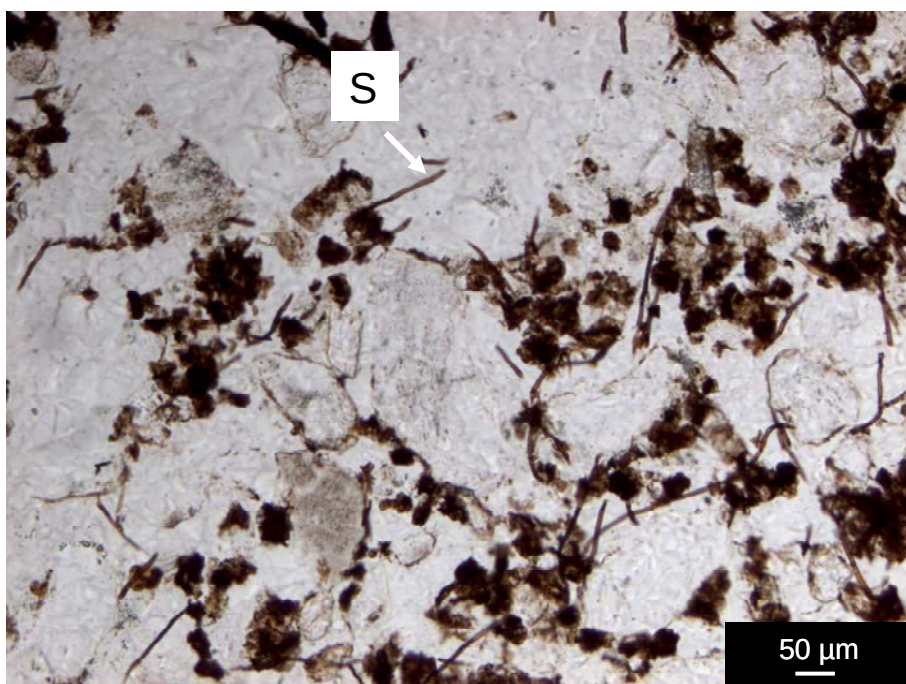
-2 tot -11,5 cm (Ahe2):

- Mineraal materiaal: Als Linde 1 met grind tot $\varnothing$ 3,5 μm .
Mate van uitloging: Onderin huidjes rondom de korrels, maar discontinu (>50%). Naar boven toe steeds meer geloogde korrels.
- Organisch materiaal: Tussen de korrels bevinden zich donkerbruine moderbolletjes met een $\varnothing$ van 40-120 μm (Fig. 3.2.1d).
- Poriën: Voornamelijk biologische holtes als wortelgangen en wormgangen (<600 μm).
- Wortels: Vrij veel fijne wortels ($\varnothing$ 200-400 μm) en enkele dikkere wortels ($\varnothing$ 400-1200 μm).
- Bodemfauna-activiteit: Moderbolletjes wijzen op activiteit van potwormen. Er zijn plaatselijk ook macrofauna-excrementen ($\varnothing$ tot 800 μm) aanwezig in opgevolde wormgangen, maar veel minder dan in Linde 1. Het lijkt er op dat de potwormen de macrofauna-excrementen snel weer aanvreten en verwerken tot kleinere excrementen (Fig. 3.2.2).
- Microbiële activiteit: Relatief veel hyfen van schimmels ($\varnothing \pm 5 \mu\text{m}$) (Fig. 3.2.3).
- Verstoringsen: n.v.t.
- Andere verschijnselen: Sporangia.



Figuur 3.2.2. Detailfoto van de Ahe2-horizont van Linde 2 op een diepte van 7 cm.

W = Wormexcrement temidden van excrementen van potwormen, die de wormexcrementen hebben aangevreten.



Figuur 3.2.3. Detailfoto van de Ahe2-horizont van Linde 2 op een diepte van 8 cm.
S = Schimmeldraden.

0 tot -2 cm (Ahe1):

Mineraal materiaal:	Als Ahe2.
Mate van uitloging:	Sterke uitloging, veel gebleekte korrels
Organisch materiaal:	Dit komt dominant voor in de vorm van moderbolletjes ($\varnothing$ 40-120 μ m). Deze zijn donkerder van kleur dan in de Ahe2. Ook zijn er verspreid door de grondmassa resistente restjes van wortel-, tak of bladmateriaal aanwezig.
Poriën:	Meer biologische holtes dan de Ah2-horizont, ook gangen van wormen.
Wortels:	Meer fijne wortels dan de Ah2-horizont ($\varnothing$ 200-400 μ m) (Fig. 3.2.1c).
Macrofauna-activiteit:	Excrementen van potwormen zijn dominant. Meer tekenen van aanwezigheid van macrofauna-wormen (gangen, excrementen) dan in Ahe2; de excrementen worden wel snel weer opgebroken door de vraat van potwormen.
Microbiële activiteit:	Duidelijk veel minder hyfen van schimmels dan in de Ahe2.
Verstoringsen:	In deze laag zijn verstoringen door verdichting en versmering te zien (zie donkere bandjes in Fig. 3.2.1a). Hier is meerdere malen in verschillende richtingen overheen gereden. Ook de pakking van de excrementen is onnatuurlijk dicht.
Andere verschijnselen:	Onregelmatige, onduidelijke overgang tussen Ah2 en Ah1.

+1 tot 0 cm (H):

Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerde, slecht herkenbare plantaardige resten en mesofauna excrementen. Het materiaal is redelijk verzwart en bevat ook amorfe roodgekleurde organische resten.

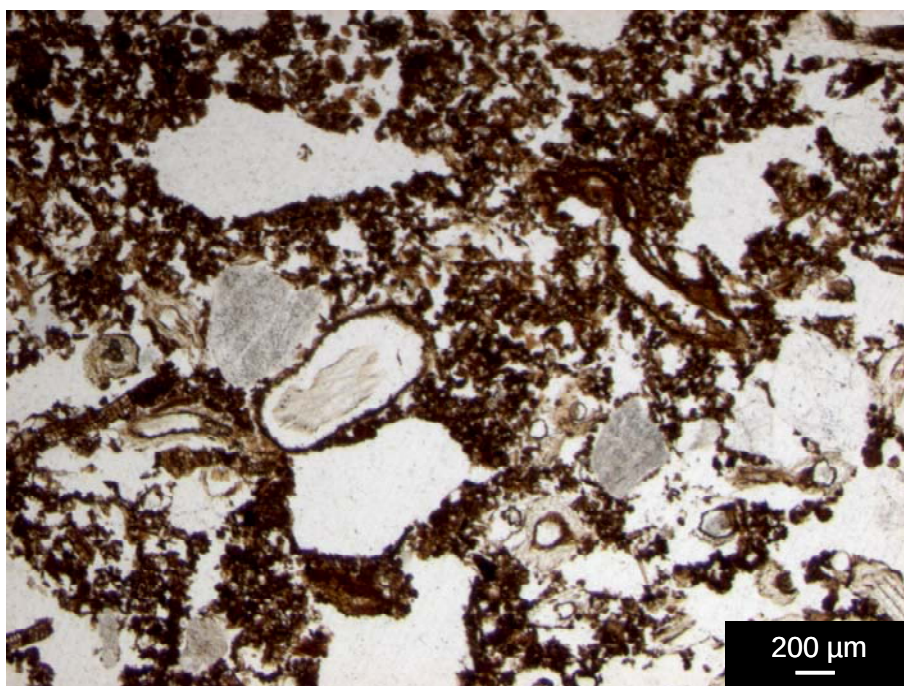
Wortels: Vrij veel wortels met een $\varnothing$ van 200-400 μm (Fig. 3.2.4).

Bodemfauna-activiteit: Relatief vormeloze mesofauna-excrementen van springstaarten en potwormen, deels vervloeid en verzwart (Fig. 3.2.5). Excrementen van mijten komen ook redelijk veel voor rondom grotendeels afgebroken plantenresten.

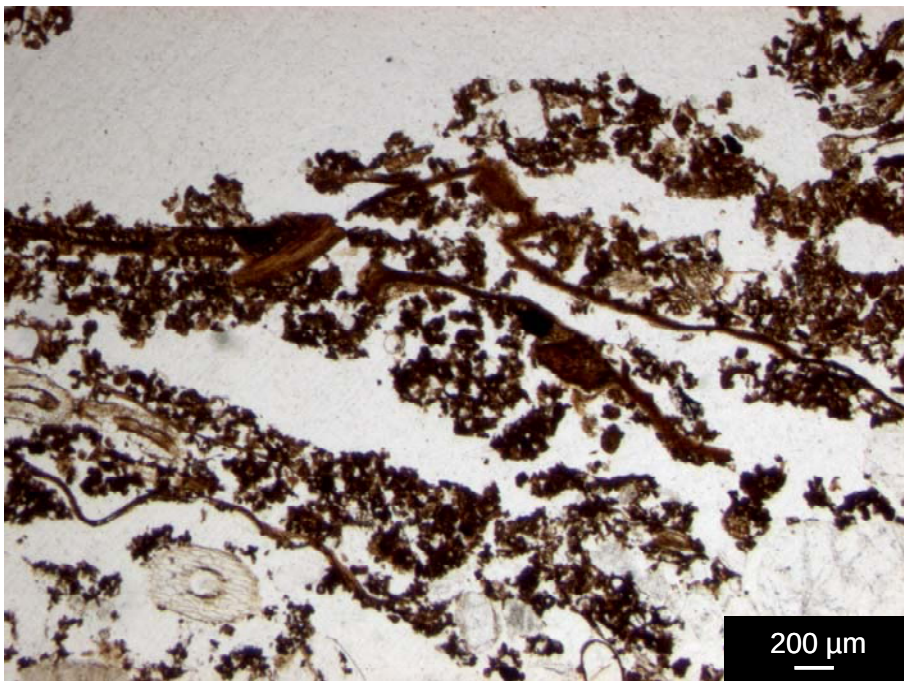
Microbiële activiteit: Op de overgang naar de minerale bodem zijn weer meer schimmeldraden zichtbaar dan in de Ah1. De amorfe, roodgekleurde organische resten duiden ook op meer bacteriële omzetting naast mesofauna-activiteit.

Verstoringen: Deze laag is onregelmatig van dikte (0,5-1,5 cm). De humuslaag is het dikste op de plek waar de verstoring door berijding het sterkste is. Ook zijn hier horizontale drukontlastingssporen zichtbaar in het humusmateriaal. Deze ontstaan wanneer het materiaal na sterke compactie weer enigszins terugveert. (Fig. 3.2.5).

Andere verschijnselen: Duidelijke overgang tussen minerale bodem en het ectorganisch profiel.



Figuur 3.2.4. Detailfoto van de H-horizont van Linde 2.



Figuur 3.2.5. Drukontlastingsporen op de grens van de minerale bodem en de H-horizont van Linde 2.

+2 tot +1 cm (Fz):

Organisch materiaal: Fermentatielaag, bestaande uit verkleinde, maar nog enigszins herkenbare bladresten met daartussen veel mesofauna-excrementen. Minder donker van kleur dan de H-horizont.

Wortels: Veel fijne wortels ($\varnothing$ 400-800 μm).

Bodemfauna-activiteit: Regelmatige en onregelmatig gevormde, puur organische excrementen ($\varnothing$ ca. 400 μm) duiden op activiteit van springstaarten en strooiseletende macrofauna. Excrementen van mijten komen hier heel veel voor. Op sommige plaatsen worden blad- en houtresten zichtbaar aangetast door mijten (Fig. 3.2.1b).

Microbiële activiteit: Schimmeldraden komen voor rondom plantaardige resten.

Verstoringen: n.v.t.

Andere verschijnselen: Duidelijke overgang tussen de H- en de F-laag.

+2 tot +3 cm (L):

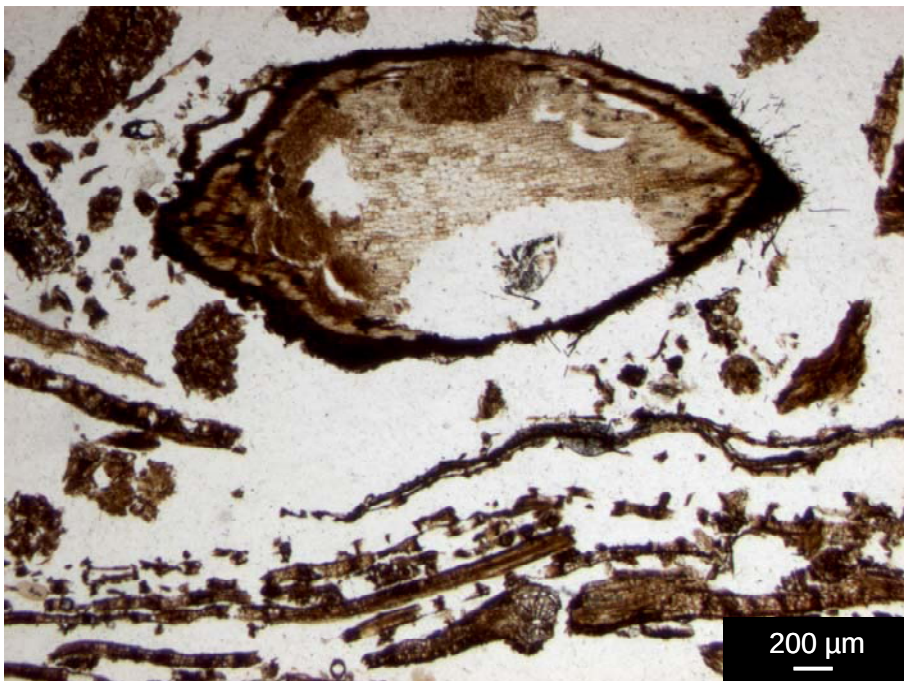
Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerde, relatief weinig afgebroken organische resten (knopjes, blaadjes, etc.), plaatselijk zichtbaar aangetast door mijten en schimmels. Daartussen bevinden zich puur organische meso- en macrofauna-excrementen ($\varnothing$ tot 1200 μm).

Wortels: Geen.

Bodemfauna-activiteit: Mesofauna-excrementen van mijten en springstaarten en enkele macrofauna-excrementen.

Microbiële activiteit: Schimmeldraden zijn aanwezig, maar niet zoveel.

Andere verschijnselen: n.v.t.



Figuur 3.2.6. Detailfoto van de L-horizont van Linde 2.

Interpretatie:

In tegenstelling tot het profiel onder Linde 1, wordt dit profiel gekarakteriseerd door de aanwezigheid van een redelijk dik organisch profiel (3 á 4 cm) en beperkte menging tussen de organische en de minerale lagen van het profiel. Wel is er in de minerale bodem een sterke menging van organisch en mineraal bodemmateriaal in de vorm van mesofauna (potworm)-excrementen. Dit wijst op een moderprofiel.

De verstoring in de bovenkant van de minerale bodem in de vorm van compactie en versmering laat zien dat er meerdere malen over de bodem is gereden, in verschillende richtingen. Het organisch profiel lijkt na deze verstoring te zijn afgezet, want de organische lagen zijn niet verstoord. De berijding is vrij recent (max. enkele seizoenen geleden). In dit profiel is de samenstelling van de bodemfauna eenzijdiger dan in Linde 1. Macrofauna-excrementen worden nauwelijks aangetroffen in de minerale bodem.

3.3 Linde 3 (met ondergroei van Adelaarsvaren)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
6-4	L	Roestbruine (5YR4/6) strooisellaag, voornamelijk bestaande uit eiken- en beukenbladeren.
4-1	F	Donker roodbruin (2.5YR3/2) fijnverdeeld organisch materiaal vermengd met mineraal materiaal (ca. 50%). Hierin lopen pissebedden en mieren.
1-0	H	Donker roodbruin (2.5YR2.5/2) amorf organisch materiaal vermengd met gebleekte kwartskorrels. Onregelmatig van dikte.
0-12	Ahe	Donker grijsbruin (5YR2.5/1) humeus leemarm zand met gebleekte kwartskorrels. Bevat minder grind dan Linde 1. Veel dode boomwortels van 1 à 2 cm doorsnede. Wormen (<i>Aporrectodea rosea</i>) gesignaleerd.
>12	AB	Zeer donkerbruin (5YR2.5/2) leemarm zand met grind.

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +3,8 tot -10,2 cm (Fig. 3.3.1.a).

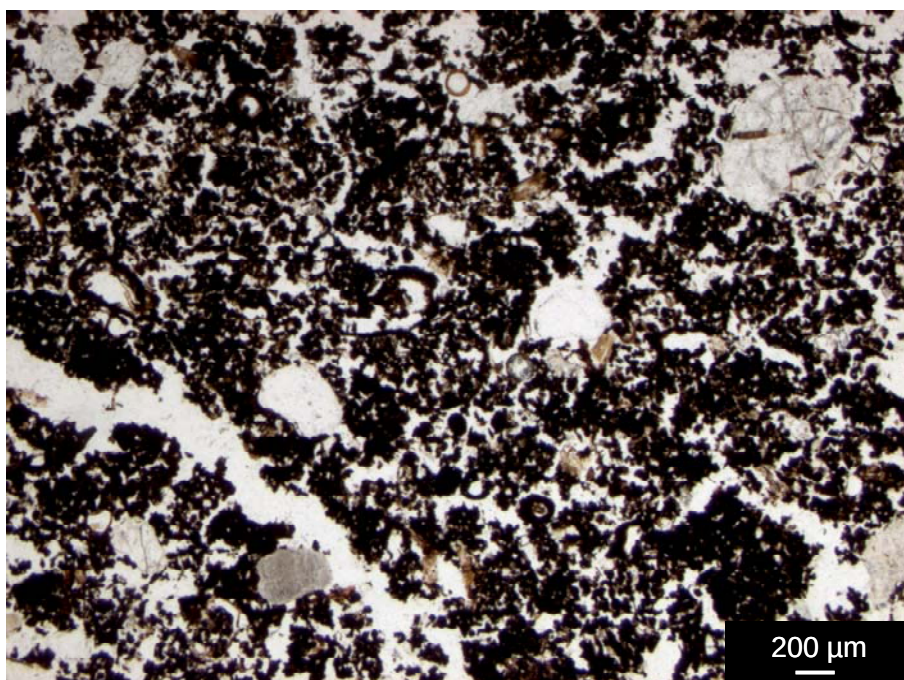
-6 tot -10,2 cm (Ahe2):

- Mineraal materiaal: Als Linde 1, maar met grind tot Ø 3500 µm (Fig. 3.3.1 d).
Mate van uitloging: Deels geloogde korrels en deels korrels met discontinue huidjes (ca. 50/50%).
- Organisch materiaal: Donkerbruin tot zwarte moderbolletjes van 40-150 µm tussen de zandkorrels. Het organisch materiaal is erg donker van kleur, doordat het vermengd is met verkoold materiaal of as dat is opgevreten door mesofauna (potwormen).
- Poriën: Iets minder dichte pakking dan Linde 1. Pakkingsholten en biologische holten (waaronder wormgangen met Ø tot max. 800 µm, bovenin de Ahe2).
- Wortels: Houtige wortels Ø 400-2000 µm.
- Bodemfauna-activiteit: Voornamelijk mesofauna (potwormen), maar bovenin deze horizont is ook enige macrofauna-activiteit zichtbaar in de vorm van wormgangen. Eventuele macrofauna-excrementen zijn er nauwelijks; mogelijk worden deze direct opgeruimd door de dominant aanwezige mesofauna.
- Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels (Ø ca. 5 µm) zijn aanwezig maar niet in zulke grote hoeveelheden als in Linde 2.
- Verstoringsen: n.v.t.
- Andere verschijnselen: Veel sporanchia. Hier en daar een houtskoolfragmentje, enigszins aangevreten door bodemfauna.

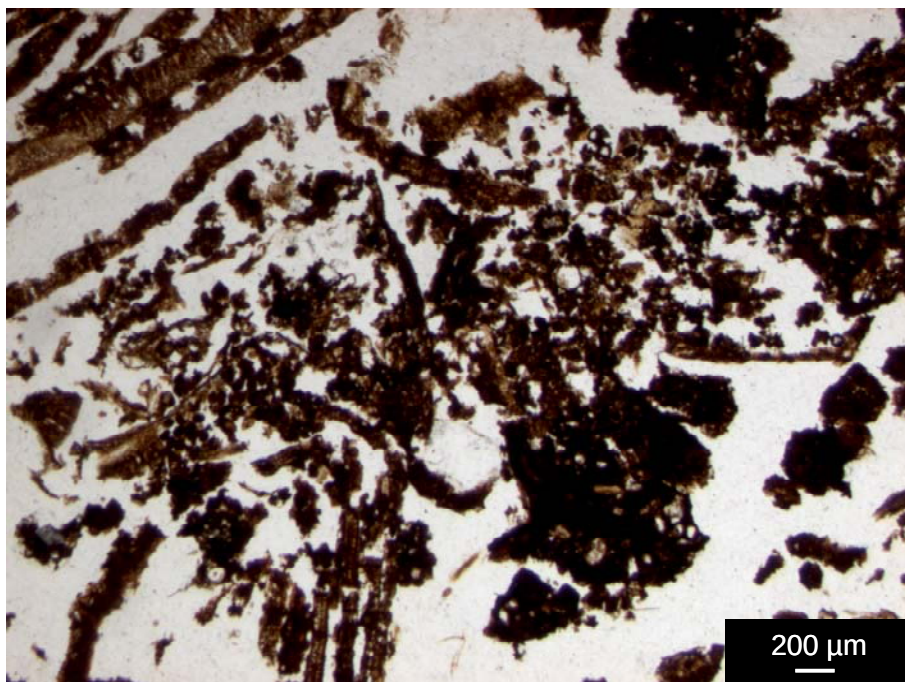
0 tot -6 cm (Ahe1/Hri):

- Mineraal materiaal: Gelijk aan de ondergelegen Ahe2.
- Mate van uitloging: Meer geloogde korrels dan in de Ahe2 (>50%), maar een deel van de korrels is bedekt met discontinue huidjes.

- Organisch materiaal: Organisch materiaal in excrementen is erg donker van kleur door menging van verkoold materiaal/as (Fig. 3.3.2). Bovenin deze horizont is komt een cm dikke laag voor van sterk gehumificeerd materiaal gemengd met mineraal materiaal (Hri; Fig. 3.3.3), maar de overgang met de Ahe1 is zeer onduidelijk.
- Poriën: Minder dichte pakking dan D1. Veel wortelkanalen, sluipgangen van potwormen en grovere wormgangen. Met name in het gedeelte met de verkoolde wortel komen veel wormgangen voor (tot Ø 1000 µm). (Fig. 3.3.2).
- Wortels: Als Ahe2.
- Bodemfauna-activiteit: Als Ahe2; maar hier komen meer macrofauna-excrementen voor van wormen en ook wormgangen. Met name in het gedeelte met de verbrande wortel. De macrofauna excrementen zijn voor een groot deel weer aangevreten door potwormen.
- Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels komen sporadisch voor.
- Verstoringen: Tussen -2 en -6 cm diepte zit een holte van een boomwortel die deels is opgevuld met excrementen en deels met materiaal afkomstig van boven, inclusief relatief vers strooisel waarin mijten actief zijn. Deze opvulling is zeer donker van kleur door menging met verkoold materiaal in excrementen (Fig. 3.3.2).
- Andere verschijnselen: Sporanchia. Hier en daar een houtskoolfragmentje, al enigszins aangevreten door bodemfauna.



Figuur 3.3.2. Detailfoto van de Ahe1-horizont van Linde 3. Voormalige wortelholte waarin een verkoolde wortel is aangevreten door macro- en mesofauna en omgezet in excrementen.



Figuur 3.3.3. Detailfoto van de Hr/Abe1-horizont van Linde 3.

+3 tot 0 cm (Fz):

Organisch materiaal: Voornamelijk resten van blad, knopjes en takjes in meer of mindere mate afgebroken en meso- en macrofauna-excrementen. De organische resten zijn niet duidelijk in een richting georiënteerd maar liggen kris kras door elkaar. Onderin de F-laag is het materiaal al redelijk verkleind en verzwart; er is een geleidelijke overgang van meer L/Fz-achtig materiaal bovenin naar meer Hr-achtig materiaal onderin.

Wortels: Enkele fijne worteltjes van ca. 200 µm Ø.

Bodemfauna-activiteit: Veel excrementen van springstaarten en van allerlei macrofauna (Ø tot 800 µm). Deze zijn van oppervlakkig levende, strooiselvretende wormen (*epigeïcs*), larven etc. Ook zijn er enkele excrementen van mijten aanwezig (Fig. 3.3.1.b).

Microbiële activiteit: Er zijn nauwelijks schimmeldraden.

Verstoringen: Boven de wortelholte is de organische laag dikker en door elkaar gemengd. Hierdoor is de F-laag ook onregelmatig van dikte.

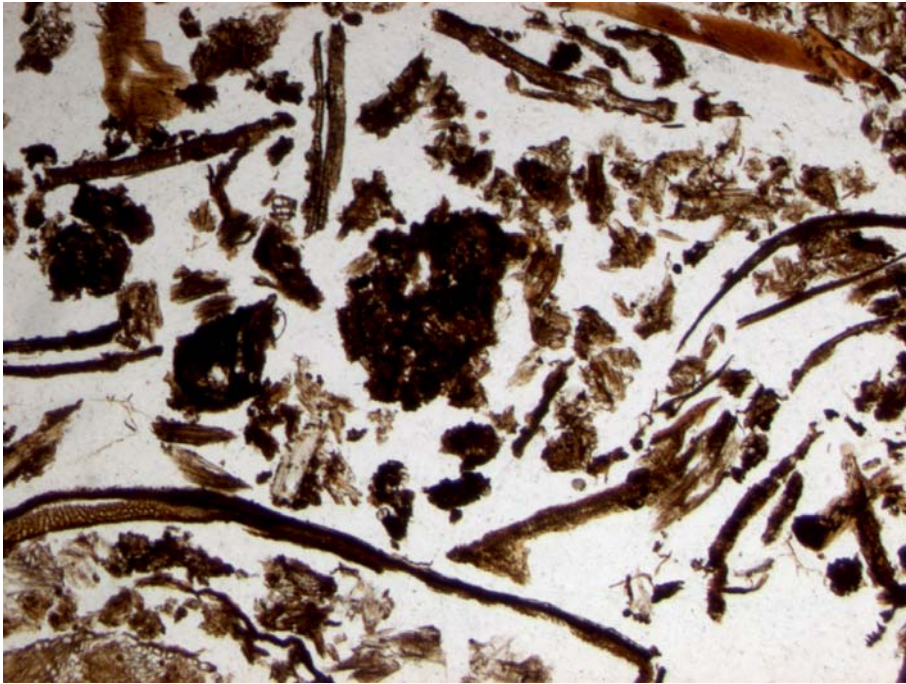
Andere verschijnselen: Geleidelijke overgang van mineraal naar organisch profiel.

+3,8 tot +3 cm (L):

Organisch materiaal: Voornamelijk resten van blad, knopjes en takjes, met name veel bladmateriaal. Dit is minder ver afgebroken dan in de F-horizont. Ook komen veel meso- en macrofauna-excrementen voor.

Wortels: Geen.

Bodemfauna-activiteit: Veel excrementen van springstaarten en allerlei vezelige excrementen van macrofauna zoals dipteralarven (Fig 3.3.4).
 Microbiële activiteit: Nauwelijks schimmeldraden.
 Verstoringen: Boven de wortelholte is de organische laag dikker en door elkaar gemengd. Hierdoor is de L-laag ook onregelmatig van dikte.
 Andere verschijnselen: n.v.t.



Figuur 3.3.4. Detail van de L-horizont van Linde 3.

Interpretatie:

Het betreft hier een moderprofiel. Het grootste verschil met Linde 1 is de aanwezigheid van een dik organisch profiel van 4 tot 5 cm dik en er is minder activiteit en diversiteit van bodemfauna in de Ahe-horizont. Er is sprake van een sterke verstoring door brand. Verkoold wortelmateriaal is door bodemfauna aangevreten en gemengd met mineraal materiaal. Deze brand heeft dus al enige tijd geleden plaatsgevonden, maar wel na aanplant van de opstand. Op de plaats van de verbrande wortel is er meer diversiteit van bodemfauna. Macrofauna-excrementen worden weer aangevreten door mesofauna als potwormen en springstaarten. Op de plek van de verbrande wortel is ook een depressie ontstaan, waarin materiaal van de strooisellaag is gevallen. Hierdoor is plaatselijk relatief vers strooisel onder de fermentatielaag terecht gekomen.

3.4 Esdoorn

Veldbeschrijving

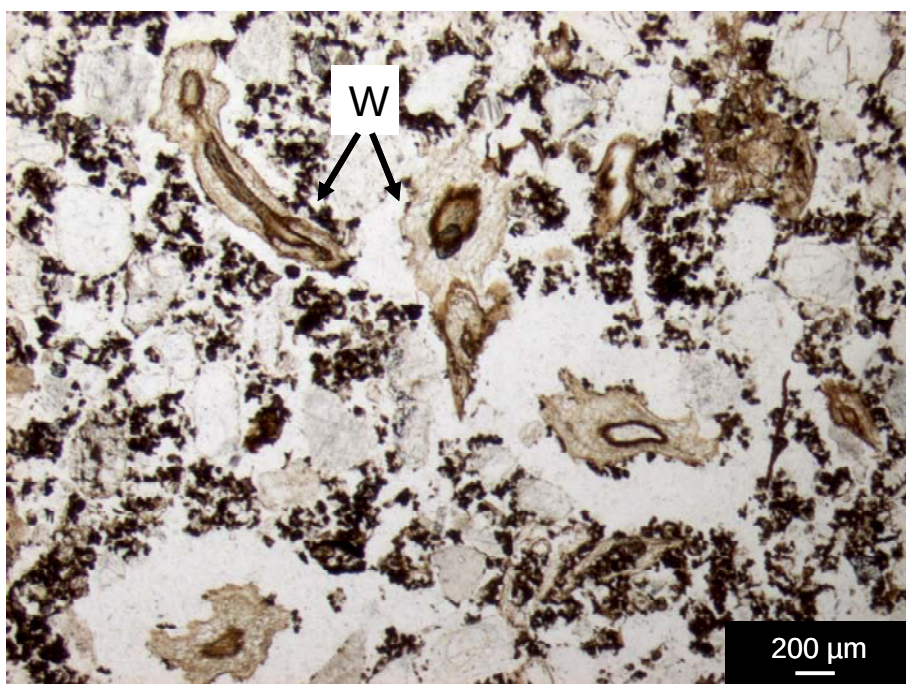
Diepte (cm)	Horizon	Beschrijving
6-3,5	L	Strooisellaag, voornamelijk bestaande uit eiken- en esdoornbladeren.
3,5-0,5	F	Roestbruine (5YR3/3) fermentatielaag
0,5-0	H	Diep roodbruine (2.5YR3/2) humuslaag
>0	Ahe	Donker grijsbruin (5YR2.5/1) humeus leemarm zand met gebleekte kwartskorrels

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +4,8 tot -9,5 cm (Fig. 3.4.1.a).

0 tot -9,5 cm (Ahe):

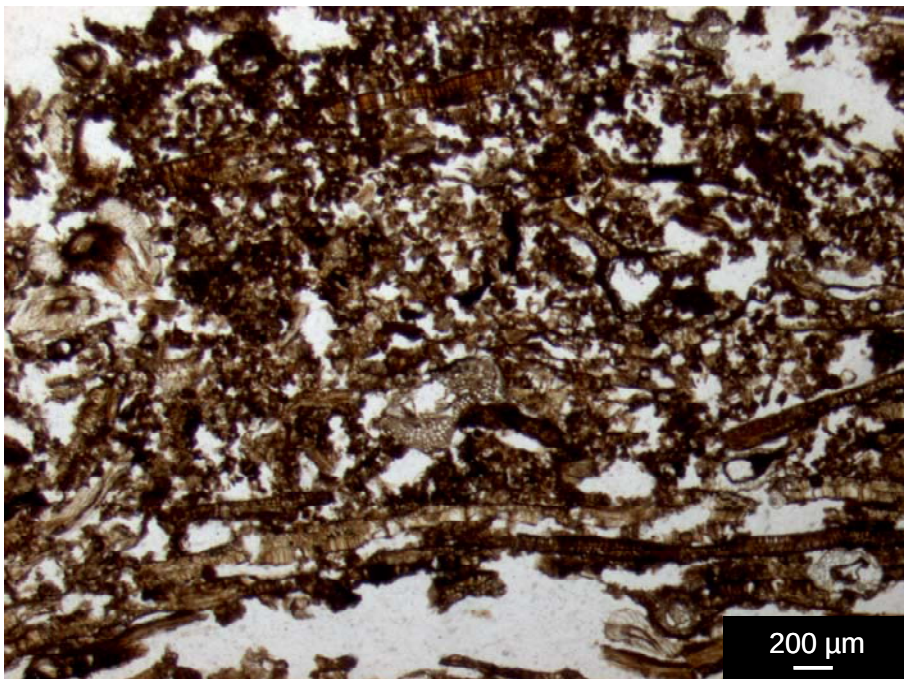
Mineraal materiaal:	Als Linde 1, maar met grind tot Ø 1,5 cm (Fig. 3.4.1.d).
Mate van uitloging:	Meeste korrels zijn bedekt met huidjes (>70%), maar vaak discontinu. In de bovenste 2 cm komen meer geloogde korrels voor, maar niet dominant.
Organisch materiaal:	Tussen de korrels bevinden zich moderbolletjes van 40-150 µm, donkerbruin van kleur. Ook bevat deze horizont macro-organische resten, met name van wortelresten.
Poriën:	Voornamelijk wortelgangen, wormgangen en sluipgangen van potwormen.
Wortels:	In de hele Ahe komen veel wortels voor, duidelijk meer dan in de drie lindenopstanden. De wortels hebben een doorsnede van 400-2000 µm (Fig. 3.4.1.d en 3.4.2).
Bodemfauna-activiteit:	Voornamelijk potwormen, maar ook wel enige tekenen van macrofauna-wormen in de vorm van excrementen en (met excrementen opgevulde) wormgangen (Fig. 3.4.1.d).
Microbiële activiteit:	Schimmeldraden zijn wel aanwezig maar in kleine hoeveelheden.
Verstoringen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	Sporanchia en bovenin enkele verkoolde fragmentjes (ingewaaide asrestjes).



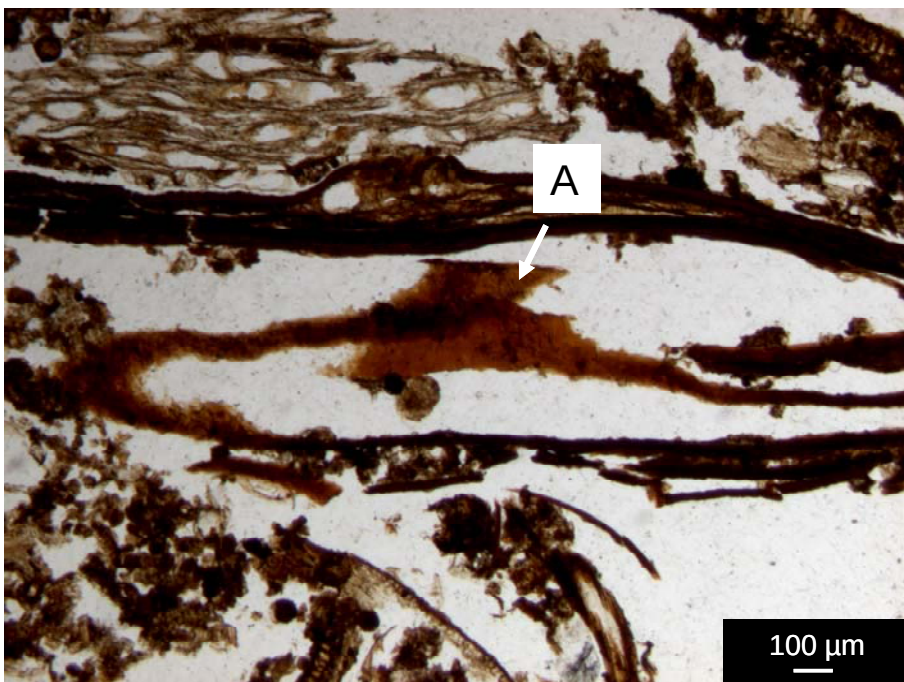
Figuur 3.4.2. Detailfoto van de Ab-horizont van Esdoorn op een diepte van -1 cm.
W = *Wortels*.

+1 tot 0 cm (Hr):

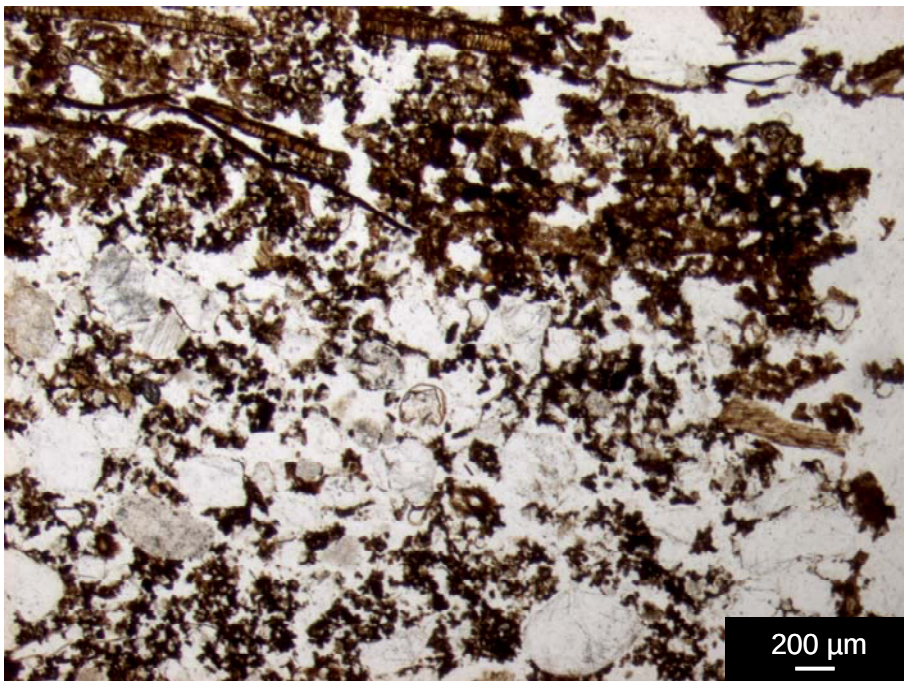
- Organisch materiaal:** Horizontaal (dakpansgewijs) georiënteerde macro-organische resten (voornamelijk bladmateriaal) in meest vergevorderde staat van omzetting. Alleen de meest resistente resten, zoals parenchym, bladnerfjes en houtig materiaal zijn nog herkenbaar (Fig. 3.4.3). Mesofauna-excrementen zijn ook aanwezig maar moeilijk te herkennen.
- Wortels:** Veel fijne wortels met Ø 200-600 μm.
- Bodemfauna-activiteit:** De mesofauna bestaat uit potwormen en mijten. De relatief vormeloze mesofauna-excrementen duiden op veel activiteit van springstaarten.
- Microbiële activiteit:** De amorfe, roodgekleurde organische resten duiden op bacteriële omzetting (Fig. 3.4.4). Op de overgang naar de minerale bodem zijn vrij veel schimmeldraden zichtbaar.
- Verstoringen:** n.v.t.
- Andere verschijnselen:** Zeer scherpe overgang naar de minerale bodem (Fig 3.4.5).



Figuur 3.4.3. Detailopname van de onderkant van de Hr-horizont van Esdoorn op een diepte van +0,5 cm. Bladresten zijn dakpansgewijs gestapeld.



Figuur 3.4.4. Detailopname van de Hr-horizont van Esdoorn op een diepte van +0,5 cm. A = Amorf organisch materiaal.



Figuur 3.4.5. Detailfoto van de scherpe overgang tussen de Abe-horizont en het ectorganisch profiel onder Esdoorn.

+3,5 tot +1 cm (Faz):

Organisch materiaal: Fermentatielaag, grotendeels bestaande uit allerlei organische excrementen en daarnaast redelijk herkenbare macro-organische resten (maar meer omgezet dan de L). Op sommige plaatsen zijn blad- en houtresten zichtbaar aangetast door mijten en schimmels. De laag heeft een luchtige pakking en geen duidelijk oriëntatierichting van de organische resten (Fig. 3.4.1c, 3.4.6).

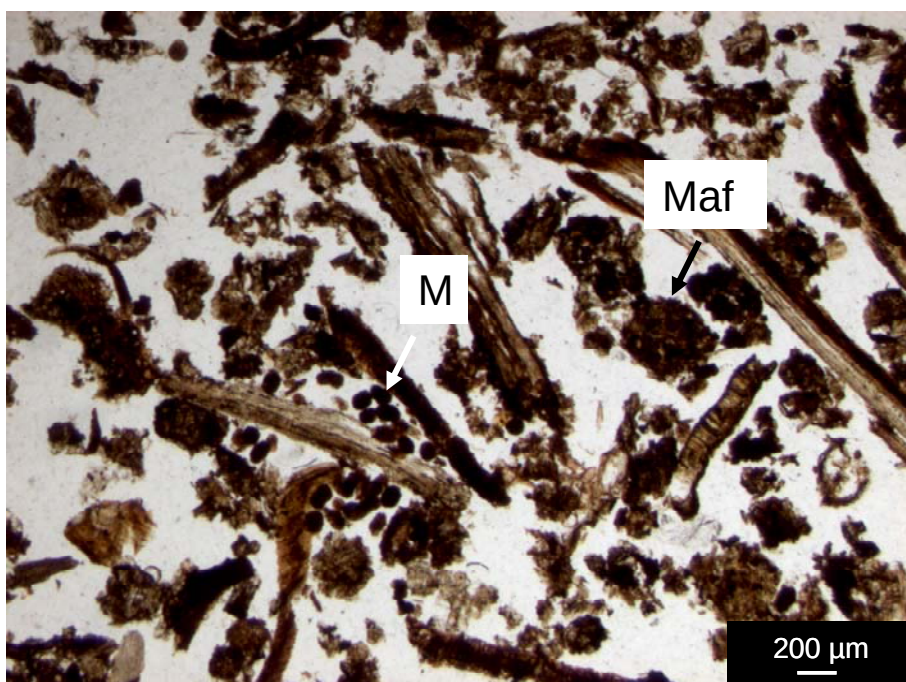
Wortels: Vrij veel fijne wortels ($\varnothing$ 200-400 μ m).

Bodemfauna-activiteit: Excrementen van mijten, springstaarten en potwormen (Fig. 3.4.7). Ook vezelige macrofauna excrementen (200-1600 μ m) komen veel voor (Fig. 3.4.1c, 3.4.6).

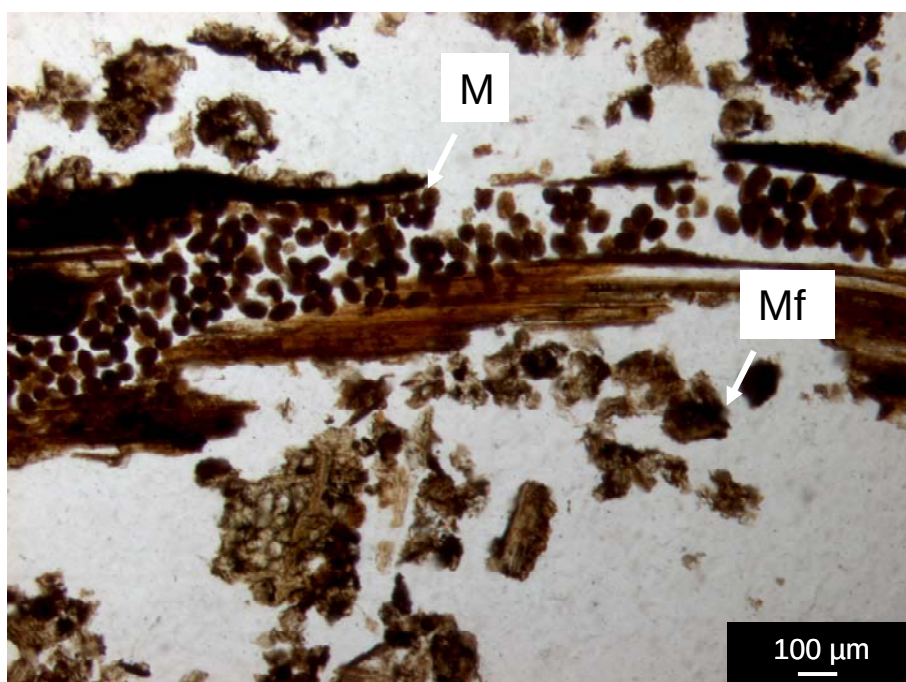
Microbiële activiteit: Schimmeldraden zijn plaatselijk aanwezig in houtresten.

Verstoren: n.v.t.

Andere verschijnselen: Geleidelijke overgang tussen de H- en de F-laag.



*Figuur 3.4.6. Detailopname van de Faz-horizont van Esdoorn op een diepte van +3 cm.
M = Mijtenexcrementen. Maf = Macrofauna-excrementen.*



*Figuur 3.4.7. Detailopname van de Faz-horizont van Esdoorn op een diepte van +1,5 cm.
M = Mijtenexcrementen in deels afgebroken macro-organische resten. Mf = Mesofauna-excrementen.*

+5 tot +3,5 cm (L):

Organisch materiaal: Minst afgebroken blad- en takmateriaal met daartussen mesofauna-excrementen. Organische resten zijn los gepakt en horizontaal georiënteerd en plaatselijk aangetast door mijten en schimmels. Daartussen bevinden zich puur organische excrementen (Fig. 3.4.1.b).

Wortels: Geen.

Bodemfauna-activiteit: Vezelige macrofauna excrementen (rond tot cilindrisch met een doorsnede van Ø 200 tot 1200 µm). Ook zijn excrementen van springstaarten en mijten aanwezig.

Microbiële activiteit: Schimmeldraden zijn aanwezig, vooral in houtige plantaardige resten.

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: De overgang tussen de F- en L-laag is geleidelijk.

Interpretatie:

Opvallend is dat zich onderin het organisch profiel een 1 à 2 cm dikke laag horizontaal georiënteerde bladresten bevindt die dakpansgewijs is gestapeld. Het organisch profiel bevat grovere resten van bladeren dan onder linde wat kan betekenen dat het minder afbreekbaar is of dat de omstandigheden niet gunstig zijn voor de macrofauna die het eerste, grove verkleinwerk doet. Daarboven is het organisch materiaal echter wel sterk omgezet in excrementen. Het organisch profiel heeft een andere bodemfaunasamenstelling dan in Linde 1 en 2, namelijk meer macrofauna-wormen zoals *Dendrobaena spec.* en *Aporrectodea rosea*, terwijl de mesofauna minder springstaarten heeft, maar wel mijten (in de bladeren) en potwormen. Ook zijn er minder schimmeldraden dan in de profielen van de lindenopstanden.

Er is een zeer scherpe overgang naar de minerale laag. Daaronder bevindt zich een homogene moder, die voornamelijk bestaat uit potworm-excrementen, hoewel er ook enige activiteit van macrofauna is. De Ah-horizont lijkt meer op linde dan op Eik, maar er zitten meer wortels in de ondergrond onder Esdoorn. De wortels zijn deels omgezet door de aanwezige meso- en macrofauna. De potwormen leven kennelijk voornamelijk van de wortels en niet van strooisel, waardoor er nauwelijks menging optreedt. Hierdoor is er sprake van een soort twee-fasensysteem waarbij voornamelijk afbraak optreedt van ondergronds materiaal en de wortels in plaats van het strooisel de fauna-activiteit bepalen.

3.5 Haagbeuk

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
7-6	L	
6-3	F	Roestbruine (5YR3/3) fermentatielaag met veel fijne wortels.
3-0	H	Zeer donkerbruine (5YR2.5/2) humeuze laag.
0-2,5	Ahe1	Donker grijsbruin (5YR2.5/1) humeus leemarm zand met gebleekte kwartskorrels.
2,5-11	Ahe2	Donkerbruin (7.5YR3/2) humeus leemarm zand met veel grint en vrij veel wortels.
>11	AB	Geelbruin (7.5YR4/4) leemarm zand met veel grint en vrij veel wortels.

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +4 tot -10,2 cm (Fig. 3.5.1.a).

-4 tot -10,2 cm (Ahe2):

Mineraal materiaal:	Vergelijkbaar met Linde 1 met grof grind tot Ø 2 cm.
Mate van uitloging:	Meeste korrels hebben huidjes (>75%), maar vaak discontinu. Naar boven toe steeds meer geloogde korrels.
Organisch materiaal:	Voornamelijk in de vorm van moderbolletjes. Ook zijn er vrij veel aangetaste wortelresten (Fig. 3.5.1.d).
Poriën:	Veel biologische holtes van bodemfauna en wortels.
Wortels:	Minder wortels dan onder Esdoorn en met een doorsnede variërend van 200-600 µm.
Bodemfauna-activiteit:	Excrementen (Ø 40-120 µm) en gangen van mesofauna (potwormen), maar zeer weinig van macrofauna. Bovendien zijn macrofauna-excrementen weer aangevreten door potwormen.
Microbiële activiteit:	Weinig schimmeldraden.
Verstoringsen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	n.v.t.

0 tot -4 cm (Ahe1):

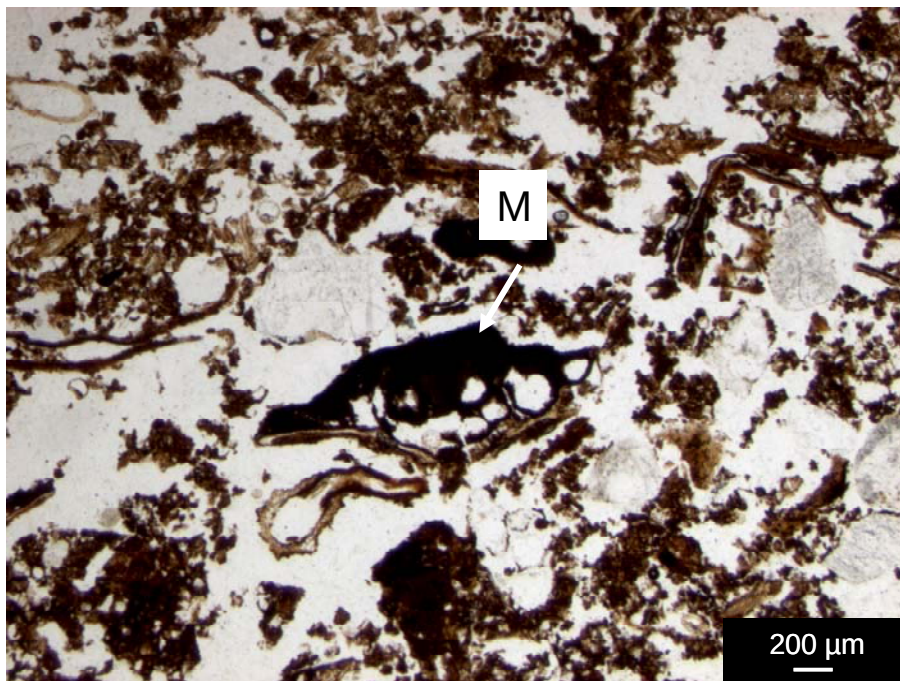
Mineraal materiaal:	Als Ahe2.
Mate van uitloging:	Veel zandkorrels hebben discontinue huidjes of zijn volledig gebleekt. Het percentage geloogde korrels is >40%.
Organisch materiaal:	Voornamelijk in de vorm van moderbolletjes (Fig. 3.5.1.c).
Poriën:	Veel biologische holtes door wormen en wortels. Naast sluipgangen van potwormen ook macrofauna wormgangen. Meer poriën dan de onderliggende Ahe2.
Wortels:	Enkele wortels met doorsneden van 200-400 µm.
Bodemfauna-activiteit:	Op de overgang tussen organisch en mineraal profiel komen veel springstaarten voor; naar onderen toe meer potwormen. Ook zijn er tekenen van enige activiteit van macrofauna-wormen in de vorm van gangen en excrementen, maar het is niet veel en de excrementen worden ook weer aangevreten door mesofauna.
Microbiële activiteit:	Weinig schimmeldraden.
Verstoringsen:	Er zit een enorme verstoring in deze horizont. Waarschijnlijk heeft hier een muis gegraven. Hierdoor zijn het onderste deel van het organisch profiel en het bovenste de Ah1 grotendeels door elkaar gewoeld. Hierdoor is de (natuurlijke) scheiding van de horizonten moeilijk te bepalen (Fig. 3.5.1.a).
Andere verschijnselen:	Geleidelijke overgang Ahe2 naar Ahe1.

+2 tot 0 cm (Hri):

Organisch materiaal:	Plantaardige resten in vergevorderde staat van afbraak en veel mesofauna-excrementen, deels vervloeid. Alleen meest resistente overblijfselen als nerfjes en knopjes zijn nog
----------------------	---

herkenbaar. Deze zijn overwegend horizontaal georiënteerd (Fig 3.5.1.b; 3.5.2).

- Wortels: Fijne wortels met doorsneden tot ca. 300 µm.
- Bodemfauna-activiteit: Veel mesofauna-excrementen van springstaarten en potwormen. Ook zeer veel excrementen van mijten.
- Microbiële activiteit: Weinig schimmeldraden, maar amorf organisch materiaal duidt op bacteriële omzetting.
- Verstoringsen: Het onderste deel van het organisch profiel en het bovenste de Ahe1 grotendeels door elkaar gewoeld door een muis o.i.d. Hierdoor zijn er minerale korrels door de Hri-horizont gemengd (Fig 3.5.2).
- Andere verschijnselen: n.v.t.

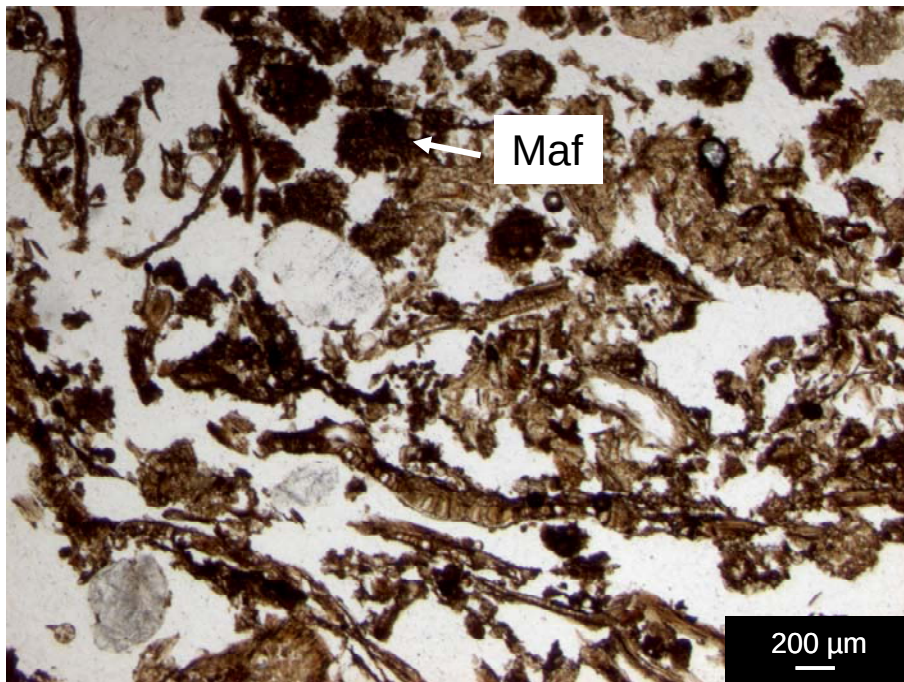


Figuur 3.5.2. Detailfoto van de Hri-horizont van Haagbeek. Door de verstoring, veroorzaakt door een gravende muis, zijn de minerale korrels uit de Ahe en de Hri-horizont enigszins door elkaar gemengd.

+3,5 tot +2 cm (Fz):

- Organisch materiaal: Deels afgebroken bladmateriaal, takjes en knopjes, in minder vergevorderde staat dan in de Hri-horizont. De bladresten zijn rommelig georiënteerd. Ook zijn er veel excrementen.
- Wortels: Vrij weinig wortels met doorsneden tot ca. 300 µm.
- Bodemfauna-activiteit: Veel grote vezelige macrofauna excrementen van strooiseletende wormen en larven (Fig. 3.5.3), waarin vervolgens weer mijten actief zijn geweest. Ook de herkenbare plantaardige resten zitten vol met excrementen van mijten en onregelmatig gevormde mesofauna-excrementen van o.a. springstaarten.

Microbiële activiteit: Weinig schimmeldraden.
 Verstoringen: Aan de rechterkant van de slijpplaat ligt het Fz-materiaal dieper door de onderliggende holte waarin een muis o.i.d. heeft zitten woelen. Hierdoor is de parallelle oriëntatie van het strooisel diagonaal i.p.v.-horizontaal. Plaatselijk zitten er ook minerale korrels door de Fz-horizont gemengd (Fig. 3.5.3).
 Andere verschijnselen: n.v.t.



*Figuur 3.5.3. Detailfoto van de Fz-horizont van Haagbeuk. Minerale korrels uit de Abe zijn enigszins door de Fz gemengd ten gevolge van de graafactiviteiten van een muis o.i.d.
 Maf = Macrofauna excrement.*

+4 tot +3,5 cm (L):

(De L-laag is er grotendeels afgezaagd)

Organisch materiaal: In deze relatief weinig aangetaste L-laag is het materiaal wel verkleind door macrofauna. Mijten tasten de plantaardige resten van binnenuit aan.
 Wortels: Geen.
 Bodemfauna-activiteit: Excrementen van mijten, springstaarten en macrofauna (larven en wormen).
 Microbiële activiteit: Weinig schimmeldraden
 Verstoringen: n.v.t.
 Andere verschijnselen: n.v.t.

Interpretatie:

Het betreft hier een bruine tot zwartbruine moder. De omzetting van het strooisel gebeurt door een minder diverse bodemfauna dan onder linde en esdoorn. De eerste fase van de afbraak, het kleinmaken van het strooisel door de macrofauna in de L- en F-horizont, verloopt goed. De mesofauna doet het echter niet zo goed en er is sprake van een enigszins zure omzetting. Er zijn geen tekenen van macrofauna-activiteit zichtbaar in het minerale profiel onder Haagbeuk. De lichte verzwarting en vervloeiing van de moder duiden op zuurdere omstandigheden.

Het organisch profiel is zeer onregelmatig van dikte. Er is een sterke verstoring waardoor een deel van het organisch profiel is begraven. Waarschijnlijk betreft het een holte die door een muis o.i.d. is gegraven.

3.6 Eik (jong)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
5-4	L	Strooisellaag voornamelijk bestaande uit eikenbladstrooisel.
4-0	F	Donkerbruine (7.5YR3/2) fermentatielaag
<0	Ah	Donker grijsbruin (5YR3/1) humeus, leemarm zand met grind.

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +4,2 tot -9,8 cm (Fig. 3.6.1.a).

-8 tot -9,8 cm (Ah2):

- Mineraal materiaal: Als Linde 1 met grind tot Ø 5000 µm, maar lossere pakking: 45% zand, 10% silt en klei.
- Mate van uitloging: De meeste korrels hebben roodbruine huidjes, soms discontinu.
- Organisch materiaal: Moderbolletjes zijn donker gekleurd, en meer vervloeid, verzwart en verschimmeld dan onder linde (Fig. 3.6.1.d).
- Poriën: Poriënvolume van ca. 45%; veel wortel- en faunagangen, tot ca. 1 mm doorsnede.
- Wortels: Weinig intacte wortels, maar wel veel wortelholtes van 200-800 µm.
- Bodemfauna-activiteit: Moderbolletjes wijzen op activiteit van potwormen en er zijn weinig macrofauna-excrementen. De grotere wormgangen duiden wel op enige macrofauna-activiteit, maar potwormen domineren sterk want bijna alle macrofauna-excrementen zijn opgeruimd. Excrementen van mijten zijn zichtbaar in deels afgebroken organisch materiaal op 10 cm diepte (Fig. 3.6.2).
- Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels komen vrij veel voor (Fig. 3.6.3).
- Verstoringen: n.v.t.
- Andere verschijnselen: Sporanchia van varens.

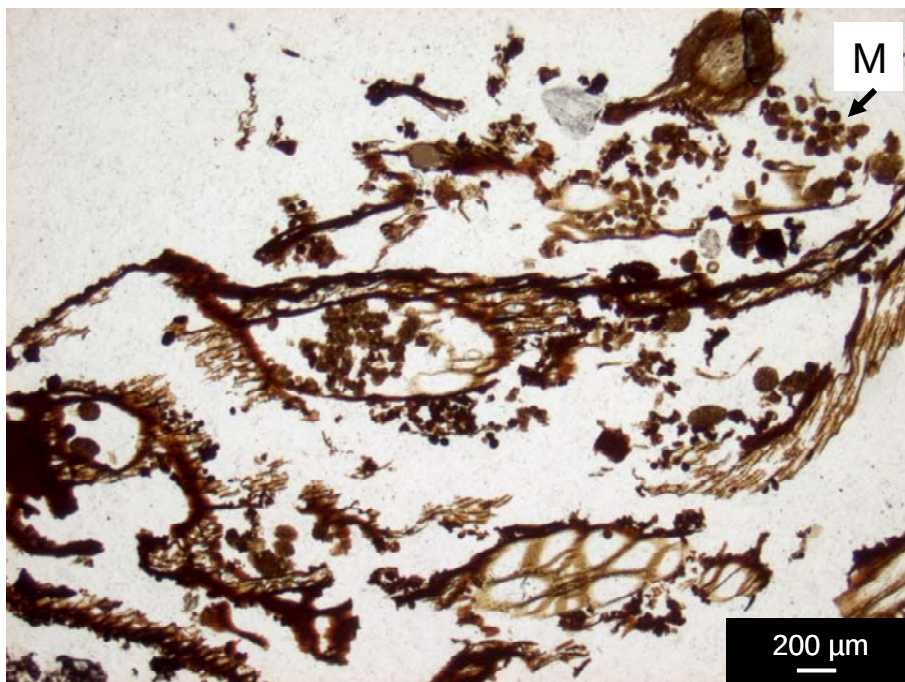


Fig. 3.6.2. Detailfoto van deels afgebroken organisch materiaal in de Ah2-horizont van Eik (jong) op een diepte van -10 cm.
M = mijtexcrementen.

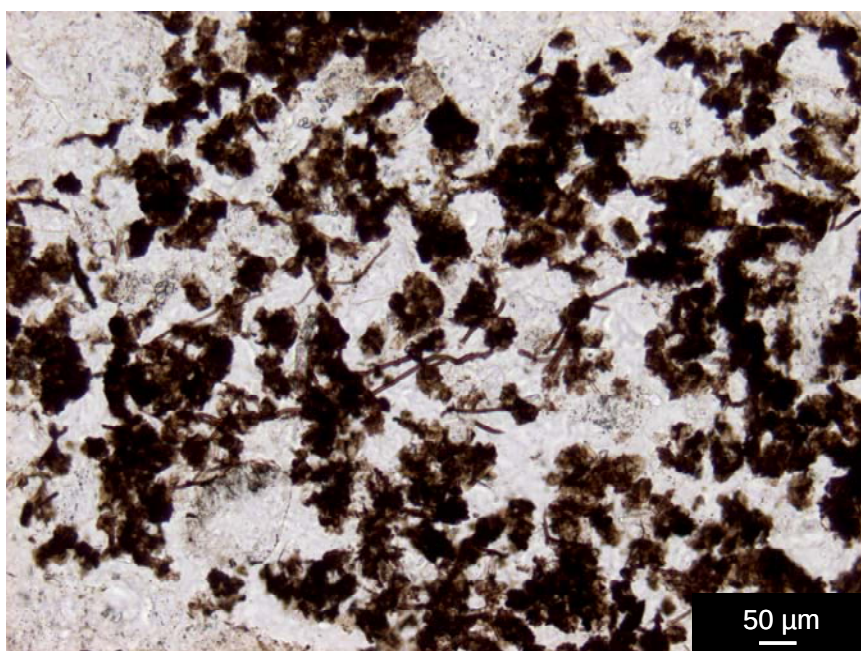


Fig. 3.6.3. Detailfoto van de Ah2-horizont van Eik (jong) op een diepte van -9 cm.
Met schimmeldraden.

0 tot -8 cm (Ah1):

Mineraal materiaal:	Als Linde 1
Mate van uitloging:	Korrels hebben roodbruine tot grijze huidjes, hoewel soms discontinu. Hier en daar komen ook volledig gebleekte korrels voor.
Organisch materiaal:	Moderbolletjes tussen de korrels zijn meer vervloeid en zwarter dan in de Ah2 en vooral ten opzichte van de lindenopstanden. Naar boven toe worden verzwarting en vormverlies steeds duidelijker zichtbaar (Fig. 3.6.1c).
Poriën:	Meer biologische holten dan in de Ah2. Dit zijn voornamelijk sluipgangen van wormen en veel wortelgangen tot enkel mm Ø, waarin de wortel grotendeels is afgebroken (Fig. 3.6.4).
Wortels:	Relatief weinig intacte wortels
Bodemfauna-activiteit:	Excrementen zijn voornamelijk van mesofauna, maar vaak ook onherkenbaar door sterke samenvloeiing. Door de vervloeide moderbolletjes is opnieuw heengevreten. Hierdoor zijn gangen ontstaan van ca. Ø 200 µm (Fig. 3.6.1.c).
Microbiële activiteit:	Hyfen van schimmels.
Verstoringen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	Sporanchia van varens.

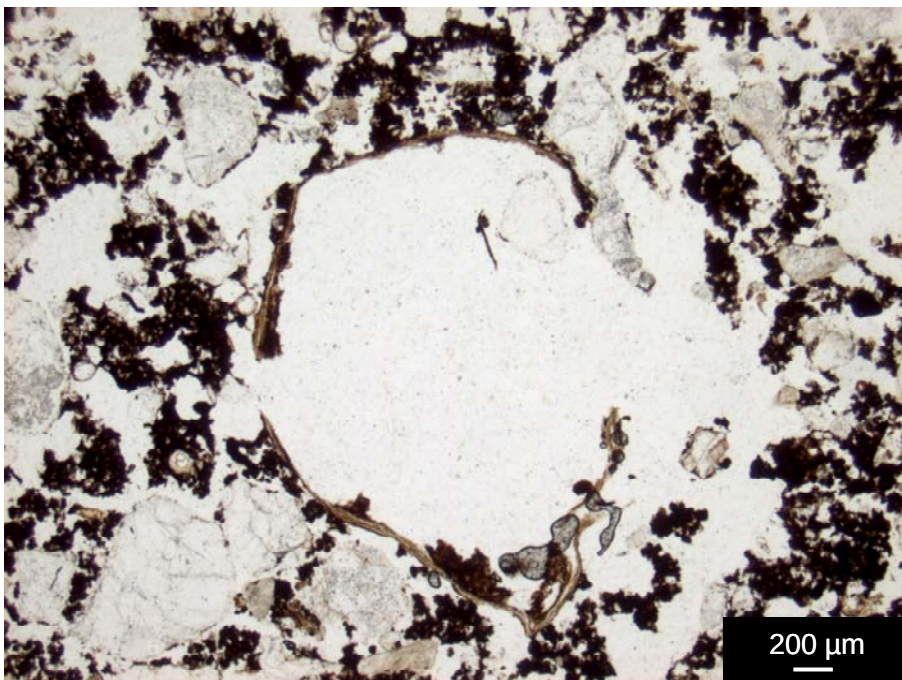
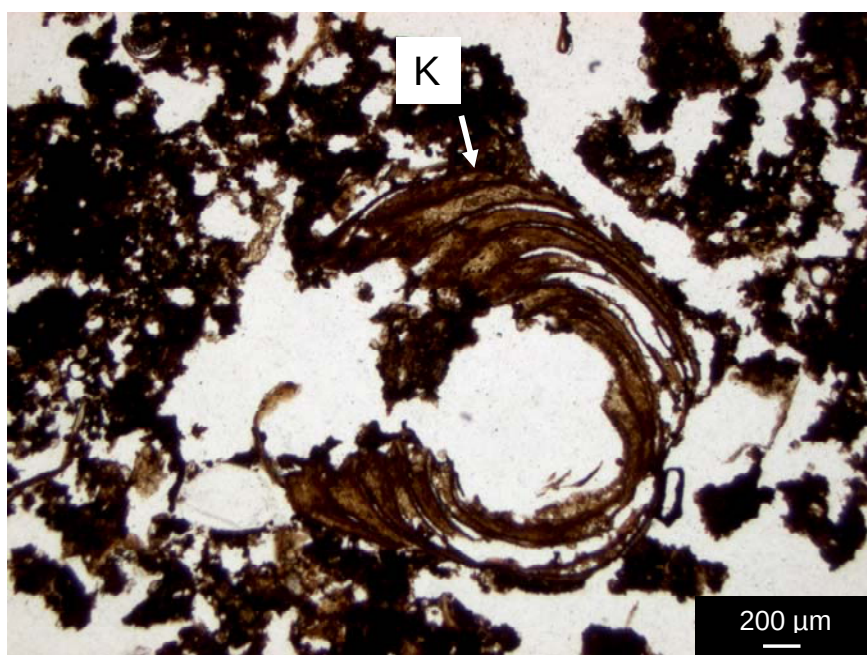


Fig. 3.6.4. Detailfoto van een wortelgang met grotendeels afgebroken wortelmateriaal in de Ah1-horizont van Eik (jong) op een diepte van 4 cm.

+1,5 tot 0 cm (Hr):

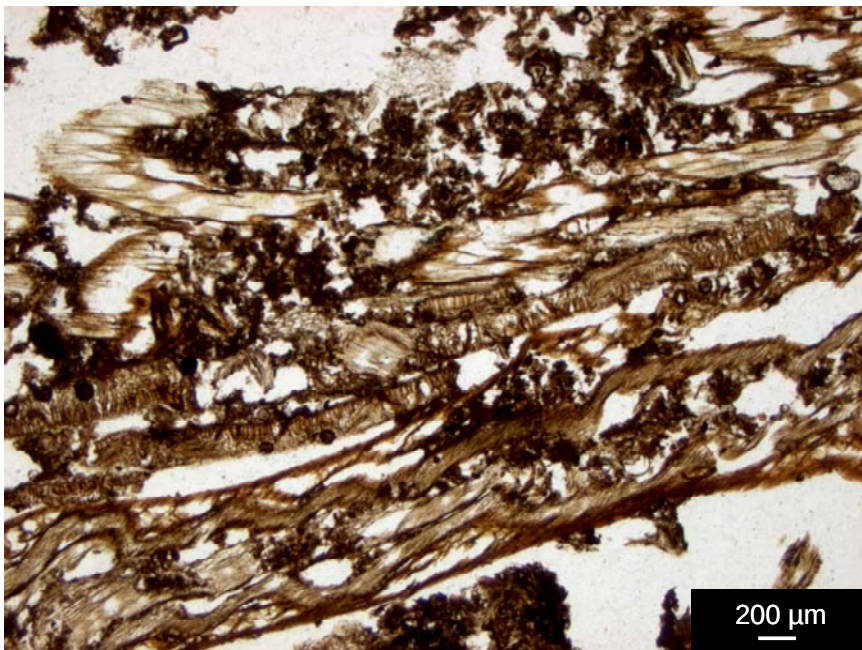
- Organisch materiaal: Moeilijk herkenbaar, zeer donkergekleurd organisch materiaal. Alleen de meest resistente delen zoals knopjes zijn nog redelijk intact (Fig. 3.6.5). Het materiaal heeft een luchtige pakking door de grote hoeveelheid gangen van bodemfauna.
- Wortels: Plaatselijk concentraties van fijne wortels, Ø ca. 200 µm.
- Bodemfauna-activiteit: Nauwelijks herkenbare excrementen.
- Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels.
- Verstoren: n.v.t.
- Andere verschijnselen: De grens tussen minerale en organische laag is geleidelijk en de H-horizont is onregelmatig van dikte (0,5 – 2 cm dik).



*Figuur 3.6.5. Detailfoto van de Hr-horizont van Eik (jong) op een diepte van + 1 cm.
K = Resten van een knopje.*

+2,5 tot +1,5 cm (Fa):

- Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerd, deels afgebroken blad- en takmateriaal met herkenbare celstructuren zoals nerfjes. Het materiaal heeft een vezelige structuur. Het is roodbruin van kleur en niet verzwart. Daartussen bevinden zich vezelige excrementen, maar niet in grote hoeveelheden (Fig. 3.6.6).
- Wortels: Nauwelijks wortels.
- Bodemfauna-activiteit: Excrementen van springstaarten en veel excrementen van mijten, enkele vezelige macrofauna-excrementen.
- Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels
- Verstoren: n.v.t.
- Andere verschijnselen: Vrij geleidelijke overgang naar H-horizont.



Figuur 3.6.6. Detailfoto van de Fa-horizont van Eik (jong) op een diepte van + 2 cm.

+4,2 tot +2,5 cm (L):

Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerd, weinig afgebroken plantenresten, m.n. bladmateriaal (Fig. 3.6.1.b).

Wortels: Geen

Biologische activiteit: Veel vezelige macrofauna-excrementen ($\varnothing$ 200-400 μ m). Ook veel excrementen van mijten en hyfen van schimmels.

Andere verschijnselen: Geleidelijke overgang tussen L-en F-horizont.

Interpretatie:

Dit profiel heeft een relatief dikke ectorganische laag. Vergeleken met Linde 1, 2 en 3 en Esdoorn is er een omzetting naar meer vervloeid en verzwart materiaal. In het organisch profiel hebben mijten de makkelijk afbreekbare weefsels (parenchym) aangevreten. Verder zijn er excrementen van potwormen en vezelige uitwerpselen van larven en andere macrofauna. Materiaal wordt na het L- en F-stadium verder omgezet door een weinig diverse bodemfauna. Er is wel enige activiteit van macrofauna-wormen, maar potwormen zijn dominant en zetten de grotere wormexcrementen kennelijk snel om. Verder is er een belangrijke microbiële invloed. Dit resulteert in een zwarte mormoder. Er is sprake van inspoeling van amorf organisch materiaal in de bovenste centimeters van de minerale bodem. Naar beneden toe zijn er wel meer herkenbare excrementen van potwormen. In het algemeen is er sprake van een zuurdere, minder diverse afbraak dan onder linde en dit resulteert in degradatie van het moderprofiel. Er zijn beduidend minder wortels dan onder esdoorn.

3.7 Eik (oud)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
7-5	L	Strooisellaag, voornamelijk bestaande uit eikenbladstrooisel. Hierin lopen enkele pissebedden en mieren rond.
5-1	F	Roestbruine (5YR3/3) fermentatielaag bestaande uit deels omgezet strooisel waarin bladnerven nog zichtbaar zijn.
1-0	H?	Zeer donkerbruine (5YR2.5/2) amorfe humeuze laag.
0-20	Ahc	Zeer donker grijsbruin (10YR2/1) humusrijk leemarm zand met gebleekte kwartskorrels en grind
>20	AB	Donker geelbruin (10YR3/3) leemarm zand.

Micromorfologie

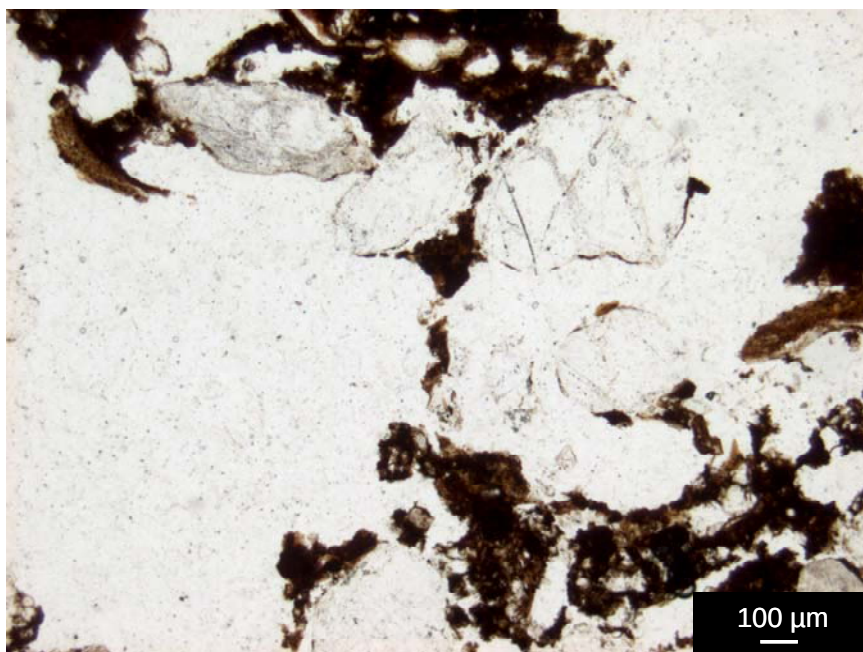
Diepte slijpplaat: +6,8 tot -7,3 cm (Fig. 3.7.1.a).

0 tot -7,3 cm (AE):

Mineraal materiaal:	Als Linde 1, maar met minder grof grind tot Ø 2500 µm.
Mate van uitloging:	De meeste korrels bevatten donkergekleurde huidjes, hoewel meestal discontinu en ook zijn er veel gebleekte korrels. De discontinue huidjes om de korrels blijken bij sterke vergroting vaak ook hyfen van schimmels te zijn (Fig. 3.7.2).
Organisch materiaal:	Er is inspoeling van humus vanuit de H-horizont in de bovenkant van de Ah (Fig. 3.7.3). Naar onderen toe meer moderbolletjes tussen de zandkorrels, maar deze zijn vervloeid en verzwart en dit wordt naar boven toe sterker. Wel is dit verschijnsel minder extreem dan in “Eik (jong)” (Fig. 3.7.1d).
Poriën:	Vrij poreus, met allerlei doodlopende biologische holten van ca Ø 400-2000 µm.
Wortels:	Niet zoveel wortels als onder Linde en zeker minder dan onder Esdoorn, Ø 200-400 µm.
Bodemfauna-activiteit:	Nauwelijks excrementen van macrofauna, maar wel gangen (Fig. 3.7.1d). Er is een dominante invloed van mesofauna, maar de excrementen zijn slecht herkenbaar door de sterke vervloeiing.
Microbiële activiteit:	Ook komen er relatief veel schimmels voor vergeleken met de profielen onder linde en esdoorn.
Verstoringsen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	Sporanchia van varens.



*Figuur 3.7.2. Detailfoto van de AE-horizont van Eik (oud) op een diepte van -5 cm. Schimmeldraden liggen als discontinue huidjes om de korrel en lijken ook in de korrels door te dringen.
S = hyfen van schimmels.*



Figuur 3.7.3. Inspoeling van amorfe humus in de bovenkant van de Abe-horizont van Eik (oud).

+1 tot 0 cm (Hr/Hh):

Organisch materiaal: Bandje zeer donkergekleurd amorfachtig materiaal met hier en daar een resistent restje van een blad(nerven), knopje of takje. Nauwelijks herkenbare excrementen. Losse pakking. (Fig. 3.7.1.c).

Wortels: Vrij veel zeer fijne wortels, Ø ca. 100 µm.

Bodemfauna-activiteit: Excrementen zijn moeilijk herkenbaar. Excrementen van mijten zijn wel duidelijk zichtbaar.

Microbiële activiteit: Schimmeldraden.

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: Vrij scherpe overgang van de minerale laag naar de H-horizont. De H is onregelmatig van dikte (0,5-2cm), evenals het totale ectorganisch profiel (6-8 cm dik).

+5 tot +1 cm (Fa):

Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerde, deels herkenbare plantaardige resten, met name van knopjes en bladeren. Daartussen bevinden zich ook excrementen, maar niet dominant.

Wortels: Nauwelijks wortels.

Bodemfauna-activiteit: Macrofauna-excrementen met een doorsnede van ca. 400 µm, en enkele vezelige excrementen met een doorsnede van 500-1000 µm van bijvoorbeeld oppervlakkig levende wormen, larven en pissebedden. Ook komen er veel excrementen voor van mijten (in bladeren en knopjes) en springstaarten.

Microbiële activiteit: Boven in deze horizont zijn zeer veel hyfen van schimmels zichtbaar (Fig. 3.7.4).

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: n.v.t.



Figuur 3.7.4. Detailfoto van de schimmeldraden in de Fa-horizont van Eik (oud) op +4 cm diepte.

7 - 5 cm (L):

- Organisch materiaal: Horizontaal georiënteerde plantaardige resten, maar minder sterk aangetast dan in de F-laag. Wel is veel bladmateriaal aangetast door mijten en houtige materialen door schimmels (Fig. 3.7.1.b).
- Wortels: Geen.
- Bodemfauna-activiteit: Enkele vezelige excrementen van macrofauna Ø 200-1000 µm. De mesofauna bestaat voornamelijk uit mijten.
- Microbiële activiteit: Onder in de L-horizont zijn zeer veel hyfen van schimmels zichtbaar (Fig. 3.7.1.b).
- Verstoringsen: n.v.t.
- Andere verschijnselen: Geleidelijke overgang tussen de F- en de L-horizont.

Interpretatie:

Het ectorganisch profiel is hier dikker dan onder Eik (jong). In het organisch profiel hebben mijten de makkelijk afbreekbare weefsels aangevreten (knopjes en blaadjes). In de vaatbundels is de verzuring toegeslagen en er zijn veel dunne schimmeldraden zichtbaar. Er zijn excrementen van meso- en macrofauna, waaronder oppervlakkig levende wormen. Binnen het organisch profiel is er van boven naar onder een overgang van goed verteerbaar materiaal, dat in eerste instantie wel wordt aangetast en verkleind door bodemfauna, naar slechtere afbraakcondities onderin, waarin vooral micro-organismen actief zijn in het afbraakproces. Dit leidt tot verzuring. De overgang van het organisch profiel naar mineraal materiaal is scherper dan onder de lindenopstanden, maar iets minder scherp dan onder esdoorn. Er is ook nog wel wat fauna actief op de overgang. Onderin in de minerale laag zijn weer veel schimmeldraden te vinden en ook vrij veel wormgangen en potworm-excrementen in de vorm van moderbolletjes. Vergeleken met Linde en Esdoorn is er een omzetting naar meer vervloeid, zwarter materiaal, maar minder extreem dan in Eik (jong). Het betreft hier een zwartbruine mormoder. Er zijn veel wortelgangen, maar duidelijk minder wortels dan onder Esdoorn.

3.8 Beuk (jong)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
7-4	L*	Strooisellaag bestaande uit beukenbladstrooisel, beukennotjes en takjes
4-1	F*	Roestbruine (5YR3/3 en 3/4) fermentatielaag
1-0	H*	Donker roestbruine (5YR3/2) humuslaag
0-3	AE	Donker grijsbruin (5YR3/1) humusrijk leemarm zand met gebleekte kwartskorrels
3-13	AB	Onregelmatige overgang naar B, met donkere (als Ah) en lichte vlekken (als B) die duiden op een verstoring.
>13	B	Geelbruin (7.5YR4/4) leemarm zand

* Het organisch profiel is onregelmatig van dikte (5-10 cm in totaal). Dit zijn gemiddelde diktes.

Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +6 tot -8 cm (Fig. 3.8.1a).

-2 tot -8 cm (AB):

- Mineraal materiaal: Als Linde 1 met vrij veel grind tot 10 mm Ø (Fig. 3.8.1a).
Mate van uitloging: Huidjes rondom de korrels, hoewel vaak discontinu. Soms blijken dit ook hyfen van schimmels te zijn.
Organisch materiaal: Moderachtig materiaal
Poriën: Voornamelijk sluipgangen van potwormen en wortelgangen, enkele wormgangen.
Wortels: Redelijk veel wortels, Ø 100-300 µm
Bodemfauna-activiteit: Moderbolletjes duidt op activiteit van potwormen, maar er zijn zeer weinig macrofauna-excrementen aanwezig.
Microbiële activiteit: Hyfen van schimmels
Verstoringsen: Sporen van grondbewerking zijn niet waarneembaar in de slijpplaat, wel is het materiaal relatief licht van kleur vergeleken met de andere opstanden.
Andere verschijnselen: Stukjes bot, waarvan eentje verbrand (Fig. 3.8.2 en 3.8.3).



Fig. 3.8.2. Stukje bot in de AB-horizont van Beuk (jong) op een diepte van -7 cm.

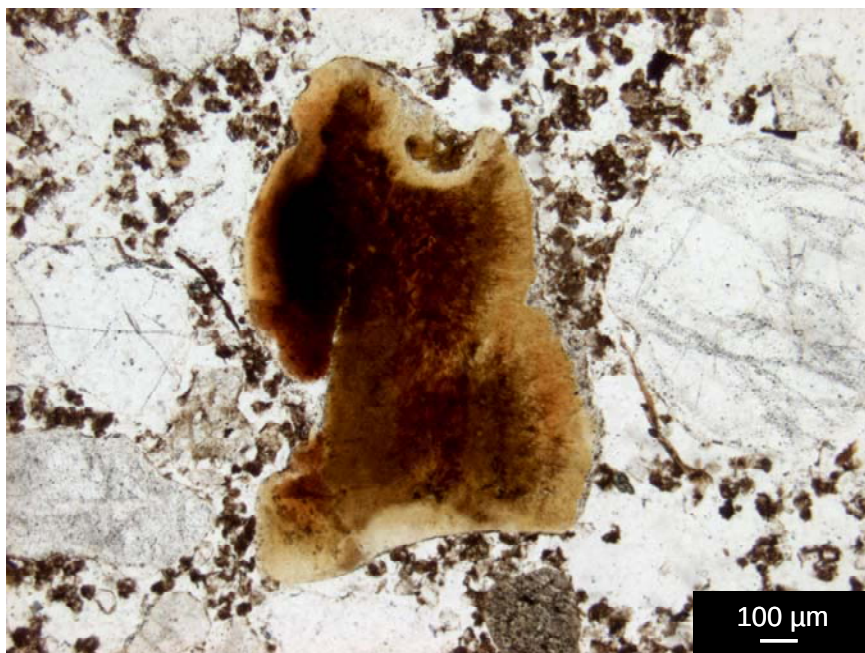


Fig. 3.8.3. Stukje verbrand bot in de AB-horizont van Beuk (jong) op een diepte van -5 cm.

0 tot -2 cm (AE):

Mineraal materiaal:	Als AB.
Mate van uitloging:	Heel veel gebleekte schone korrels.
Organisch materiaal:	Sterk vervloeiide, zwarte moder. Daartussen zijn ook macro-organische resten aanwezig.
Poriën:	Vrij veel gangen van wormen, sluipgangen van potwormen en wortelgangen
Wortels:	Redelijk veel wortels, Ø ca. 200 µm.
Bodemfauna-activiteit:	Weinig herkenbare excrementen, maar gedomineerd door mesofauna. Er zijn wel gangen van macrofauna-wormen, maar nauwelijks excrementen.
Microbiële activiteit:	Vrij veel hyfen van schimmels.
Verstoringsen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	n.v.t.

+1 tot 0 cm (Hr):

Organisch materiaal:	Behoorlijk vervloeid, onherkenbaar tot amorf organisch materiaal tussen sterk verkleinde resistente bladresten (Fig. 3.8.4).
Wortels:	Weinig, fijne wortels.
Bodemfauna-activiteit:	Zeer veel excrementen van mijten. Geen macrofauna-excrementen, maar wel veel grote bioporiën tot 500 µm Ø (Fig. 3.8.4).
Microbiële activiteit:	Hyfen van schimmels komen voor, maar niet in grote hoeveelheden.
Verstoringsen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	Vrij geleidelijke overgang tussen het ectorganisch en mineraal profiel.

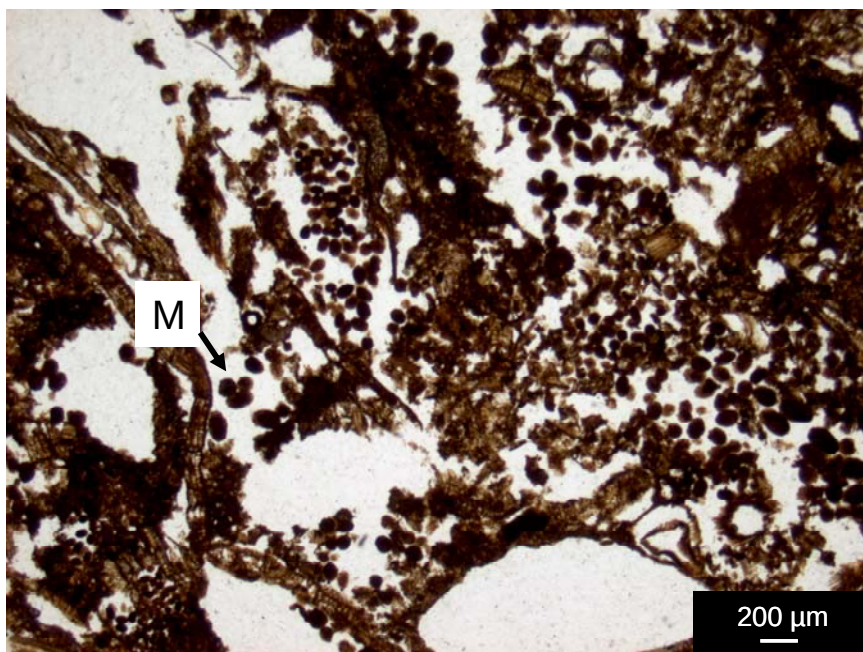


Fig. 3.8.4. Detailopname van de Hr-horizont van Beuke (jong) op een diepte van + 0,5 cm.
M = Excrementen van mijten.

+3 tot +1 cm (Faz):

Organisch materiaal:	Golvend, horizontaal georiënteerde, enigszins verteerde bladresten. Resten van beukennootjes zijn resistent tegen afbraak. Ook komen er fauna-excrementen voor (Fig. 3.8.1a en b).
Wortels:	Nauwelijks wortels.
Bodemfauna-activiteit:	Springstaarten, en meer mijten dan in de L-horizont. Geen macrofauna.
Microbiële activiteit:	Hyfen van schimmels komen voor, maar niet in grote hoeveelheden.
Verstoringen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	n.v.t.

+6 tot +3 cm (L):

Organisch materiaal:	Horizontaal georiënteerde, weinig aangetaste plantaardige resten bestaande uit beukenbladstrooisel, beukennootjes, knopjes en takjes. Relatief weinig excrementen en een losse pakking.
Wortels:	Geen.
Bodemfauna-activiteit:	Er zijn alleen mesofauna-excrementen (voornamelijk springstaarten en weinig mijten). Geen macrofauna aanwezig.
Microbiële activiteit:	Nauwelijks schimmeldraden.
Verstoringen:	n.v.t.
Andere verschijnselen:	Geleidelijke overgang van de F- naar de L-laag.

Interpretatie:

Er is sprake van een duidelijke verstoring van het profiel. Dit is niet direct zichtbaar in de slijpplaat. Bijna direct onder het oppervlak van het minerale profiel komt echter een horizont voor, die lichter is van kleur dan de A-horizont in de andere profielen. Dit wijst op een lagere concentratie organische stof, mogelijk door menging met materiaal uit de B-horizont door grondbewerking. De aanwezigheid van stukjes (verbrand) bot in de AB-horizont duidt ook op een verstoring, maar het is geen bewijs dat hier een akker is geweest. Het zou ook verband kunnen houden met de Tweede Wereldoorlog (slag om Arnhem, 1944) en latere egalisatie van de bodem voor aanplant van de jonge opstanden.

Onderin ziet het minerale profiel er uit als een bruine moder, maar zwak ontwikkeld. Dit is waarschijnlijk een restant van de oude situatie (oude bosbodem). Naar boven toe treedt steeds meer verzwarting op, wordt de moder steeds onregelmatiger van vorm en is er inspoeling van amorfe organische stof vanuit de organische laag in het minerale profiel. Dit wijst op een verandering van boven uit, in de richting van een morachtig profiel, zoals is gevonden onder Beuk (oud). Het organisch profiel onder Beuk (jong) is dunner dan onder Beuk (oud).

3.9 Beuk (oud)

Veldbeschrijving

Diepte (cm)	Horizont	Beschrijving
10-5	L	Strooisellaag
5-1	F	Donker roestbruine (5YR3/2 tot 3/3) fermentatielaag met veel fijne wortels
1-0	H	Roestbruine (5YR3/3) humuslaag
0-7	AE	Donker grijsbruin (5YR2.5/1) humeus leemarm zand met gebleekte kwartskorrels
7->12	AB	Grijsbruin (5YR4/2) leemarm zand met gebleekte kwartskorrels en grove kiezels

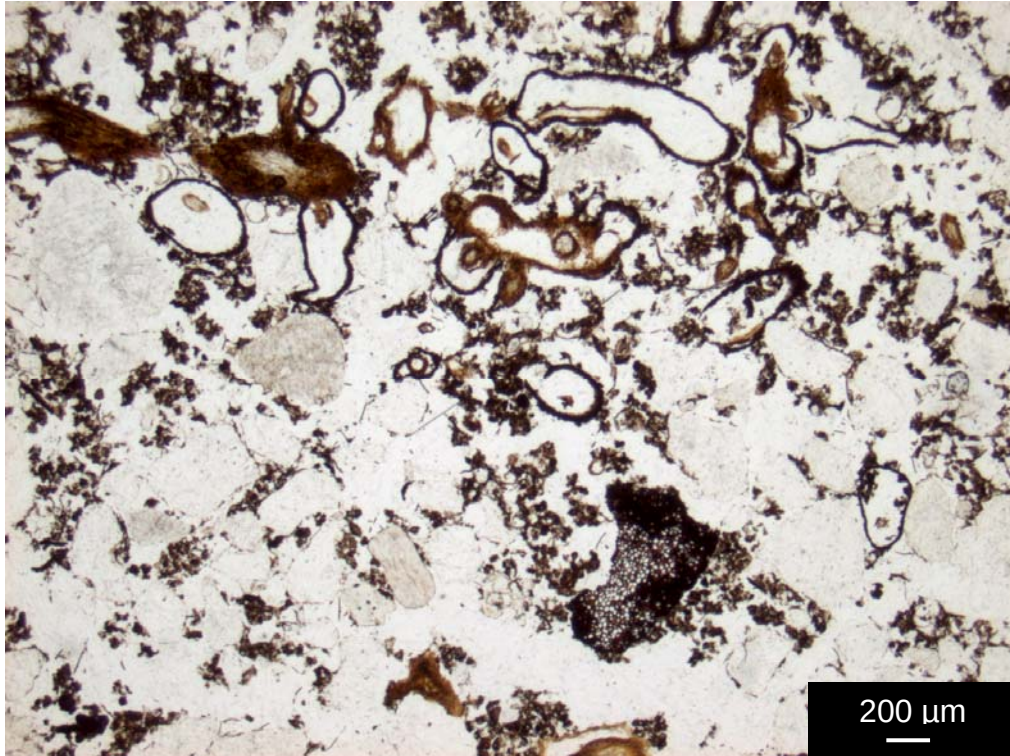
Micromorfologie

Diepte slijpplaat: +9,2 tot -5 cm (Fig. 3.9.1.a).

0 tot-5 cm (AE):

Mineraal materiaal: Als Linde 1 met grind tot ca. 8 mm Ø.
Mate van uitloging: Sterke bleking van de korrels.
Organisch materiaal: Inspoeling van amorfe humus vanuit de H-horizont in de bovenkant van de minerale laag. Deze brij vult de holtes gedeeltelijk op. Naar onderen toe bevindt de organische stof zich in toenemende mate in moderbolletjes, maar van boven af treedt een proces van verzwarting en vervloeiing op (Fig. 3.9.1.d).
Poriën: Vrij veel grote biologische holtes (worm en wortelgangen).

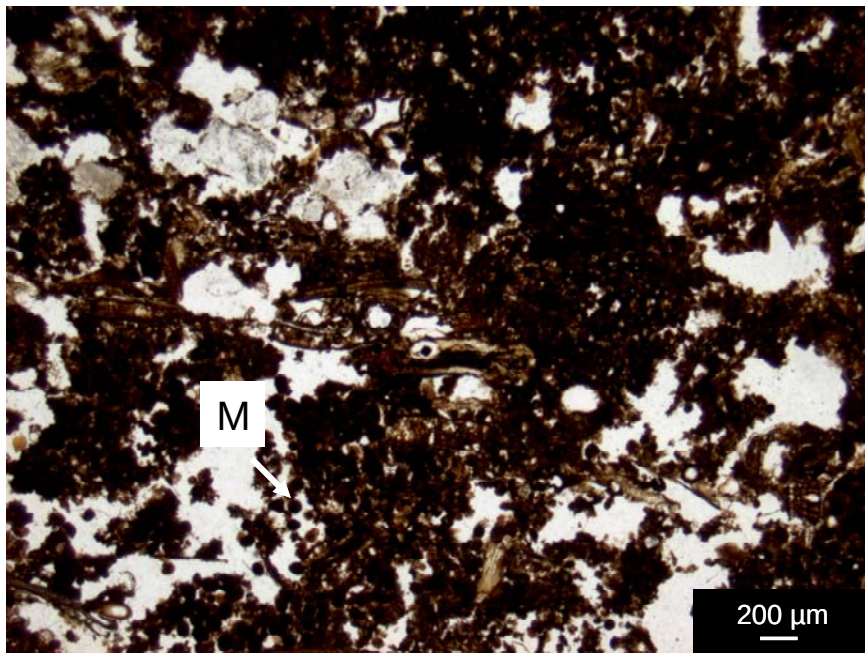
Wortels: Veel wortels ($\varnothing$ 100-250 μm) (Fig. 3.9.2).
 Bodemfauna-activiteit: Relatief kleine excrementen van mijten.
 Microbiële activiteit: Sterke schimmelactiviteit.
 Verstoringen: n.v.t.
 Andere verschijnselen: Rechtsboven in de minerale laag zijn lichte brandverschijnselen zichtbaar (verkoalde plantenresten).



Figuur 3.9.2. Detailfoto van de AE-horizont van Beuk (oud) op een diepte van +4 cm toont de grote hoeveelheid wortels.

+1,5 tot 0 cm (Hhi/Hri):

Organisch materiaal: Zwarte, amorf brij; nauwelijks herkenbare plantenresten; geen overheersende oriëntatierichting (Fig. 3.9.3).
 Wortels: Vrij veel wortels.
 Bodemfauna-activiteit: Weinig herkenbare excrementen behalve veel mijtexcrementen (Fig. 3.9.3).
 Microbiële activiteit: Sterke schimmelactiviteit.
 Verstoringen: n.v.t.
 Andere verschijnselen: Vrij geleidelijke overgang van de H- naar de AE-horizont. Er komen ook zandkorrels voor in de H-horizont (Fig. 3.9.3).



*Figuur 3.9.3. Detailfoto van de H-horizont van Beuke (oud) op een diepte van +1,5 cm.
M = Excrementen van mijten*

+4,5 tot +2 cm (Fa):

Organisch materiaal: Deels herkenbare macro-organische resten. Naar onderen toe is er geleidelijk meer afbraak van het bladmateriaal tot min of meer amorf materiaal.

Wortels: Enkele fijne wortels met doorsneden van ca. 150 μm.

Bodemfauna-activiteit: Grote excrementen van mijten; geen macrofauna (Fig. 3.9.1c).

Microbiële activiteit: Sterke schimmelactiviteit.

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: n.v.t.

+9,2 tot + 4,5 cm (L):

Organisch materiaal: Voornamelijk-horizontaal georiënteerde beukenbladresten, nootjes en knopjes

Wortels: Geen.

Bodemfauna-activiteit: Zeer weinig mesofauna-excrementen, alleen van mijten en hier en daar van een enkele van een springstaart. Geen macrofauna.

Microbiële activiteit: Schimmeldraden.

Verstoringsen: n.v.t.

Andere verschijnselen: n.v.t.

Interpretatie:

Er is zeer veel uitloging van de zandkorrels en verzwarting van de organische stof door een dominante invloed van microbiële, zure omzetting. Ook treedt er een duidelijke inspoeling op van amorf organisch materiaal in de bovenkant van de

minerale bodem. Dit heeft geresulteerd in een zwarte mormoder. De overgangen tussen de organische lagen en het organisch en mineraal profiel zijn geleidelijk. Onder Beuk (oud) is dit type profiel geproduceerd in ca. 100 jaar. Beuk (jong) lijkt een tussenfase op weg naar eenzelfde profiel als Beuk (oud). Er lijkt hier geen nieuw evenwicht op te treden, zoals bij eik wel het geval lijkt te zijn.

4 Discussie

4.1 De onderzoeksopzet en de vergelijkbaarheid van de onderzoekslocaties

De identieke samenstelling van het minerale materiaal in alle opstanden bevestigt dat alle opstanden zijn gelegen op hetzelfde moedermateriaal. Het uitgangsmateriaal betreft in alle gevallen een goed gedraineerde, oude bosbodem met duidelijke huidjes om de zandkorrels in de B-horizont. Inmiddels zijn in de verschillende opstanden veranderingen opgetreden ten opzichte van de oorspronkelijke toestand, waarbij de oude eikenopstand als referentie kan dienen (Hommel & De Waal, 2004).

Dit onderzoek was primair gericht op de invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel en daarom is getracht in de opzet van dit onderzoek de onafhankelijke bodemkenmerken zoveel mogelijk gelijk te houden. Toch is het onvermijdelijk dat er een zekere ruimtelijke variatie bestaat in bodemeigenschappen, bodembewerking en bemestingsgeschiedenis. In het parallel uitgevoerde onderzoek van Hommel & De Waal (2004) op dezelfde locaties is de invloed van variaties in onafhankelijke bodemfactoren onderzocht. Zij concludeerden dat de invloed van verschillen in onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van het humusprofiel en de basenhuishouding zeer beperkt is.

4.2 Ecologisch relevante bodemkenmerken

De mate van uitloging van de zandkorrels direct onder het ectorganische profiel vertoont duidelijke verschillen tussen de opstanden (Tabel 4.1). Dit kan worden verklaard door variaties in het verloop van de strooiselafbraak onder verschillende boomsoorten, wat verschillen in zuurgraad van het bodemwater oplevert. Door de micromorfologische benadering van deze studie konden de verschillen in het verloop van de strooiselafbraak en de opbouw van het humusprofiel, inclusief de bovenste centimeters van de minerale bodem, duidelijk worden geanalyseerd en geïllustreerd. Tabel 4.1 geeft een samenvatting van de bevindingen, zoals die in hoofdstuk 3 in detail zijn beschreven. Deze samenvatting is gebaseerd op een selectie van criteria die het meest onderscheidend bleken te zijn en die bovendien een functionele betekenis hebben. Dit laatste is relevant met het oog op factoren die van invloed zijn op de bodemecologische condities, die op hun beurt de samenstelling van de ondergroei beïnvloeden.

Ook de gemiddelde dikte van het ectorganische profiel (de strooisellaag) vertoont binnen de onderzochte opstanden duidelijke verschillen. De dikte van de strooisellaag is een globale maat voor de efficiëntie van de strooiselvertering. Met betrekking tot de verschillen in strooiselkwaliteit van genoemde boomsoorten (al dan niet op vergelijkbare groeiplaats) zijn veel gegevens voorhanden (Heath *et al.*, 1966; Miles, 1985; Neiryneck *et al.*, 2000). Linde en esdoorn gelden als producenten van goed verterend, ‘rijk’ strooisel en eik en beuk leveren 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', slecht verterend strooisel mogen rekenen. 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 pleistocene deel van Nederland.

Onder beide beukenopstanden en Eik (oud) vonden wij inderdaad de dikste strooiselpakketten en onder Linde 1 de dunste. De overige linde-opstanden, Esdoorn, Haagbeuk en Eik (jong) nemen een intermediaire positie in. Er is in de verschillende opstanden een bovendien een vrij duidelijk verband tussen de dikte van de strooisellaag enerzijds, en de samenstelling en activiteit van de bodemfauna anderzijds. De samenstelling van de bodemfauna bepaalt in hoge mate het verloop en de snelheid van de strooiselafbraak en de menging van het strooisel met de minerale bodem. Vooral de macrofauna speelt een belangrijke rol bij de initiële verkleining van het strooisel en het inbrengen van de organische resten door de minerale bodem. Voor het laatste proces is de aanwezigheid van diepgravende macrofauna-wormen (*endogeïcs* en *anecic*) van belang. Juist deze grotere faunagroepen reageren echter gevoelig op milieufactoren als vocht en pH, en op verstoringen zoals bodemverdichting, grondbewerking en brand. Veel van de verschillen tussen de profielen zijn dan ook te verklaren uit verschillen in de diversiteit van de aanwezige strooiselverterende organismen ten gevolge van variatie in of verstoringen van het bodemmilieu.

We moeten dus onderscheid maken tussen externe invloeden als bodemverdichting en brand enerzijds, en interne processen anderzijds. In het laatste geval gaat het om de invloed van de chemische en fysische eigenschappen van het strooisel (en daarmee van het verloop van de strooiselafbraak) op het bodemmilieu. Als een bepaalde plek de geschikte condities levert voor het voorkomen voor een bepaalde groep bodemfauna wil dit echter nog niet automatisch zeggen dat deze ook aanwezig is. In het geval van veranderende milieucondities is namelijk ook tijd nodig voor de verspreiding van de bodemfauna vanuit het oorspronkelijke verspreidingsgebied naar nieuwe geschikte plekken. De onderzochte opstanden liggen echter zeer dicht bij elkaar en wij verwachten dat bodemfauna zich hier vrij snel kan verspreiden via bospaden en bosbouwmachines. Het is dus zeer aannemelijk dat de verschillen in bodemfaunasamenstelling die gevonden zijn in dit onderzoek verklaard worden doordat specifieke bodemfauna-soorten bepaalde locaties vermijden vanwege de ongunstige milieucondities of strooiselsamenstelling en niet doordat de soorten de locatie nog niet bereikt hebben.

Het voorkomen en de activiteit van bepaalde functionele groepen van macrofauna-wormen (*epigeïcs* die leven en eten in de strooisellaag) en *endogeïcs* (die leven en eten in de bovenste laag van minerale bodem) hangt sterk af van de boomsoort en de samenstelling van de ondergroei (Boettcher & Kalisz, 1991). De bovengrondse

vegetatie is niet alleen van invloed op bodemfauna via de bovengrondse en ondergrondse strooiselkwaliteit, maar ook via de waterhuishouding (interceptie en verdamping). Veel wormensoorten zijn namelijk gevoelig voor uitdroging. Het voorkomen van epigeïsche wormen is kenmerkend voor mullachtige humusprofielen: relatief vruchtbare bodems met een goed ontwikkelde kruidlaag (Satchel, 1983). Vaak is deze groep regenwormen, vanwege de lage pH van de bovengrond, afwezig in verzuringgevoelige gronden. Epigeïsche regenwormen zijn daarentegen gevoeliger voor de verteerbaarheid van het bladstrooisel (Neirynck *et al.*, 2000).

De vegetatie veroorzaakt daardoor kleinschalige variaties in de samenstelling van de regenwormenpopulaties, die overeenkomen met variaties in bodemeigenschappen en vegetatiesamenstelling (boomsoort en ondergroei). Deze regenworm-vegetatie-bodem interacties zijn tot op zekere hoogte zelfversterkend, omdat endogeïsche wormen een grote rol spelen bij strooiselafbraak en -menging en bij de ontwikkeling van een rijkere bovenlaag van de minerale bodem (Boetcher & Kalisz, 1991).

Tabel 4.1. Samenvatting van de resultaten van het micromorfologisch onderzoek..

	Linde 1	Linde2	Linde 3	Esdoorn	Haag-beuk	Eik (jong)	Eik (oud)	Beuk (jong)	Beuk (oud)
<i>Ectorganisch humusprofiel (strooisellaag):</i>									
Dikte ectorganisch profiel (cm)	0,4	4	4	5	4,5	4,5	7	6	9,5
Fauna-activiteit	M/m	M/m	M/m	M/m	M/m	M/m	M/m	m	m
Hyfen van Schimmels	+	++	+	+	+	+	+++	+	++
Humusvorm	mull (moder)	(mull) moder	bruine moder	bruine moder	(mor) moder	mor-moder	(mor) moder	mor-moder	mor (moder)
Geleidelijkheid overgang naar Minerale bodem	+++	+	?	-	?	++	-	++	++
<i>Endorganisch profiel:</i>									
Mate van uitloging van A-horizont	+	+	+	+	+	+	++	++	++
Fauna-activiteit	M	M/m	m	M/m	m	m	m	m	m
Hyfen van schimmels	+	+++	+	+	+	++	++	++	+++
<i>Verstoren:</i>									
Berijding/ Compactie	+	+++	-	-	-	-	-	-	-
Bodembewerking	-	-	-	-	-	-	-	++	-
<i>Overige milieufactoren:</i>									
Brandinvloed	-	-	+++	-	-	-	-	+?	-
Gangen van zoogdieren	-	-	-	-	+++	-	-	-	-

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

-: niet of nauwelijks, +: matige intensiteit/beperkt aanwezigheid, ++: sterke intensiteit/veel aanwezig, +++: zeer sterke intensiteit/zeer veel aanwezig, ?: onduidelijk/niet te bepalen door verstoring. M: gedomineerd door macrofauna, m: gedomineerd door mesofauna, M/m: Macro- en mesofauna hebben beiden een duidelijke invloed.

4.3 Vergelijking van de drie lindenopstanden

Onder linde met bosanemoon (Linde 1) is het ectorganisch profiel zeer dun. Het humusprofiel kan worden gekarakteriseerd als een mull(moder) met een duidelijk ontwikkelde, licht uitgeloopte Ahe-horizont en een zeer geleidelijke overgang van de strooisellaag naar de minerale bodem. Gezien de identieke samenstelling van het moedermateriaal onder alle opstanden, is de invloed van de verschillen in onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van het humusprofiel en de basenhuishouding zeer beperkt (Hommel & De Waal, 2004). Vooral de ontwikkeling van de opvallend 'rijke' ondergroei in de lindenopstand met bosanemoon (Linde 1) kan niet vanuit de onafhankelijke bodemkenmerken verklaard worden. De invloed van de strooiselkwaliteit op de ontwikkeling van het humusprofiel en de basenhuishouding is hier kennelijk groot: het lindestrooisel is van goede kwaliteit en wordt snel afgebroken door een (functioneel) diverse meso- en macrofauna in de strooisellaag. Dat onder deze omstandigheden een zeer gunstig milieu ontstaat voor macrofauna-wormen die in de minerale bodem leven is duidelijk zichtbaar door de sterke menging van de bodem. Dit resulteert in een homogeen mineraal profiel met zeer veel wormexcrementen. Deze conclusie komt overeen met de resultaten van Hommel & De Waal (2004). Ook zij vonden dat het profiel onder Linde 1 de gunstigste condities heeft wat betreft pH en basenhuishouding. Ook Neirynk *et al.* (2000) kwamen, in een onderzoek naar de invloed van verschillende loofboomsoorten op regenwormen en fysisch-chemische bodemeigenschappen in een bos op een lemige bruine bosbodem nabij Brussel tot vergelijkbare conclusies. Zij vonden dat de totale biomassa van regenwormen onder linde aanmerkelijk hoger was dan onder eik en beuk en dat dit resulteerde in duidelijke verschillen in humusvorm en een gunstiger basenhuishouding in de A- en de E- horizont. De lindenopstand werd gekenmerkt door een mull-humusvorm, zonder duidelijke strooisellaag. Hetzelfde gold overigens voor esdoorn, hoewel de strooisellaag dikker was. Endogeïsche regenwormen kwamen alleen voor onder linde en esdoorn en niet onder beuk en eik, terwijl ook epigeïsche wormen in grotere getalen voorkwamen onder linde en esdoorn.

In de opstanden bij Doorwerth bleken de abiotische bodemcondities onder linde met schaarse ondergroei (Linde 2) bijna even gunstig te zijn als in Linde 1 (Hommel & De Waal, 2004). In Linde 2 is het ectorganisch profiel wel dikker en is de samenstelling van de bodemfauna eenzijdiger dan in Linde 1. Excrementen van grote, ondergronds levende, gravende wormen werden hier wel aangetroffen, maar in minder grote hoeveelheden en er heeft minder menging plaatsgevonden tussen minerale en organische bestanddelen.

De verschillen in ondergroei en strooiselomzetting tussen Linde 1 en 2 kunnen mogelijk mede verklaard worden door de duidelijke verstoring door berijding in opstand Linde 2. De verdichting en versmering die is veroorzaakt door berijding kan – naar verwachting tijdelijk – resulteren in een veranderd vochtklimaat en daardoor in minder gunstige condities voor grotere bodemfaunagroepen, die het strooisel door de minerale bodem mengen. De ontstane strooisellaag en daarmee samenhangende fysische en chemische condities beïnvloeden op hun beurt de samenstelling van de

ondergroei. Mogelijk wordt de afwezigheid van ondergroei ook verklaard door de beperkte lichtinval in deze opstand (Hommel & De Waal, 2004) of versterken beide factoren elkaar.

Ook linde met adelaarsvaren (Linde 3) heeft een redelijk dik ectorganisch profiel en minder menging van organisch en mineraal materiaal. Bovendien is hier de invloed van macrofauna wormen in de minerale bodem nog kleiner. Dit alles resulteert in een classificatie als bruine moder, zonder duidelijke mullachtige eigenschappen. Vermoedelijk is de ontwikkeling van een ondergroei die gedomineerd wordt door Adelaarsvaren gestimuleerd door een periode van vergrote lichtinval volgend op een bosbrand. Waarschijnlijk gaat het hier om een oppervlakkig bosbrandje die mogelijk heeft plaatsgevonden in de periode tussen 1976 en 1980 (Hommel & De Waal, 2004). Het verkoolde materiaal dat hier is aangetroffen in een wortelholte is wel sterk omgezet door zowel meso- als macrofauna, maar de aanwezigheid van excrementen van macrofauna-wormen in de minerale bodem blijft beperkt tot de zone waar zich het verkoolde materiaal bevindt. Mogelijk vinden de wormen het hier het prettigst, of is er al voldoende voedselaanbod, waardoor ze de rest van de A-horizont grotendeels vermijden. De voorkeur van wormen voor het verkoolde materiaal kan ook te maken hebben met de verminderde weerstand van het substraat (Topoliantz & Ponge, 2003). De brand heeft geresulteerd in een sterke mechanische verstoring van de profielopbouw en menging van strooisel en mineraal materiaal. Het is daarom moeilijk om aan de hand van een enkele slijpplaat te zeggen in hoeverre de slechte afbreekbaarheid van het Adelaarsvaren-strooisel (Den Ouden, 2000) hier heeft geleid tot de opbouw van een relatief dik ectorganisch profiel.

Hommel & De Waal (2004) vonden dat Linde 2 een intermediaire positie inneemt tussen Linde 1 en Linde 3 wat betreft de gemiddelde dikte van het ectorganisch profiel en de humusvorm. Dit komt niet geheel overeen met onze resultaten, omdat het ectorganisch profiel in het slijpplaatmonster van Linde 2 even dik was als in die van Linde 3. De monsters voor de slijpplaten zijn echter maar op één plek in de opstand genomen, terwijl de dikte van de strooisellaag vrij variabel is binnen de opstand (Hommel & De Waal, 2004). Wat betreft de humusvorm en de diversiteit van de bodemfauna (macrofauna wormen en mesofauna) bevestigt het slijpplaatonderzoek dat Linde 2 een intermediaire positie inneemt tussen Linde 1 en Linde 3.

4.4 De overige opstanden

De relatief dikke strooisellaag onder esdoorn en de zeer scherpe overgang met het minerale profiel komen niet overeen met het gegeven dat esdoorn, die, net als linde, bekend staat als een producent van goed verterend, 'rijk' strooisel (Neirynck *et al.*, 2000). De dikke strooisellaag lijkt bovendien niet verklaard te worden door verschillen in onafhankelijke groeiplaatsfactoren of externe verstoringen. Onder esdoorn heeft zich vooral een dikke F-laag gevormd, terwijl de H niet erg sterk ontwikkeld is. De F-laag bestaat uit allerlei meso- en macrofauna-excrementen en resistente macro-organische resten, maar heeft een minder duidelijk zoögeen karakter

(Faz) dan onder linde. Opvallend is dat zich onderin het organisch profiel een 1 à 2 cm dikke laag horizontaal georiënteerde bladresten bevindt die dakpansgewijs is gestapeld. Het ectorganisch profiel bevat grovere resten van bladeren dan onder linde wat kan betekenen dat het minder afbreekbaar is, of dat de omstandigheden niet gunstig zijn voor macrofauna-groepen die de eerste verkleining van het strooisel voor zijn rekening nemen. Dit laatste zou in overeenstemming zijn met de observatie dat de esdoornblaadjes anders lijken te worden afgebroken dan de blaadjes in de overige opstanden; het strooisel wordt minder verkleind door macrofauna in de strooisellaag, maar er is meer selectieve omzetting waarbij de nerfjes als meest resistente delen achterblijven. Een verklaring zou kunnen zijn dat er waterstagnatie optreedt doordat de dakpansgelaagde bladresten een fysieke barrière vormen tussen de strooisellaag en de minerale bodem. De minerale bodem bestaat uit een homogene moder, die voornamelijk bestaat uit potwormexcrementen, hoewel er ook wel enige activiteit van macrofauna is. De bodemfauna in de minerale bodem lijkt voornamelijk te teren op de opvallend grote hoeveelheid wortelmateriaal die hier aanwezig is. Er is sprake van een soort 'twee-fasensysteem', waarbij voornamelijk afbraak optreedt van ondergrondse biomassa in plaats van dat het strooisel de ondergrondse decompositieprocessen bepalen. Dit is in overeenstemming met de bevindingen van Hommel & De Waal (2004), die vonden dat onder esdoorn enerzijds een zeker herstel van de basenhuishouding in de minerale bovengrond optreedt, terwijl anderzijds de strooiselvertering traag is en er weinig doormenging plaatsvindt.

Hoewel de esdoornopstand en Linde 2 in hetzelfde stuk bos gelegen zijn, zijn in de slijpplaat van de esdoornopstand geen verstoringen door berijding zichtbaar. Aangezien wij per opstand maar een enkele slijpplaat hebben bestudeerd kunnen we niet uitsluiten dat verdichting en versmering plaatselijk ook voorkomt onder Esdoorn. Dit zou tevens kunnen verklaren waarom er zoveel ondergrondse biomassa in de vorm van houtige wortels voorkomt in de bovenste centimeters van de minerale bodem. Esdoorn is volgens verschillende auteurs in principe een diepwortelaar, maar al bij geringe weerstand van de bodem door verdichting kan zich een ondiep, maar zeer dicht wortelstelsel ontwikkelen (Köstler *et al.*, 1968).

Ook onder haagbeuk is het humusprofiel te beschouwen als een tussenvorm tussen de 'rijkere' lindeprofielen (Linde 1 en Linde 2) enerzijds, en de zuurdere, 'armere' profielen onder eik en beuk anderzijds. Dit zou kunnen worden verklaard door een slechtere afbreekbaarheid van het haagbeukstrooisel ten opzichte van linde maar betere kwaliteit ten opzichte van eiken- en beukenstrooisel. Hierdoor vindt omzetting van het strooisel plaats onder invloed van een minder diverse bodemfauna. De eerste fase van de afbraak, de verkleining van het strooisel door de macrofauna verloopt goed, maar in de volgende stadia van omzetting lijkt de rol van de mesofauna beperkt, wat resulteert in een enigszins zure omzetting door schimmels en bacteriën. Er zijn geen tekenen van macrofauna-activiteit zichtbaar in het minerale profiel onder haagbeuk. De enigszins zure condities in de bovenkant van het minerale profiel (Hommel & De Waal, 2004) komen ook tot uiting in een lichte verzwaring en vervloeiing van de moder. Er is echter ook sprake van een zeer sterke mechanische verstoring in het slijpplaatprofiel doordat een of ander zoogdier een

gang heeft gegraven op de rand van de strooisellaag en de minerale bodem. Het organisch profiel is hierdoor onregelmatig van dikte en mineraal materiaal en strooisel zijn hierdoor grof vermengd.

Verdere verzuring en ontwikkeling in de richting van een mor-achtig profiel vindt plaats onder Eik (jong). In dit profiel is het organisch materiaal in de H en de minerale bodem verder verzwart en is de moder sterk vervloeid, zelfs sterker dan in Eik (oud). In tegenstelling tot Hommel & De Waal (2004) vonden wij in ons profiel onder Eik (jong) echter geen dikker ectorganisch profiel dan onder Eik (oud). De profielen in de oude eikenopstand vertonen een dikker ectorganisch profiel, meer schimmelactiviteit en een sterkere uitloging van de bovenkant van het minerale profiel. De moderbolletjes in het organisch profiel zijn duidelijk meer samengevloeid en verzwart dan onder linde, esdoorn en haagbeuk, maar minder extreem dan in Eik (jong). Dit houdt mogelijk verband met de ouderdom van de humusprofielen, waarbij volgens sommige auteurs uiteindelijk weer een ontwikkeling naar moders plaatsvindt (Emmer, 1995).

Beide profielen onder beuk, Beuk (jong) en Beuk (oud), lijken erg op elkaar, hoewel de jonge Beuk zich (nog) minder ontwikkeld heeft. De humusvorm onder jonge beuk is een mormoder profiel, terwijl in Beuk (oud) de moder sterker gedegradéerd is en meer neigt naar een mor-achtig profiel. In beide gevallen is de de A-horizont sterk uitgeloogd met veel schimmeldraden rondom de korrels. Het lijkt er bovendien sterk op dat ook in de korrels schimmeldraden groeien (Fig. 3.7.2.). Het voorkomen van 'rock-eating' mycorrhiza's is tot nu toe alleen bekend uit naaldbossen op verzurende bodems (Jongmans *et al.*, 1997). Zowel in het ectorganische als in het minerale profiel heeft de mesofauna-activiteit een sterk dominante invloed en zijn weinig macrofauna excrementen aangetroffen.

Hoewel het profiel onder Beuk (jong) sterk verstoord lijkt, is het onduidelijk wat hiervan precies de oorzaak is. De verstoring werd tijdens de bemonstering in het veld al opgemerkt en in de slijpplaat komt in de bovenkant van het minerale profiel een horizont voor die relatief licht is van kleur vergeleken met de andere profielen. Dit komt overeen met de resultaten van Hommel & De Waal (2004), die vonden dat Beuk (jong) het laagste organische stofgehalte heeft op 5-25 cm –mv. Dit wijst menging met ondergelegen materiaal uit de B-horizont door beakkering, egalisatie of een andere vorm van groundbewerking. De aard en herkomst van de aanwezige stukjes (verbrand) bot in de AB-horizont blijft onduidelijk. Mogelijk heeft dit te maken met oorlogshandelingen tijdens de slag om Arnhem. Ook de invloed van de verstoring op de humusontwikkeling is niet helemaal duidelijk. Het zou kunnen zijn dat dit de ontwikkeling van het humusprofiel richting een mor(modér) zoals onder Beuk (oud) in enige mate geremd heeft, maar het kan ook puur een kwestie van ouderdom zijn.

5 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijkste vragen van het micromorfologisch onderzoek aan de slijpplaten (zie hoofdstuk 1):

- Hoe verloopt de strooiselomzetting en de ontwikkeling van het humusprofiel onder verschillende loofboomsoorten?
- Welke andere factoren (bijvoorbeeld verstoringen) zijn van invloed geweest op de geconstateerde verschillen in humusprofielontwikkeling?
- Welke factoren kunnen de verschillen in vegetatieontwikkeling in de drie lindenopstanden van gelijke leeftijd en op één en hetzelfde bodemtype verklaren?
- Zijn de verschillen in strooiselomzetting te verklaren doordat bepaalde bodemorganismen niet alle onderzochte opstanden hebben weten te bereiken of is er sprake van ‘ontwijk-gedrag’?

Strooiselomzetting en ontwikkeling van het humusprofiel onder verschillende loofboomsoorten

Het micromorfologisch onderzoek aan slijpplaten van de humusprofielen toont aan dat er grote verschillen zijn in het verloop van de strooiselvertering onder de verschillende loofboomopstanden. Dit resulteert in verschillen in dikte van het ectorganisch profiel en ontwikkeling van de humusvorm. Deze varieert van mull(mod) naar mor(mod) binnen éénzelfde groeiplaats. De invloed van onafhankelijke bodemkenmerken op de ontwikkeling van het humusprofiel is beperkt en dit biedt dan ook geen verklaring voor de waargenomen verschillen.

De kwaliteit van het strooisel heeft grote invloed op de ontwikkeling van het humusprofiel. Hierbij speelt de invloed van de strooiselsamenstelling op de activiteit en diversiteit van de bodemfauna een doorslaggevende rol. De goede afbreekbaarheid van het strooisel onder linde leidt tot een relatief dunne strooisellaag en een goede menging van organisch en mineraal materiaal door de aanwezigheid van een diverse bodemfauna. Dit resulteert in de vorming van een mull-achtig moderprofiel.

De dikste humusprofielen worden gevormd onder de beide beuken- en eikenopstanden. Hier wordt de omzetting gedomineerd door mesofauna en schimmels en bacteriën, hetgeen resulteert in verzuring, de vorming van amorfe humus en vervloeiing van de moder tot een meer mor-achtig profiel. Dit is in mindere mate ook het geval voor haagbeuk. De opstand met haagbeuk neemt wat betreft strooiselkwaliteit en diversiteit van de afbraak een middenpositie tussen linde enerzijds, en eik en beuk anderzijds.

Ook de esdoorn-opstand neemt een intermediaire positie in. Ondanks de relatief goede chemische kwaliteit van het esdoornstrooisel, is er toch sprake van een redelijk dik ectorganisch profiel en opvallend weinig menging met de minerale bodem. Dit

lijkt te worden veroorzaakt door de dakpansgewijze structuur van de bladresten in de onderkant van het ectorganisch profiel, waartussen het zo vochtig blijft dat schimmels beter gedijen dan de bodemfauna. In de minerale bodem wordt het afbraakproces gedomineerd door de vertering van de opvallend grote hoeveelheid wortelmateriaal in de bovengrond. Hierdoor is er sprake van een 'twee-fasen systeem', waarbij het bodemmilieu voornamelijk wordt gereguleerd door de afbraak van ondergrondse biomassa in plaats van door de strooiselkwaliteit.

Andere factoren

Naast verschillen in moedermateriaal en boomsoort kunnen ook andere factoren een verklaring vormen voor de geconstateerde verschillen in strooiselafbraak en bodemfauna. In dit onderzoek komen vier mogelijke factoren naar voren: brand, bodemverdichting, bodemverstoring en ouderdom.

Brand heeft duidelijk een rol gespeeld in opstand Linde 3 met als gevolg een invasie van Adelaarsvaren en braam. De gevolgen voor de strooisellaag en vegetatieontwikkeling zijn negatief, maar waarschijnlijk tijdelijk (zie hieronder).

Bodemverdichting kan o.a. ontstaan ten gevolge van berijding door bosbouwmachines. Deze factor speelt een rol in opstand Linde 2 en mogelijk ook in de esdoornopstand. Ook hier zijn de gevolgen negatief: verminderde activiteit van bodemfauna en daaraan gekoppeld een verminderde doormenging van het bladstrooisel (Linde 2; zie hieronder) en een oppervlakkige beworteling en daaraan gekoppeld verminderde ontsluiting van basen in de ondergrond (Esdoorn). De effecten van bodemverdichting kunnen zeer lang doorwerken maar zullen, naar verwachting, door wortelwerking en activiteit van bodemfauna uiteindelijk verdwijnen.

Duidelijke *verstoring* van de bovengrond werd alleen waargenomen in de jonge beukenopstand. Het is onduidelijk wat hiervan precies de oorzaak is. Het lage organische stofgehalte op 5-25 cm –mv wijst op menging met ondergelegen materiaal uit de B-horizont door beakkering, egalisatie of een andere vorm van grondbewerking. De aard en herkomst van de aanwezige stukjes (verbrand) bot in de AB-horizont blijft onduidelijk. Mogelijk heeft dit te maken met oorlogshandelingen tijdens de slag om Arnhem. Ook de invloed van de verstoring op de humusontwikkeling is niet helemaal duidelijk. De ecologische relevantie van de geconstateerde verstoring is waarschijnlijk gering.

Beide profielen onder beuk lijken erg op elkaar, hoewel Beuk (jong) zich minder duidelijk ontwikkeld heeft in de richting van een mor-achtig profiel. Het is echter onduidelijk of dit verklaard wordt door het verschil in *ouderdom* van de profielen of door de hierboven genoemde verstoring. De sterkere verzuring en ontwikkeling in de richting van een mor-achtig profiel onder Eik (jong) dan onder dan in Eik (oud) houdt mogelijk verband met de ouderdom van de humusprofielen, waarbij uiteindelijk weer een ontwikkeling naar een moder kan plaatsvinden. Dit zou betekenen dat in zeer oude (eiken)bossen de negatieve invloed van het 'arme' strooisel iets afneemt. De verschillen in strooiselomzetting en macrofauna tussen de

oude eikenopstanden en de opstanden met goed verterend, 'rijk'strooisel (met name onder linde) blijven echter zeer groot.

Vergelijking van de drie lindenopstanden

Onder linde met bosanemoon (Linde 1) is het ectorganisch profiel zeer dun en kan het humusprofiel worden gekarakteriseerd als een mull(mod). Kennelijk is het lindestrooisel van goede kwaliteit en wordt het snel afgebroken door een (functioneel) diverse meso- en macrofauna in de strooisellaag. Onder deze omstandigheden ontstaat een zeer gunstig milieu voor macrofauna-wormen. Er treedt sterke menging van organisch en mineraal materiaal op, resulterend in een homogeen mineraal profiel met zeer veel wormexcrementen. Dit komt overeen met de conclusies van Hommel & De Waal (2004).

De abiotische bodemcondities onder linde met schaarse ondergroei (Linde 2) waren echter bijna even gunstig. In deze opstand is het ectorganisch profiel wel dikker en is de samenstelling van de bodemfauna eenzijdiger dan in Linde 1. Excrementen van grote, ondergronds levende, gravende wormen werden wel aangetroffen maar in minder grote hoeveelheden en er heeft minder menging plaatsgevonden tussen minerale en organische bestanddelen. De verschillen tussen de slijpplaten van Linde 1 en Linde 2 kunnen mogelijk verklaard worden door de duidelijke verstoring door berijding in de opstand Linde 2. Verdichting en versmering kunnen – naar verwachting tijdelijk – resulteren in een veranderd vochtklimaat en daardoor in minder gunstige condities voor grotere bodemfaunagroepen. De ontstane strooisellaag en daarmee samenhangende fysische en chemische condities beïnvloeden op hun beurt de samenstelling van de ondergroei. Mogelijk wordt de afwezigheid van ondergroei echter ook verklaard door de beperkte lichtinval in deze opstand (Hommel & De Waal, 2004) of versterken beide factoren elkaar.

De lindenopstand met Adelaarsvaren (Linde 3) heeft een redelijk dik ectorganisch profiel. Er is weinig menging van organisch en mineraal materiaal opgetreden. Bovendien is de invloed van macrofauna wormen in de minerale bodem nog kleiner dan in Linde 2. Dit alles resulteert in een classificatie als bruine moder, zonder duidelijke mullachtige eigenschappen. Het humusprofiel is duidelijk beïnvloed door het slecht afbreekbare strooisel van de Adelaarsvaren. Vermoedelijk is de ontwikkeling van de door Adelaarsvaren gedomineerde ondergroei het gevolg van een periode van vergrote lichtinval, volgend op een bosbrand, eind jaren-70. Het verkoolde materiaal dat is aangetroffen in een wortelholte is wel sterk omgezet door zowel meso- als macrofauna, maar de aanwezigheid van excrementen van macrofauna-wormen in de minerale bodem blijft beperkt tot de zone waar zich het verkoolde materiaal bevindt. Naar verwachting is het negatieve Adelaarsvaren-effect tijdelijk.

Verspreiding van bodemorganismen

Als een bepaalde plek de geschikte condities levert voor het voorkomen van een bepaalde groep bodemfauna wil dit echter nog niet automatisch zeggen dat deze ook aanwezig is. In het geval van veranderende milieucondities, is namelijk tijd nodig voor de verspreiding van de bodemfauna. De onderzochte opstanden liggen echter

zeer dicht bij elkaar en de verwachting is dat bodemfauna zich vrij snel kan verspreiden via bospaden en bosbouwmachines. Het is dus zeer aannemelijk dat de waargenomen verschillen in bodemfaunasamenstelling verklaard kunnen worden doordat specifieke bodemfauna-soorten bepaalde locaties vermijden vanwege de ongunstige milieucondities of strooiselsamenstelling en niet doordat de soorten deze locaties nog niet hebben bereikt.

De resultaten van dit onderzoek lijken hiermee aan te geven dat er een sterke positieve relatie bestaat tussen de strooiselkwaliteit, de diversiteit van de ondergroei en de (functionele) diversiteit van de bodemfauna, waarin verschillende functionele groepen ieder hun eigen rol spelen in de strooiselafbraak.

Literatuur

- Bisdom, E.B.A. & D. Schoonderbeek, 1983. The characterization of the shape of mineral grains in thin sections of soils by Quantimet and BES1. *Geoderma*. 30, 303 - 332.
- Boettcher, S.E. & P.J. Kalisz, 1991. Single-tree influence on earthworms in forest soils in Eastern Kentucky. *Soil Science Society of America Journal*. 55, 862-865.
- Bakker, H. de & J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland: de hogere niveaus*. 2nd ed. Pudoc, Wageningen.
- Delft, S.P.J. van, C.M.A. Hendriks, E.E.J.M. Leeters, P. Mekkink & H. Kleijer, 1988. De bodemgeschiktheid voor bosbouw van de boswachterij Oostereeng-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.
- 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.
- FAO, 1990. Guidelines for soil profile description FAO Rome, ISRIC Wageningen.
- Green, R.N., R.L. Trowbridge & K. Klinka, 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monograph*. 29, 49.
- Heath, G.W., M.K. Arnold, & C.A. Edwards, 1966. Studies in Leaf Litter Breakdown. I. Breakdown rates of leaves of different species. *Pedobiologia*. 6, 1-12.
- Hommel, P.W.F.M. & R.W. de Waal, 2004. Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth 920. Alterra, Wageningen.
- Hommel, P.W.F.M., Th. Spek, & R.W. de Waal, 2002. Boomsoort, strooiselkwaliteit en ondergroei in loofbossen op verzuringsgevoelige bodem: een verkennend literatuur- en veldonderzoek. Alterra-rapport 509. Alterra, Wageningen-UR, Wageningen.
- Jenny, H., 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. *Proceedings of the Soil Science Society of America*. 25.
- Jongnerius, A. & G. Heintzberger, 1975. Methods in soil micromorphology; a technique for the preparation of large thin sections. Soil Survey Institute, Wageningen, the Netherlands.
- Jongmans, A.G., N. van Breemen, U. Lundstrom, P.A.W. van Hees, R.D. Finlay, M. Srinivasan, T. Unestam, R. Giesler, P.A. Melkerud & M. Olsson, 1997. Rock-eating fungi. *Nature* 389: 682-683.
- 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.
- Klinka, K., R.N. Green, R.L. Towbridge, & L.E. Lowe, 1981. Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia Report no. 8. B.C. Min. For. Land Manag., Victoria, British Columbia.

- Köstler, J.N., E. Brückner & H. Bibelriether, 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbaume in Mitteleuropa Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Miles, J., 1985. The pedogenic effects of different species and vegetation types and the implications of succession. *Journal of Soil Science*. 36, 571-584.
- Mouris, J.H. 1992. Eikenhakhout in verleden, heden en toekomst. Studie naar teelt, beheer, toekomstmogelijkheden en natuurwaarde van eikenhakhout op de zuidelijke Veluwezoom. I.A.H. Larenstein, Velp / Staringcentrum, Wageningen.
- Murphy, C.P., 1986. Thin section preparation of soils and sediments A B Academic Publ., Berkhamsted, U.K.
- Neirynek, J., S. Mirtcheva, G. Sioen & N. Lust, 2000. Impact of *Tilia platyphyllos* Scop., *Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. on earthworm biomass and physico-chemical properties of a loamy topsoil. *Forest Ecology and Management*. 133, 275-286.
- Ouden, J. den, 2000. The role of bracken (*Pteridium aquilinum*) in forest dynamics. Proefschrift, Wageningen University, Wageningen.
- Satchell, J.E. 1983. Earthworm Ecology in Forest Soils. In: J.E. Satchell (ed.) *Earthworm Ecology from Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, New York, pp 161-170.
- Topoliantz, S. & J.P. Ponge, 2003. Burrowing activity of the geophagous earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta: Glossoscolecidae) in the presence of charcoal. *Applied Soil Ecology*. 23, 267-271.