

Bekalking en toevoegen van nutriënten

Evaluatie van de effecten op het boscysteem - een veldonderzoek naar vegetatie, humus en bodemfauna -

2006

R.J.A.M. Wolf, W.J. Dimmers, P.W.F.M. Hommel, G.A.J. Jagers op Akkerhuis,
J.G. Vrielink & R.W. de Waal



Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A3.2

Alterra rapport 1337.5



REFERAAT:

Wolf, R.J.A.M., W.J. Dimmers, P.W.F.M. Hommel, G.A.J. Jagers op Akkerhuis, J.G. Vrieling & R.W. de Waal, 2006. *Bekalking en toevoegen van nutriënten. Evaluatie van de effecten op het bosecosysteem - een veldonderzoek naar vegetatie, humus en bodemfauna*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1337.5. 42 blz.; 1 fig.; 17 tab.; 12 ref.

Dit rapport doet verslag van een deelonderzoek uit de Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen 2004-2005 en is gericht op de effecten van de maatregelen bemesting en bekalking in bossen als overbruggingsmaatregel in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). In dit rapport worden de effecten besproken van de uitgevoerde maatregelen bekalking en mineralengiften ('bemesting') op de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna in een veldonderzoek. Bemesting en bekalking leiden beide tot een significante (sterke) toename van het aantal plantensoorten en tot hogere indicatiewaarden voor vocht, zuur en stikstof. Ook is een duidelijk toename zichtbaar van de verjonging van struiken en – alleen bij bemesting - ook van loofbomen. Bekalking en bemesting hebben beide effect op de dikte van de verschillende humuslagen. Beide maatregelen leiden dus tot een snellere omzetting van strooisel en tot accumulatie van humus bovenin de Hr-laag. De aard van de humuslagen is niet veranderd. De maatregelen bemesting en bekalking verschillen sterk van elkaar in het effect dat ze hebben op de bodemfauna. Bemesting laat enkele jaren na uitvoering geen aantoonbare veranderingen zien ten opzichte van de onbemeste situatie. Bekalking heeft enkele jaren na uitvoering van de maatregel wél geleid tot aantoonbare veranderingen in de bodemfauna. Het is mogelijk dat de veranderingen in de bodemfauna die na bekalking zijn opgetreden slechts tijdelijk zijn.

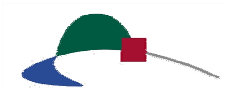
Trefwoorden: bosbemesting, bosbekalking, bodemontwikkeling, humusprofiel, kruidlaag, mossen, mycoflora, mycorrhiza, bodemfauna, bosvitaliteit, OBN, EGM.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kan worden uitgeprint via www.alterra.wur.nl, kies Publicaties en Alterra rapporten. Na intoetsen van het rapportnummer 1337 kan uit de lijst het juiste deelrapport worden geselecteerd en worden geprint of gedownload (als PDF). Het onderzoek bestond uit acht deelonderzoeken, zie ook de overige deelnummers bij rapportnummer 1337.

Het samenvattende eindrapport *Olsthoorn, A.F.M & R.J.A.M. Wolf - 2006 - Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen – Eindrapport* is verschenen als OBN rapport DK051-O en kan worden besteld bij de Directie Kennis in Ede, Postbus 482, 6710 BL Ede.

Het eindrapport is ook verschenen als Alterra Rapport 1337.9 en kan dus eveneens worden geprint of gedownload via bovenstaande Alterra site (als PDF).



Bekalking en toevoegen van nutriënten

Evaluatie van de effecten op het bosecosysteem - een veldonderzoek naar vegetatie, humus en bodemfauna -

R.J.A.M. Wolf, W.J. Dimmers, P.W.F.M. Hommel,
G.A.J. Jagers op Akkerhuis, J.G. Vrielink & R.W. de Waal

2006

Opdrachtnemers:

Alterra, Wageningen
Eelerwoude, Goor

Opdrachtgever:

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

Project Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A3.2, verschenen als Alterra Rapport 1337.5



INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

1.	INLEIDING.....	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Kader en doel veldonderzoek.....	2
1.3	Opzet rapport.....	3
2.	METHODE.....	4
3.	RESULTATEN.....	9
3.1	Inleiding.....	9
3.2	Vegetatie.....	10
3.3	Humusprofiel.....	17
3.4	Bodemfauna.....	21
4.	SAMENVATTING EN CONCLUSIES.....	27
4.1	Inleiding.....	27
4.2	Effecten op de vegetatie.....	27
4.3	Effecten op het humusprofiel.....	28
4.4	Effecten op de bodemfauna.....	28
4.5	Integratie: effecten op het bosecosysteem.....	29

BIJLAGEN

1. Overzicht onderzochte opstanden
2. Beschrijving Ellenberg indicatiewaarden voor plantensoorten
3. Beschrijving humushorizonten en humusvormen
4. Beschrijving bodemfaunagroepen



VOORWOORD

De auteurs danken iedereen die heeft bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport. In het bijzonder gaat onze dank uit naar de volgende personen:

- H.F.M. Weersink, P. Westerhof (Unie van Bosgroepen), T. Keizers (Bosgroep Noord-Oost Nederland), L. Verkerk (Bosgroep Midden Nederland), E. van der Staak (Bosgroep Brabant) en R. van der Burg (Bosgroep Zuid Nederland) voor het verstekken van de basisgegevens over de uitvoering van de maatregelen in de bossen van Bosgroep-leden,
- A.F.M. Olsthoorn (Alterra) en T. Mulder (Eelerwoude) voor hun adviezen en ondersteuning bij de uitvoering van dit veldonderzoek,

Daarnaast zijn we de boseigenaren dank verschuldigd voor hun medewerking en toestemming voor het verrichten van het veldwerk in hun bos. De Bosgroepen bedanken we voor het informeren van hun leden over dit veldwerk.

Aan de totstandkoming van dit rapport hebben meegewerkt:

- Robbert Wolf (Eelerwoude): voorbereiding veldwerk, coördinatie, eindredactie rapport,
- Joop Vrielink (Eelerwoude): veldopname, invoer vegetatieopnamen,
- Wim Dimmers (Alterra): verwerking monsters bodemfauna,
- Patrick Hommel (Alterra): analyse en rapportage vegetatiegegevens,
- Rein de Waal (Alterra): analyse en rapportage humusgegevens,
- Gerard Jagers op Akkerhuis (Alterra): analyse en rapportage bodemfaunagegegevens.



1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

De effectgerichte maatregelen die de afgelopen jaren in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) met rijks subsidie zijn uitgevoerd in de Nederlandse multifunctionele bossen worden op dit moment geëvalueerd. Deze evaluatie wordt uitgevoerd door Alterra en Eelerwoude in opdracht van het Ministerie van LNV.

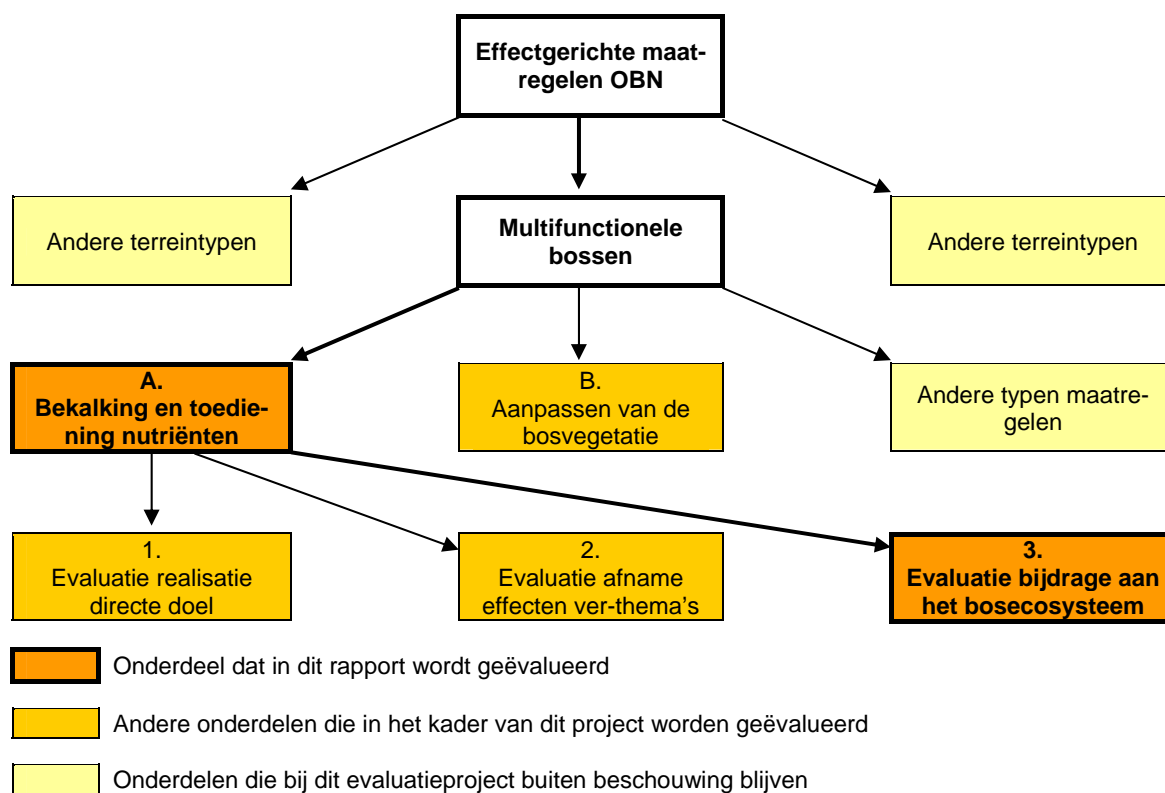
De evaluatie beslaat twee typen maatregelen (zie figuur 1):

- A. bekalking en het toevoegen van nutriënten,
- B. aanpassen van de bosvegetatie.

Voor beide maatregeltypen wordt geëvalueerd:

1. of het directe geformuleerde doel is gerealiseerd,
2. of negatieve effecten van de ver-thema's zijn opgeheven of verminderd,
3. welke bijdrage wordt geleverd aan het bosecosysteem.

Voor het onderdeel 'Evaluatie van de effecten van bekalking en het toevoegen van nutriënten op het bosecosysteem' (A3) is er in overleg met de opdrachtgever voor gekozen zowel een literatuurstudie (A3.1) als een veldonderzoek (A3.2) uit te voeren. Dit deelrapport bevat de verslaglegging van het veldonderzoek.



Figuur 1. Onderdelen van het evaluatieproject en positie van dit rapport hierin



Dit deelrapport zal bij de oplevering van de evaluatie met de andere deelrapporten worden geïntegreerd tot één samenvattend eindrapport.

De conclusies uit dit deelrapport zullen samen met die uit de andere deelrapporten worden gebruikt om in het samenvattende eindrapport van het project tot een algemeen oordeel te komen over de maatregelen bekalking en toevoegen van nutriënten.

1.2 Kader en doel veldonderzoek

OBN

De algemene doelstelling van het OBN luidt:

Herstel en behoud van ecosystemen en biodiversiteit door tijdelijke beheer- en/of inrichtingsmaatregelen, als aanvulling op regulier beheer, om onomkeerbare gevolgen van verzuring, verdroging en vermessing te voorkomen.

In het kader van het OBN wordt de maatregel “Bekalking en toevoegen van nutriënten” vanaf 1995 in multifunctionele bossen uitgevoerd.

Bekalking en toevoegen van nutriënten

Doel en uitvoering

Het doel van deze maatregel is *herstel van de mineralenbalans in bossen*. Om dit doel te bereiken wordt een correctieve bemesting uitgevoerd om absolute tekorten van bepaalde elementen (fosfor, magnesium, kalium, koper) en ook relatieve tekorten ten opzichte van stikstof op te heffen. Soms wordt ook calcium toegevoegd als voedingsstof. Deze maatregel kan worden uitgevoerd als er een tekort is aan één of meer mineralen dat zichtbaar is in de vorm van gebreksverschijnselen, zoals blad- en naaldverkleuring (Klein et al 2001¹).

Voorafgaand aan de uitvoering van de maatregel wordt in een vooronderzoek de chemische blad- of naaldsamenstelling bepaald en een chemisch grondonderzoek uitgevoerd. Op grond van dit vooronderzoek wordt via een standaardmethode per boomsoort en per nutriënt bepaald of een nutriëntengift nodig is. Als hieruit volgt dat een nutriëntengift nodig is, dan wordt voor elk nutriënt altijd een standaardhoeveelheid gegeven. De hoogte van deze standaardhoeveelheden is gebaseerd op de geschatte werkingsduur ervan en op de praktische mogelijkheid om de meststoffen goed verdeeld over een bosopstand te kunnen toedienen (Van den Burg & Schaap 1995²).

Status maatregel

De maatregel “Bekalking en toevoegen van nutriënten” heeft voor multifunctionele bossen binnen het OBN de status van reguliere maatregel. In bossen met een andere (bijvoorbeeld natuur-) doelstelling is deze maatregel niet toegestaan (Klein et al 2001).

¹ Klein, M., Horlings, I. & Ommering, G. van 2001. Handleiding Subsidie Effectgerichte Maatregelen 2001. Overlevingsplan Bos en Natuur, Regeling effectgerichte maatregelen in bossen en natuurterreinen. Expertisecentrum LNV/ Directie Natuurbeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Wageningen/Den Haag.

² Burg, J. van den & W. Schaap 1995. Richtlijnen voor mineralen toediening en bekalking als effect gerichte maatregel in bossen. Rapport nr. 16, IKC Natuurbeheer, Wageningen.



Aanleiding tot dit veldonderzoek

Ondanks de status van reguliere maatregel staat de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten regelmatig ter discussie. Een belangrijk kritiekpunt is dat men vermoedt dat de maatregel leidt tot vermindering van de ondergroei, en dat daardoor toch negatieve neveneffecten optreden op het ecosysteem. Deze vermindering zou leiden tot verdringing van gewenste soorten en de maatregel zou daardoor als ongewenst neveneffect hebben dat de biodiversiteit afneemt. Daarbij wordt aangegeven dat over de effecten op bodemflora- en fauna nog onvoldoende bekend is.

Het bovenstaande kritiekpunt was voor de opdrachtgever een belangrijke overweging om dit veldonderzoek en ook een aanvullende literatuuronderzoek uit te laten uitvoeren.

Doel veldonderzoek

Het doel van dit veldonderzoek is:

Beoordeling van de effecten van de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten op het boscysteem in het algemeen en de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna in het bijzonder.

Het veldonderzoek richt zich dus op de (ongewenste of gewenste) neveneffecten van de maatregel op de natuurwaarde (met name de biodiversiteit) van het bos. De vraagstelling die bij dit onderzoek gehanteerd is luidt:

- hebben de behandelingen bekalking en nutriëntengift invloed op de samenstelling van de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna?
- als deze effecten er zijn, wat zijn hiervan dan de consequenties voor het (functioneren van) het boscysteem?

Daarbij gaat het om het algemene effect per maatregel, zonder onderscheid naar boomsoort of nutriënt.

Dit veldonderzoek vormt slechts een onderdeel van de evaluatie van de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten (zie ook figuur 1). Het gaat hierbij uitsluitend om de effecten op het boscysteem. Andere aspecten van de evaluatie van deze maatregel komen aan de orde in andere deelrapporten (A1 en A2). Ook de gegevens van een eigen literatuuronderzoek naar de effecten op het boscysteem worden beschreven in een ander deelrapport (A3.1).

1.3 Opzet rapport

Aan de opzet van het evaluatieproject en de positie van dit veldonderzoek hierin is hierboven aandacht besteed (§ 1.1 en § 1.2). De methode die bij het veldonderzoek is gehanteerd wordt beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de resultaten. Achtereenvolgens wordt na een korte inleiding (§ 3.1) ingegaan op de resultaten van het vegetatie- (§ 3.2), humus- (§ 3.3) en bodemfaunaonderzoek (§ 3.4). In hoofdstuk 4 zijn de resultaten samengevat en vertaald naar conclusies. Daarbij worden de deelresultaten eerst afzonderlijk besproken (§ 4.2 t/m § 4.4) in vervolgens in hun onderlinge verband gezien (§ 4.5).



2. METHODE

Aanpak

Bij dit onderdeel van de evaluatie is ervoor gekozen om via gecombineerde veldopnamen van vegetatie, humusprofiel en bodemfauna te onderzoeken welke effecten in OBN-verband uitgevoerde bekalkingen en nutriëntengiften hebben op het boscosestroom. Vegetatie, humusprofiel en bodemfauna zijn veranderlijke onderdelen van een boscosestroom dat op een bepaalde groeiplaats aanwezig is. Ze kunnen reageren op invloeden van buitenaf, veranderen in de loop der jaren (successie) en beïnvloeden elkaar daarbij. Vegetatie, humusprofiel en bodemfauna kunnen hierdoor een goede indruk geven van de reactie van het boscosestroom op de ingrepen bekalking en nutriëntengiften.

Van de bekalkte en bemeste opstanden zijn geen gegevens beschikbaar over de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna van vóór de ingreep (nulmetingen). Daarom is er (noodgedwongen) voor gekozen om behandelde (bekalkte of bemeste) opstanden paarsgewijs te vergelijken met onbehandelde opstanden. Om dit te kunnen doen is in de basisgegevens van de Bosgroepen gezocht naar paren van zo goed mogelijk vergelijkbare behandelde en onbehandelde opstanden.

Selectie opstanden

Bij dit onderzoek zijn de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna onderzocht in vier groepen opstanden (zie tabel 1). Er is onderscheid gemaakt tussen opstanden die bekalkt zijn (WK) en die 'bemest' zijn (WB). Voor beide behandelingen is per opstand een vergelijkbare onbehandelde opstand geselecteerd (NK, niet bekalkt; NB, niet bemest). In totaal zijn 60 opstanden geselecteerd, 15 per behandeling.

Tabel 1. Behandelingsgroepen

Type behandeling:	behandeld	onbehandeld
Bekalking	WK (wel bekalkt, n = 15)	NK (niet bekalkt, n = 15)
Bemesting (P, K, Mg, Cu)	WB (wel bemest, n = 15)	NB (niet bemest, n = 15)

Bij de selectie van de opnameparen zijn de opstanden waarvoor door de diverse Bosgroepen in 1998, 1999 en 2000 aanvragen voor monsternamen zijn gedaan als basis genomen (lotingslijst Unie van Bosgroepen). De aselecte steekproef die hieruit is genomen voor de herbemonstering (Projectonderdeel A1.1) is als uitgangspunt genomen voor de selectie van de opnamepunten. Deze selectie bleek echter te beperkt om voldoende goede paren te vinden. Daarom is een aanvullende random selectie uit de lotingslijst gemaakt.

Van de aldus verkregen basislijst zijn aanvullende gegevens verzameld over bodemtype, leeftijd van de opstand (kiemjaren) en (jaar van) uitvoering van de maatregel. Op grond van bodemtype, boomsoort en opstandleeftijd zijn hieruit vervolgens 30 met elkaar te vergelijken paren van een behandelde en een onbehandelde opstand geselecteerd. Bij deze selectie is ernaar gestreefd dat de paren per behandelingstype (bemesten en bekalken) wat betreft bodem (PNV³), boomsoort, leeftijd en geografische ligging een zo goed mogelijke afspiegeling vormen van de basislijst. Weinig voorkomende bodemtypen en boomsoorten zijn bij de selectie echter afgevalen vanwege praktische problemen bij het vinden van goede paren.

³ De PNV (Potentieel Natuurlijke Vegetatie) is als uitgangspunt gehanteerd voor vergelijkbaarheid wat betreft bodem. Verwante bodemtypen waar eenzelfde PNV bij hoort zijn als vergelijkbaar beschouwd.



De bekalkte (WK) en niet bekalkte opstanden (NK) hadden voor de (al dan niet uitgevoerde) behandeling een pH van onder de grenswaarde 3.2 ('te zuur') en geen tekort aan het mineraal fosfor. De bemeste (WB) en niet bemeste opstanden (NB) hadden voor de (al dan niet uitgevoerde) behandeling een pH van 3.2 of hoger ('niet te zuur') en wel een tekort aan fosfor, en vaak ook aan andere elementen. De gehanteerde grenswaarden op grond waarvan is bepaald of de bodem van een opstand te zuur is ($\text{pH} < 3.2$) en of er al dan niet sprake is van een gebrek aan een bepaald nutriënt zijn conform Van den Burg & Schaap (1995). De grenswaarden voor nutriënten zijn boomsoort-specifiek. Indien de opstanden bemest of bekalkt zijn, is dit volgende de richtlijnen gedaan zoals aangegeven in Van den Burg & Schaap (1995). Bij bemesting zijn de nutriënten toegevoegd waarvan op grond van de gehanteerde grenswaarden een tekort is geconstateerd.

De selectie van opnamen heeft ertoe geleid dat de opgenomen bossen een goede afspiegeling vormen van de bekalkte en bemeste opstanden. Wel zijn de weinig voorkomende bodemtypen en boomsoorten noodgedwongen buiten beschouwing gelaten.

Veldopname

De veldopnamen zijn uitgevoerd in de periode mei – juni 2005. Per opstand is een gecombineerde opname van vegetatie en humus uitgevoerd. In een deel van deze opstanden zijn gelijktijdig ook bodemfaunamonsters genomen.

Per opstand is de **vegetatie** beschreven via een opname van 10 bij 10 m volgens de methode Braun-Blanquet. Daarbij is per vegetatielaag (boomlaag, stuiklaag, kruidlaag moslaag) de hoogte en samenstelling (soorten hogere planten en mossen en hun abundantie/bedekking) aangegeven. Bij de keuze van de opnamelocatie is erop gelet dat:

- deze zo goed mogelijk overeenkomt met de kenmerken op grond waarvan de opstand is geselecteerd (boomsoort, leeftijd, bodemtype),
- deze zo weinig mogelijk beïnvloed wordt door verstoringen van buitenaf (zoals randinvloeden).

Binnen de vegetatieopname is op 5 vaste locaties (het midden en de vier hoekpunten) een beschrijving gemaakt van het **humusprofiel**. Per locatie is met een humushapper een profiel uitgestoken. Van elk profiel is de dikte en samenstelling van alle aangetroffen lagen beschreven (conform Van Delft 2004⁴). Ook de vorm van de grenzen (scherp of geleidelijk) tussen lagen is genoteerd. De 5 humusbeschrijvingen geven een goed beeld van het humusprofiel in de opstand: ze geven zowel een beeld van het gemiddelde als een indruk van de variatie.

Midden in de opname is een grondboring tot 120 cm diepte uitgevoerd om te controleren of het bodemtype dat vooral op grond van de bodemkaart was aangegeven juist is.

In 20 van de 60 opnamen is de **bodemfauna** bemonsterd. Het gaat hier om 10 opnameparen (5 paren per behandelingstype), gespreid over verschillende bodem- en opstandstypen. Per opstand zijn 5 bodemfaunamonsters genomen. De locaties zijn identiek aan die van de beschrijvingen van het humusprofiel. Elk monster heeft door het gebruik van de humushapper een vaste breedte en dikte. De hoogte van de monsters varieert: een monster bevat alle (ectorganische) humuslagen en de minerale bovengrond.

⁴ Van Delft, B. 2004. Veldgids Humusvormen. Beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassingen. Alterra, Wageningen.



Verwerking gegevens

De **vegetatieopnamen** zijn ingevoerd in het programma TURBOVEG. De gegevens over de **humusprofielen** zijn ingevoerd in EXCEL.

De **bodemfaunamonsters** zijn individueel geëxtraheerd. De vangst van de vijf monsters die per opstand zijn genomen is samengevoegd en gemengd. Uit dit mengmonster:

- is een aselekt submonster genomen van 70 individuen die zijn gedetermineerd,
- zijn drie submonsters genomen van elk 10% van het totale mengmonster waarvan het aantal individuen is geteld.

De getelde aantallen individuen zijn teruggerekend naar aantallen per vierkante meter bosbodem. De gegevens zijn ingevoerd in de Entomologie ACCESS database en verwerkt in EXCEL.

Analyse

Paarsgewijze vergelijking

De gevolgde werkwijze berust op een paarsgewijze vergelijking van opstandsgegevens over vegetatie, humusprofiel en bodemfauna. Elk paar bestaat uit twee opstanden op min of meer identieke bodem en met een min of meer identieke boomlaag: één opstand zonder en één opstand met ingreep (bemesting dan wel bekalking).

Elk van de 30 opstandsparen die vooraf was geselecteerd is aan de hand van de gegevens uit de veldopnamen gecontroleerd op de werkelijke mate van vergelijkbaarheid. Als gevolg van deze controle is het aantal bruikbare paren afgenomen tot van 30 tot 24. In enkele gevallen bleek een opstand niet vergelijkbaar te zijn met de opstand waaraan deze oorspronkelijk gekoppeld was, maar wel met een andere opstand. Daardoor is in enkele gevallen een opname dubbel gebruikt, dat wil zeggen dat één en dezelfde opname met twee andere is vergeleken.

Voor wat betreft de vergelijking wel bemest – niet bemest zijn 21 opnamen (11 paren) gebruikt, voor de vergelijking wel bekalkt – niet bekalkt 24 opnamen (13 paren). Voor de bodemfauna geldt dat zowel voor bekalking als voor bemesting 4 van de 5 bemonsterde paren gebruikt zijn voor de paarsgewijze vergelijking.

Bijlage 1 bevat een overzicht van de aan de hand van de veldwaarnemingen bijgestelde opstandgegevens en van de opnameparen die zijn gebruikt voor de paarsgewijze vergelijking.

Onderzochte kenmerken

Het vergelijkende onderzoek richtte zich op de volgende kenmerken:

Vegetatie:

- bosstructuur (hoogte en bedekking van boom-, struik-, kruid- en moslaag);
- soortenaantal;
- indicatiewaarden van de soorten voor vocht, zuur en stikstof (gemiddelde Ellenbergwaarden, gewogen naar bedekking, ordinale schaal; zie ook bijlage 2);
- soortensamenstelling (aan- dan wel afwezigheid en bedekking van de afzonderlijke soorten).

Humusprofiel:

- de aanwezige humusvormen;
- dikte van de afzonderlijke relevante humuslagen;
- dikte van combinaties van relevante humuslagen;
- het type grens tussen de verschillende humuslagen (scherp of niet).



Bodemfauna:

- het totaal aantal individuen;
- het aantal en aandeel van de individuen per groep op basis van levens cyclus strategie (Life History, LH);
- het aantal en aandeel van de individuen per groep op basis van voedselstrategie;
- soortensamenstelling van de aanwezige bodemfauna (nadruk op dominante soorten).

Toetsing

Van bovengenoemde aspecten werden de meeste onderzocht door middel van een gepaard uitgevoerde t-toets (Student). Gebruik van de gepaarde t-toets is verantwoord omdat de opstanden per set van twee (paar) worden vergeleken en de onderzochte kenmerken in de populatie waaruit de steekproef is genomen (het Nederlandse bos) verondersteld kunnen worden een (min of meer) normale verdeling te hebben. Er zijn ook andere toetsen mogelijk die geen normale verdeling vereisen, maar deze zijn veel bewerkelijker en de praktijk leert dat gebruik van deze toetsen vrijwel identieke resultaten oplevert.

Voor kenmerken waar op grond van bestaande theorie of praktijkervaring een effect in één richting kan worden verondersteld, is éénzijdig getoetst. Een duidelijk voorbeeld is het effect van bekalking op de gemiddelde indicatiewaarde van de vegetatie voor zuur. De verwachting is dat bekalking zal leiden tot een hogere calciumverzadiging/ pH en daarmee tot een hogere gemiddelde indicatiewaarde. Er werd in dat geval dan ook éénzijdig getoetst. Ook voor wat betreft de verschillende aspecten van de bosstructuur en dikte van humuslagen werd éénzijdig getoetst. Het is namelijk redelijk te veronderstellen dat bemesting (direct) en bekalking (indirect) zullen leiden tot een zekere verhoging van de biomassa-productie (vegetatie) en tot een verschuiving in de richting van humuslagen met een betere omzetting. Voor de moslaag kan door verhoogde concurrentie om licht met de kruidlaag een achteruitgang in bedekking verondersteld kan worden. In alle gevallen waar geen duidelijke hypothese m.b.t. de ontwikkelingsrichting kan worden geformuleerd, werd tweezijdig getoetst. Dit geldt voor alle getoetste veranderingen bij de bodemfauna. In sommige gevallen is de keuze tussen één- of tweezijdige toetsing arbitrair.

Bij de t-toets gaan wij uit van de voor-veronderstelling dat beide opname-series significant verschillen. In hoeverre wij dit terecht hebben verondersteld is af te lezen uit de 'foutkans'. Is deze kleiner dan 5% dan mogen we de gevonden verschillen inderdaad als significant beschouwen. Ligt de foutkans tussen de 5 en de 10%, dan zijn de verschillen niet significant maar is er wel sprake van een duidelijke trend.

Enkele kenmerken zijn niet via de hierboven beschreven wijze van toetsing geanalyseerd. De wijze van analyse van deze kenmerken wordt hieronder toegelicht.

Vergelijking soortensamenstelling vegetatie

De gevolgen van bemesting dan wel bekalking voor de soortensamenstelling van de vegetatie zijn onderzocht door middel van een analyse van synoptische tabellen van beide opname-series. Bij deze analyse werd gezocht naar soorten die duidelijk meer of minder aanwezig waren in de bemeste dan wel bekalkte opstanden in vergelijking tot hun tegenhangers waar geen ingreep had plaatsgevonden. Hierbij werden de volgende criteria gehanteerd voor een duidelijk verschil:

- een verschil van tenminste 20% in presentiewaarde⁵ en/of
- een verschil van tenminste 20% in karakteristieke bedekking⁶, mits de betreffende soort in beide opname-series voorkomt met een presentie van tenminste 20%.

⁵ Presentiewaarde: percentage van de opnamen waarin de plantensoort voorkomt.

⁶ Karakteristieke bedekking: gemiddelde van de bedekkingen van de plantensoort over de opnamen waarin deze is aangetroffen



Vergelijking humusvormen en grenzen tussen humuslagen

Het effect van bemesting of bekalking op de aanwezige humusvorm is onderzocht door per behandeling te onderzoeken hoe vaak elke humusvorm voorkomt in de onderzochte paren. Vervolgens is voor elke humusvorm de frequentie van voorkomen in de onbehandelde opstanden vergeleken met deze frequentie in de behandelde opstanden. Deze gegevens geven een indruk van de mate waarin de behandelingen bemesting en bekalking hebben geleid tot verschuiving in (naar verwachting) de richting van een 'rijkere' humusvorm.

Vergelijking soortensamenstelling bodemfauna

Het effect van bemesting of bekalking op de soortensamenstelling van de bodemfauna is onderzocht via vergelijking van de aanwezige soorten per groep (levens cyclus strategie en voedselstrategie). Per groep zijn de soortenlijsten van de behandelde en onbehandelde opstanden met elkaar vergeleken en is gekeken naar de mate van voorkomen van dezelfde dan wel verschillende soorten.



3. RESULTATEN

3.1 Inleiding

De onderstaande tabellen geven een indruk van de spreiding over Nederland, de hoofdboomsoort en Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV) van de geanalyseerde bosopstanden per behandelingsgroep. Ook is aangegeven in welk jaar de behandeling is uitgevoerd. Een uitgebreider overzicht van algemene gegevens per opstand is te vinden in bijlage 1.

Tabel 2. Aantal geanalyseerde bosopstanden per provincie

Behandeling	Provincie					Totaal
	Noord Brabant	Gelderland	Utrecht	Overijssel	Limburg	
	Aantal geanalyseerde opstanden					
Niet bemest (NB)	4	4	1	1		10
Wel bemest (WB)	3	1		6	1	11
Niet bekalkt (NK)	5	4	1	2		12
Wel bekalkt (WK)	3	1		8		12
Totaal	15	10	2	17	1	45

Tabel 3. Hoofdboomsoorten in de geanalyseerde bosopstanden

Behandeling	Hoofdboomsoort						Totaal
	Eik	Grove den	Cors. den	Douglas	Jap. lariks	Fijnspar	
	Aantal geanalyseerde opstanden						
Niet bemest (NB)		3	1	3	1	2	10
Wel bemest (WB)		4	1	3	1	2	11
Niet bekalkt (NK)	3	8	-	-	-	1	12
Wel bekalkt (WK)	3	8	-	-	-	1	12
Totaal	6	23	2	6	2	6	45

Tabel 4. Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV) van de geanalyseerde bosopstanden

PNV	Behandeling				Totaal
	Niet bemest (NB)	Wel bemest (WB)	Niet bekalkt (NK)	Wel bekalkt (WK)	
	Aantal geanalyseerde opstanden				
Droog Berken-Zomereikenbos	6	7	5	5	23
Vochtig Berken-Zomereikenbos	4	4	4	5	17
Vochtig Wintereiken-Beukenbos	-	-	2	1	3
Kamperfoelierijk Eiken-Haagbeukenbos	-	-	1	1	2
Totaal	10	11	12	12	45



Tabel 5. Jaar van uitvoering maatregel

Behandelingsgroep	Jaar van uitvoering maatregel				Totaal
	Winterseizoen 1999/2000	Winterseizoen 2000/2001	Winterseizoen 2001/2002	Winterseizoen 2002/2003	
	Aantal onderzochte opstanden				
Wel bemest (WB)	4	3	1	3	11
Wel bekalkt (WK)	7	3	1	1	12
Totaal	11	6	2	4	23

De geanalyseerde opnamen liggen voornamelijk in de provincies Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant. In Overijssel liggen veel behandelde bosopstanden, in Gelderland veel onbehandelde. Ze bevatten 6 hoofdboomsoorten, waarvan grove den (23 x) het meest voorkomt.

De meeste bossen staan op droge of vochtige arme zandgronden, waar het Droog (23 x) of Vochtig (17x) Berken-Zomereikenbos de Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV) vormt. Bij de behandeling bekalking komen enkele rijkere locaties voor, waarvan na de PNV bestaat uit het Vochtig Wintereiken-Beukenbos of het Kamperfoelierijk Eiken-Haagbeukenbos.

De behandeling is uitgevoerd in vier verschillende winterseizoenen: van 1999/2000 tot en met 2002/2003. Dit betekent dat op het moment van opname de behandeling anderhalf tot vierenhalf jaar geleden was uitgevoerd. Vooral bij bekalking ligt het zwaartepunt in de jaren 1999/2000 en 2000/2001, waardoor de behandeling in de meeste van de geanalyseerde opstanden drieënhalf of vierenhalf jaar voor de opname is uitgevoerd.

3.2 Vegetatie

Gevolgen van bemesting

De resultaten van de toetsing van het effect van bemesting op de bosstructuur, op het aantal plantensoorten en op de Ellenberg-indicatiewaarden van de plantensoorten voor vocht, zuur, en stikstof zijn samengevat in tabel 6. De betekenis van de indicatietoelagen wordt toegelicht in bijlage 2.

Uit de tabel volgt dat bemesting een significant positief effect heeft op de bedekking van de kruidlaag. Ook is een duidelijke toename-trend zichtbaar in de hoogte van de kruid- en struiklaag. Dit betekent dat de bemesting een duidelijke positieve invloed heeft op de biomassaontwikkeling van de kruidlaag.

Het gemiddeld aantal plantensoorten (soortenaantal) is in de bemeste opstanden significant (veel) hoger dan in de onbemeste percelen. Hieronder wordt nader toegelicht welke soorten en soortgroepen voor dit positieve effect verantwoordelijk zijn.

De gemiddelde Ellenberg-indicatiewaarden voor vocht, zuur en stikstof zijn in de bemeste percelen significant hoger dan in de onbemeste. Dit indiceert een vermindering van droogte-stress, een verhoging van de pH/calciumverzadiging (minder zuur) en een groter stikstofaanbod. Daarbij geldt de kanttekening dat de Ellenberg-indicatiewaarde voor zuur volgens sommige onderzoekers geen goede indicator is voor de pH van de bodem, maar wel voor de in de bodem aanwezige hoeveelheid calcium, en dat de Ellenberg-indicatiewaarde voor stikstof vooral de productiviteit van de ondergroei aangeeft (Schaffers 2000⁷; Schaffers & Sykora 2000⁸).

⁷ Schaffers, A.P. 2000. Ecology of roadside plant communities. Ph.D. Thesis, Wageningen University, 304p



Tabel 6. Vergelijking van bemeste en onbemeste opnamen wat betreft bosstructuur, aantal plantensoorten en indicatiewaarden

Kenmerk Vegetatie	Behandeling		T-toets	
	Wel bemest	Niet bemest	1- of 2-zijdig	foutkans (%)
	Gemiddelde waarde			
Bedekking boomlaag (%)	65.9	69.1	1-zijdig	28.6
Bedekking struiklaag (%)	9.6	4.3	1-zijdig	16.5
Bedekking kruidlaag (%)	53.5	38.3	1-zijdig	4.4
Bedekking moslaag (%)	46.4	59.9	1-zijdig	20.2
Hoogte boomlaag (m)	18.5	16.9	1-zijdig	13.0
Hoogte struiklaag (m)	1.6	0.5	1-zijdig	6.2
Hoogte kruidlaag (cm)	44.1	28.0	1-zijdig	8.6
Soortenaantal	20.6	12.4	2-zijdig	0.4
Indicatie voor vocht	5.0	4.4	2-zijdig	0.0
Indicatie voor zuur	3.3	2.8	2-zijdig	1.8
Indicatie voor stikstof	4.2	3.1	1-zijdig	0.0

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Tabel 7 geeft inzicht in de mate waarin de diverse plantensoorten uit de kruid- en moslaag voorkomen in de bemeste en in de onbemeste proefvlakken. Hieruit volgt enig inzicht in welke soorten voordeel dan wel nadeel hebben bij bosbemesting. Soorten die in de ene behandelingsgroep duidelijk meer voorkomen dan in de andere (differentiërende soorten) zijn met een arcering aangegeven.

Er zijn 15 soorten die in de bemeste percelen duidelijk meer voorkomen dan in de onbemeste. Daarnaast zijn er veel soorten die in de bemeste percelen een enkele keer zijn aangetroffen en in de onbemeste percelen volledig ontbreken. Slechts één soort komt in de bemeste percelen duidelijk minder voor dan in de onbemeste.

Als wij bekijken welke soorten lijken te profiteren van de bemesting dan valt een aantal zaken op. In de eerste plaats is het grote aandeel van overjarige zaailingen van struiken (Wilde lijsterbes, Sporkehout en Amerikaans krentenboompje) en loofbomen (Ruwe berk en Zomereik) opvallend. Daarnaast zien we vooral soorten toenemen die indicatief zijn voor een verhoogd aanbod van voedingsstoffen. Het betreft hier zowel echte stikstofminnaars (zoals Rankende helmblom), als kapvlakteplanten (Wilgenroosje). Ook soorten die verondersteld worden een zekere binding met dood hout te hebben zien we toenemen (Brede stekelvaren en Gedrongen kantmos). Een uitbijter is de Smalle stekelvaren, een bosplant die niet als duidelijk eutrafent te boek staat. De overige bosplanten vertonen geen duidelijke verschillen.

Heide-klauwtjesmos is de enige plantensoort die in de bemeste opstanden duidelijk minder is aangetroffen dan in de onbemeste percelen. Vooral de bedekking is in de bemeste opstanden lager. In hoeverre dit het gevolg is van een voorkeur voor voedselarme omstandigheden dan wel van verhoogde lichtconcurrentie door de kruidlaag is onduidelijk.

⁸ Schaffers, A.P. & Sykora, K.V. 2000. Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science* 11: 225-244.



Tabel 7. Synoptische tabel kruidlaag en moslaag van bemeste en onbemeste opnamen

Behandeling:	Wel bemest		Niet bemest		
Aantal opnamen:	11		10		
PR: presentie (%); KB: karakteristieke bedekking (%)	PR	KB	PR	KB	
<i>Differentiërende soorten kruidlaag</i>					
Dryopteris carthusiana	82	2	40	2	Smalle stekelvaren
Ceratocarpus claviculata	73	7	20	3	Rankende helmbloem
Sorbus aucuparia	73	3	30	2	Wilde lijsterbes
Rhamnus frangula	73	2	20	2	Sporkehout
Dryopteris dilatata	55	19	30	6	Brede stekelvaren
Betula pendula	55	2	10	2	Ruwe berk
Chamerion angustifolium	55	2	10	2	Wilgenroosje
Amelanchier lamarckii	46	2	10	2	Amerikaans krentenboompje
Quercus robur	46	2	10	2	Zomereik
Taraxacum species	27	1	-	-	Paardenbloem
<i>Differentiërende soorten moslaag</i>					
Brachythecium rutabulum	82	7	30	2	Gewoon dikkopmos
Eurhynchium praelongum	82	7	50	6	Fijn snavelmos
Pseudoscleropodium purum	64	12	30	3	Groot laddermos
Lophocolea heterophylla	55	2	20	2	Gedrongen kantmos
Plagiothecium laetum s.l.	27	2	-	-	Krom platmos
Hypnum jutlandicum	91	27	100	47	Heide-klauwtjesmos
<i>Overige soorten kruidlaag</i>					
Agrostis capillaris	18	2	-	-	Gewoon struisgras
Calluna vulgaris	18	2	20	2	Struikhei
Carex pilulifera	9	1	-	-	Pilzegge
Castanea sativa	9	2	10	1	Tamme kastanje
Deschampsia flexuosa	64	20	70	13	Bochtige smele
Epilobium montanum	9	2	-	-	Bergbasterdwederik
Erica tetralix	9	1	-	-	Dophei
Galeopsis tetrahit	9	2	-	-	Gewone hennepnetel
Galium saxatile	9	2	20	2	Liggend walstro
Holcus lanatus	18	2	-	-	Gestreepte witbol
Juncus effusus	9	1	-	-	Pitrus
Larix kaempferi	9	2	-	-	Japanse larix
Lonicera periclymenum	18	2	-	-	Wilde kamperfoelie
Moehringia trinervia	9	2	10	1	Drienermuur
Molinia caerulea	36	2	50	3	Pijpenstrootje
Pinus nigra v. maritima	-	-	10	3	Corsikaanse den
Pinus sylvestris	27	2	10	2	Grove den
Prunus serotina	18	2	30	2	Amerikaanse vogelkers
Pseudotsuga menziesii	27	2	30	2	Douglaspars
Pteridium aquilinum	9	88	-	-	Adelaarsvaren
Quercus rubra	18	2	10	2	Amerikaans eik
Rhododendron ponticum	-	-	10	1	Pontische rododendron
Rubus fruticosus ag.	36	8	20	20	Gewone braam
Rubus idaeus	27	4	10	1	Framboos
Rumex acetosa	9	1	-	-	Veldzuring
Rumex acetosella	9	2	-	-	Schapenzuring
Sambucus nigra	18	1	-	-	Gewone vlier
Senecio sylvaticus	9	2	10	2	Boskruiskruid
Sonchus arvensis	9	1	-	-	Akkermelkdistel
Stellaria media	9	1	-	-	Vogelmuur
Urtica dioica	9	2	-	-	Grote brandnetel



Vaccinium myrtillus	27	30	40	29	Blauwe bosbes
Vaccinium vitis-idaea	9	8	20	6	Rode bosbes
Veronica officinalis	9	1	-	-	Mannetjesereprijs
<i>Overige soorten moslaag</i>					
Atrichum undulatum	9	2	-	-	Groot rimpelmos
Campylopus introflexus	-	-	10	2	Grijs kronkelsteeltje
Campylopus pyriformis	46	2	30	2	Breekblaadje
Dicranella heteromalla	36	2	20	2	Pluisjesmos
Dicranum scoparium	64	2	60	2	Gewoon gaffeltandmos
Eurhynchium striatum	27	3	30	4	Geplooid snavelmos
Leucobryum glaucum	-	-	10	1	Kussentjesmos
Mnium hornum	18	2	30	2	Gewoon sterremos
Plagiothecium denticulatum	9	2	-	-	Glanzend paltmos
Plagiothecium undulatum	18	2	10	2	Gerimpeld platmos
Pleurozium schreberi	46	2	40	24	Bronsmos
Polytrichum formosum	73	3	60	3	Fraai haarmos
Rhytidiadelphus squarrosus	9	3	-	-	Gewoon haakmos
Thuidium tamariscinum	9	2	10	2	Gewoon thujamos

Gearceerd: soorten die in deze behandelingsgroep duidelijk meer voorkomen dan in de andere.
(Soorten uit de boomlaag, soorten uit de struiklaag en zaailingen jonger dan 1 jaar zijn niet opgenomen)

Veel van de bovenstaande resultaten liggen in de lijn van wat logischerwijze verwacht zou kunnen worden als effect van bemesting: verhoging van de biomassa van de kruidlaag, een hogere gemiddelde indicatiewaarde voor stikstof en toename van plantensoorten die indicatief zijn voor een verhoogd aanbod van voedingsstoffen.

Een meer opvallend resultaat is dat de indicatiewaarden voor zuur en vocht in de bemest percelen hoger zijn dan in de onbemeste (indicatie voor hogere calciumverzadiging en meer beschikbaar vocht). Mogelijk betekent dit dat bemesting indirect doorwerkt in de zuurhuishouding en de effecten van droogte-stress enigszins verzacht. Ook de in de bemeste percelen beduidend meer aanwezige verjonging van struiken en loofbomen is opvallend. Wellicht leidt de bemesting tot betere mogelijkheden voor succesvolle kieming en vestiging van bomen en struiken.

Gevolgen van bekalking

De resultaten van de toetsing van het effect van bekalking op de bosstructuur, op het aantal plantensoorten en op de indicatiewaarden van de plantensoorten voor vocht, zuur en stikstof zijn samengevat in tabel 8. De betekenis van de indicatiegetallen wordt toegelicht in bijlage 2.

Uit de tabel volgt dat er geen significant effect van bekalking is op de bosstructuur. Wel is er een duidelijke toename zichtbaar in de bedekking van de struiklaag en de hoogte van de kruidlaag.

Het gemiddeld aantal plantensoorten (soortenaantal) is in de bekalkte opstanden significant hoger dan in de onbekalkte percelen. Hieronder wordt nader toegelicht welke soorten en soortgroepen voor dit positieve effect verantwoordelijk zijn.

De gemiddelde indicatiewaarden voor vocht, zuur en stikstof zijn in de bekalkte percelen significant hoger dan in de onbekalkte. Dit indiceert een vermindering van de droogte-stress, een verhoging van de calciumverzadiging en een groter stikstofaanbod.

De richting van de verschuivingen in de bosstructuur (toename biomassa kruid- en struiklaag) is bij bekalking hetzelfde als bij bemesting, maar de verschuivingen zijn minder duidelijk. De ver-



schuivingen in het gemiddeld soortenaantal en de gemiddelde indicatiewaarden komen overeen met die zoals hierboven beschreven voor bemesting.

Tabel 8. Vergelijking van bekalkte en onbekalkte opnamen wat betreft bosstructuur, indicatiewaarden en soortenaantal

Kenmerk Vegetatie	Behandeling		T-toets	
	Wel bekalkt	Niet bekalkt	1- of 2-zijdig	foutkans (%)
	Gemiddelde waarde			
Bedekking boomlaag (%)	71.5	63.4	1-zijdig	13.4
Bedekking struiklaag (%)	26.9	15.2	1-zijdig	7.2
Bedekking kruidlaag (%)	55.5	50.4	1-zijdig	32.8
Bedekking moslaag (%)	26.1	33.7	1-zijdig	22.0
Hoogte boomlaag (m)	17.2	15.4	1-zijdig	12.2
Hoogte struiklaag (m)	3.6	2.6	1-zijdig	11.7
Hoogte kruidlaag (cm)	49.8	28.7	1-zijdig	5.7
Soortenaantal	20.0	14.8	2-zijdig	1.6
Indicatie voor vocht	5.7	5.2	2-zijdig	0.2
Indicatie voor zuur	3.8	3.0	1-zijdig	0.0
Indicatie voor stikstof	5.1	3.1	1-zijdig	0.0

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Tabel 9 geeft inzicht in de mate waarin de diverse plantensoorten uit de kruid- en moslaag voorkomen in de bekalkte en in de onbekalkte proefvlakken. Hieruit volgt enig inzicht in welke soorten voordeel dan wel nadeel hebben bij bekalking. Soorten die in de ene behandelingsgroep duidelijk meer voorkomen dan in de andere (differentiërende soorten) zijn met een arcering aangegeven. Uit de tabel volgt dat de overeenkomsten in de gevolgen van bekalking en bemesting (tabel 7) groot zijn.

Er zijn 16 soorten die in de bekalkte percelen duidelijk meer voorkomen dan in de onbekalkte. Daarnaast zijn er veel soorten die in de bekalkte percelen een enkele keer zijn aangetroffen en in de onbekalkte percelen volledig ontbreken. 6 soorten komen in de bekalkte percelen duidelijk minder voor dan in de onbekalkte.

Evenals bij de bemesting is ook bij bekalking een duidelijk toename zichtbaar van de verjonging van struiken (Wilde lijsterbes, Sporkehout, Amerikaanse vogelkers, Gewone vlier), van nitrofiële ruderalen (waaronder Kleefkruid, Grote brandnetel en Vogelmuur) en van kapvlaktesoorten (Gewoon vingerhoedskruid). Geen van de soorten die in de bekalkte percelen duidelijk meer voorkomen dan in de onbekalkte kan als een typische bosplant worden opgevat.

Ook hier zien we dat Heide-klauwtjesmos in de behandelde (bekalkte) opstanden duidelijk minder is aangetroffen dan in de onbehandelde (niet bekalkte) percelen. Ook Bronsmos en Groot laddermos komen in de bekalkte opstanden minder voor dan in de onbekalkte. De sterke afname van Groot laddermos is opvallend: bij bemesting nam deze mossoort juist toe. Ook opvallend is dat het gras Pijpenstrootje en verjonging van boomsoorten (Beuk en Ruwe berk) in de bekalkte percelen aanzienlijk minder voorkomen van in de onbekalkte.



Tabel 9. Synoptische tabel kruidlaag en moslaag van bekalkte en onbekalkte opnamen

Behandeling:	Wel bekalkt		Niet bekalkt		
Aantal opnamen:	12		12		
PR: presentie (%)	PR	KB	PR	KB	
KB: karakteristieke bedekking (%)					
<i>Differentiërende soorten kruidlaag</i>					
Dryopteris dilatata	83	15	33	6	Brede stekelvaren
Sorbus aucuparia	75	2	42	2	Wilde lijsterbes
Rubus fruticosus ag.	67	15	42	2	Gewone braam
Ceratocarpus claviculata	58	4	8	18	Rankende helmbloem
Rhamnus frangula	50	2	17	2	Sporkehout
Galium aparine	50	2	-	-	Kleefkruid
Taraxacum species	42	2	-	-	Paardenbloem
Galeopsis tetrahit	42	2	8	2	Gewone hennepnetel
Urtica dioica	33	4	-	-	Grote brandnetel
Stellaria media	33	4	-	-	Vogelmuur
Prunus serotina	33	2	8	1	Amerikaanse vogelkers
Holcus lanatus	33	2	-	-	Gestreepte witbol
Digitalis purpurea	25	2	-	-	Gewoon vingerhoedskruid
Sambucus nigra	25	1	-	-	Gewone vlier
Molinia caerulea	42	2	83	24	Pijpenstrootje
Betula pendula	8	2	33	2	Ruwe berk
Fagus sylvatica	-	-	33	1	Beuk
<i>Differentiërende soorten moslaag</i>					
Brachythecium rutabulum	75	10	42	2	Gewoon dikkopmos
Eurhynchium praelongum	67	5	25	2	Fijn snavelmos
Hypnum jutlandicum	67	4	100	12	Heide-klauwtjesmos
Pseudoscleropodium purum	17	6	75	17	Groot laddermos
Pleurozium schreberi	25	14	58	4	Bronsmos
<i>Overige soorten kruidlaag</i>					
Agrostis capillaris	17	2	-	-	Gewoon struisgras
Alnus glutinosa	-	-	8	2	Zwarte els
Amelanchier lamarckii	33	2	33	2	Amerikaans krentenboompje
Athyrium filix-femina	8	2	8	1	Wijfjesvaren
Betula pubescens	8	2	-	-	Zachte berk
Calluna vulgaris	17	2	25	2	Struikhei
Carex remota	8	2	-	-	IJle zegge
Chamerion angustifolium	25	1	8	1	Wilgenroosje
Circaea lutetiana	8	2	-	-	Groot heksenkruid
Cirsium arvense	8	1	-	-	Akkerdistel
Cirsium vulgare	8	2	-	-	Speerdistel
Deschampsia flexuosa	50	9	42	18	Bochtige smele
Dryopteris carthusiana	67	3	58	2	Smalle stekelvaren
Dryopteris filix-mas	8	1	-	-	Mannetjesvaren
Epilobium montanum	17	2	-	-	Bergbasterdwederik
Equisetum sylvaticum	-	-	8	38	Bospaardenstaart
Eupatorium cannabinum	8	1	-	-	Koninginnenkruid
Galium saxatile	8	2	25	2	Liggend walstro
Geum urbanum	8	1	-	-	Geel nagelkruid
Glechoma hederacea	8	2	-	-	Hondsdrif
Hedera helix	8	2	8	2	Klimop
Hieracium umbellatum	8	1	-	-	Schermhavikskruid
Holcus mollis	8	2	-	-	Zachte witbol
Humulus lupulus	8	1	-	-	Hop
Ilex aquifolium	25	1	8	1	Hulst



Juncus effusus	-	-	8	2	Pitrus
Larix kaempferi	8	1	-	-	Japanse larix
Lonicera periclymenum	8	3	25	7	Wilde kamperfoelie
Picea abies	-	-	8	2	Fijnspar
Pinus nigra v. maritima	-	-	8	2	Corsikaanse den
Pinus sylvestris	17	2	25	2	Grove den
Poa trivialis	8	1	-	-	Ruw beemdgras
Pseudotsuga menziesii	8	2	25	1	Douglasspar
Pteridium aquilinum	8	88	-	-	Adelaarsvaren
Quercus robur	25	2	33	2	Zomereik
Quercus rubra	-	-	8	1	Amerikaanse eik
Ribes rubrum	8	2	-	-	Aalbes
Robinia pseudoacacia	-	-	8	1	Robinia
Rubus idaeus	17	2	17	6	Framboos
Sambucus nigra 'Laciniata'	17	2	-	-	Peterselievlier
Secale cereale	8	1	-	-	Rogge
Senecio sylvaticus	17	4	-	-	Boskruiskruid
Sonchus arvensis	8	2	-	-	Akkermelkdistel
Taxus baccata	8	2	-	-	Taxus
Vaccinium myrtillus	17	35	33	28	Blauwe bosbes
Vaccinium vitis-idaea	8	8	25	16	Rode bosbes
<i>Overige soorten moslaag</i>					
Campylopus pyriformis	-	-	8	2	Breekblaadje
Dicranella heteromalla	8	2	17	2	Pluisjesmos
Dicranum scoparium	58	2	42	2	Gewoon gaffeltandmos
Eurhynchium striatum	8	2	8	3	Geplooid snavelmos
Leucobryum glaucum	-	-	17	2	Kussentjesmos
Lophocolea heterophylla	17	2	17	2	Gedrongen kantmos
Mnium hornum	17	2	25	8	Gewoon sterremos
Pohlia nutans	8	1	-	-	Gewoon peermos
Polytrichum formosum	58	2	67	7	Fraai haarmos
Rhytidiadelphus squarrosus	8	2	-	-	Gewoon haakmos

Gearceerd: soorten die in deze behandelingsgroep duidelijk meer voorkomen dan in de andere.
(Soorten uit de boomlaag, soorten uit de struiklaag en zaailingen jonger dan 1 jaar zijn niet opgenomen)

Evenals bij bemesting geldt voor bekalking dat veel van de resultaten in de lijn der verwachting liggen: (lichte) verhoging van de biomassa van de kruidlaag, hogere gemiddelde indicatiewaarden voor zuur en stikstof en toename van plantensoorten die indicatief zijn voor een verhoogd aanbod van voedingsstoffen. De twee laatstgenoemde resultaten duiden op een versnelde mineralisatie van het strooisel, wat leidt tot een tijdelijke verhoging van het stikstofaanbod.

Meer opvallende resultaten zijn dat:

- de indicatiewaarde voor vocht in de bekalkte percelen hoger is dan in de onbekalkte percelen (analoog aan verschil bij bemesting).
- in de bekalkte percelen beduidend meer verjonging van struiken aanwezig is dan in onbekalkte percelen.



3.3 Humusprofiel

Relevante humuslagen

Dit onderzoek heeft betrekking op de situatie enkele jaren na uitvoering van de maatregelen bemesting en bekalking. Op deze voor humusontwikkeling korte termijn kunnen deze maatregelen alleen invloed hebben op de bovenste, jongste humuslagen. Het gaat hierbij om de Deze L-laag, de F-laag (met onderverdeling) en de Hr-laag. Deze lagen geven in het algemeen inzicht in de meest recente ontwikkelingen op de groeiplaats. De L-laag is het product van één of enkele seizoenen terwijl de F-laag binnen enkele jaren gevormd c.q. omgevormd kan worden. De (bovenkant van de) Hr-laag kan eveneens binnen enkele jaren beïnvloed worden. De onderliggende Hh-laag is gezien zijn lage vormings- en afbraaksnelheid niet relevant voor dit onderzoek en is daarom buiten beschouwing gelaten.

Gevolgen van bemesting

De resultaten van de toetsing van het effect van bemesting op de dikte van de afzonderlijke humuslagen en van combinaties van humuslagen zijn samengevat in tabel 10. In bijlage 3 wordt een nadere toelichting gegeven op de diverse humushorizonten die zijn onderscheiden.

Tabel 10. Vergelijking van bemeste en onbemeste opnamen wat betreft dikte van (combinaties van) humushorizonten

Humushorizont	Behandeling		T-toets	
	Wel bemest	Niet bemest	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddelde dikte (mm)			
L	5.6	7.5	10	5
Fz	0.0	0.0		
Fa1	29.0	30.2	70	35
Fa2	5.6	6.5	66	33
Fm	0.0	0.4	34	17
Hr	17.3	13.2	8	4
Totaal	57.5	57.7	95	47
Ftotaal	34.6	37.1	43	22
Fa2 + Hr	22.9	19.7	33	17
(L + Fa1)/Hr	2.0	2.9	10	5
(L + Fa1)/(Fa2 + Hr)	1.5	1.9	61	30

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: dikte in bemeste plots groter dan in onbemeste plots

Uit de tabel volgt dat er, uitgaand van 1-zijdige toetsing, na bemesting sprake is van een (net) significante afname van de dikte van de L-horizont (vers strooisel). Omgekeerd, is bij de dikte van de Hr-horizont sprake van een significante toename. De verhouding tussen de dikte van de weinig omgezette lagen (L + Fa1) en de grotendeels omgezette Hr-laag is (net) significant afgenomen.

Deze veranderingen wijzen erop dat de afbraak van het verse strooisel na bemesting sneller verloopt. Deze versnelde afbraak vertaalt zich niet in veranderingen in dikte van de onderlig-



gende F-laag en de diverse sublagen hiervan. De hier weer onder liggende Hr-laag is echter wel in dikte toegenomen. Blijkbaar is door bemesting netto accumulatie van humus bovenin de Hr-laag opgetreden.

Tabel 11 geeft een overzicht van de humusvormen die in de 11 bemeste en onbemeste proefvlak-paren zijn aangetroffen (indeling conform Van Delft 2004⁹). Een omschrijving van deze humusvormen is opgenomen in bijlage 3. In deze bijlage is ook aangegeven welke humusvormen zich met het ouder worden van de bosbodem doorgaans na elkaar ontwikkelen in loofbossen en in naaldbossen op arme zandgronden.

De meest aangetroffen humusvorm is de Humusxeromormoder (RDXu). Deze komt in de bemeste en onbemeste percelen ongeveer even vaak voor. Van de relatief rijke humusvormen komen de Zandxeromullmoder (LDXz) en de Bosxeromormoder (RDXb) in de bemeste percelen wat meer voor dan in de onbemeste. Omgekeerd komen de humusvormen Vaagxeromormoder (RDXv) en Ruwxeromormoder (RDXr) in de onbemeste percelen wat meer voor dan in de bemeste. Deze humusvormen zijn kenmerkend voor betrekkelijk jonge bosbodems. Dit in tegenstelling tot de Bosxeromormoder, die kenmerkend is voor vrij oude bosbodems. Er komen in de bemeste percelen ten opzichte van de onbemeste dus iets vaker humusvormen voor die kenmerkend zijn voor oudere bosbodems.

De verschillen tussen de aangetroffen humusvormen hangen vooral samen met verschillen in ouderdom van de bosbodem (dikte Hh-horizont) en met de aanwezigheid van naaldbos dan wel loofbos (Bijlsma et al 2005¹⁰; Hommel et al 2002¹¹). Ze hangen niet samen met verschillen in de aard van de humusvertering. Dit laatste komt vooral tot uitdrukking in de F-horizont. Alle gevonden humusvormen worden gekarakteriseerd door aanwezigheid van een Fa- of Fm-horizont, en niet door een Fz-horizont die duidt op betere omzetting en een hogere activiteit van mesofauna. Bemesting heeft dus niet geresulteerd in rijkere humusvormtypen met een betere omzetting van organisch materiaal.

Tabel 11. Vergelijking van bemeste en onbemeste opnamen wat betreft aangetroffen humusvormen

Humusvorm	Behandeling	
	Wel bemest	Niet bemest
	Aantal profielen	
Zandxeromullmoder (LDXz)	6	0
Holtxeromormoder (RDXt)	4	4
Bosxeromormoder (RDXb)	6	2
Humusxeromormoder (RDXu)	31	29
Vaagxeromormoder (RDXv)	5	12
Ruwxeromormoder (RDXr)	3	8
Totaal	55	55

Gearceerd: humusvorm die in deze behandelingsgroep meer voorkomt dan in de andere.

⁹ Delft, B. Van 2004. Veldgids humusvormen, Alterra, Wageningen.

¹⁰ Bijlsma, R.J., A.P.P.M. Clercx & R.W. de Waal 2005. Diversiteit uit zand. De ontwikkeling van bosstructuur, vegetatie en humusvorm in bosreservaten op stuifzand. Alterra-rapport 1223, Wageningen.

¹¹ Hommel, P.W.F.M., T. Spek & R.W. de Waal 2002. Boomsort, strooiselkwaliteit en ondergroei in loofbossen op verzuringsgevoelige bodem. Alterra-rapport 509, Wageningen.



De bovenstaande resultaten laten zien dat er verschillen zijn tussen de humusprofielen van bemeste en onbemeste opnamen, maar dat deze verschillen overwegend subtiel zijn. Bemesting heeft niet geleid tot een geheel anders opgebouwd humusprofiel. Verschillen zijn vooral te zien in de dikte van L-laag en Hr-laag. Deze verschillen zijn te klein voor verschuivingen in de aanwezige humusvormen.

Er is tussen de bemeste en onbemeste percelen geen duidelijk verschil gevonden in de vorm van de grenzen tussen de humuslagen. Deze grenzen waren overwegend scherp, wat duidt op afwezigheid van homogeniserende macrofauna die materiaal tussen verschillende lagen transporteert.

Wat betreft de uitlogingsverschijnselen in de minerale bovengrond (micropodzolidatie) is er geen trend waargenomen. Bemesting heeft (na enkele jaren) geen merkbare invloed op micropodzolvorming in de minerale bovengrond.

Gevolgen van bekalking

De resultaten van de toetsing van het effect van bekalking op de dikte van de afzonderlijke humuslagen en van combinaties van humuslagen zijn samengevat in tabel 12 (zie bijlage 3 voor toelichting op de diverse humushorizonten die zijn onderscheiden).

Tabel 12. Vergelijking van bekalkte en onbekalkte opnamen wat betreft dikte van (combinaties van) humushorizonten

Humushorizont	Behandeling		T-toets	
	Wel bekalkt	Niet bekalkt	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddelde dikte (mm)			
L	8.9	7.6	35	18
Fz	0.7	0.0	34	17
Fa1	23.0	29.8	8	4
Fa2	4.7	3.6	70	35
Fm	0.0	0.0		
Hr	23.5	16.0	15	8
Totaal	60.8	56.9	48	24
Ftotaal	28.4	33.4	32	16
Fa2 + Hr	28.2	19.6	6	3
(L + Fa1)/Hr	1.4	2.3	10	5
(L + Fa1)/(Fa2 + Hr)	1.2	1.9	12	6

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: dikte in bekalkte plots groter dan in onbekalkte plots

Uit de tabel volgt dat er, uitgaand van 1-zijdige toetsing, na bekalking sprake is van een significante afname van de dikte van de Fa1-horizont (beperkt omgezet strooisel) en van een significante toename van de dikte van de combinatie van de grotendeels omgezette lagen Hr en Fa2. De dikte van de Hr-laag vertoont na bekalking een niet significante toenametrend. De dikte van de L-laag (vers strooisel) is in de bekalkte percelen niet duidelijk anders dan in de onbekalkte.



De verhouding tussen de dikte van de weinig omgezette lagen (L + Fa1) en van de beter omgezette humuslaag (Hr) is na bekalking significant afgenomen.

Blijkbaar heeft bekalking vooral geleid tot een versnelde afbraak in de Fa-laag, waarbij deels afgebroken strooisel met voornamelijk nog herkenbare plantenresten (Fa1) voor een deel is omgezet in amorfe fijne humus (Fa2 en Hr).

Tabel 13 geeft een overzicht van de humusvormen die in de 13 bekalkte en onbekalkte proefvlak-paren zijn aangetroffen (zie bijlage 3 voor een omschrijving van deze humusvormen).

Zowel in de bekalkte als de onbekalkte situatie behoort ongeveer eenderde van de profielen tot de humusvorm Humusxeromormoder (RDXu). De relatief rijke humusvorm Zandxeromullmoder (LDXz) komt in de bekalkte percelen beduidend meer voor dan in de onbekalkte. Ook de Holtxeromormoder (RDXt) is in de bekalkte percelen vaker aangetroffen dan in de onbekalkte, terwijl de humusvorm Vaagxeromormoder (RDXv) juist in de onbekalkte percelen meer voorkomt.

Evenals bij bemesting hangen ook hier de verschillen tussen de aangetroffen humusvormen vooral samen met verschillen in ouderdom van de bosbodem (dikte Hh-horizont) en met de aanwezigheid van naaldbos van wel loofbos, en niet met verschillen in de aard van de humusvertering. Uitzondering hierop is de aanwezigheid van een Zandxeromoder (DXz) in één van de onderzochte profielen van een bekalkte opstand. Dit is een rijkere humusvorm dan de overigen, die gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van een Fz-horizont (gevormd als gevolg van hoge activiteit van de mesofauna).

Tabel 13. Vergelijking van bekalkte en onbekalkte opnamen wat betreft aangetroffen humusvormen

Humusvorm	Behandeling	
	Wel bekalkt	Niet bekalkt
	Aantal profielen	
Zandxeromoder (DXz)	1	0
Zandxeromullmoder (LDXz)	10	6
Holtxeromormoder (RDXt)	22	14
Bosxeromormoder (RDXb)	6	5
Humusxeromormoder (RDXu)	21	24
Vaagxeromormoder (RDXv)	2	12
Ruwxeromormoder (RDXr)	2	3
Totaal	64	64

Gearceerd: humusvorm die in deze behandelingsgroep meer voorkomt dan in de andere.

De bovenstaande resultaten laten zien dat er verschillen zijn tussen de humusprofielen van bekalkte en onbekalkte opnamen, maar dat deze verschillen net als bij 'bemesting' overwegend subtiel zijn. Ook bekalking heeft niet geleid tot een geheel anders opgebouwd humusprofiel. Verschillen zijn vooral te zien in de dikte van Fa1-laag en de Hr-laag. Deze verschillen zijn te klein voor verschuivingen in de aanwezige humusvormen.

De geringere dikte van de Fa1-laag en de grotere dikte van de grotendeels omgezette Hr-laag bij de bekalkte percelen wijst erop dat de afbraak van het strooisel na bekalking overwegend sneller verloopt dan wanneer er niet bekalkt wordt. Opvallend is dat het bovenste laagje met vers strooisel (L-horizont) in de bekalkte percelen even dik is als in de onbekalkte.



Er is tussen de bekalkte en onbekalkte percelen net als bij de behandeling 'bemesting' geen duidelijk verschil gevonden in de vorm van de grenzen tussen de humuslagen. Ook hier waren deze grenzen overwegend scherp (de eenmaal gevonden Zandxeromoder uitgezonderd), wat duidt op afwezigheid van homogeniserende macrofauna die materiaal tussen verschillende lagen transporteert.

Wat betreft de uitlogingsverschijnselen in de minerale bovengrond (micropodzolidatie) is er, evenals bij bemesting, geen duidelijke trend waargenomen. Ook de uitgevoerde bekalking heeft (na enkele jaren) geen merkbare invloed op micropodzolvorming in de minerale bovengrond.

3.4 Bodemfauna

Gevolgen van bemesting

De resultaten van de toetsing van het effect van bemesting op het totaal aantal individuen microarthropoden en op het aantallen per groep op basis van levens cyclus strategie (Life History, LH) en voedselstrategie zijn samengevat in tabel 14. In tabel 15 zijn de resultaten samengevat van de toetsing van het bemestingseffect op de aantalsverhoudingen (aandelen) van de op basis van levens cyclus strategie en voedselstrategie onderscheiden groepen microarthropoden. In bijlage 4 wordt een nadere toelichting gegeven op de diverse bodemfaunagroepen die zijn onderscheiden.

Uit de tabellen volgt dat bemesting, uitgaand van 2-zijdige toetsing, enkele jaren na uitvoering van de maatregel niet geeft geleid tot significante veranderingen in aantallen en aantalsverhoudingen. Zowel het totale aantal aanwezige microarthropoden als de aantallen en aandelen per op basis van levens cyclus strategie of voedselstrategie onderscheiden groep zijn niet significant veranderd.

Aan de hand van vergelijking van soortenlijsten per groep is geconstateerd dat ook de soorten-samenstelling binnen de groepen (met name vastgesteld voor algemeen voorkomende soorten) in de bemeste en onbemeste percelen nauwelijks van elkaar verschilt.



Tabel 14 Vergelijking van bemeste en onbemeste opnamen wat betreft aantal individuen microarthropoden

Groep microarthropoden	Behandeling		T-toets	
	Wel bemest	Niet bemest	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddeld aantal individuen per m ² bosbodem			
Totaal	90942	97886	82	41
Levens cyclus strategie				
Parasieten	0	0	-	-
Facultatief foretisch	443	1896	42	21
<i>Obligaat foretisch als juveniel</i>	<i>4051</i>	<i>0</i>	<i>28</i>	<i>14</i>
Obligate diapauze	8212	14977	57	28
Facultatieve diapauze en een legsel	0	548	39	20
Asexueel en meerjarig	6938	10671	47	23
<i>Asexueel en eenjarig</i>	<i>33829</i>	<i>28545</i>	<i>61</i>	<i>31</i>
Sexueel met continue reproductie	32003	39963	51	26
Sexueel met seizoensgebonden reproductie	0	548	39	20
<i>Niet bekend</i>	<i>5467</i>	<i>739</i>	<i>33</i>	<i>16</i>
Voedselstrategie				
<i>Arthropoden predator</i>	<i>4167</i>	<i>3056</i>	<i>51</i>	<i>25</i>
<i>Bacteriovoor</i>	<i>2838</i>	<i>0</i>	<i>39</i>	<i>20</i>
Fungivore browser	5915	9708	25	12
<i>Fungivore grazer</i>	<i>29326</i>	<i>26217</i>	<i>72</i>	<i>36</i>
<i>Algemene predator</i>	<i>4432</i>	<i>3326</i>	<i>61</i>	<i>30</i>
Herbivore browser	7081	15102	43	21
<i>Herbivore grazer</i>	<i>13020</i>	<i>11308</i>	<i>78</i>	<i>39</i>
Herbofungivore grazer	3718	10815	29	14
Omnivoor	7255	13280	58	29
<i>Opportunistische herbofungivoor</i>	<i>7723</i>	<i>4335</i>	<i>51</i>	<i>25</i>
Parasiet	0	0	-	-
<i>Niet bekend</i>	<i>5467</i>	<i>739</i>	<i>33</i>	<i>16</i>

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: aantal in bemeste plots hoger dan in onbemeste plots



Tabel 15. Vergelijking van bemeste en onbemeste opnamen wat betreft procentuele aantalsverhoudingen tussen groepen microarthropoden

Groep microarthropoden	Behandeling		T-toets	
	Wel bemest	Niet bemest	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddeld aandeel van het totale aantal individuen (%)			
Levens cyclus strategie				
Parasieten	0	0	-	-
Facultatief foretisch	1	1	66	33
<i>Obligaat foretisch als juveniel</i>	4	0	24	12
Obligatieve diapauze	8	16	35	17
Facultatieve diapauze en een legsel	0	0	39	20
Asexueel en meerjarig	8	12	44	22
<i>Asexueel en eenjarig</i>	39	30	34	17
Sexueel met continue reproductie	35	39	50	25
Sexueel met seizoensgebonden reproductie	0	0	39	20
<i>Niet bekend</i>	5	1	31	16
Totaal	100	100	-	-
Voedselstrategie				
<i>Arthropoden predator</i>	5	4	44	22
<i>Bacteriovoor</i>	3	0	39	20
Fungivore browser	7	11	42	21
<i>Fungivore grazer</i>	35	26	43	22
<i>Algemene predator</i>	5	3	22	11
Herbivore browser	8	12	39	20
<i>Herbivore grazer</i>	14	13	91	46
Herbofungivore grazer	5	10	30	15
Omnivoor	8	13	45	23
<i>Opportunistische herbofungivoor</i>	7	6	81	41
Parasiet	0	0	-	-
<i>Niet bekend</i>	5	1	31	16
Totaal	100	100	-	-

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: aandeel in bemeste plots hoger dan in onbemeste plots



Gevolgen van bekalking

De resultaten van de toetsing van het effect van bekalking op het totaal aantal individuen microarthropoden en op de aantallen per groep op basis van levens cyclus strategie (Life History, LH) en voedselstrategie zijn samengevat in tabel 16. In tabel 17 zijn de resultaten samengevat van de toetsing van het bekalkingseffect op de procentuele aantalsverhoudingen van de op basis van levens cyclus strategie en voedselstrategie onderscheiden groepen microarthropoden.

Tabel 16. Vergelijking van bekalkte en onbekalkte opnamen wat betreft aantal individuen microarthropoden

Groep microarthropoden	Behandeling		T-toets	
	Wel bekalkt	Niet bekalkt	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddeld aantal individuen per m ² bosbodem			
Totaal	59420	88708	4	2
Levens cyclus strategie				
<i>Parasieten</i>	474	0	20	10
Facultatief foretisch	629	1333	42	21
Obligaat foretisch als juveniel	309	2663	18	9
<i>Obligate diapauze</i>	8105	4716	27	13
Asexueel en meerjarig	4557	13561	5	3
Asexueel en eenjarig	20912	37128	1	<1
Sexueel met continue reproductie	22782	28624	42	21
<i>Sexueel met seizoensgebonden reproductie</i>	1002	682	60	30
<i>Niet bekend</i>	651	0	18	9
Voedselstrategie				
Arthropoden predator	2284	2427	91	46
Bacteriovoor	89	1675	32	16
<i>Fungivore browser</i>	8246	7748	91	45
Fungivore grazer	18970	32141	10	5
<i>Algemene predator</i>	3602	3146	68	34
<i>Herbivore browser</i>	6340	2640	16	8
Herbivore grazer	8170	13633	13	7
Herbofungivore grazer	1688	10813	3	1
<i>Omnivoor</i>	7623	5005	22	11
Opportunistische herbofungivoor	1282	9481	21	10
<i>Parasiet</i>	474	0	20	10
<i>Niet bekend</i>	651	0	18	9

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: aantal in bekalkte plots hoger dan in onbekalkte plots



Tabel 17. Vergelijking van bekalkte en onbekalkte opnamen wat betreft procentuele aantalsverhoudingen tussen groepen microarthropoden

Groep microarthropoden	Behandeling		T-toets	
	Wel bekalkt	Niet bekalkt	foutkans 2-zijdig (%)	foutkans 1-zijdig (%)
	Gemiddeld aandeel van het totale aantal individuen (%)			
Levens cyclus strategie				
<i>Parasieten</i>	1	0	22	11
Facultatief foretisch	1	1	72	36
Obligaat foretisch als juveniel	1	3	30	15
<i>Obligate diapauze</i>	16	6	1	<1
Asexueel en meerjarig	6	16	12	6
Asexueel en eenjarig	33	41	5	2
<i>Sexueel met continue reproductie</i>	38	31	13	6
<i>Sexueel met seizoensgebonden reproductie</i>	2	1	31	15
<i>Niet bekend</i>	2	0	28	14
Totaal	100	100	-	-
Voedselstrategie				
<i>Arthropoden predator</i>	4	3	45	22
Bacteriovoor	0	2	42	21
<i>Fungivore browser</i>	13	9	53	26
Fungivore grazer	29	36	42	21
<i>Algemene predator</i>	6	3	7	3
<i>Herbivore browser</i>	11	3	6	3
Herbivore grazer	13	15	39	20
Herbofungivore grazer	3	13	8	4
<i>Omnivoor</i>	14	6	1	1
Opportunistische herbofungivoor	4	10	23	11
<i>Parasiet</i>	1	0	22	11
<i>Niet bekend</i>	2	0	28	14
Totaal	100	100	-	-

Donkere arcering: significant (foutkans 0-5%)

Lichte arcering: niet significant, wel duidelijke trend (foutkans 5-10%)

Cursief: aandeel in bekalkte plots hoger dan in onbekalkte plots



Uit de tabellen volgt dat bekalking, uitgaand van 2-zijdige toetsing, enkele jaren na uitvoering van de maatregel heeft geleid tot een aantal significante veranderingen in aantallen en aantalsverhoudingen.

Het totale aantal aanwezige microarthropoden is in de bekalkte proefvlakken significant lager dan in de onbekalkte. Dit totale aantal per vierkante meter bosbodem is in de bekalkte percelen 33% lager dan in de onbekalkte percelen.

Kijken we naar groepen op basis van levens cyclus strategie dan zien we dat:

- het *aantal* aanwezige individuen van de groepen 'asexueel en eenjarig' en 'asexueel en meerjarig' in de bekalkte proefvlakken significant lager is dan in de onbekalkte,
- van de groep 'asexueel en eenjarig' ook het *aandeel* van het totaal aantal individuen in de bekalkte proefvlakken significant lager is dan in de onbekalkte.
- van de groep 'obligate diapauze' het *aandeel* van het totaal aantal individuen in de bekalkte proefvlakken significant hoger is dan in de onbekalkte.

De aantalsafname gaat samen met een sterke aantalsreductie van de mijten die behoren tot de de asexuele soorten. Het aandeel van de groep 'obligate diapauze' neemt significant toe.

Kijken we naar groepen op basis van voedselstrategie dan zien we dat:

- het *aantal* aanwezige individuen van de groep 'herbofungivore grazer' in de bekalkte proefvlakken significant lager is dan in de onbekalkte,
- het *aantal* aanwezige individuen van de groep 'fungivore grazer' een duidelijke maar niet significante afnametrend vertoont als gevolg van de bekalking,
- van de groep 'herbofungivore grazer' het *aandeel* van het totaal aantal individuen een duidelijke maar niet significante afnametrend vertoont als gevolg van de bekalking,
- van de groep 'omnivoor' het *aandeel* van het totaal aantal individuen in de bekalkte proefvlakken significant hoger is dan in de onbekalkte,
- van de groepen 'algemene predator' en 'herbivore browser' het *aandeel* van het totaal aantal individuen een duidelijke maar niet significante toenametrend vertoont als gevolg van de bekalking.

Als gevolg van bekalking nemen grazers (vooral herbofungivore grazers) sterk in aantal af, met name *Quadropia* en *Platynothrus peltifer*. Het aandeel (herbivore) browsers laat een duidelijke toenametrend zien en het aandeel omnivoren neemt significant toe.

Aan de hand van vergelijking van soortenlijsten per groep is geconstateerd dat de soortensamenstelling binnen de groepen (met name vastgesteld voor algemeen voorkomende soorten) in de bekalkte en onbekalkte percelen nauwelijks van elkaar verschilt.

De gevonden verschuivingen in aantallen en aantalsverhoudingen duiden erop dat er na bekalking veranderingen zijn opgetreden in het bodemecosysteem. De geringe veranderingen in de soortensamenstelling geven aan dat de bosbodem echter vrij stabiel is gebleven (zie verder § 4.4 en § 4.5).



4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken wij de effecten van in het kader van EGM uitgevoerde maatregelen bekalking en mineralengiften ('bemesting') op de vegetatie, het humusprofiel en de bodemfauna aan de hand van de in hoofdstuk 3 beschreven resultaten van het veldonderzoek. Eerst worden de deelconclusies over de effecten op deze drie onderdelen beschreven, vervolgens worden deze geïntegreerd tot uitspraken over effecten van de maatregelen bekalking en mineralengiften ('bemesting') op het bosecosysteem.

Dit rapport vormt slechts één onderdeel van de evaluatie van de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten. De eindconclusies van het totale evaluatieproject worden opgenomen in het eindrapport (najaar 2005).

4.2 Effecten op de vegetatie

Bemesting en bekalking leiden beide tot een significante (sterke) toename van het aantal plantensoorten en tot hogere indicatiewaarden voor vocht, zuur en stikstof. Dit laatste indiceert respectievelijk een vermindering van droogte-stress, een verhoging van de basenverzadiging en een groter stikstofaanbod (hogere productiviteit).

De toename van het aantal plantensoorten wordt bij beide maatregelen voornamelijk veroorzaakt door het hogere aantal plantensoorten dat indicatief is voor een verhoogd aanbod van voedingsstoffen. Het gaat daarbij om een groot aantal soorten die meestal na de ingreep in een lage bedekking voorkomen. Ook is een duidelijk toename zichtbaar van de verjonging van struiken en – alleen bij bemesting - ook van loofbomen. Op één uitzondering na is geen van de soorten die meer voorkomen in de behandelde percelen een typische bosplant.

Slechts enkele plantensoorten komen in de behandelde opstanden duidelijk minder voor dan in de onbehandelde percelen. Bij beide behandelingen geldt dit voor Heide-klauwtjesmos, bij bekalking ook voor Bronsmos, Groot laddermos, Pijpenstrootje en verjonging van de boomsoorten Beuk en Ruwe berk.

Zowel bemesting als bekalking laten een trend zien van toename van de biomassa in de kruiden struiklaag. Deze verschuiving in bosstructuur is het meest uitgesproken bij bemesting. Hier is de toename van de bedekking van de kruidlaag significant.

De effecten van bemesting en bekalking op de vegetatie zijn heel duidelijk en in veel opzichten overeenkomstig. Er lijkt duidelijk sprake te zijn van een verhoogde bio-massa productie van de kruidlaag en in mindere mate ook van de struiklaag. De gevolgen voor de moslaag zijn niet eenduidig. Dit kan samenhangen met verhoogde concurrentie om licht. Bij beide ingrepen blijkt de bedekking van Heide-klauwtjesmos drastisch terug te lopen.

Beide ingrepen hebben een zeer groot en positief effect op het gemiddeld aantal soorten. Het is echter niet zo dat dit direct vertaald kan worden in een toename van de 'natuurwaarde'. Afgezien van een toename van het aantal verschillende soorten zaailingen van bomen en struiken, betreft het hier voornamelijk algemene soorten die baat hebben bij een verhoogd aanbod van voedingsstoffen en niet specifiek aan een bosmilieu gebonden zijn. De enige uitzondering is de Smalle stekelvaren, die duidelijk positief op bemesting lijkt te reageren (niet op bekalking). In



het algemeen geldt dat bij bekalking het karakter van de bevoordeelde soortengroep nitrofieler is.

4.3 Effecten op het humusprofiel

Bekalking en bemesting hebben beide effect op de dikte van de verschillende humuslagen. Zowel bij bemesting als bekalking zijn de dunnere, weinig afgebroken jonge humuslagen (L of Fa1-laag) na enkele jaren na behandeling dunner en is de direct hieronder gelegen laag met grotendeels omgezet materiaal (Hr-laag) enkele jaren na behandeling dikker dan in vergelijkbare onbehandelde opstanden. Bij bemesting is de bovenste laag met nauwelijks omgezet strooisel (L) dunner. Bij bekalking is dit de daaronder liggende half omgezette laag (Fa1). De Hr-laag is na beide behandelingen dikker dan in de referentieproefvlakken.

Beide maatregelen leiden dus tot een snellere omzetting van strooisel en tot accumulatie van humus bovenin de Hr-laag.

Door de maatregelen bekalking en bemesting zijn de dikten van verschillende humuslagen veranderd, maar de aard van de humuslagen is niet veranderd. Er is na uitvoering van de maatregel (op één uitzondering na) geen sprake van de ontwikkeling naar een rijkere humusvorm, met een kenmerkende Fz-horizont en minder scherpe grenzen tussen humuslagen. Met andere woorden: er is geen ontwikkeling waar te nemen waarbij mormoder-humusvormen veranderen in moder-humusvormen met een hoger aandeel van door bodemfauna omgezette humus en met meer homogenisering door macrofauna die materiaal tussen verschillende lagen transporteert. Er zijn ook geen aanwijzingen gevonden voor een merkbare invloed van de uitgevoerde bemesting en bekalking op micropodzolidatie in de minerale bovengrond.

De veranderingen die door bemesting en bekalking in de humusprofielen zijn opgetreden zijn dus overwegend subtiel. Ze zijn te klein voor verschuivingen in de aanwezige humusvormen.

4.4 Effecten op de bodemfauna

De maatregelen bemesting en bekalking verschillen sterk van elkaar in het effect dat ze hebben op de bodemfauna.

Bemesting laat enkele jaren na uitvoering geen aantoonbare veranderingen zien ten opzichte van de onbemeste situatie. Zowel in het totale aantal aanwezige microarthropoden als de aantallen en aandelen per op basis van levens cyclus strategie of voedselstrategie onderscheiden groep zijn geen duidelijke veranderingen vastgesteld. Hetzelfde geldt voor de soortensamenstelling binnen de onderscheiden groepen.

Bekalking heeft enkele jaren na uitvoering van de maatregel wèl geleid tot aantoonbare veranderingen in de bodemfauna. Het totale aantal aanwezige microarthropoden is in de bekalkte proefvlakken significant lager dan in de onbekalkte. Ook in de aantallen en aandelen per op basis van levens cyclus strategie of voedselstrategie onderscheiden groep zijn duidelijke veranderingen vastgesteld. De aanwezige soorten zijn binnen de onderscheiden groepen echter nauwelijks veranderd.

Effect van bekalking op levens cyclus strategieën.

De groepen 'asexueel en eenjarig' en 'asexueel en meerjarig' nemen door bekalking sterk af. Dit betekent een sterke aantalsreductie van mijten die behoren tot de asexuele soorten. De achteruitgang van deze groepen duidt erop dat het ecosysteem in de bosbodem aan sterke veran-



dering onderhevig is. Soorten met een asexuele voortplanting vertrouwen op vergelijkbare omstandigheden in de volgende generaties, want alleen dan is genetische variatie (die bij seksuele soorten wel aanwezig is) niet nodig. Bij veranderende omstandigheden kunnen de asexuele soorten zich slecht handhaven doordat ze zich niet goed kunnen aanpassen. Ze nemen dan in aantal af.

Het aandeel van de groep 'obligate diapauze' neemt na bekalking significant toe. Het betreft hier vooral *Eupodes* soorten die een overwegend omnivore voedselkeuze hebben. Of dit de enige reden is van hun succes onder veranderende omstandigheden is niet te zeggen, maar doordat ze niet kieskeurig zijn in wat ze eten, is het aannemelijk dat ze relatief ongevoelig zijn voor veranderende omstandigheden.

Effect van bekalking op voedselstrategieën.

De grazers (vooral de groep 'herbofungvoren grazer') nemen door bekalking sterk in aantal af, terwijl de groep 'herbivoren browsers' een duidelijke toenametrend laat zien. Bij de grazers zijn het met name *Quadroppia* en *Platynothrus peltifer* die afnemen. Dit duidt erop dat de bosbodem meer onder invloed van kruiden en grassen komt, terwijl het effect van de humuslaag, met meestal een goede 'standing crop' aan schimmels, relatief afneemt.

Het aandeel omnivoren neemt significant toe. Dit betreft dezelfde groep van *Eupodes* soorten als hierboven is besproken bij de levens cyclus strategieën. Op de mogelijke verklaring hiervan is al ingegaan.

4.5 Integratie: effecten op het bosesysteem

Veranderingen

De waargenomen verandering in de samenstelling van de vegetatie en in de dikte van de humuslagen duiden erop dat zowel bekalking als bemesting na enkele jaren heeft geleid tot een verhoogde stikstofbeschikbaarheid die samenhangt met versnelde mineralisatie van het strooisel.

De veranderingen in aantallen en aantalsverhoudingen van de bodemfauna duiden erop dat bekalking enkele jaren na uitvoering heeft geleid tot aanzienlijke veranderingen in het ecosysteem in de bosbodem, terwijl daar bij bemesting geen sprake van is. Dit gaat samen met een afname van de dikte van de Fa1-laag na bekalking, die niet is opgetreden na bemesting.

Stabiele bosbodem

Er is na bemesting of bekalking geen sprake van veranderingen in de aard van de humuslagen (geen rijkere humusvormen). Ook de soortensamenstelling van de bodemfauna is nauwelijks veranderd. Dit duidt erop dat de bosbodem na uitvoering van beide maatregelen vrij stabiel is gebleven.

Het is hierdoor heel goed mogelijk dat de veranderingen in de bodemfauna die na bekalking zijn opgetreden slechts tijdelijk zijn. Doordat de bodemfaunasoorten die voor de bekalking aanwezig waren ook enkele jaren erna nog aanwezig zijn en de aard van de humuslagen waarin ze zich bevinden niet is veranderd, hebben de populaties van deze soorten de mogelijkheid zich te herstellen, zodat er op termijn weer een evenwichtssituatie zou kunnen ontstaan die vergelijkbaar is met de situatie voor de bekalking.

De stabiliteit van de bosbodem leidt ertoe dat ook de meeste effecten van bemesting of bekalking op de vegetatie waarschijnlijk slechts tijdelijk zijn. De verhoogde biomassa-productie van de



ondergroei en toename van het aantal nitrofiële plantensoorten hangen immers samen met de verhoging van de stikstofbeschikbaarheid door de versnelde mineralisatie van het strooisel. De gevolgen van bemesting en bekalking voor de toekomstige soortensamenstelling van de boom- en struiklaag zijn waarschijnlijk niet tijdelijk. Gezien de duidelijke positieve gevolgen voor de variatie aan natuurlijke verjonging, is het denkbaar dat eenmalige bekalking en vooral bemesting de ontwikkeling naar meer gemengde bossen kan versnellen.

Tijdelijke neveneffecten

Bemesting en bekalking zoals die in de afgelopen periode in het kader van EGM zijn uitgevoerd hebben enkele jaren na uitvoering beide duidelijke neveneffecten op het boscysteem. Bekalking verstoort het boscysteem het sterkst, wat zich vertaalt in een sterke afname van het aantal bodemdieren. Bij beide maatregelen is de bosbodem vooralsnog stabiel gebleven (geen andere humusvormen en geen andere bodemdiersoorten). Dit betekent dat het onderzoek geen aanwijzingen heeft opgeleverd voor blijvende neveneffecten: de aangetroffen neveneffecten kunnen van tijdelijke aard zijn. Een uitzondering vormt het mogelijk blijvend positief effect dat eenmalige bekalking en vooral bemesting zou kunnen hebben op de ontwikkeling van gemengd en structuurrijk bos: er ontstaat meer verjonging van loofbomen en struiken, die als deze zich verder ontwikkelt en de variatie in boomsoortensamenstelling en structuur zou kunnen vergroten.



Bijlage 1. Overzicht onderzochte opstanden

Basisgegevens opnamen Bemest/onbemest (gecorrigeerd aan de hand van veldopnamen)

Behandeling: Wel Bemest (WB)				
Nr	Beschrijving	Provincie	Bosgroep	Jaar uitvoering maatregel
WB1	Feithenhof 7A-N GD 1936 PNV 6 gHd30 VII*	Gelderland	Midden NL	2000/2001
WB2	Middachten 6.11 DG 1945 PNV 13 Ld VII*	Gelderland	Midden NL	2001/2002
WB3	Vilsteren 9F GD 1980 PNV 6 Zd21 VII	Overijssel	Noord-Oost NL	2000/2001
WB4	Vilsteren 9J DG 1960 PNV 7 Zn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2000/2001
WB5	Ijssellandschap Oostermaet 593K FS 1975 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WB6	Ijssellandschap Oostermaet 596X FS 1963 PNV6 Zd21 VII*	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WB7	Ijssellandschap Oostermaet 594R JL 1968 PNV9 Hn23 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WB8	Ijssellandschap Oostermaet 595F DG 1957 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WB9	Alerdink1 2A JL 1940 PNV8 zEZ21 VII	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WB10	Alerdink1 4J DG 1946 PNV6 Zd21 VII*	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WB11	De Hoort III GD 1952 PNV 6 Hn21 VII	Limburg	Zuid NL	1999/2000
WB12	Velder 5D JL 1955 PNV7 Hn21 V*/VI	Noord-Brabant	Brabant	1999/2000
WB13	Velder 5E DG, gemengd 1955 PNV18 pZg23 III	Noord-Brabant	Brabant	1999/2000
WB14	Riels Hoefke 2 O CD 1966 PNV6 Hd21g VII*	Noord-Brabant	Brabant	1999/2000
WB15	Riels Hoefke 1B zuid GD 1954 PNV6 Hd21 VII	Noord-Brabant	Brabant	2001/2002

Behandeling: Niet Bemest (NB)				
Nr	Beschrijving	Provincie	Bosgroep	Jaar uitvoering maatregel
NB1	Kroondomein Uddel Oost 38B GD 1942 PNV6 gHd30 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB2	Roekelse Bos 508E DG 1939 PNV8 gY30 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB3	Roekelse Bos 511C2 GD 1983 PNV6 Zd21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB4	Eijkenstein 3 O DG 1962 PNV6 Hn21 VII	Utrecht	Midden NL	NVT
NB5	Lonnekerberg 6R FS 1973 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	NVT
NB6	Noord en Zuid Ginkel 17H FS 1962 PNV6 Zd21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB7	Noord en Zuid Ginkel 18A JL 1969 PNV6/8 zY21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB8	De Utrecht 4F1 DG 1957 PNV7 Hn21 VI	Noord-Brabant	Brabant	NVT
NB9	Roekelse Bos 516H JL 1947 PNV6 zHd21 VII	Gelderland	Midden NL	NVT
NB10	Noord en Zuid Ginkel 12F1 AE(DG) 1949 PNV8 Y21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NB11	Ampsen 13D GD 1952 PNV7/9 Hn21 V*/VI	Gelderland	Midden NL	NVT
NB12	De Utrecht 18D2 JL 1948 PNV7 Hn21V*	Noord-Brabant	Brabant	NVT
NB13	De Wouwse Plantage 25P DG 1952 PNV6 zHn21 VI/VII	Noord-Brabant	Zuid NL	NVT
NB14	Gemeentebos Someren 120A CD 1968 PNV6 Hd21 VII*	Noord-Brabant	Zuid NL	NVT
NB15	Landgoed Rozendaal 3S2 GD 1957 PNV6 Hd30 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT

Vet/cursieve opnamenummers: ook bodemfaunabemonstering

 opnamen zijn afgevallen voor vergelijking (wel opgenomen)



Basisgegevens opnamen Bekalkt/onbekalkt
(gecorrigeerd aan de hand van veldopnamen)

Behandeling: Wel Bekalkt (WK)				
Nr	Beschrijving	Provincie	Bosgroep	Jaar uitvoering maatregel
WK1	Feithenhof 16E GD1957 PNV6 gHd30 VII*	Gelderland	Midden NL	2000/2001
WK2	Middachten 2.24-Noord BU1848 PNV13 Ld VII*	Gelderland	Midden NL	2001/2002
WK3	Vagevuur 1K GD1955 PNV6 Hd21 VII*	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK4	Vagevuur 1D GD1981 PNV6 Hd21 VII*	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK5	Vagevuur 2i EI1950 PNV6 Hn21 VII	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK6	Wiene 31B GD 1909 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK7	Wiene 33K GD ca. 1950 PNV7/9 pZn21 V*	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK8	Vilsteren 8 O EI 1989 PNV9 pZg21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2000/2001
WK9	Vilsteren 2K niet gevonden/ niet opgenomen	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WK10	Christinalust 3L EI 1920 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK11	Christinalust 1H GD 1986 PNV6 Hn21 VII	Overijssel	Noord-Oost NL	1999/2000
WK12	IJssellandschap Oostermaat 592K FS 1952 PNV7 Hn21 VI	Overijssel	Noord-Oost NL	2002/2003
WK13	Velder 6Aost (EI)gemengd bos 1930 PNV18 pZg23 III	Noord-Brabant	Brabant	2000/2001
WK14	Velder 3O GD 1930 PNV7 Hn 21V/V*	Noord-Brabant	Brabant	2000/2001
WK15	Riels Hoefke 1Cnoord GD 1954 PNV6 Hn21 VII	Noord-Brabant	Brabant	2001/2002

Behandeling: Niet Bekalkt (NK)				
Nr	Beschrijving	Provincie	Bosgroep	Jaar uitvoering maatregel
NK1	Landgoed Rozenaal 3P2 GD 1957 PNV6 gHd30 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NK2	Maarsbergen 8V BU 1895 PNV8 gY30 VII*	Utrecht	Midden NL	NVT
NK3	Eijkenstein 5 O GD 1952 PNV6 Hn30 VII	Utrecht	Midden NL	NVT
NK4	Kroondomein Uddel Oost 18U2 Gd 1975 PNV6 Hd21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NK5	Someren 112B Ei 1953 PNV6/7 Hn21 VI/VII	Noord-Brabant	Zuid NL	NVT
NK6	Ampsen 18F GD 1900 PNV9/18 pZn23 V	Gelderland	Midden NL	NVT
NK7	Lonnekerberg 8T GD 1955 PNV9 pZn21x V*	Overijssel	Noord-Oost NL	NVT
NK8	Landerd Gemeentebos 102F EI 1985 PNV6 Hd21 VII*	Noord-Brabant	Zuid NL	NVT
NK9	Noord en Zuid Ginkel 114c noord EI 1938 PNV8 Y21 VII*	Gelderland	Midden NL	NVT
NK10	Lonnekerberg 6M EI 1920 PNV19 pZn23x V/V*	Overijssel	Noord-Oost NL	NVT
NK11	De Utrecht 16m1 GD 1986 PNV7 Hn21g VI	Noord-Brabant	Brabant	NVT
NK12	Ampsen 16G Fijnspar 1944 PNV7 Hn21 VI	Gelderland	Midden NL	NVT
NK13	De Utrecht 19C1 EI 1940 PNV7 Hn21 VI	Noord-Brabant	Brabant	NVT
NK14	De Utrecht 12b1 GD 1927/1988 PNV7 Hn21 V*/VI	Noord-Brabant	Brabant	NVT
NK15	Someren 121E GD 1953 PNV6 Hd21 VII*	Noord-Brabant	Zuid NL	NVT

Vet/cursieve opnamennummers: ook bodemfaunabemonstering

opnamen die zijn afgevallen voor vergelijking (wel opgenomen, op WK9 na)



Opnamesets gebruikt voor paarsgewijze vergelijking

Behandeling: Wel Bemesting (WB)		Behandeling: Niet Bemest (NB)	
Nr	Beschrijving	Nr	Beschrijving
WB1	Feithenhof 7A-N GD 1936 PNV 6 gHd30 VII*	NB1	Kroondomein Uddel Oost 38B GD 1942 PNV6 gHd30 VII*
WB3	Vilsteren 9F GD 1980 PNV 6 Zd21 VII	NB3	Roekelse Bos 511C2 GD 1983 PNV6 Zd21 VII*
WB4	Vilsteren 9J DG 1960 PNV 7 Zn21 VI	NB13	De Wouwse Plantage 25P DG 1952 PNV6/7 zHn21 VI/VII
WB5	Ijssellandschap Oostermaat 593K FS 1975 PNV7 Hn21 VI	NB5	Lonnekerberg 6R FS 1973 PNV7 Hn21 VI
WB6	Ijssellandschap Oostermaat 596X FS 1963 PNV6 Zd21 VII*	NB6	Noord en Zuid Ginkel 17H FS 1962 PNV6 Zd21 VII*
WB8	Ijssellandschap Oostermaat 595F DG 1957 PNV7 Hn21 VI	NB8	De Utrecht 4F1 DG 1957 PNV7 Hn21 VI
WB10	Alerdink1 4J DG 1946 PNV6 Zd21 VII*	NB4	Eijkenstein 3 O DG 1962 PNV6 Hn21 VII
WB12	Velder 5D JL 1955 PNV7 Hn21 V*/VI	NB12	De Utrecht 18D2 JL 1948 PNV7 Hn21V*
WB14	Riels Hoefke 2 O CD 1966 PNV6 Hd21g VII*	NB14	Gemeentebos Someren 120A CD 1968 PNV6 Hd21 VII*
WB15	Riels Hoefke 1B zuid GD 1954 PNV6 Hd21 VII	NB15	Landgoed Rozendaal 3S2 GD 1957 PNV6 Hd30 VII*
WB11	De Hoort III GD 1952 PNV 6 Hn21 VII	NB15	Landgoed Rozendaal 3S2 GD 1957 PNV6 Hd30 VII*

Behandeling: Wel Bekalkt (WK)		Behandeling: Niet Bekalkt (NK)	
Nr	Beschrijving	Nr	Beschrijving
WK1	Feithenhof 16E GD1957 PNV6 gHd30 VII*	NK1	Landgoed Rozendaal 3P2 GD 1957 PNV6 gHd30 VII*
WK3	Vagevuur 1K GD1955 PNV6 Hd21 VII*	NK3	Eijkenstein 5 O GD 1952 PNV6/7 Hn30 VII
WK6	Wiene 31B GD 1909 PNV7 Hn21 VI	NK3	Eijkenstein 5 O GD 1952 PNV6/7 Hn30 VII
WK4	Vagevuur 1D GD1981 PNV6 Hd21 VII*	NK4	Kroondomein Uddel Oost 18U2 Gd 1975 PNV6 Hd21 VII*
WK5	Vagevuur 2i Ei1950 PNV6 Hn21 VII	NK5	Someren 112B Ei 1953 PNV6/7 Hn21 VI/VII
WK7	Wiene 33K GD ca. 1950 PNV9 pZn21 V*	NK7	Lonnekerberg 8T GD 1955 PNV9 pZn21x V*
WK7	Wiene 33K GD ca. 1950 PNV9 pZn21 V*	NK6	Ampsen 18F GD 1900 PNV9/18 pZn23 V
WK10	Christinalust 3L Ei 1920 PNV7 Hn21 VI	NK13	De Utrecht 19C1 Ei 1940 PNV7 Hn21 VI
WK11	Christinalust 1H GD 1986 PNV6/7 Hn21 VII	NK11	De Utrecht 16m1 GD 1986 PNV7 Hn21g VI
WK12	Ijssellandschap Oostermaat 592K FS 1952 PNV7 Hn21 VI	NK12	Ampsen 16G Fijspar 1944 PNV7 Hn21 VI
WK13	Velder 6Aooost (Ei) gemengd bos 1930 PNV18 pZg23 III	NK10	Lonnekerberg 6M Ei 1920 PNV18 pZn23x V/V*
WK14	Velder 3O GD 1930 PNV7 Hn 21V/V*	NK14	De Utrecht 12b1 GD 1927/1988 PNV7 Hn21 V*/VI;
WK15	Riels Hoefke 1Cnoord GD 1954 PNV6 Hn21 VII	NK15	Someren 121E GD 1953 PNV6 Hd21 VII*

Vet/cursieve opnamennummers: ook paarsgewijze vergelijking bodemfauna



Bijlage 2. Beschrijving Ellenberg indicatiewaarden voor plantensoorten¹²

Indicatie voor vocht

Indicatiegetal	Omschrijving
1	Extreme droogte-indicator
2	Extreme droogte-indicator/ Droogte-indicator
3	Droogte-indicator
4	Droogte-indicator/ Droogte-vocht-indicator
5	Droogte-vocht-indicator
6	Droogte-vocht-indicator/ Vocht-indicator
7	Vocht-indicator
8	Vocht-indicator/ Nat-indicator
9	Nat-indicator
10	Waterplant, kenmerkend voor tijdelijk droogvallen
11	Waterplant, bladeren in contact met lucht
12	Onderwaterplant
X	Indifferent
?	Onbekend volgens Ellenberg

Indicatie voor zuurgraad (calciumverzadiging)

Indicatiegetal	Omschrijving
1	Sterk zure bodems
2	Sterk zure/ zure bodems
3	Zure bodems
4	Zure/ Zwak zure bodems
5	Zwak zure bodems
6	Zwak zure tot zwak basische bodems
7	Zwak basische bodems
8	Basische bodems; meestal op kalk
9	Sterk basische of kalkrijke bodems
X	Indifferent
?	Onbekend volgens Ellenberg

Indicatie voor stikstof (productiviteit ondergroei)

Indicatiegetal	Omschrijving
1	Zeer stikstofarme bodems
2	Zeer stikstofarme / stikstofarme bodems
3	Stikstofarme bodems
4	Stikstofarme tot matig stikstofrijke bodems
5	Matig stikstofrijke bodems
6	Matig stikstofrijke / stikstofrijke bodems
7	Stikstofrijke bodems
8	Uitgesproken stikstofrijke bodems
9	Zeer uitgesproken stikstofrijke bodems
X	Indifferent
?	Onbekend volgens Ellenberg

¹² Naar Ellenberg, H. 1992, Zeigerwerte der Gefäßpflanzen. Mitteleuropas. In: H. Ellenberg et al. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Goltze, Göttingen.



Bijlage 3. Beschrijving humushorizonten en humusvormen

Humusprofielen en humushorizonten

Het humusprofiel bestaat uit een opeenvolging van humuslagen (horizonten) die elk een eigen kenmerkende samenstelling hebben. In basenarme bodemtypen bevat het humusprofiel een ectorganische (uitwendige) en endorganische (inwendige) component.

De ectorganische component kan, van boven naar onder, in zijn complete vorm bestaan uit de volgende lagen:

- De **L-horizont**, opgebouwd uit al dan niet verkleurd maar nauwelijks afgebroken organisch materiaal (takjes, bladeren, naalden, mosresten),
- De **F-horizont**, bestaand uit sterk verkleinde en/of aangevreten blad- en naaldresten. Binnen de F-horizont wordt onderscheid gemaakt tussen een Fz-, Fa en een Fm-laag. In de *Fz-horizont* is duidelijk een aanzienlijke hoeveelheid "droppings" van de meso- en microbodemiaan te treffen in een losse structuur. In de *Fm-horizont* ontbreken deze. Hier zijn vooral schimmels actief en wordt een duidelijk ontwikkelde lagenstructuur aangetroffen. De *Fa-horizont* neemt een middenpositie in tussen de andere twee typen. Binnen de Fa-horizont is nog onderscheid te maken tussen een *Fa1* met vrijwel alleen verkleind plantaardig materiaal en een laag waarin een deel van de plantaardige resten al is omgezet in fijne amorfe humus (*Fa2*),
- De **H-horizont**, grotendeels bestaand uit amorf humusmateriaal. Binnen de H-horizont wordt onderscheid gemaakt in een Hr- en een Hh-laag. In de *Hr-horizont* is een deel van het materiaal nog herkenbaar als plantenresten, de *Hh-laag* bestaat vrijwel geheel uit moeilijk afbreekbare amorfe humus. De Hr- en de *Fa2*-horizont zijn bodemchemisch sterk verwant. De Hh-laag heeft relatief lange tijd nodig om een dikte van enkele centimeters te bereiken (op arme zandgronden minstens circa 70 jaar).

Het inwendige, minerale deel van de humusvorm bestaat uit:

- De **A-horizont**, een minerale humusaccumulatiehorizont. Binnen de A-horizont wordt onderscheid gemaakt in een Ah- en een AE-laag. De *Ah-horizont* bestaat uit stabiele door bodemiaan omgezette humus en deels uit amorfe uitspoelbare humus. Een *AE-horizont* heeft een hoog gehalte aan instabiele humus en een hoog aandeel aan uitgeleegde zandkorrels,
- De **E-horizont**, een volledig uitgespoelde horizont waaruit zowel humus als ijzer en aluminium-oxiden zijn uitgespoeld naar de ondergrond. De AE- en de E horizont zijn in het humusprofiel meestal onderdeel van een micropodzol waarbij humus en humuszuren vanuit de ectorganische horizonten via de A-horizont naar dieper gelegen minerale bodemlagen worden uitgespoeld.
- De onderliggende, humusarme **AC-, AB-, B- en C-horizonten** van het bodemprofiel



Humusvormen

Op grond van karakteristieke opeenvolgingen van humushorizonten zijn verschillende typen humusvormen gedefinieerd. Deze behoren tot de drie hoofdtypen mor, moder en mull.

Welke humusvorm er in een bosbodem aanwezig is, is afhankelijk van bodemeigenschappen, van de aanwezige boomsoort en van de bosgeschiedenis (ouderdom bosbodem, bewerkingen als diepspitten en ploegen). Onder loofbomen ligt de nadruk bij de ontwikkelingen vooral bij humusvormen met een relatief dikke goed omgezette H-laag. Onder naaldbomen verloopt de ontwikkeling naar een dikke H-laag langzamer.

De omzetting en afbraak van strooisel wordt in principe bevorderd door verhoging van de pH en de calciumverzadiging. Op bodems met een permanent hoge status wat betreft nutriënten, pH en calciumverzadiging treft men dan ook andere humusvormen aan dan op bodems met een lage status.

Aan de rijke bodems zijn vooral mull-humusvormen gevormd. Deze bestaan voornamelijk uit endorganische (minerale) horizonten. In arme bodems zijn vooral humusprofielen aanwezig die voornamelijk bestaan uit uitwendige (ectorganische) strooisellagen. De arme humusvormen vallen meestal onder de typen mormoder en mor. Moders en mullmoders nemen een tussenpositie in tussen arm en rijk.

De opnamesets voor dit project komen zonder uitzondering voor op de arme zandgronden, waarvan verreweg de meeste zwak lemig tot leemarm zijn. De voorkomende bodems zijn haarpodzolen, veldpodzolen, gooreerdgronden, beekeerdgronden, vlakvaaggronden en duinvaaggronden. Ze zijn allen kalkloos.

In de opnamen zijn de volgende humusvormtypen aangetroffen:

- **Zandxeromoder (DXz):** voor de arme zandgronden een relatief rijke humusvorm die gekarakteriseerd wordt door een hoge activiteit van de mesofauna gevormde Fz-laag. Uitloging is gering in de Ah,
- **Zandxeromullmoder (LDXz):** voor de arme zandgronden een relatief rijke humusvorm waarin de minerale Ah-horizont dikker is dan de ectorganische lagen. Deze Ah voert echter in het algemeen terug op een rijker verleden wat betreft humusvertering en is niet van recente oorsprong. Uitgelogde zandkorrels ontbreken vrijwel in de Ah,
- **Vaagxeromormoder (RDXv):** mormoder met AE- of E-horizont en met een relatief dunne F- en H-horizont,
- **Humusxeromormoder (RDXu):** mormoder met matig dikke F- en H-horizont,
- **Bosxeromormoder (RDXb):** mormoder met dunne Hh-horizont maar dikke Hr-horizont,
- **Holtxeromormoder (RDXt):** dik ectorganisch profiel met relatief dikke Hh-horizont. Oude dikke humusprofielen, vooral onder loofbos, soms onder naaldbos,
- **Ruwxeromormoder (RDXr):** mormoder met dikke, dominante Fa1-laag. De H-laag ontbreekt vrijwel. Meestal onder naaldbos, vooral bij lariks.

Van nature is de ontwikkelingsreeks van humusvormtypen in de tijd op arme zandgronden overwegend als volgt:

- Onder loofbos: RDXv-----RDXu-----RDXb-----RDXt,
- Onder naaldbos: RDXv-----RDXr/RDXu-----RDXb----- (RDXt).



Bijlage 4. Beschrijving bodemfaunagroepen

Levens cyclus strategie

- **Parasieten:** Soorten die hun levenswijze sterk hebben aangepast aan een gastheer. Ze zuigen bloed of zuigen aan eieren van andere arthropoden,
- **Facultatief foretisch:** soorten van habitats die lang bestaan. De strategie is aangepast aan continue beschikbaarheid van het habitat. Migratie naar ander habitat verloopt veelal via specifieke gastheren, die hetzelfde milieu prefereren,
- **Obligaat foretisch als juveniel:** soorten die zijn aangepast aan habitats die maar kort bestaan (ephemere habitats), zoals uitwerpselen, kadavers, etc. De organismen reproduceren meestal snel zodat ze na korte tijd als juveniel een gastheer kunnen zoeken die ze uit het verdwijnende habitat brengt. Omdat ze perse weg moeten, zijn ze niet selectief in de gastheerkeuze,
- **Obligate diapauze:** soorten die een sterke synchronisatie vertonen, wat wil zeggen dat ze hun voortplanting samen laten lopen met de seizoenen (bijvoorbeeld de herfst) of met een ontwikkelingsstadium van een bepaalde voedselbron (bijvoorbeeld stuifmeel van een bepaalde plantensoort). Het kunnen langlevende en kortlevende soorten zijn,
- **Facultatieve diapauze en een legsel:** dit zijn soorten met een legsel, die onder geschikte omstandigheden in staat zijn om twee of meer generaties per jaar te maken,
- **Asexueel en meerjarig:** deze strategie is een aanpassing aan extreem stabiele omstandigheden,
- **Asexueel en eenjarig:** deze strategie veronderstelt een voorspelbaar milieu. De nakomelingen hoeven genetisch niet te verschillen omdat geen grote variatie in leefmilieu optreedt,
- **Sexueel met continue reproductie:** echte r-strategen. Ze planten zich razend snel voort als het kan, maar zullen ook snel last hebben van overexploitatie van het substraat,
- **Sexueel met seizoensgebonden reproductie:** een langzamere strategie dan sexueel met continue reproductie, maar wel een heel betrouwbare. Als de voortplanting in het ene jaar niet succesvol is, dan is er in het volgende of daaropvolgende jaar weer een kans. Bovendien hebben de nakomelingen hun genetische variatie als extra buffer voor veranderingen in het milieu.

Voedselstrategie

- **Arthropoden predator:** soort die juvenielen of adulten van arthropoden eet, zoals springstaarten, mijten, larven van diptera, etc.,
- **Bacterievoor:** soort die voornamelijk leeft van het filteren van bacteriën uit bodemvocht of selectief rottend materiaal met veel bacteriën eet,
- **Fungivore browser:** soort die vooral leeft van de inhoud van schimmels, maar de celwanden niet kan verteren,
- **Fungivore grazer:** soort die schimmels eet en zowel de celwanden als de inhoud kan verteren,
- **Algemene predator:** soort die naast arthropoden ook nematoden en eventueel andere taxa, zoals potwormen, eet,
- **Herbivore browser:** soort die plantaardig materiaal eet waarbij ze niet de celwanden kan verteren,
- **Herbivore grazer:** soort die plantaardig materiaal eet (zoals wortels en wortelharen) waarbij ze grof te werk gaat, alles opeet en ook de celwanden kan verteren.
- **Herbo-fungivore grazer:** een niet erg kieskeurige grazer,
- **Omnivoor:** soort die alles eet wat hem geschikt lijkt,
- **Opportunistische herbofungivoor:** soort die vooral groene plantendelen eet,
- **Parasiet:** soort die parasitair leeft op andere arthropoden of zoogdieren.