

Bekalking en toevoegen van nutriënten
Evaluatie van de effecten op flora en bodemfauna
- een literatuurstudie -
2006

R.J.A.M. Wolf & A.F.M. Olsthoorn



Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A3.1

Alterra Rapport 1337.4

REFERAAT:

Wolf, R.J.A.M. & A.F.M. Olsthoorn, 2006. *Bekalking en toevoegen van nutriënten. Evaluatie van de effecten op flora en bodemfauna - een literatuurstudie*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1337.4. 32 blz.; 2 fig.; 1 tab.; 61 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 van bekalking en mineralengiften besproken op bodem, flora en bodemfauna aan de hand van literatuurgegevens. Hierbij is gekeken naar bodemontwikkeling, humusprofiel, kruidlaag, mossen, mycoflora, mycorrhiza, bodemfauna. Ondanks dat veel onderzoek gedaan is, is het nog altijd moeilijk om, zeker voor de lange termijn, voor een concrete opstand een betrouwbare prognose te geven van het effect dat een bekalking en/of een nutriëntengift zal hebben op de flora en de bodemfauna. Dit heeft te maken met de grote complexiteit van het bodemkundige systeem. Aanvullend Nederlands experimenteel onderzoek zou beter inzicht kunnen geven in de lange termijn effecten. Dit zou goed kunnen in oude bemestings- en bekalkingsproefvelden. Daarnaast wordt een extensieve vorm van monitoring aanbevolen na uitvoering van maatregelen in OBN-kader.

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 flora en bodemfauna - een literatuurstudie -

R.J.A.M. Wolf & A.F.M. Olsthoorn

2006

Opdrachtnemers:

Alterra, Wageningen

Eelerwoude, Goor

Opdrachtgever:

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

Project Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A3.1, verschenen als Alterra rapport 1337.4

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

1.	INLEIDING.....	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Kader en doel literatuurstudie.....	2
1.3	Opzet rapport.....	4
2.	METHODE.....	5
3.	RESULTATEN.....	6
3.1	Inleiding.....	6
3.2	Bodemontwikkeling.....	6
3.3	Flora.....	10
3.4	Bodemfauna.....	14
4.	SAMENVATTING EN CONCLUSIES.....	21
4.1	Bodemontwikkeling.....	21
4.2	Flora.....	22
4.3	Bodemfauna.....	23
4.4	Nader onderzoek.....	24
	LITERATUUR.....	25



VOORWOORD

De auteurs danken iedereen die heeft bijgedragen tot de totstandkoming van dit rapport. Het OBN Deskundigenteam Bossen heeft waardevolle suggesties gedaan voor aanscherping. In het bijzonder gaat onze dank uit naar mevr. M.D. Duizendstraal en G.W. Tolkamp (Alterra) voor de ondersteuning bij het zoeken naar literatuur en naar dhr. M.P. Berg (Vrije Universiteit Amsterdam), dhr. A.W. Boxman (Radboud Universiteit Nijmegen), dhr. H.F. van Dobben, dhr. J.H. Faber en dhr. H. Siepel (Alterra) voor de door hen verstrekte informatie over verricht onderzoek en publicaties hierover.



1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

De effectgerichte maatregelen die de afgelopen jaren in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) met rijkssubsidie 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):

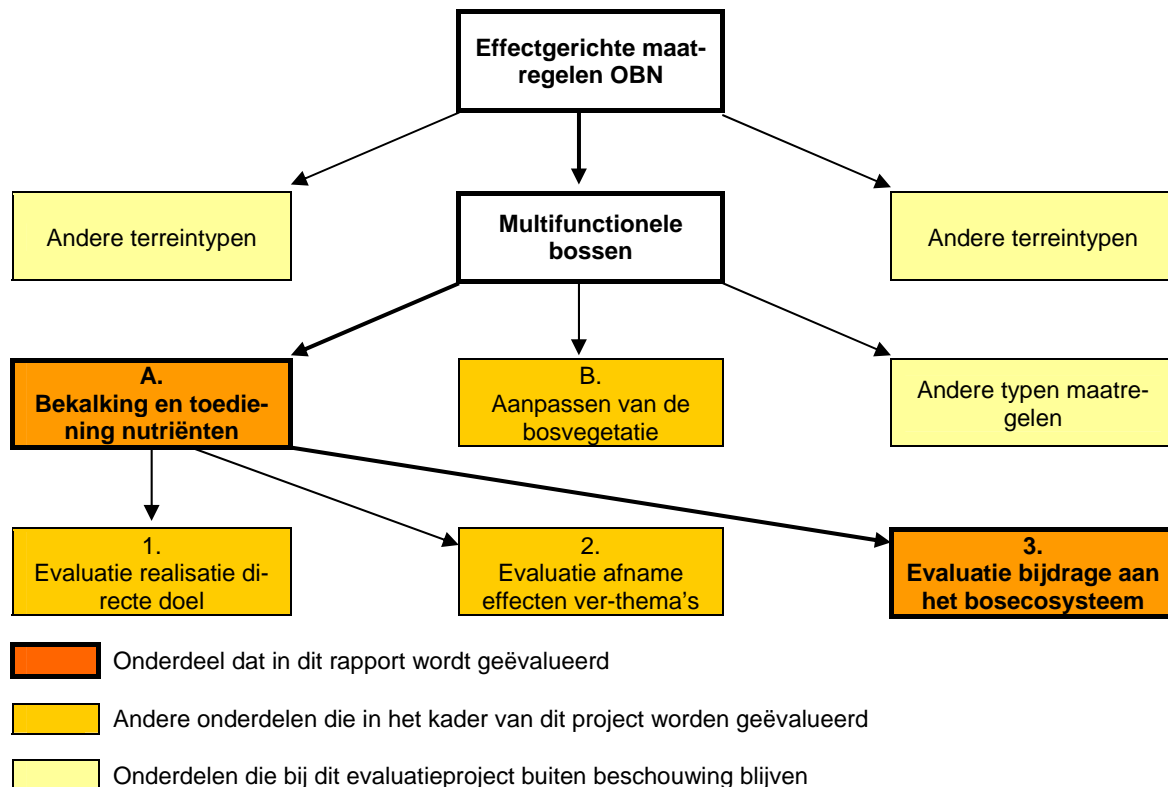
- A. bekalking en het toevoegen van nutriënten,
- B. aanpassen van de bosvegetatie.

Voor beide maatregeltypen wordt geëvalueerd:

1. of het directe 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 de literatuurstudie.

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 literatuurstudie

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 2001).

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 1995).

Status maatregel

Uit landelijk onderzoek is gebleken dat veel Nederlandse bossen op grote schaal tekorten hebben aan mineralen. Ook is hieruit gebleken dat het uitvoeren van correctieve bemesting leidt tot herstel van de mineralenbalans en vaak ook tot verbetering van de vitaliteit van bomen (gemeten aan de hand van kleur, bezetting en chemische samenstelling van blad of naalden en van aanwas/groei en bladgrootte, bron Van den Burg & Olsthoorn 1994). Doordat uit dit onderzoek volgt dat de maatregel effectief is in de bestrijding van de gevolgen van één of meer van de VER-thema's, heeft deze 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).



Mogelijke neveneffecten

De status van reguliere maatregel houdt ook in dat de maatregel geen of nauwelijks ongewenste neveneffecten mag hebben. Om zicht te krijgen op mogelijke neveneffecten is een literatuurstudie uitgevoerd door Van Tol (1995).

Hij concludeert hierin dat neveneffecten van het toedienen van kalium en magnesium op het bosecosysteem zeer beperkt zijn, dat de meeste neveneffecten optreden bij bekalking en dat toediening van fosfaat wat neveneffecten betreft een tussenpositie inneemt. Daarnaast specificeert hij deze conclusies nader naar bostype. Hij geeft aan dat voor A-locaties en voor de armste bostypen (korstmossen-dennenbos, kussentjesmos-dennenbos, kraaiheide-dennenbos; indeling volgens Van der Werf 1991) bekalking en mineralengiften ongeacht de doelstelling beter achterwege gelaten kunnen worden. Ook geeft hij aan dat naast het bostype ook de doelstelling van de beheerder een belangrijke factor is bij al dan niet toepassen van bekalking en mineralengiften. Dit wordt door hem echter in zijn conclusies niet nader gespecificeerd. Ten slotte plaatst hij de kanttekening dat de langere termijn effecten van de maatregel 'bekalking en toevoegen van nutriënten' nog onvoldoende door onderzoek zijn vastgelegd.

Aanleiding tot dit literatuuronderzoek

Ondanks de status van reguliere maatregel en de uitvoering van het bovenstaande literatuuronderzoek, 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 van 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 een belangrijke overweging in het bestek van de opdrachtgever om dit literatuuronderzoek te laten uitvoeren.

Doel literatuuronderzoek

Dit literatuuronderzoek 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 bosecosysteem in het algemeen en op de flora en bodemfauna in het bijzonder. Andere aspecten van de evaluatie van deze maatregel komen aan de orde andere deelrapporten (A1 en A2). Ook de gegevens van een eigen veldonderzoek naar de effecten op het bosecosysteem zullen worden beschreven in een ander deelrapport (A3.2).

Het doel van deze literatuurstudie is:

Evaluatie van de effecten van de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten (A) op de flora en bodemfauna (3).

De literatuurstudie richt zich dus op de (ongewenste of gewenste) neveneffecten van de maatregel op de natuurwaarde (biodiversiteit) van het bos, terwijl natuur slechts één van de functies is van de multifunctionele bossen waar het hier om gaat.

Het onderzoek vormt een aanvulling op de eerder door van Tol (1995) verrichte literatuurstudie. De studie van Van Tol vormt het startpunt en wordt hier aangevuld met resultaten van en conclusies uit recent onderzoek.



1.3 Opzet rapport

Aan de opzet van het evaluatieproject en de positie van deze literatuurstudie hierin is hierboven aandacht besteed (§ 1.1 en § 1.2).

De methode die bij dit onderzoek 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 effecten van de maatregel op de bodem (§ 3.2) de flora (§ 3.3) en de bodemfauna (§ 3.4). In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de literatuurstudie samengevat en vertaald naar conclusies.



2. METHODE

Afbakening onderwerp

In deze literatuurstudie is gericht gezocht naar informatie over het al dan niet optreden van (on-gewenste of gewenste) effecten van bekalking en nutriëntengiften op de vegetatie/flora en de bodemfauna van bossen. Aangezien deze effecten nauw samenhangen met veranderingen in bodemkundige processen en in het humusprofiel, zijn deze waar nodig ook bij het onderzoek betrokken. Omdat de eerdere literatuurstudie van Tol (1995) als startpunt fungeert, ligt de nadruk van deze literatuurstudie op onderzoeksresultaten die sinds 1995 zijn gepubliceerd.

Zoektermen

Bij de literatuurstudie is gewerkt met combinaties van zoektermen. Daarbij zijn drie categorieën gehanteerd, namelijk termen over:

- de maatregel (bekalking, nutriëntengift, bosbemesting, fosfaat, etc.),
- bos (bosecosysteem, bos, bosbodem, etc.),
- flora en fauna (vegetatie, bodemfauna, mycoflora etc.).

Er is gebruik gemaakt van zoektermen in het Nederlands, Engels en Duits. Via deze zoektermen is gezocht in verschillende gegevensbestanden. Met name de zoekactie in CAB-abstracts en Current Contents heeft veel opgeleverd. Deze zoekactie is ingeperkt tot West-Europa.

Aanvullend is (beperkt) gericht gezocht via enkele andere ingangen, onder andere naar aanvullende Scandinavische literatuur, naar specifieke auteurs en naar literatuur op het gebied van bosbodems in brede zin.

Interviews

Via bovenstaande zoekacties werden geen publicaties van resultaten van recent Nederlands onderzoek naar effecten van bekalking en nutriëntengiften op de flora/bodemfauna van bossen gevonden. Via navraag bij een aantal Nederlandse onderzoekers is dit geverifieerd en is enige aanvullende informatie verzameld.

Samenvatting en interpretatie

De gevonden literatuur is samengevat in dit rapport. Daarbij zijn de resultaten van de diverse experimenten met elkaar vergeleken en vervolgens geïnterpreteerd. Bij deze interpretatie heeft vertaling naar de evaluatie van de Nederlandse maatregel 'Bekalking en toediening van nutriënten' centraal gestaan. Daarbij is er nadrukkelijk rekening mee gehouden dat het hier om multifunctionele bossen gaat, waarin zowel de productie- als de natuurfunctie een rol speelt.



3. RESULTATEN

3.1 Inleiding

De 'zure regen' problematiek en de vitaliteitproblemen in bossen die hiermee gepaard gingen, waren in Nederland in de jaren 80 aanleiding tot het opzetten van proeven met bekalking en nutriëntengiften in bossen. Bij deze proeven zijn ook de effecten van bekalking en nutriëntengiften op diverse flora- en faunagroepen onderzocht. De resultaten hiervan zijn samengevat in Van Tol (1995) en mede bepalend geweest voor het verlenen van de status 'regulier' aan de OBN-maatregel 'bekalking en toevoegen van nutriënten' in multifunctionele bossen.

De nu verrichte literatuurstudie heeft geen nieuwe resultaten van Nederlands experimenteel onderzoek naar effecten van bekalking en/of nutriëntengiften op flora- en faunagroepen aan het licht gebracht. Verificatie bij diverse onderzoekers bevestigt dit. Er werd aangegeven dat de Nederlandse experimenten met bekalking en nutriëntengiften circa 10 tot 15 jaar geleden zijn gestopt. Op dit moment wordt er niet aan een of andere vorm van herhalingsonderzoek gedaan.

In de ons omringende landen is op dit vlak wel recent veldonderzoek verricht. Het zwaartepunt van dit onderzoek ligt in Duitsland. De resultaten hiervan vormen samen met het Nederlandse startpunt (Van Tol 1995) dan ook de belangrijkste basisgegevens voor dit rapport.

3.2 Bodemontwikkeling

Effecten van bekalking en van nutriëntengiften op de flora en bodemfauna zijn (voornamelijk) het gevolg van veranderingen die door deze maatregel in de bodem optreden. Deze effecten op de bodem zijn complex en hangen samen met een groot aantal factoren, zoals bodemtype, profielopbouw, humusvorm, opstandsgeschiedenis, aanwezige boomsoorten, stikstofvoorraad, C/N-verhouding en de chemische bodemtoestand (Mindrup et al 1995). Om de effecten van bekalking en nutriëntengiften op de flora en bodemfauna goed te kunnen interpreteren, wordt hieronder beknopt ingegaan op effecten van deze maatregelen op de nutriëntenhuishouding, op humusvormen, op mineralisatie en op nitrificatie. Daarbij ligt het zwaartepunt op bekalkingseffecten.

Vanwege de nauwe relatie tussen effecten op de bodem en op de flora en fauna, zullen ook bij de bespreking van de effecten van bekalking en nutriëntengiften op de flora (§ 3.3) en de bodemfauna (§ 3.4) diverse effecten van bekalking en nutriëntengiften op de bodem weer aan de orde komen.

Nutriëntenhuishouding

Onderzoek Van Tol

Van Tol (1995) geeft op grond van Nederlands onderzoek uit eind jaren 80 en begin jaren 90 (Van den Burg & Olsthoorn 1994) aan dat het in OBN-kader toedienen van standaardhoeveelheden kalk en nutriënten naar verwachting een direct positief effect zal hebben op de nutriëntenhuishouding in de bodem. Bij bekalking wordt bovendien een toename van de pH-waarde van enkele tienden van eenheden verwacht.



Aanvullingen

Op grond van ervaring in Duitsland geeft Rehfuess (1990) in zijn handboek over bosbodems aan dat een zorgvuldig op het substraat afgestemde bemesting (die tekorten aan groei limiterende voedingsstoffen zoals stikstof, fosfaat, magnesium opheft) en een goed gedoseerde bekalking ter verbetering van de basenhuishouding, in een intact bos zorgt voor een aanzienlijke verbetering van de vruchtbaarheid van arme zure of verstoorde zand- en leembodems voor ten minste enkele decennia. Ook geeft hij aan dat de bodemchemische effecten van een dergelijke ingreep slechts in de bovenste 30 cm optreden, maar dat deze beperkte dieptewerking volstaat om de voedingstoestand van het bosecosysteem, de groei van de aanwezige opstand en de bosbouwkundige mogelijkheden duidelijk te verbeteren. Dit is ook logisch omdat de grootste worteldichtheid zich bevindt in de bovenste bodemhorizonten (o.a. Olsthoorn 1998).

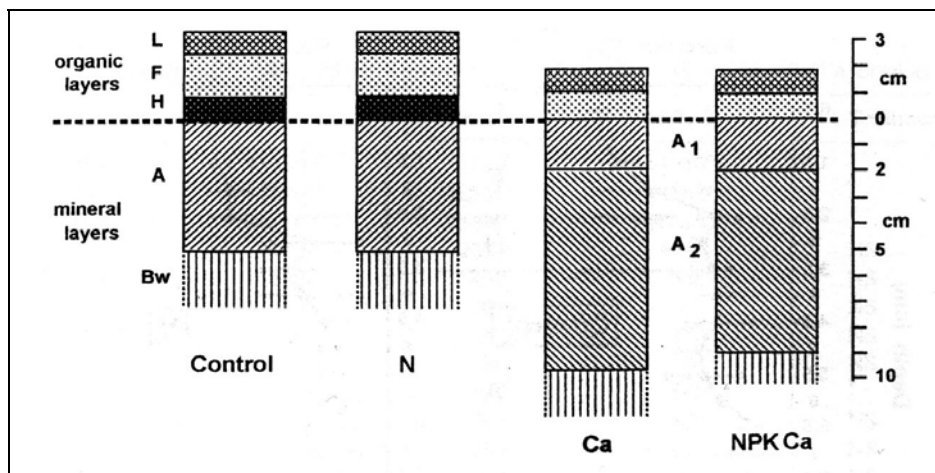
Resultaten van diverse experimentele onderzoeken bevestigen het beeld dat een zorgvuldig op het substraat afgestemde nutriëntengift en/of bekalking positief uitwerkt op de voedingstoestand van het bosecosysteem.

Ze geven echter ook aan dat het vanwege de grote complexiteit van het bodemkundige systeem lastig is om een nutriëntengift/bekalking goed op het substraat af te stemmen en dat de manier waarop een bosecosysteem op een dergelijke ingreep reageert verschillend kan zijn. Duliere et al (1999) stelden bijvoorbeeld aan de hand van veldonderzoek in Belgische fijnspar- en wintereikopstanden op zure bodem vast dat de pH in de bovengrond een half jaar na bekalking (5 ton/ha dolomiet) in het wintereikenbos zowel de organische als in de minerale horizont sterk was toegenomen, terwijl deze bij fijnspar alleen in de organische bovenlaag was toegenomen.

Mindrup et al (1995) geven op grond van Duitse onderzoekservaring aan dat bekalking vaak samengaat met een betere magnesiumvoorziening (door toepassing van dolomiet, dat magnesium bevat), maar relatief vaak met een verslechtering van de kaliumhuishouding. Bekalking heeft volgens hen geen invloed op de stikstof- en fosforvoorziening.

Humusvormen

Uit de literatuur volgt dat door bekalking de humusvorm verbetert. Er treden verschuivingen op in de richting van mor naar moder en mull humusvormen (Schuler 2002; Rehfuess 1990; Kraft et al 2003). Deleporte & Tillier (1999) onderzochten het effect van bekalking (calciumcarbonaat) en van de combinatie van bekalking en bemesting (NPKCa) op het humusprofiel in beukenbos op een zure bodem in Bretagne (Frankrijk). Zowel bij bekalking als bij de combinatie van bekalking en bemesting vonden ze ten opzichte van referentieplots 22 jaar na de ingreep nog altijd een duidelijke verandering in humusvorm (zie figuur 2).



Figuur 2. Voorbeeld van verandering in het humusprofiel (beukenbos) 22 jaar na Stikstofbemesting (N), na bekalking (Ca) en na bekalking in combinatie met NPK-bemesting (NPK Ca; Deleporte & Tillier 1999)

Mineralisatie en nitrificatie

Onderzoek Van Tol

Van Tol (1995) geeft aan dat bekalking mogelijk kan leiden tot mineralisatie (omzetting van organische stikstof naar minerale stikstof in het humusprofiel) en nitrificatie in de bodem. Dit zou dan leiden tot eutrofiëring (door verhoogde beschikbaarheid van minerale stikstof) en tot toename van uitspoeling van nitraat-stikstof. Uit het onderzoek uit eind jaren 80 en begin jaren 90 hiernaar (in Harderwijk en St Anthonis; Arnold 1993, De Boer 1992; Denier van der Gon 1990) volgt echter een onduidelijk beeld hiervan: in sommige proefvlakken is sprake van toename van mineralisatie en nitrificatie, in andere is geen verandering vastgesteld of was juist sprake van een afname.

Aanvullingen

Rehfuess (1990) geeft in zijn handboek aan dat bekalking/bemesting in de regel samen gaat met versnelde mineralisatie, maar dat dit meestal niet leidt tot verhoogde uitspoeling van nitraat of andere voedingsstoffen. Bij een voorzichtige bekalking/bemesting op maat zonder bodembewerking worden de toegevoegde of gemobiliseerde voedingsstoffen voor een groot deel in de biologische kringloop opgenomen en blijven deze in het ecosysteem aanwezig, terwijl de humusvoorraad wordt opgeschoond. Dit geldt met name voor min of meer gesloten opstanden; in kapvlakten is het risico op uitspoeling van nitraten en andere nutriënten aanzienlijk hoger. In combinatie met verhoogde stikstoftoevoer of stikstofverzadiging van de bodem (waarvan sprake is in vrijwel alle Nederlandse bossen) kan bekalking in voedselarme, van nature stikstofarme, bodems wél leiden tot toename van nitraatuitspoeling. Dit effect is het grootst in recent gevelde bosgedeelten en is volgens Rehfuess (1990) bij voorzichtige bemesting/bekalking beperkt (in dezelfde omvang als uitspoeling bij onbemeste vruchtbare bosbodems).

Mineralisatie en eutrofiëring

Diverse andere onderzoekers bevestigen aan de hand veldonderzoek dat bekalking leidt tot versterkte afbraak van organische stof en daarmee tot versnelde mineralisatie. Op deze manier wordt enerzijds de stikstofopslag van de bosbodem versterkt. Maar anderzijds kan decompositie vooral in combinatie met veel stikstofdepositie uit de lucht ook leiden tot (toename van) eutrofiëring. Of eutrofiëring optreedt is afhankelijk van de situatie waarin het bosbodemeecosysteem zich bevindt (o.a. Schuler 2002; Valeur 2000).



Nitrificatie

Rudebeck (2000) analyseerde Europees onderzoek (van Zweden tot Italië; met name in beuken en fijnsparbossen) naar het effect van bekalking op nitrificatie in de bovengrond. Zij benadrukt dat nitrificatie een sleutelproces is in bosbodems omdat het verlies van stikstof uit het bosecosysteem stimuleert, bodemverzuring veroorzaakt en uitspoeling van nitraat en eutrofiering van grondwater kan veroorzaken. Op grond van haar analyse concludeert ze dat het stimulerende effect van bekalking op de netto nitrificatie in de bovengrond langdurig is en dat het wordt veroorzaakt door verhoging van de pH en niet door toename van netto stikstofmineralisatie. Omdat nitrificatie gepaard gaat met verzuring, kan het de pH-stijging die door bekalking optreedt deels ongedaan maken.

Duliere et al (1999) vonden in hun onderzoek in Belgisch fijnspar- en eikenbos dat de nitraatproductie na bekalking in het eikenbos zowel in de minerale als de organische bovengrond verhoogd was, maar dat bij fijnspar de nitraatproductie alleen was toegenomen in de organische laag en in de minerale laag juist was afgenomen. In tegenstelling tot de andere genoemde lagen, was de pH in de minerale bovengrond van het fijnsparbos niet gestegen. Hiermee zijn deze resultaten in lijn met de laatstgenoemde conclusie van Rudebeck (2000).

Uitspoeling

Verhoogde nitrificatie als gevolg van pH-verhoging door bekalking zou kunnen leiden tot verhoogde uitspoeling van nitraat. Uit diverse veldstudies blijkt echter dat het risico van uitspoeling van nitraat na bekalking in de meeste situaties gering is doordat het nitraat grotendeels door het bosecosysteem wordt opgenomen. De mate van opname neemt toe naarmate de groei van de opstand en de bodemvegetatie door (bekalking en/of bemesting) beter wordt. Wel is vanwege de stikstofverzadigde bosbodems de kans dat (beperkte) nitraatuitspoeling plaatsvindt in Nederland in vergelijking met veel andere landen groter.

Bartsch et al (1999) onderzochten de uitspoeling van voedingsstoffen in een oud beukenbos (Solling, Duitsland) 9 jaar na bekalking. De uitspoeling van nitraat, cationen en zware metalen was hier na de bekalking aanzienlijk verminderd door de verhoogde opname ervan door de dichte bodemvegetatie die zich had ontwikkeld.

Lundell (2000) onderzocht de nitraatuitspoeling na bekalking over een lange periode in Zweden. Ze vond geen toename van nitraatuitspoeling bij bekalking. Minder opname van water en voedingsstoffen door boomwortels leidde wèl tot toegenomen uitspoeling van (vooral) nitraat.

Faber (1992) stelde aan de hand van onderzoek in Nederlands Oostenrijkse dennenbos vast dat in de uitspoeling van nitraat in een bewortelde bodem de helft was van die in een onbewortelde bodem.

Mindrup et al (1995) geven aan dat de bodem korte tijd na bekalking in een overgangsfase komt die tot een tijdelijk verlies van ecosysteemstabiliteit kan leiden, waarbij bijvoorbeeld nitraatuitspoeling kan optreden. Dit lijkt echter niet van lange duur te zijn en het gevaar van een verhoogde nitraatuitspoeling blijkt kleiner te zijn dan gevreesd werd.

Toevoeging van stikstof veroorzaakt toename van uitspoeling van nitraat (en ook van aluminium, magnesium en calcium). Deze uitspoeling lijkt geringer te zijn naarmate C/N verhouding in de humuslaag hoger is (Lundell 2000).

In de situatie waarin toename van nitrificatie door bekalking samengaat met een hoge stikstofvoorraad in de bodem en/of een stikstofdepositie uit de lucht, kan bekalking leiden tot toename van nitraatuitspoeling. Deze situatie is van toepassing op het overgrote merendeel van het Nederlandse bos. Door de grote mate van opname van het nitraat in het bosecosysteem is het risico ook in deze situatie normaal gesproken beperkt. Er moet echter opgepast worden met be-



kalking in combinatie met vellingen in stikstofrijke gebieden, omdat na vellingen de worteldichtheid en daardoor ook de opname van nitraat in het ecosysteem afneemt (Schuler 2002; Reh-fuess 1990; Lundell 2000).

3.3 Flora

Effecten bekalking

Onderzoek Van Tol

Op grond van Nederlandse bekalkingsproeven met calciumcarbonaat of dolokalk uit eind jaren 80 en begin jaren 90 (in Harderwijk, St. Anthonis, Ede en Vierlingsbeek; Van Dobben 1993, Van Dobben & Vocks 1992, Van Hees 1994, Kuyper 1989) geeft Van Tol (1995) aan dat bij bekalking:

- het aantal en de bedekking van stikstofminnende, ruderaal plantensoorten overwegend toeneemt,
- de bedekking van deze soorten wel beperkt blijft,
- de bedekking van hogere planten en mossen die kenmerkend zijn voor schrale milieus overwegend achteruitgaat,
- het aantal mycorrhiza-schimmels meestal gedurende één of enkele jaren afneemt, maar zich daarna weer herstelt en zelfs kan toenemen.
- het effect op saprotrofe (op dood materiaal levende) schimmels/paddestoelen sterk wisselt (van positief tot negatief), maar dat dit effect overwegend negatiever is in de eerste jaren na de bekalking en naarmate de dosering hoger is.

Verder geeft hij aan dat:

- de bovenstaande veranderingen duiden op verhoging van de hoeveelheid voor de planten direct opneembaar stikstof door de bekalking,
- negatieve effecten in het algemeen in oude opstanden groter zijn dan in jonge opstanden.

Aanvullingen

Diverse recente bronnen geven aanvullende informatie over de effecten van bekalking op de bodemvegetatie (hogere planten), op mossen en op de mycoflora.

Bodemvegetatie

Rasmussen et al (1994) stelt aan de hand van onderzoek in Denemarken (Klosterhede), Duitsland (Solling) en Nederland (Harderwijk, Kootwijk) vast het aantal soorten en de bedekking van de bodemvegetatie door bekalking aanzienlijk is toegenomen. Beon (2003) vond in open plekken (doorsnede van 30 m) in beukenbos in Solling, Duitsland, dat bekalking met dolomiet (3 ton/ha) dolomiet leidde tot de ontwikkeling van een veel dichtere, weelderigere bodemvegetatie. Bartsch et al (1999) stelden 9 jaar na bekalking in dit gebied een soortgelijk effect vast in oud beukenbos. Onderzoek van Wendt & Schmidt (2000) in 5 grove dennenopstanden in de Lunebergerheide (Duitsland) toonde aan dat de soortenrijkdom van de vegetatie hier 8 jaar na bekalking was toegenomen. Schuler (2002) stelt vast dat de variatie in de vegetatie door bekalking toeneemt als gevolg van verbetering van de humusvorm.

Andere onderzoekers nuanceren dit positieve beeld.

Schmidt (2002) rapporteert de resultaten van uitgebreid Duits onderzoek naar de lange termijn effecten van bekalking op de vegetatie. Dit onderzoek vond plaats in permanente plots in 20 verschillende onderzoeksgebieden en richtte zich op beuken-, eiken-, fijnspar- en grove dennenbos op verschillende bodemtypen. Na 10 jaar (1993) is de bekalking herhaald. De soorten-



rijkdom van de vegetatie (kruidlaag) nam door bekalking aanzienlijk toe, maar ook het aantal stikstofminnende soorten en niet-bosplanten nam toe. Deze effecten werden door herhaling van de bekalking niet versterkt, maar bleven stabiel.

Keersmaecker et al (2000) deden onderzoek naar de effecten van bekalking (3 ton/ha dolomiet) op de vegetatie in een kapvlakte in een grove dennenbos in Vlaanderen. Zij vonden ook hier een duidelijke toename van stikstofminnende plantensoorten. Ook stelden ze een afname vast van plantensoorten die kenmerkend zijn voor voedselarme omstandigheden.

Duliere et al (1999) zagen een soortgelijk effect in fijnspar en wintereikenbos op zure bodems in de Ardennen: na bekalking (5 ton/ha dolomiet) nam de soortenrijkdom van de bodemvegetatie toe, maar dit was het gevolg van toename van lichtminnende en stikstofminnende plantensoorten; soorten die ook te vinden zijn in kapvlakten en langs wegen.

Mindrup et al (1995) geven aan dat bekalking als maatregel tegen verzuring op basenrijke standplaatsen een positieve uitwerking op de vegetatie heeft, maar niet op voedselarme, zure standplaatsen met een mor-humusvorm.

Uit onderzoek van Van Dobben (1993) en Dobben & Vocks (1992) blijkt dat het effect van bekalking op de ondergroei verschilt met de hoogte van de stikstofdepositie uit de lucht (nu of in het verleden). Alleen bij hoge depositieniveaus van stikstof (zoals in de Nederlandse situatie het geval is) veroorzaakt bekalking een duidelijke toename van ruderaal soorten en soms ook van grassen.

Het algemene beeld dat volgt uit het onderzoek naar de effecten van bekalking op de bodemvegetatie is dat deze meestal soortenrijker en weelderiger wordt, maar dat vooral in voedselarme bossen met een hoge stikstofinput (uit de lucht, nu en/of in het verleden) de soorten die kenmerkend zijn voor (voedselarme) bosmilieus achteruitgaan ten koste van een toename van stikstofminnende soorten en niet-bossoorten. De veranderingen in de bodemvegetatie beginnen geleidelijk en blijven langdurig aanwezig. Ze zijn zichtbaar van enkele jaren tot enkele decennia na de bekalking.

Mossen

Mossen reageren aanzienlijk sneller op bekalking dan hogere planten. Duliere et al (1999) constateren op grond van onderzoek in een 65 jaar oude fijnsparopstand in het Hertogenwald (oost België) dat de zuurminnende mossoorten twee jaar na bekalking met dolomiet in aantal soorten en bedekking zijn afgenomen. De basen-neutrale en ruderaal mossoorten waren in deze periode toegenomen, evenals de mate waarin één soort tot dominantie kwam. De gemeten veranderingen waren sterker naarmate de dosis van de bekalking toenam. Soortgelijke effecten werden waargenomen in Belgische wintereikenbossen (Duliere et al 2000).

Mycoflora

Keizer (2003) geeft aan dat uit praktijkexperimenten niet duidelijk is gebleken dat paddestoelen van bekalking (en van correctief bemesten) profiteren. Doordat de bedekking aan kruidachtige planten na bekalking (en ook van bemesting) overwegend toeneemt en plekken met een hoge bedekking van deze bodemvegetatie doorgaans weinig paddestoelen bevatten, ziet hij de maatregel met het oog op paddestoelen als ongunstig.

Veerkamp et al (1997) onderzochten 5 jaar na bekalking de verandering van de mycoflora op dood liggend hout in Nederlandse grove dennenbossen op arme bodem. De totale soortenrijkdom van de mycoflora op het dode hout was toegenomen, maar de soortensamenstelling was verschoven. Het aantal soorten dat kenmerkend is voor naaldbos was afgenomen ten opzichte van het aantal indifferente soorten en het aantal voor loofbos kenmerkende soorten. Ze verwachten dat dit samenhangt met toename van de stikstofdynamiek.



Beon (2003) deed onderzoek naar veranderingen in de mate van voorkomen van mycorrhizas na bekalking (3 ton/ha dolomiet) in combinatie met groepenkap (doorsnede 30 m) in beukenbos (Solling, Duitsland). Bekalking leidde hier tot een hogere frequentie van aanwezigheid van mycorrhizas bij beukenzaailingen, vooral de *Laccaria amethystina* mycorrhizasoorten. Hij concludeert hieruit dat bekalking bij zure bodems nodig is voor een goede verjonging van beuk.

Bakker et al (2000) onderzochten het effect van bekalking op ectomycorrhiza bij eik in Franse en Nederlandse eikenbossen op arme bodems. Zij constateerden dat er geen af- of toename is van de dichtheid aan mycorrhiza, maar dat er wel duidelijke verschuivingen optreden in de soortensamenstelling van mycorrhizas. Het voorkomen van gladde mycorrhizasoorten nam af en dat van meer behaarde soorten nam toe. Deze verschuiving lijkt gunstig voor de symbiose met de boom, omdat de opnameoppervlakte van de mycorrhizas door de beharing toeneemt. Het opnameoppervlak van de boomwortels was ook toegenomen door een toename van de totale lengte aan fijne wortels.

Geissen et al (1998) analyseerden de aanwezigheid van bodemschimmels in een eikenhaag-beukenbos in Duitsland drie jaar na bekalking. Ze stelden een duidelijke toename van de mycoflora vast, die zowel gecorreleerd was aan de pH als aan de beschikbaarheid van calcium. De reactie op de maatregel was beter/duidelijker naarmate het verstoring van de voedingsstofhuishouding in de uitgangssituatie groter was.

Uit deze onderzoeken volgt een wisselend beeld van de effecten van bekalking op de mycoflora, van positief tot negatief. Voor mycorrhizasoorten is het effect neutraal tot positief. Het accent ligt op verschuivingen in de soortensamenstelling van de mycoflora. Het gaat bij deze onderzoeken vooral om effecten die betrekkelijk kort (enkele jaren) na uitvoering van de bekalking optreden.

Effecten mineralengiften

Onderzoek Van Tol

Op grond van Nederlandse proeven met toediening van fosfaat, kalium, magnesium (Van Dobben & Vocks 1992; Douwes & Kuyper 1992) geeft Van Tol (1995) aan dat:

- toediening van fosfaat tot een soortgelijk effect op de flora leidt als bekalking, maar dat dit effect wel minder sterk is,
- toediening van magnesium en kalium geen duidelijk effect heeft op de flora, maar dat vooral een magnesiumgift in een beperkt aantal opstanden wel lijkt te leiden tot toename van stikstofminnende planten.
- Het aantal soorten mycorrhiza-schimmels in oudere bossen één of enkele jaren na toediening van fosfaat licht afneemt.
- toediening van magnesium en kalium niet tot aantoonbare veranderingen in aanwezigheid van mycorrhiza-schimmels hebben geleid.
- toediening van fosfaat, kalium en magnesium niet tot aantoonbare veranderingen in aanwezigheid van saprotrofe (op dood materiaal levende) schimmels/paddestoelen hebben geleid.

Verder geeft hij aan dat:

- negatieve effecten in het algemeen in oude opstanden groter zijn dan in jonge opstanden.



Aanvullingen

Rehfuess (1990) geeft in zijn handboek aan dat bemesting die gericht is op het opheffen van gebreken, het aandeel kruidachtige planten in de bodemvegetatie verhoogt ten opzichte van het aandeel aan grassen. De N, P, Ca, en Mg kringloop in het ecosysteem wordt vooral door dicotyle kruiden geïntensiveerd. Zij hebben op hun beurt via hun hoge productie en gemakkelijk omzetbaar strooisel weer een positief effect op bodemmicro-organismen, strooiselafbraak en humusvorm. Dit sluit aan bij vroegere observaties van Van Goor en Westra (pers. meded.) in Drentse bossen. Zij zagen dat de successie hier sneller ging wanneer er tijdens de aanleg in de dertiger jaren (ruim) met compost bemest was. Daar is na 70 jaar een “natuurlijker” bosbeeld ontstaan met meer kruiden en struiken in de ondergroei dan in bossen waar geen compost toegediend is.

Nohrstedt (1994) beschrijft resultaten van onderzoek naar lange termijn effecten (26 jaar) van PK en NPK bemesting in 85 jaar oude grove dennenbossen in noord Zweden. Hier werd bemest met intervallen van 5 of 10 jaar (N: 720 kg/ha; P: 22 tot 380 kg/ha; K: 318 tot 620 kg/ha). Stikstofbemesting (N) leidde tot een duidelijke toename van vergrassing met bochtige smele, duidelijke afname van de aanwezigheid van korstmossen en tot een duidelijke afname van de soortenrijkdom van de bodemvegetatie. Bemesting met Fosfor en kalium (PK) leidde niet tot ingrijpende veranderingen in de bodemvegetatie: de bedekking van blauwe bosbes nam af, maar er waren geen veranderingen in de mate van vergrassing, aanwezigheid van korstmossen en soortenrijkdom.

Van Dobben et al (1992) bevestigen het grote negatieve effect van stikstofbemesting op de vegetatie op grond van onderzoek in proeven met bemesting van N, P, K, Mg, S en micronutriënten in grove dennenbossen in midden Zweden, 18 jaar na behandeling. Stikstofbemesting (N) leidde hier tot een duidelijke verschuiving van heideachtige soorten naar bochtige smele en ruderaal soorten. Zij stellen dat vergelijkbare veranderingen in bosondergroei in noordwest Europa eerder toegeschreven moeten worden aan atmosferische depositie van stikstof dan aan zure depositie. Over het effect van P, K, Mg, S en micronutriënten oordelen ze negatiever dan Nohrstedt (1994) doet. Ze geven aan dat dit effect tot op zekere hoogte hetzelfde is als dat van stikstof, maar wel veel zwakker. Volgens Van Dobben & Vocks (1992) neemt dit effect (toename grassendominantie en van ruderaal soorten) van de verschillende nutriënten op de ondergroei af volgens de reeks Ca, P, Mg, K.

In relatie tot stikstof geven Hogervorst et al (2003) op grond van experimenteel onderzoek aan, dat de groei en het voorkomen van schimmels (en ook van schimmeletende bodemdieren) in grove dennenstrooisel een duidelijk optimum heeft bij een matig hoog gehalte (ca. 1.5 – 1.8% N in het strooisel).

Fins experimenteel onderzoek door Setälä et al (1997) geeft voor grove dennenbossen aan dat bij (kunstmatige) afwezigheid van bodemfauna de biomassa van ectomycorrhiza schimmels in stikstofarme bodems maar liefst een factor tien hoger is dan in stikstofrijke bodems. Bij begrazing van de ectomycorrhizas door bodemfauna vonden zij dat het verschil in ectomycorrhiza biomassa onder natuurlijke omstandigheden veel kleiner was; de ectomycorrhiza biomassa was in de stikstofarme bodems echter nog altijd beduidend hoger dan in stikstofrijke bodems. Door begrazing van wortels met ectomycorrhiza door bodemfauna nam de boomgroei af (minder bovengrondse biomassa). Interessant was dat bij stikstofbeperking de gemiddelde fosforconcentraties in de naalden hoger waren. Bij stikstofovermaat was er juist P-gebrek. Dit past bij het minder voorkomen van ectomycorrhiza in stikstofrijke omstandigheden (ectomycorrhiza bevordert opname van fosfor door boomwortels). In Nederland hebben we te maken met stikstofovermaat, dus naar verwachting weinig ectomycorrhiza.

Geissen et al (1998) analyseerden de aanwezigheid van bodemschimmels in een eikenhaagbeukenbos in Duitsland drie jaar na bemesting met P en K. Ze stelden een toename van de



mycoflora vast, al was deze minder groot dan na bekalking. De toename ging samen met een positieve correlatie met het gehalte aan de mobiele nutriënten Mg, K en P en met een negatieve correlatie met Al en de zware metalen Zn, Mn, Cd, Pb. De reactie op de maatregel was beter/duidelijker naarmate de voedingsstoffenhuishouding in de uitgangssituatie meer uit balans was.

Uit het onderzoek naar de effecten van giften van de nutriënten fosfor, magnesium en kalium op de flora volgt dat deze effecten beperkt zijn, zowel op korte als lange termijn. Ze zijn veel geringer dan de (negatieve) effecten van hoge stikstofinput en ook duidelijk minder ingrijpend dan de effecten van bekalking. De mate van beïnvloeding neemt af in de sequentie fosfor, magnesium, kalium. Het soort effect op de vegetatie wordt wisselend beoordeeld, van positief (Rehfuess 1990; Geissen et al 1998) tot neutraal (Nohrstedt 1994) en licht negatief (Van Dobben et al 1992).

3.4 Bodemfauna

Algemeen

De fauna in en op een bosbodem is een complex geheel. Deze bestaat uit vele verschillende diergroepen. De diverse taxonomische groepen worden veelal ingedeeld naar grootte (microfauna, mesofauna, macrofauna) en naar functie/voedsel (functionele groepen: planteneters *phytofagen*; strooiseleTERS *saprofagen*; schimmel-/microfloraeters *microphytofagen/mycofagen*; roofdieren/parasieten *zoöfagen*). Daarnaast is de samenstelling van de bodemfauna per bodemlaag verschillend. Tabel 1 geeft een voorbeeld van het voorkomen van diverse groepen bodemdieren, ingedeeld naar taxonomie, grootte en functie/voedsel (Schaefer 1996, 2002).

Berg et al (1998) deden onderzoek naar abundantie, biomassa en microstratificatie van verschillende functionele groepen bodemdieren (micro- en mesoarthropoden; Acari, Araneae, Collembola) in organische lagen in een grove dennenbos bij Wekerom (Nederland). Ze stelden vast dat elke organische laag zijn eigen, kenmerkende soortensamenstelling van bodemdieren heeft, die in de tijd verandert met successie en ontwikkeling van het humusprofiel. Ook vonden ze dat het zwaartepunt van de hoeveelheid bodemdieren duidelijk in deze organische lagen ligt, en bij de meeste functionele groepen in de bovenste sublagen hiervan. Het onderzoek toont aan dat soortenrijkdom van bodemfauna gerelateerd is aan humusprofiel, vegetatie en bodemchemische eigenschappen. Een sterke toename van bedekking van bochtige smele bleek bijvoorbeeld te leiden tot sterke afname van de hoeveelheid bodemdieren. Zowel de chemie als de omzettingssnelheid van organische stof hebben een belangrijk effect op de voedingsstoffenvoorziening en op de samenstellingen en aantallen van bodemfauna.

Faber (1992) stelt aan de hand van onderzoek naar Collembola (springstaarten, planteneters) in Oostenrijkse dennenbosvast dat het concept 'functionele groepen' bij bodemdieren niet optimaal is voor het beschrijven van het effect van ecosysteemprocessen. Hij geeft aan dat het effect op de diverse soorten binnen één functionele en taxonomische groep zeer verschillend kan zijn. Daarom introduceert hij het concept 'league'. Een 'league' is een groep bodemdieren die op eenzelfde manier eenzelfde voedselbron exploiteert. Per league vindt Faber wel goede relatie met processen in en het ecologisch functioneren van de bodem.



Tab. 1: Übersicht über Artenzahl (S), mittlere jährliche Populationsdichte (N, Individuen pro m²) und mittlere jährliche Biomasse (B, mg Trockenmasse pro m²) der Bodenfauna in den Buchenwäldern Göttinger Wald (mit Mullboden) und Solling (mit Moderboden). Modifiziert nach Schaefer und Schauermann (1990).

Tiergruppe	Göttinger Wald			Solling		
	S	N	B	S	N	B
Mikrofauna						
Flagellata	?	2.7 · 10 ⁹	54	?	?	?
Amoebina	?	3.5 · 10 ⁹	1,133	?	?	?
Testacea	65	84 · 10 ⁶	343	51	57 · 10 ⁶	256
Turbellaria	3	859	8	3	1,882	4
Nematoda	65	732,000	146	90	3 · 10 ⁶	65
Rotatoria	13	4,893	5	?	?	?
Tardigrada	4	4,207	4	?	41	9
Harpacticoida	?	3,873	2	1	3,300	0.6
Saprophage und mikrophytophage Mesofauna						
Enchytraeidae	36	22,300	600	15	108,000	1,640
Cryptostigmata	75	22,445	241	72	101,810	195
Uropodina	11	1,971	19	4	1525	?
Symphyla	2	57	?	1	?	?
Diplura	?	161	?	>1	277	?
Protura	?	2,481	?	>1	278	?
Collembola	48	37,835	153	50	63,000	246
Zoophage Mesofauna						
Gamasina	80	3,151	50	53	10,800	397
Saprophage Makrofauna						
Gastropoda	30	120	430	4	0	0
Lumbricidae	11	205	10,700	4	19	168
Isopoda	6	286	93	0	0	0
Diplopoda	6	55	618	1	0	0
Elateridae	11	37 ¹⁾	104 ¹⁾	4	332 ¹⁾	706 ¹⁾
Diptera	299	2843 ¹⁾	161 ¹⁾	?	7415 ¹⁾	628 ¹⁾
Zoophage Makrofauna						
Araneida	102	140	47	93	462	173
Pseudoscorpionida	3	35	16	2	89	10
Opilionida	8	19	11	4	20	6
Chilopoda	10	187	265	7	74	155
Carabidae	24	5	144	26	7	93
Staphylinidae	85	103	76	117	314	180

? = nicht untersucht; 0 = nicht vorhanden; ¹⁾ = Larven.

Tabel 1: Voorbeeld van het voorkomen van diverse groepen bodemdieren, ingedeeld naar taxonomie, grootte en functie/voedsel (Schaefer 2002).



Effecten bekalking

Onderzoek Van Tol

In zijn literatuurstudie geeft Van Tol (1995) op grond van Nederlandse bekalkingsproeven met dolokaal uit eind jaren 80 en begin jaren 90 in St. Anthonis en Harderwijk (Muilwijk 1993; Grave-land et al 1994; Dekker 1989; Manger & Schouten 1989) aan dat er bij bekalking:

- verschuivingen plaatsvinden in soorten en aantallen loopkevers: bossoorten nemen af en storingssoorten nemen toe. Deze verschuivingen zijn sterker naarmate de bekalkingsdosering toeneemt.
- een positief effect optreedt op de aantallen kleine slakken en daarmee indirect op het broedsucces van kleine zangvogels.
- Geen ingrijpende veranderingen plaatsvinden in de nematodenfauna en in de hierbinnen onderscheiden voedselgroepen.

Verder geeft hij aan dat uit Duits onderzoek is gebleken dat toepassing van poedervormige kalk in het groeiseizoen leidt tot sterk verhoogde sterfte bij insecten (vooral bij bijen en mieren). Toediening van kalk buiten het groeiseizoen en in korrelvorm voorkomt dit negatieve effect.

Aanvullingen

Bodemfauna algemeen

Ook Persson (1988) deed een literatuuronderzoek naar effecten van bekalking op bodemdieren. Op grond hiervan concludeert hij dat bekalking de bodemfauna soms direct beïnvloed door verhoging van pH of Ca-beschikbaarheid, maar vaak ook indirect via veranderingen in beschikbaarheid van voedsel en/of veranderingen in concurrentieverhoudingen. Op korte termijn vond hij meestal een positief effect op de dichtheid van Nematoda (aaltjes); op lange termijn vooral op Lumbricidae (regenwormen), Isopoda (pissebedden) en waarschijnlijk op Chilopoda (duizendpoten) en Gastropoda (slakken). Voor andere diergroepen, zoals bepaalde Collembola (springstaarten), Oribatida/Cryptostigmata (mijten), Enchytraeidae soorten (potwormen) en Amoebina is afname waargenomen na bekalking. Persson (1998) geeft aan dat er over de effecten van bekalking in de 80er jaren nog veel onbekend was, met name over de effecten op Protozoa (ééncelligen), Mollusca (weekdieren) en macro-arthropoda (geleedpotigen) en over de effecten van verschillende doseringen en op verschillende termijnen.

Judas (2002) deed in Duitsland uitgebreid onderzoek naar middellange termijn effecten van bekalking op de bodemmacrofauna. Hij onderzocht de effecten van drie soorten kalkgiften (carbonaatkalk en twee typen silicaatkalk) in bossen van grove den, eik, beuk en fijnspar via monsters uit de organische bovengrond en uit de bovenste 10 cm van de minerale bodem. Hij deed dit onderzoek gemiddeld 10 jaar na de bekalking. De bekalking zorgde voor de meeste aanwezige macrofaunagroepen voor een verschuiving naar diepere bodemlagen. Effecten verschilden verder sterk per diergroep en ook per type kalk en boomsoort. Er was over het algemeen geen effect op Araneae (spinnen), Pseudoscorpionida en Chilopoda (duizendpoten; allen zoöfagen). Gastropoda (slakken) en Isopoda (pissebedden; beide saprofagen) namen na bekalking alleen in beukenbos toe. Lumbricidae (regenwormen) en Diplopoda (miljoenpoten; beide saprofagen) namen meestal toe in bekalkte plots. Bekalking met carbonaatkalk leidde tot een afname van de hoeveelheid larven van Elateridae (saprofagen).

Deleporte & Tillier (1999) vonden 22 jaar na bekalking (calciumcarbonaat) van beukenbos op zure bodem in Bretagne (Frankrijk) in vergelijking met referentieplots nog duidelijke veranderingen in de bodemfauna. In de bekalkte plots waren het aantal en de dichtheid van Lumbricidae (regenwormen) en Pseudoscorpionida hoger. Ook waren er door de bekalking verschuivingen in aantallen en diversiteit opgetreden tussen verschillende met bodemeigenschappen samenhangende (edaphische) groepen. De aantallen en diversiteit dan Collembola (springstaarten) en Oribatida/Cryptostigmata (mijten) waren onveranderd.



In aansluiting bij het bovenstaande stelt ook Schuler (2002) dat bekalking veranderingen in interspecifieke concurrentieverhoudingen tussen bodemfaunagroepen veroorzaakt, waardoor er verschuivingen optreden in de mate van voorkomen van verschillende groepen.

Geissen & Brummer (1999) onderzochten de effecten van bekalking (in verschillende hoeveelheden) op de bodemfauna in relatie tot de bodemchemische eigenschappen in eikenhaagbeukenbos in Duitsland. Zij stelden vast dat na bekalking de aantallen en activiteit van de bodemdieren toenamen, met een optimum bij een kalkgift van 6 ton dolomiet/ha. Ook namen ze waar dat de aantallen en activiteit van de bodemdieren afnamen met de diepte in de bodem. In de Ah-horizon was de activiteit van bodemdieren positief gecorreleerd met de pH en met de concentratie mobiel calcium.

Eisenbeis et al (1996) onderzochten de biologische activiteit en de bodemfauna 5 jaar na bekalking met verschillende kalkmeststoffen in fijnspar- en grove dennenbos in Duitsland. De behandelingen leidden in alle gevallen tot een hogere biologische activiteit.

Huhta et al (1986) deden onderzoek naar de effecten van bekalking op de bodemfauna in Finse naaldbossen. Zij vonden dat effecten van bekalking op de bodemfauna pas geleidelijk, na enkele jaren begonnen op te treden. Deze effecten bestonden uit verschuivingen in de bodemfauna samenstelling. Op de rijkere bodemtypen namen vooral de aantallen en de biomassa van Lumbricidae (regenwormen) sterk toe. De onderzoekers stelden een parallel vast tussen een geleidelijke verandering van de pH van de bodem en van de samenstelling van de bodemfauna. Wel geven ze aan dat de effecten van pH en nutriëntenvoorziening op de bodemdieren voornamelijk indirect zijn.

Arnold (1989) beschrijft de resultaten van heropname in 1987 van (onbehandelde!) humusprofiel- en bodemfaunaopnamen uit 1959 in een eikenbosje in de Achterhoek (Hackfort; Minderman 1982). In 1959 was hier een gradiënt van basisch (met mull-humusvorm) naar zuur (met mor-humusvorm) aanwezig. Uit dit onderzoek blijkt dat de bodems in tussenliggende 28 jaar verzuurd zijn. Door deze *verzuring* zijn de verschillen tussen de aanwezige humusvormen en de aanwezige bodemfauna sterk afgenomen. Er is dus sprake van een sterke afname in de ruimtelijke diversiteit. De verzuring en de daarmee gepaard gaande accumulatie van strooisel is samengegaan met toename van de hoeveelheid Acari (mijten) en Collembola (springstaarten) en met sterke afname van de rol van grotere bodemdieren zoals Lumbricidae (regenwormen) en Diplopoda (miljoenpoten). Binnen de nader onderzochte groep van de Oribatida (mosmijten) had een duidelijke verschuiving in de soortensamenstelling plaatsgevonden.

Specifieke faunagroepen

Martin & Sommer (2004) deden onderzoek naar effecten van pH en Calciumbezetting op de totale dichtheid en soortenrijkdom van Gastropoda (slakken) in bossen. Zij voerden hun onderzoek uit op 83 locaties in Baden-Württemberg (zuidwest Duitsland) en vergeleken hun resultaten met onderzoek uit zuid Scandinavië. Ze concluderen dat in bossen op droge bodems de aantallen en dichtheden van slakken altijd laag zijn en dat deze onafhankelijk zijn van de pH. In vochtige en natte bossen zijn er wel pH effecten, maar deze vertonen geen duidelijke trend. Verschillende soorten vertonen verschillende reacties op pH- veranderingen.

Pfadenhauer et al (1997) onderzochten effecten van bekalking op Collembola (springstaarten) in loof- en naaldbos bij Bonn (Duitsland). Ze vonden geen effect van de maatregel op de dichtheid en samenstelling van de Collembola-fauna; de dominantie van verschillende soorten varieerde over de plots en over de behandelingen (inclusief nulbehandeling).



Holscher et al (1999) en Geissen et al (1997, 1998) onderzochten effecten van bekalking op Lumbricidae (regenwormen) in Duitse bossen. Holscher et al (1999) deden dit in Beukenbos in Hochsauerland dat in 1958 bekalkt is met gemiddeld 9 ton/ha (onregelmatig verdeeld). Zij stelden vast dat bekalking op langere termijn heeft geleid tot toename van diverse regenwormsoorten, waaronder *Lumbricus terrestris*, die belangrijk is voor bioturbatie. Geissen et al (1997, 1998) deden hun onderzoek in eiken-haagbeukenbos en fijnsparbos in het Benedenrijngebied. Zij constateerden 2 jaar na bekalking (Geissen et al 1997) een duidelijke toename van de hoeveelheid (abundantie) regenwormen, vooral bij 3 en 12 ton dolomiet in het eiken-haagbeukenbos. In het fijnsparbos was de toename in aantallen beperkt, waarbij de dichtheid aan regenwormen gedurende de onderzoeksperiode sterk fluctueerde. In het eiken-haagbeukenbos stelden ze ook na drie jaar een toename van de biomassa aan regenwormen vast (Geissen et al 1998). Ze vonden een duidelijke positieve relatie met de pH en de gehalten aan mobiel calcium.

Mindrup et al (1995) geven aan dat beschermingswaardige (zuurminnende of -tolerante) bodemdiergroepen, bijvoorbeeld mieren (Hymenoptera, vliesvleugeligen), negatief beïnvloed zouden kunnen worden door bekalking via direct lichaamscontact. Op grond van hun onderzoekservaring bevelen ze toepassing van grofkorrelige kalk in de winterperiode aan. Daarmee worden dergelijke negatieve effecten van toediening in het groeiseizoen geminimaliseerd.

Uit het bovenstaande volgt dat bekalking door veranderingen in bodemeigenschappen meestal leidt tot aanzienlijke verschuivingen in de samenstelling van de bodemfauna. De effecten beginnen meestal binnen enkele jaren geleidelijk op te treden en kunnen langdurig (ten minste enkele decennia) in stand blijven. Door het grote aantal verschillende groepen bodemdieren, de grote verschillen in reactie van verschillende diergroepen en van soorten binnen elke diergroep en de grote diversiteit aan bodemkundige omstandigheden zijn geen harde uitspraken te doen over een gemiddeld totaaleffect van bekalking op de diversiteit van de bodemfauna. De bovenstaande studies laten zowel positieve als neutrale en negatieve effecten zien. De tendens is overwegend een netto toename van de dichtheid en activiteit van bodemdieren na bekalking. Faunagroepen die gebonden zijn aan een (ectorganische) strooisellaag, zoals springstaarten en mijten, nemen door bekalking overwegend af, terwijl de rol van grotere bodemdieren zoals regenwormen, pissebedden en miljoenpoten meestal juist toeneemt.

Effecten mineralengiften

Onderzoek Van Tol

Over de effecten van toediening van de mineralen fosfaat, kalium en magnesium op de bodemfauna geeft Van Tol (1995) geen informatie.

Aanvullingen

Bodemfauna algemeen

Ook in de recentere literatuur zijn vrij weinig gegevens te vinden over positieve of negatieve effecten van fosfaat-, kalium- en magnesiumgiften op de bodemfauna. Gegevens uit praktijkproeven zijn afkomstig uit experimenten waarbij de giften van deze nutriënten zijn gecombineerd met bekalking. Hierdoor is alleen het gecombineerde effect van bekalking en mineralengiften gemeten.

Geissen & Brummer (1999) onderzochten de effecten van P en K bemesting, uitgevoerd in combinatie met bekalking, op de bodemfauna in relatie tot de bodemchemische eigenschappen in eiken-haagbeukenbos in Duitsland. Zij stelden vast dat de aantallen en activiteit van de bodemdieren het meest toenamen bij een combinatie van een kalkgift met een P- en K-gift. In de



Ah horizon was de activiteit van bodemdieren positief gecorreleerd met K, en ook met Mg. Er was een negatieve correlatie met mobiele concentraties van Al en zware metalen. De onderzoeksresultaten geven aan dat de P en K bemesting een positief (op kalkgift aanvullend) effect heeft gehad op de bodemfauna. De onderzoekers geven aan dat een gebalanceerde nutriëntenhuishouding leidt tot een toename van aantallen en activiteit van bodemdieren.

Het bovenstaande sluit aan bij Rehfuss (1990), die beschrijft dat correctieve bemesting via het opheffen van gebreken en stimulering van vegetatieontwikkeling de N-, P-, Ca-, en Mg-kringloop intensiveert, en hierdoor een positief effect heeft op bodemmicro-organismen.

Specifieke faunagroepen

Pfadenhauer et al (1997) deden onderzoek naar de effecten van P- en K-bemesting, uitgevoerd in combinatie met bekalking, op Collembola (springstaarten) in loof- en naaldbos bij Bonn (Duitsland). Ze vonden geen effect van de maatregel op de dichtheid en samenstelling van de Collembola-fauna.

Geissen et al (1997, 1998) onderzochten effecten van P en K bemesting, uitgevoerd in combinatie met bekalking, op Lumbricidae (regenwormen) in eiken-haagbeukenbos en fijnsparbos in het Benedenrijngebied (Duitsland). Ze stelden vast dat de extra toename van de hoeveelheid (abundantie) regenwormen door P en K bemesting (bovenop het positieve effect van bekalking) 2 jaar na uitvoering van de maatregel beperkt was, maar dat deze groter was naarmate de verstoring van de voedingsstoffenhuishouding (gebreken en/of overschotten aan voedingsstoffen) in de uitgangssituatie duidelijker was. Voor het eiken-haagbeukenbos onderzochten ze de relatie van de biomassa aan regenwormen met diverse voedingsstoffen (Geissen et al 1998). Ze vonden een duidelijke positieve relatie met de gehalten aan mobiel K, P en Mg, evenals een duidelijke negatieve met Al en de ware metalen Zn, Mn, Cd, en Pb.

Doordat de hoeveelheid beschikbare gegevens over het effect van fosfaat-, kalium- en magnesiumgiften op de bodemfauna beperkt is, is het moeilijk om hier een scherp beeld van te krijgen. De bovenstaande studies laten een overwegend neutraal tot licht positief effect van fosfaat- en kaliumgiften op de bodemfauna zien in situaties waarbij deze mineralen worden toegediend in combinatie met bekalking. Over de effecten van een magnesiumgift zijn geen gegevens gevonden. In algemene zin geldt dat herstel van een gebalanceerde nutriëntenhuishouding leidt tot toename van de aantallen en de activiteit van bodemdieren, zowel op korte als lange termijn.

Effecten stikstofbemesting

Stikstofbemesting is niet aan de orde in het kader van de EGM. Integendeel: de verhoogde stikstofdepositie vanuit de lucht verstoort juist de nutriëntenbalans in de bodem en vormt daarmee een beweegreden voor het in EGM-kader toedienen van kalk/nutriënten. Het is in dit verband echter wel interessant iets meer te weten over het effect dat verhoogde stikstofaanvoer (vanuit de lucht) heeft op de bodemfauna.

Setälä et al (1997) stellen aan de hand van experimenteel onderzoek voor Finse grove dennenbossen vast dat de variatie en de abundantie van de bodemfauna-gemeenschap in stikstofarme bodems groter is dan in stikstofrijke bodems. De bodemfauna in stikstofrijke bodem bevatte over het algemeen minder Nematoda (nematoden) en Enchytraeidae (potwormen) en meer Acari (mijten).

De bevindingen van Setälä et al (1997) zijn in lijn met die van Huhta et al (1986), die onderzoek deden naar de korte termijn effecten van stikstofbemesting op de bodemfauna in Finse naaldbossen. De stikstofbemesting leidde in korte tijd tot duidelijke veranderingen in de samenstelling van de bodemfauna. De veranderingen namen toe met toename van de N doses en waren het grootst bij toepassing van ammoniumnitraat. Bij doses van 150 tot 200 kg N per ha traden er significante veranderingen op bij Nematoda (aaltjes), Enchytraeidae (potwormen) en Coleop-



tera. Nadat drie jaar achter elkaar 480 kg N (ammoniumnitraat) was toegediend traden ook significante veranderingen op in microarthropoden (geleedpotigen). De meeste veranderingen die ze waarnamen gingen samen met een sterke afname van aantal soorten en aantallen per soort. Enkele soorten of soortengroepen namen juist explosief in aantal toe. Deze pieken duurden maar kort (enkele maanden). Na de behandeling herstelden de bodemfaunagroepen zich weer geleidelijk. De duur van het herstel wisselde per diergroep, maar na vier jaar (waarin de stikstofverzadiging van de bodem weer terugliep) waren alle populaties weer op peil. In Nederland verwachten we deze herstelfase niet door de voortgaande stikstofdepositie.

Hogervorst & Verhoef (2003) concluderen op grond van experimenteel onderzoek dat de groei en het voorkomen van schimmelende bodemdieren in grove dennenstrooisel een duidelijk optimum heeft bij een matig hoog N-gehalte (ca. 1.5 – 1.8% N).

Lindberg & Persson (2004) deden onderzoek naar effecten van 13 jaar lange intensieve bemesting met stikstof op de bodemfauna (Oribatida/Cryptostigmata, Mesostigmata, Collembola, predatore macroarthropoden) in noord-Zweedse fijnsparbossen. Deze intensieve bemesting veroorzaakte grote verschuivingen in de soortensamenstelling, maar de soortenrijkdom leek niet te veranderen.

Delporte & Tillier (1999) deden onderzoek naar lange termijn effecten (22 jaar) van bemesting met stikstof (ammoniumnitraat) en NPKCa (en ook bekalking) op de bodemfauna (en humusvorm) in beukenbos op zure bodem in Bretagne (Frankrijk; zie ook figuur 2). Voor NPK-bemesting in combinatie met bekalking vonden ze hetzelfde effect op de bodemfauna als voor bekalking zonder deze bemesting. Alleen stikstofbemesting (ammoniumnitraat) leidde niet tot vergelijkbare effecten. Het leidde tot afname van de hoeveelheid Oribatida/Cryptostigmata (mijten) en Collembola (springstaarten). De onderzoekers wijten deze afname aan het verzurende effect van deze stikstofbemesting. Voor de Nederlandse situatie zou dit kunnen betekenen dat bekalking van verzuurde, met stikstof verzadigde bossen negatieve effecten van vermesting/verzuring op bodemfaunagroepen langdurig zou kunnen verminderen of herstellen.

Uit het bovenstaande volgt dat sterk verhoogde stikstofinput zoals we die in Nederland kennen leidt tot grote verschuivingen in de samenstelling van de bodemfauna. De bovenstaande studies laten vooral (niet altijd) negatieve effecten zien in de zin van afname van de diversiteit van de bodemfauna. Wanneer het stikstofniveau in de bodem terugloopt, kan de bodemfauna zich snel herstellen (binnen enkele jaren). Bekalking kan mogelijk een langdurige bijdrage leveren aan vermindering van de negatieve effecten van stikstofverzadiging op de bodemfauna.



4. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In dit hoofdstuk bespreken wij de effecten van bekalking en mineralengiften op bodem, flora en bodemfauna aan de hand van de in hoofdstuk 3 beschreven literatuurgegevens. Dit deelrapport A3.1 vormt één onderdeel van de evaluatie van de gevolgen voor bodem, flora en bodemfauna van de maatregel bekalking en toevoegen van nutriënten. Het andere deel is het veldonderzoek waarvan in 2005 ook een rapport zal verschijnen (Deelrapport A3.2). De gezamenlijke eindconclusies zullen worden opgenomen in het eindrapport (najaar 2005).

4.1 Bodemontwikkeling

Effecten bekalking en mineralengiften

Bij bodems waarin sprake is van een verstoorde voedingsstoffenbalans, leidt een op maat gegeven bekalking en/of mineralengift tot een aanzienlijke verbetering van de bosteeltkundige mogelijkheden omdat de tekorten aan groei limiterende voedingsstoffen worden opgeheven. Bekalking werkt de eerste jaren geleidelijk door in de bodem. Bij voldoende dosering zijn de effecten van bekalking op de bodem vaak na 20 tot 30 jaar nog merkbaar.

Door de grote complexiteit van het systeem bosbodem is het moeilijk om een bekalking en/of mineralengift goed op het substraat af te stemmen. Bovendien reageren bosbodems per type bosesysteem vaak verschillend. De combinatie van de groeiplaatsfactoren met het al dan niet op maat uitvoeren van een bekalking en/of mineralengift is van beslissende betekenis voor de mate waarin en de lengte van de periode waarover gewenste en minder gewenste effecten op bomen, bodem, flora en fauna optreden.

Bekalking geeft over het algemeen een betere humusvorm. Een mor-humusvorm kan overgaan in een moder- of mull-humusvorm en de organische horizont kan veel dunner worden of verdwijnen.

De toegenomen mineralisatie van humus leidt in bepaalde situaties tot enige verrijking (eutrofiëring), ook al worden de mineralen opgenomen in de biologische kringloop. Dit gebeurt vooral wanneer bekalking samengaat met verhoogde stikstoftoevoer of met stikstofverzadiging van de bodem, een situatie die op vrijwel alle Nederlandse bossen van toepassing is.

Bij voorzichtige dosering leidt bekalking meestal niet of nauwelijks tot uitspoeling van nutriënten. Nitrificatie als gevolg van pH-verhoging door bekalking zou echter kunnen leiden tot verhoogde uitspoeling van nitraat wanneer dit samengaat met een hoge stikstofvoorraad in de bodem (wat in het Nederlandse bos meestal het geval is). Doordat het meeste nitraat in het bosesysteem wordt opgenomen is het risico van nitraatuitspoeling ook in deze situatie beperkt. Dit risico is groter bij bekalking in combinatie met groeps- of vlaktegewijze vellingen.

Hoewel ook door mineralengiften (fosfor-, kalium en/of magnesium) de nutriëntensamenstelling van de bodem verandert, leidt dit niet tot sterke abiotische veranderingen, zoals humusafbraak. De effecten op de bodem zijn dus minder uitgesproken dan bij bekalking.



4.2 Flora

Effecten bekalking

Mede door de betere humusvorm, neemt de bedekking en de soortenrijkdom van de kruidlaag vaak toe na bekalking. De veranderingen in de kruidlaag beginnen geleidelijk en blijven langdurig aanwezig. Ze zijn zichtbaar van enkele jaren tot enkele decennia na de bekalking. In arme milieus, bijvoorbeeld bij bodems met een mor-humusvorm, zijn de veranderingen door de bekalking het sterkst. De meeste Nederlandse bossen staan op dergelijke arme groeiplaatsen. Met name als er veel stikstofdepositie is – zoals in de Nederlandse situatie het geval is – nemen soorten die kenmerkend zijn voor voedselarme bossen na bekalking af en nemen stikstofminnende soorten en niet-bossoorten toe. Het negatieve effect van bekalking is echter aanzienlijk kleiner dan dat van stikstofdepositie. Deze leidt tot een sterke toename van vergrassing en ruderalisering.

Mossen reageren snel en sterk op bekalking. Basen-neutrale en ruderaal mossen nemen al binnen één of twee jaren sterk toe ten koste van soorten van zure milieus. Dit effect blijft naar verwachting, net als dat op hogere planten, lang aanwezig. Over de duur van dit effect zijn echter geen gegevens gevonden.

De effecten van bekalking op de mycoflora zijn wisselend. Het accent ligt op verschuivingen in de soortensamenstelling. De effecten zijn vastgesteld voor de korte termijn, tot enkele jaren na uitvoering van de bekalking. Over de lange termijn effecten zijn weinig gegevens gevonden. Door de toegenomen stikstofdynamiek, nemen bij de paddestoelen indifferente soorten overwegend toe (dus de minder bijzondere soorten). Ontwikkeling van een dichtere kruidlaag door bekalking lijkt in verband met concurrentie naar verwachting ongunstig voor paddestoelen, maar verhoging van de pH en de beschikbaarheid van calcium blijkt juist gunstig uit te pakken voor de mycoflora. In Duitsland is na bekalking door een betere mycorrhizabezetting op wortels van jonge beuken soms een succesvollere natuurlijke verjonging aanwezig. Bij volwassen bomen is de worteldichtheid na bekalking hoger en zijn er meer mycorrhizasoorten aanwezig met een behaarde schimmelmantel rond de fijne wortels. Dit zou een betere nutriëntopname kunnen betekenen.

Effecten mineralengiften

Giften van de nutriënten fosfor, magnesium en kalium hebben een minder uitgesproken effect op de flora dan bekalking, waarbij fosforbemesting nog het meeste invloed heeft. De effecten zijn ook veel geringer dan de negatieve effecten van een hoge stikstofinput. Hoge stikstofinput leidt onder andere tot sterke dominantie van grassen en minder voorkomen van ectomycorrhiza. Effecten van stikstofinput en nutriëntengiften op de flora treden al snel op (snellere doorwerking dan bij bekalking) en zijn langdurig (decennia).

De inschattingen van de diverse auteurs over het soort effect dat de nutriëntengiften op de vegetatie hebben lopen uiteen van positief tot negatief. Door herstel van een onbalans tussen nutriënten, kan een goed gedoseerde bemesting leiden tot betere nutriëntenkringlopen en betere humusvormen in het bos, en hierdoor een beter ontwikkelde kruidlaag. Deze kruidlaag kan wel meer stikstofminnende soorten bevatten. In de Nederlandse situatie domineert de negatieve invloed die de hoge stikstofdepositie heeft dusdanig, dat de flora en vegetatie niet of nauwelijks veranderen wanneer deze stikstofdepositie wordt gecombineerd met EGM-nutriëntengiften.



4.3 Bodemfauna

De bodemfauna bevindt zich met name in de organische horizonten en in de bovenste, organische stofrijke lagen van de minerale bodem. Omdat de bodemfauna uit veel verschillende soortengroepen bestaat, zijn er complexe verbanden met bekalking en bemesting. Er zijn veel interacties met het humusprofiel, de vegetatie en de bodemchemie. Een voorbeeld van interactie met de vegetatie is de verarming van de bodemfauna bij toename van de bedekking van bochtige smele.

Effecten bekalking

Bekalking leidt tot aanzienlijke verschuivingen in de samenstelling van de bodemfauna. De effecten beginnen meestal geleidelijk, na enkele jaren, op te treden en kunnen langdurig (enige decennia) in stand blijven.

Deze veranderingen zijn echter niet goed te waarderen als een gemiddeld positief dan wel negatief totaaleffect op de diversiteit van de bodemfauna. De reacties van verschillende diergroepen en ook van verschillende soorten binnen één bepaalde diergroep zijn vaak tegengesteld en de reacties hangen nauw samen met verschillen in bodemkundige omstandigheden die in de uitgangssituatie aanwezig zijn. Ook is er nog altijd veel onbekend over de complexe reacties van de zeer diverse bodemfauna op veranderende ecosysteefactoren. Uitgebreid onderzoek hiernaar heeft meestal meer nieuwe vragen dan antwoorden opgeleverd.

De onderzochte literatuur bevat zowel voorbeelden van positieve als neutrale en negatieve effecten. Soms is een toename van storingssoorten en afname van bossoorten waargenomen. In ander onderzoek is een toename gevonden van de dichtheid aan nematoden, wormen, pissebedden, duizendpoten en slakken. Daarbij is niet bekend of het aantal storingssoorten is toegevoegd. In Duitsland vond men als langetermijneffect van bekalking dat bodemmacrofauna dieper in de bodem gevonden werd.

De tendens is overwegend een netto toename van de dichtheid en activiteit van bodemdieren door bekalking. Faunagroepen die gebonden zijn aan een (ectorganische) strooisellaag, zoals springstaarten en mijten, nemen door bekalking overwegend af, terwijl de rol van grotere bodemdieren zoals regenwormen, pissebedden en miljoenpoten meestal juist toeneemt en er hierdoor vaak meer bioturbatie optreedt.

In de Nederlandse situatie wordt bekalking overwegend uitgevoerd in arme bossen (morhumus) waarin sprake is van hoge stikstofinput en bodemverzuring. Verhoogde stikstoftoevoer heeft in de meeste situaties een duidelijk negatief effect op de diversiteit van de bodemfauna. Bekalking lijkt in deze met stikstof verzadigde, verzuurde bodems de negatieve effecten van de stikstofbemesting op de bodemfauna langdurig te verminderen of herstellen. Nader onderzoek is echter nodig om dit te verifiëren. Daarbij moet vooral naar de beste indicatoren van ecosysteemkwaliteit worden gekeken.

Direct lichaamscontact met poedervormige kalk is zeer ongunstig voor insecten, bijvoorbeeld bijen en mieren. Door korrelvormige kalk toe te passen in het winterseizoen wordt deze negatieve uitwerking op insecten voorkomen.

Effecten mineralengiften

De hoeveelheid gegevens over het effect van fosfaat-, kalium- en magnesiumgiften op de bodemfauna is beperkt. De effecten lijken minder groot dan die van bekalking. In de beschikbare



literatuur is met name het gecombineerde effect van bekalking en het toedienen van mineralen onderzocht. Het extra-effect (ten opzicht van alleen bekalking) van kalium,- en fosforgiften op de bodemfauna is overwegend neutraal tot licht positief. Regenwormen kunnen toenemen na bemesting met kalium en fosfor. Het effect op springstaarten lijkt niet groot. Over de effecten van een magnesiumgift zijn geen gegevens gevonden.

Wanneer door de mineralengift een ongebalanceerde nutriëntenhuishouding wordt hersteld, wordt een toename van de aantallen en de activiteit van bodemdieren verwacht, zowel op korte als op de lange termijn. Deze situatie is van toepassing op de Nederlandse bospercelen waarin de EGM-mineralengiften plaatsvinden. Meestal treden hier nutriëntentekorten op die (mede) veroorzaakt worden door sterk verhoogde input van stikstof. Doordat de hoeveelheid op experimenteel onderzoek gebaseerde gegevens die beschikbaar is beperkt is, is dit verwachte effect echter niet goed te verifiëren en dus ook niet goed te kwantificeren. Evenals bij bekalking zijn de reacties van de bodemfauna op de mineralengiften ook moeilijk te vertalen naar ecologisch voor- of nadeel.

4.4 Nader onderzoek

Er is veel onderzoek verricht. Ondanks dit vele onderzoek is het nog altijd moeilijk om, zeker voor de lange termijn, voor een concrete opstand een betrouwbare prognose te geven van het effect dat een bekalking en/of een nutriëntengift zal hebben op de flora en de bodemfauna. Dit heeft te maken met de grote complexiteit van het bodemkundige systeem. Daarbij spelen en de vele interacties tussen bodemkundige eigenschappen en verschillende flora- en faunagroepen een belangrijke rol. Aanvullend Nederlands experimenteel onderzoek zou beter inzicht kunnen geven in de lange termijn effecten. Dit zou goed kunnen in oude bemestings- en bekalkingsproefvelden.

Een extensieve vorm van monitoring kan de werkelijke ontwikkelingen die na uitvoering van deze maatregel in OBN-kader optreden vastleggen. Daarbij kan gedacht worden aan kwalitatief onderzoek in een beperkt aantal opstanden, waarbij goed wordt gekeken naar indicatorsoorten. Dit geeft inzicht in de processen die na uitvoering van de maatregel in de praktijk optreden. Essentiële onderdelen zijn daarbij voedingstoestand, humusprofiel, vegetatie, bodemfauna. Hierbij kan worden aangesloten bij de resultaten van het veldonderzoek dat momenteel in het kader van dit evaluatie project wordt uitgevoerd (deelonderzoek A3.2).



LITERATUUR

- Arnold, C. 1989. Invloed van bodemverzuring op mosmijten (Acari, Sarcotiformes) in een eikenhakhoutbosje te Hackfort, Gemeente Vorden. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem.
- Arnold, G. 1993. Soil acidification and imbalanced nutrient availability in Scots Pine forest soils in the Netherlands. Dissertation, LUW, Wageningen.
- Bakker, M.R., J. Garbaye & C. Nys 2000. Effects of liming on the ectomycorrhizal status of oak. *Forest Ecology and Management* 126: 2, 121-131.
- Bartsch, N., J. Bauhus & T. Vor 1999. Auswirkungen von Auflichtung und Kalkung auf das Sickerwasser in einem Buchenbestand im Solling. *Forestarchiv* 70: 6, 218-223.
- Beon, M.S. 2003. Ecological study of regenerations in experimental canopy gaps of a *Fagus sylvatica* forest in Germany. *Korean Journal of Environment and Ecology* 17: 2, 144-152.
- Berg, M.P., J.P. Kniese, J.J.M. Bedaux & H.A. Verhoef 1998. Dynamics and stratification of fungal groups of micro- and mesoarthropods in the organic layer of a Scots pine forest. *Biol Fertil Soils* 26: 268-284.
- Boer, W. de 1992. Effect van bekalking op stikstofomzettingen in bosbodems van locatie St. Anthonis. Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Heteren.
- Bouwma, I.M. & A.F.M. Olsthoorn 1997a. Weerstandshogende maatregelen in bossen. IBN-DLO, Wageningen. IBN-rapport 283.
- Bouwma, I.M. & A.F.M. Olsthoorn 1997b. Trends in ecologisch functioneren van bossen. IBN-DLO, Wageningen. IBN-rapport 284
- Burg, J. van den & A.F.M. Olsthoorn 1994. Het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Overzicht en bespreking van de resultaten. Deelrapport nr. 6, rapport nr. 106 IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den & W. Schaap 1995. Richtlijnen voor Mineralentoediening en bekalking als effectgerichte maatregel in bossen. Rapport nr. 16, IKC Natuurbeheer, Wageningen.
- Dekker, H. 1989. Invloed van bekalking en bemesting op de nematodenfauna in een dennenbos. LUW, Wageningen.
- Deleporte, S. & P. Tillier 1999. Long-term effects of mineral amendments on soil fauna and humus in an acid beech forest floor. *Forest Ecology and Management* 118: 1-3, 245-252.
- Denier van der Gon, H.A.C. 1990. De samenstelling van het bodemvocht en grondwater onder de bosbekalking- en bemestingsproefvelden te Harderwijk en St Anthonis. Rapport nr. 724903003, RIVM, Bilthoven
- Dobben, H.F. van 1993. Vegetation as a monitor for deposition of nitrogen and acidity. Dissertation, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Dobben, H.F. van, G.M. Dirkse, C.J.F. ter braak & C.O. Tamm 1992. Effects of acidification, liming and fertilization on the undergrowth of a pine forest stand in central Sweden. DLO Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen.
- Dobben, H.F. van & M.J.M.R. Vocks 1992. Effect van bekalking en bemesting met fosfor, magnesium en kalium op de ondergroei van eiken- en dennenopstanden op arme grond.
- Douwes, R. & T. W. Kuyper 1992. Effect van bosbemesting op paddestoelen en ectomycorrhiza. Biologisch Station Wijster.
- Duliere, J.F., R. de Bruyn & F. Malaisse 2000. Changes in the moss layer after liming in a Norway spruce stand of eastern Belgium. *Forest Ecology and Management* 136: 1-3, 97-105.
- Duliere, J.F., M. Carnol, S. Dalem, J. Remacle & f. Malaisse 1999. Impact of dolomite lime on the ground vegetation and on potential net N transformations in Norway spruce and sessile oak stands in the Belgian Ardenne. *Annals of Forest Science* 56: 5, 361-370.
- Eisenbeis, G., R. Lenz, H. Dogan, G. Schuler & J. Pfadenhauer 1996. Zur biologischen Aktivität von Nadelwaldboden: Messung der tierischen Frassaktivität mit dem Koderstreifen-Test sowie Bestimmung von Streuabbauraten mit dem Minicontainer-test. *Verhandlung der Gesellschaft für Ökologie* 26: 2005-311.
- Faber, J.H. 1992. Soil fauna stratification and decomposition of pine litter. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.



- Geissen, V., A. Brenner, A. Schoning, G.W. Brummer & H. Plachter 1997. Auswirkungen von Kalkungs-, Dungungs- und faunistischen Wiederbesiedlungsmassnahmen auf die Lumbricidenfauna von Waldboden. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 27: 419-426.
- Geissen, V. & G.W. Brummer 1999. Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils* 29: 4, 335-342.
- Geissen, V., C. Rudinger, A. Schoning, G.W. Brummer & H. Plachter 1998. Microbial biomass and earthworm populations in relation to soil chemical parameters in an oak-beech forest soil. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 28: 249-258.
- Graveland, J., R. van der Wal, J.H. van Balen & A.J. van Noordwijk 1994. Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils. *Nature* (368): 446-448.
- Hees, A.F.M. van 1994. De vegetatieontwikkeling in gelichte beukenopstanden na oppervlakkige bodembewerking en bekalking. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 56 (5): 154-158.
- Holscher, D., N. Asche & F. Beese 1999. Langfristige Effecte einer Waldkalkung auf bodenchemische Parameter, microbielle Biomasse und Regenwurmbesatz. *Forstarchiv* 70: 4, 127-132.
- Hogervorst, R.F., M.A.J. Dijkhuis, M.A. van der Schaar, M.P. Berg & H.A. Verhoef 2003. Indications for the tracking of elevated nitrogen levels through the fungal route in a soil food web. *Environmental Pollution* 126: 257-266.
- Huhta, V., R. Hyvönen, A. Koskeniemi, P. Viikamaa, P. Kaasalainen & M. Sulander 1986. Response of soil fauna to fertilization and manipulation of pH in coniferous forests. *Acta Forestalia Fennica* 195. Helsinki.
- Judas, M. 2002. Effecten van Meliorations-Kalkungen auf Gruppen der Boden-makrofauna. *Forstarchiv* 73: 3, 83-91.
- Keersmaecker, L. de, J. Neiryck, D. Maddelein, A. de Schrijver & N. Lust 2000. Soil water chemistry and revegetation of a limed clearcut in a nitrogen saturated forest. *Water Air and Soil Pollution* 122: 1-1, 49-62.
- Keizers, P.J. 2003. Paddestoelvriendelijk natuurbeheer. KNNV, Utrecht.
- Klein, M, I.Horlings & G. Van ommering (red) 2001. Handleiding Subsidie Effectgerichte Maatregelen 2001. Overlevingsplan Bos en Natuur, Regeling effectgerichte maatregelen in bossen en natuurterreinen. Expertisecentrum LNV/ Directie Natuurbeheer, Ministerie van landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen/Den Haag.
- Kraft, M., A. Reif, M. Schreiner & E. Aldinger 2003. Veränderungen der Bodenvegetation und der Humusaufgabe im Nordschwarzwald in den letzten 40 Jahren. *Forstarchiv* 74: 1, 3-15.
- Kuyper, T.W. 1989. Auswirkungen der Walddüngung auf die Mycoflora. Mitteilung 398, Biologischen Station Wijster.
- Leeters, E.E.J.M. & W. de Vries 2001. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995.
- Lindberg, N. & T. Persson 2004. Effects of long-term nutrient fertilization and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management* 188 (1-3): 125-135.
- Lundell, Y. 2000. Aspects on nutrient availability in Swedish forest soils. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Manger, R. & A.J. Schouten 1989. Onderzoek naar de effecten van bekalking op de nematodenfauna van drie bosopstanden in Boswachterij St. Anthonis (Peel-regio). Rapport nr. 718823001, RIVM, Bilthoven.
- Martin, K. & M. Sommer 2004. Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. *Journal of Biogeography* 31: 4, 531-545.
- Minderman, G. 1981. Bodemkundige en bosecologische gegevens van het eikehakhoutbosje Hackfort in de gemeente Vorden. 4 delen. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem.
- Mindrup, M., K.J. Meiwes, B. Marschner, V. Wolters, K. Ekschmitt, G. Scholle, M. Kaupenjohann, F. Beese & K.J. Meiwes 1995. 10 Jahre Waldkalkung; Bewertung von Kalken für den Wald; Wirkungen von Kalkungen auf Bodenchemismus und Stoffausträge; Wirkung auf Bo-



- denorganismen und biologische Umstезungsprozesse; Wirkung der Kalkung auf Bäume und Bodenvegetation; Stand und Perspectieve. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 50: 928-949.
- Muilwijk, J. 1993. Het effect van bekalking op loopkevers (Carabidae) in een perceel grove den en zomereik. *Entomologische Berichten Amsterdam* 53: 9, 121-127.
- Nohrstedt, H.O. 1994. Effects on field- en bottom-layer species in an experiment with repeated PK- and NPK-fertilisation. SkogForsk, Report no. 1, 1994. Uppsala.
- Olsthoorn, A.F.M. 1998. Soil acidification effects on fine root growth of Douglas-fir on sandy soils. Ph.D. Thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, also IBN Scientific Contributions 12, 153p.
- Persson, T. 1988. Effects of liming on the soil fauna in forests. A literature review. Modin-Tryck AB, Stockholm.
- Pfadenhauer, J., L. Kappen, E.G. Mahn & A. Otte (eds.) 1997. Auswirkungen von Kalkungs- und Dungingsmassnahmen auf die bodenbewohnende Collembolenfauna in Laub- und Nadelwald. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 1997, 27: 427-434.
- Rasmussen, L. (ed.) 1994. Biological response of five forest ecosystems in the EXMAN project to input changes of water, nutrients and atmospheric loads. *Forest Ecology and Management* 68: 1, 15-29.
- Rehfuess, K.E 1990. Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Paul Parey, Hamburg/ Berlin.
- Rudebeck, A. 2000. Factors affecting nitrification in European forest soils. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Setälä, H., J. Rissanen & A.M. Markkola 1997. Conditional outcomes in the relationship between pine and ectomycorrhizal fungi in relation to biotic and abiotic environment. *Oikos* 80: 1, 112-122.
- Schaefer, M. 1996. Die Bodenfauna von Wäldern: biodiversität in einem oecologische system. Steiner, Stuttgart.
- Schaefer, M. 2002. Diversität und Funktion der Bodenfauna in Wäldern. In: K. Blanck, Tagung Wald und Boden in Göttingen. 18 und 19 Oktober 2001. Berichte der Forschungszentrum Waldökosysteme Bd 65, Univerisität Göttingen.
- Schmidt, W. 2002. Einfluss der Bodenschutzkalkung auf die Waldvegetation. *Forstarchiv* 73: 2, 43-54.
- Schoning, A. & G.W. Brummer 2003. Reaktion von Lumbriciden im Kottenforst (Bonn) auf Veränderungen des bodenchemischen Milieus nach Kalkung und Dungung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 102: 1, 323-324.
- Schuler, G. 2002. Schutz versauerter Boden in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern. Ergebnisse aus 10-jähriger interdisziplinärer Forschung. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 173: 1, 1-7.
- Tol, G van 1995. Neveneffecten van bekalking en mineralengiften in bossen. Rapport R-13, IKC Natuurbeheer, Wageningen.
- Valeur, I. 2000. Sulphur dynamics in forest soils. Effects of liming. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Veerkamp, M.T., B.W.L. de Vries & T.W. Kuyper 1997. Shifts in the species composition of lignicolous macromycetes after application of lime in a pine forest. *Mycological Research* 101: 10, 1251-1256.
- Wendt, P. & W. Schmidt 2000. Auswirkungen von Kalkungsmassnahmen auf die Vegetation von Kiefernwäldern in der Luneburger Heide (NW-Deutschland). *Forest und Holz* 55: 1, 9-14.
- Werf, S. van der 1991. Bosgemeenschappen. Natuurbeheer in Nederland deel 5. Pudoc, Wageningen.