

Het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986-1991:

Een samenvatting van de resultaten

Het uitgangspunt voor het bosbemestingsonderzoek in Nederland was tot in de zeventiger jaren de chemische armoede van de zandgronden. Beperkend waren vooral de stikstof- en de fosforvoorziening. De pH-KCl-waarde was laag (3-4) maar voor bekalking bestond geen belangstelling. In de eerste helft van de tachtiger jaren begon duidelijk te worden dat deze situatie aan het veranderen was. Aan de zure atmosferische depositie werd toenemende betekenis toegekend en tegen het midden van de tachtiger jaren bleek de atmosferische stikstofdepositie de mineralenvoorziening van veel Nederlandse bossen op zandgronden merkbaar te hebben beïnvloed. Bemesting en bekalking zouden verbetering kunnen brengen in de minerale-voedingstoestand van deze bossen.

Ter verkrijging van voldoende informatie over de reactie van boomsoorten op bemesting en bekalking onder hoge atmosferische depositie is in 50 proefvelden, gelegen in bossen op de zandgronden in het zuiden en oosten van Nederland, onderzoek uitgevoerd met zeven boomsoorten. De als gevolg van de toegenomen atmosferische depositie gewijzigde omstandigheden waaronder de minerale voeding van boomsoorten op arme zandgronden thans plaatsvindt vormen de achtergrond van dit onder-

zoek. Dit artikel geeft een samenvatting van doel, opzet en resultaten van het in de jaren 1986-1991 uitgevoerde landelijk bemestingsonderzoek, waarover in 1994 zes rapporten zijn verschenen (zie de literatuurlijst).

Probleemstelling en doel

Aan het begin van het landelijk bemestingsonderzoek is een aantal vragen geformuleerd. Gedurende de looptijd van het onderzoek is een aantal aanvullende vragen gerezen. Hieronder worden ze in het kort opgesomd:

- * Worden de voedingsstoffen na toediening opgenomen door de bomen bij het huidige hoge stikstofdepositieniveau?
- * Reageert zowel een opstand als een cultuur op bemesting in gebieden met hoge stikstofdepositie?
- * Welke voedingsstoffen leiden bij opname tot een reactie van de bomen, bijvoorbeeld in vitaliteitskenmerken, groei of nutriëntengehalten?
- * Wat is de optimale gift van de verschillende voedingsstoffen voor verschillende boomsoorten?
- * Wat is de reactie van bodem (bv. pH, O-horizont en N-mineralisatie) en boom (groei, vitaliteitskenmerken en nutriëntengehalten) op bekalking?
- * Kan bemesting ertoe leiden dat de ziektegevoeligheid, bijvoorbeeld van dennesoorten tegen *Sphaeropsis sapinea*, vermindert in de periode dat de depositie nog niet is teruggebracht?
- * Heeft bemesting effect op sporelementen zoals koper en ijzer, die bij meereisende boomsoorten vaak reeds in het minimum zijn?

Een antwoord op deze vragen moest worden gevonden door de uitvoering van bemestingsprojecten in herbebossingen, cultuures en opstanden van de belangrijkste boomsoorten op de zandgronden. De betekenis van de stikstofdepositie in bossen was het grootst in het zuiden en oosten van Nederland, zodat het noordoostelijk bosgebied buiten het onderzoek is gebleven.

Methoden

Overzicht van de uitgevoerde projecten

Het Landelijk Bemestingsonderzoek is uitgevoerd in de vorm van vijf projecten. Elk van deze projecten is uitvoerig beschreven in een serie rapporten die over dit onderzoek is verschenen (Van den Burg 1994a...e). Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van opzet en uitvoering per project.

Project nr. 1: Dit onderzoek bestond uit een gecombineerde KMg-bemesting, uitgevoerd in negen opstanden van groveden (leeftijd: 26-73 jaar) en een opstand van Corsicaanse den (leeftijd: 34 jaar). De opstanden lagen verspreid over het zuidelijk en oostelijk zandgebied van Nederland en waren gelegen op voor beide boomsoorten vaak gebruikte groeiplaatsen. Alleen de Corsicaanse-dennenopstand was in de Peel gelegen. De trajecten van de K- en Mg-bemesting waren resp. 0-150 kg K.ha⁻¹ en 0-80 kg Mg.ha⁻¹. Het doel van dit onderzoek was vast te stellen hoe deze boomsoorten zouden reageren op bemesting als de *Sphaeropsis*-epidemie aanhield.

Het onderzoek begon in de winter van 1985/86 en is in de winter van 1990/91 afgesloten.

Project nr. 2: Dit onderzoek is uitgevoerd in vier jonge cultures van douglas (leeftijd: 2-3 jaar) en vier jonge cultures van zomereik (leeftijd 2-4 jaar), in vier opstanden van douglas (leeftijd 25-29 jaar) en vier opstanden van zomereik (leeftijd 14-37 jaar). Elke groep van vier objecten bestond uit twee objecten op arme zandgronden en twee objecten op tamelijk rijke zandgronden. Het werd van belang geacht dat de onderzochte groeiplaatsen zo representatief mogelijk waren voor de te onderzoeken boomsoorten zodat slechts enkele objecten in de Peel waren gelegen. Onderzocht is het effect van PKMg-bemesting. De onderzochte trajecten waren 0-100 kg P.ha⁻¹, 0-150 kg K.ha⁻¹ en 0-80 kg Mg.ha⁻¹. Het onderzoek begon in de winter van 1986/87 en is in de winter van 1991/92 afgesloten.

Project nr. 3: Dit is het "herbebossingsproject" in de Peel, dat is aangelegd op hoofdzakelijk veldpodzolgronden. Het werd noodzakelijk geacht als gevolg van discussies over de mogelijkheid tot herbebossing van terreinen waarvan de Corsicaanse-den-nenopstanden waren kaalgeslagen na aantasting door *Sphaeropsis sapinea*. Het aantal boomsoorten bedroeg vijf (grove den, douglas, Japanse lariks, zomereik en Amerikaanse eik). De aanplant vond hoofdzakelijk in het voorjaar van 1987 plaats maar het onderzoek kon eerst beginnen in de winter van 1987/88. Bemest is met 0-100 kg P.ha⁻¹, 0-150 kg K.ha⁻¹, 0-80 kg Mg.ha⁻¹ en 0-9 ton CaCO₃.ha⁻¹. De toegepaste kalkmeststof was Mg-arm (EMKAL). Het doel van het project was het onderzoeken van het gedrag van herbebossingen na bemesting, in een gebied met een hoge atmosferische stik-

stofdepositie. Het project is afgesloten in de winter van 1991/92.

Project nr. 4: In de Peel-boswachterij St.Anthonis zijn in het voorjaar van 1988 zes bekalingsproefvelden aangelegd in een jonge en een oudere opstand van grove den, douglas of zomereik (leeftijd: 8-10 resp. 30-38 jaar). Het voornaamste doel van het project was de gevolgen van bekalving voor de opstand, de ectorganische horizont en de bodem gedurende een periode van enkele jaren na te gaan. De bekalvingsgiften bedroegen 0; 3; 6 of 9 ton dolokal.ha⁻¹. Het project is afgesloten in de winter van 1991/92.

Project nr. 5: Dit project is een uitbreiding van project nr. 2, met als boomsoorten de Japanse en de Europese lariks. De drie larikscultures en drie lariksoopstanden (leeftijd: 3-10 resp. 15-36 jaar) waren alle in de Peel gelegen. Het project begon in het voorjaar van 1988 en is in de winter van 1991/92 afgesloten.

Opnamemethoden

Voor een gedetailleerd overzicht van de toegepaste methoden wordt verwezen naar de rapporten van het landelijk bemestingsonderzoek.

De gegevensbewerking

De bewerking van de resultaten is uitgevoerd met gebruikmaking van een statistisch programma (GENSTAT 1993). De gegevens van project 1 zijn bewerkt met een standaard-variantie-analyse, de gegevens van de overige projecten met een standaard-regressie-analyse. De gegevens zijn per tijdstip bewerkt, zonder dat rekening is gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van de gegevens op opeenvolgende tijdstippen.

Resultaten

De hieronder beschreven resul-

taten zijn gebaseerd op het eindrapport van het landelijk bemestingsonderzoek (Van den Burg & Olsthoorn 1994). Ze worden samengevat per boomsoort en per leeftijdscategorie. De leeftijdscategorieën waren herbebossing (h), cultuur (c) en opstand (o). Het onderscheid tussen herbebossingen en cultures is aangebracht ondanks het niet te grote leeftijdsverschil. Van belang is nl. dat in cultures de problemen van de aanlegfase grotendeels achter de rug waren. In de herbebossingsproefvelden was dat niet het geval en hebben ontwikkelingsproblemen in de eerste jaren na de aanleg een vaak storende rol gespeeld.

Grove den en Corsicaanse den

Het bemestingsonderzoek met groveden in de jaren 1986-1991 is uitgevoerd in drie herbebossingsobjecten, een cultuur en tien opstanden, verspreid over de zandgronden in het zuiden en oosten van Nederland. De reacties van de groveden op de bemestingen in deze objecten zijn samengevat in tabel 1.

Een duidelijk effect van de bemesting op groveden was dat van K-bemesting op de naaldbezetting van de herbebossingen. De frequentie van het optreden van een positief effect van K-bemesting op de naaldbezetting bleek overeen te komen met die van het gemiddelde K-gehalte van de naalden en met de gemiddelde 100*K/N-verhouding van de naalden. Blijkbaar kan de naaldbezetting van groveden reageren op K-bemesting als de naaldbezetting als gevolg van een onvoldoende K-voorziening is afgenomen. De kritische waarde ligt bij ca. 5.0 g K.kg⁻¹ of bij 100*K/N = ca. 30. In vergelijking met K hadden P- en Mg-bemesting en bekalving weinig of geen betekenis, hoewel bij de grove-

Tabel 1. Overzicht van de belangrijkste reacties van groveden op de bemestingen

cat.	prv.	bem.	nbez.	nkl.	ho.	di.	naaldsamenstelling						opmerkingen		
							N	P	K	Ca	Mg	Cu			
h	28	P	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..	..	..	..
h	31	P	-	..	(+)	..	..	+	..	+	..	..	..	..	P: nbez. in 1989
h	35	P	..	..	(+)	..	..	..	..	+	..	-	..	..	P: Cu in 1991
h	28	K	+	+	+	..	..	..	+	..	-	..	..	..	K: nkl. in 1988, 1989
h	31	K	+	+	..	..	..	..	+	..	..	..	..	..	K: nkl. in 1988, 1990
h	35	K	+	..	..	..	..	..	+	..	-	..	..	..	K: nbez. in 1988
o	1-9	K	..	..	..	..	..	..	+	..	-	..	..	..	..
h	28	Mg	..	..	..	+	..	..	..	..	+	..	..	..	..
h	31	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..
h	35	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..
o	1-9	Mg	+	+	..	..	..	..	..	..	+	..	..	..	Mg: nbez. niet steeds; nkl. in 1990
h	28	ka	..	+	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..	ka: nkl. in 1991
h	31	ka	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
h	35	ka	..	var	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..	..
c	43	ka	+	-	..	..	..	..	..	+	+	..	..	..	ka: nbez. in 1988
o	44	ka	..	..	(+)	(+)	-	..	var	+	+	..	..	..	..

cat.= categorie (h=herbebossing;c=cultuur;o=opstand); prv.=nr. proefveld (zie de rapporten over het onderzoek); bem.= bemesting; ka=bekalking; nbez.=naaldbezetting; nkl.=naaldkleur; ho=hoogtegroei; di=diametergroei
+ = pos. effect op nbez., ho., di., gehalten en *donkerder* naaldkleur; p<0.05
(+) = pos. effect op nbez., ho., di., gehalten en *donkerder* naaldkleur; 0.05<p<0.1
- = neg. effect op nbez., ho., di., gehalten en *lichtere* naaldkleur; p<0.05
(-) = neg. effect op nbez., ho., di., gehalten en *lichtere* naaldkleur; 0.05<p<0.1
var = significante reactie (p < 0.05), maar variabeel per behandeling en in de tijd
.. = effect niet significant

dennenopstanden Mg-bemesting een geringe positieve invloed had op de naaldbezetting (critische waarde ca. 0.7 g Mg.kg⁻¹). Het K-gehalte van de naalden verklaart ook waarom in de grovedennenopstanden geen K-effect op de naaldbezetting optrad: de K-voorziening in deze proefvelden was in de jaren 1986-1991 als "voldoende" te beoordelen.

K-bemesting veroorzaakte een verbetering van de naaldkleur hetgeen eveneens met de onvoldoende K-voorziening van de herbebossingen in verband kan worden gebracht. De hoogtegroei reageerde slechts incidenteel positief op de K-bemesting. De verschillen in reactie van naaldkleur en hoogtegroei zijn verklaarbaar uit verschillen in de K-voorziening. Als interessante uitkomst van het bemestingsonderzoek in grovedennen kan worden genoemd de

weliswaar niet significante maar wel positieve reactie van de hoogtegroei op bekalking in een proefveld, en het uitblijven van een soortgelijke reactie in een ander proefveld. Het gemiddelde Ca-gehalte van de naalden bedroeg resp. 1.8 en 2.3 g Ca.kg⁻¹. Het laatstgenoemde gehalte ligt in het traject dat als aanwijzing voor een voldoende Ca-voorziening geldt.

De P-voorziening van de onderzochte herbebossingen was tijdens de onderzoeksperiode gemiddeld voldoende, ook in de controleveldjes. In de herbebossingsproefvelden met de laagste P-gehalten in de naalden (ca. 1.1 g P.kg⁻¹) trad een (weliswaar niet significant) positief P-effect op de hoogtegroei op. Deze uitkomst suggereert dat grovedennencultures en -opstanden met een als onvoldoende te karakteriseren P-voorziening (P-gehalte van de

naalden = 1.0-1.4 g P.kg⁻¹) op P-bemesting kunnen reageren met een groeitoename. Een merkbare verandering in de naaldbezetting na P-bemesting trad bij dit P-niveau niet op.

Van belang zijn verder de volgende waarnemingen:

* Het N-gehalte van de naalden van bijna alle beplantingen wees op een gemiddeld juist optimale N-voorziening (ca. 18 g N.kg⁻¹). Een opstand in de Peel-boswachterij St.Anthonis had een bijna als "hoog" te kwalificeren N-voorziening (25 g N.kg⁻¹).

* De bemestingen hadden het N-gehalte van de naalden nog niet verlaagd.

* De gehalten van de naalden aan P, K en Mg namen toe na resp. P-, K- of Mg-bemesting. Een opstand in St.Anthonis bleek alleen al na bekalking Ca en Mg te kunnen opnemen ondanks de bijna "hoge" N-voorziening.

* De 100*Mg/N-verhouding van de onderzochte grovedennnen was over het algemeen te laag (< 5). Daarentegen varieerde de 100*K/l N-verhouding van ca. 24 tot ca. 34 (onvoldoende tot voldoende).

* Het K-gehalte van de naalden en de naaldbezetting van de grovedennnenopstanden namen in de onderzoeksperiode (nj. 1985-nj. 1990) in de controleveldjes toe. De toename van de naaldbezetting is in overeenstemming met de tendens tot vitaliteitstoename die volgt uit de resultaten van het landelijk vitaliteitsonderzoek (Vitaliteit ... 1994). Deze toename verklaart waarom in deze

opstanden de naaldbezetting niet verbeterde na K-bemesting, welk verschijnsel ook in andere bemestingsproeven een rol kan hebben gespeeld (Bossenbroek 1995). Men houde overigens in het oog dat een afname van de naaldbezetting en van het K-gehalte gedurende een aantal jaren ook mogelijk is.

In de bemestingsproef met Corsicaanse den had K-bemesting eveneens een positieve invloed op naaldbezetting, naaldkleur en diametergroei.

Douglas en Japanse lariks
De douglas is de boomsoort

waaraan de meeste aandacht is besteed in het landelijk bemestingsonderzoek. Ondanks het optreden van late-nachtvorstschade in de herbebossingsproefvelden zijn enkele effecten van de bemestingen duidelijk tot uiting gekomen, met name in de opstanden. De herbebossingsproefvelden waren bij de aanvang van het onderzoek 1 jaar oud, de cultures van het PKMg-onderzoek 2-3 jaar, de cultuur van het bekalkingsonderzoek 10 jaar, de opstanden van het PKMg-bemestingsonderzoek 25-29 jaar en de opstand van het bekalkingsonderzoek 30 jaar.

Tabel 3. Overzicht van de belangrijkste reacties van douglas op de bemestingen

cat.	prv.	bem.	nbez.	nkl.	ho.	di.	naaldsamenstelling						opmerkingen
							N	P	K	Ca	Mg	Cu	
h	27	P	..	..	..	..	..	+	..	(+)	..	..
h	29	P	..	+	..	..	..	..	..	+	..	..
h	33	P	..	+	..	..	..	+	..	..	..	..
c	19/21/												
	23/25	P	+	+	+	(+)	..	+	..	+	..	-	P: nbez. in 1991
o	20/22/	P	+	+	+	(+)	..	+	..	+	..	-	P: nbez. in 1991
	24/26												
h	27	K	..	-	..	+	..	..	+	..	-	..
h	29	K	..	+	+	+	..	..	+	..	..	..
h	33	K	(+)	var	+	(+)	..	..	+	..	..	..
c	19/21/												
	23/25	K	..	..	..	..	..	..	+	..	..	..
o	20/22/	K	..	..	..	..	..	..	+	..	..	..
	24/26												
h	29	Mg	..	+	..	..	..	..	..	..	+	..
h	27	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
h	33	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	+	..
c	19/21/												
	23/25	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	+	..
o	20/22/	Mg	..	..	..	..	..	..	..	..	+	..
	24/26												
h	27	ka	..	..	..	..	..	..	..	(+)	..	..
h	29	ka	..	..	..	+	..	..	..	..	..	..
h	33	ka	..	-	..	..	..	..	..	+	..	..
c	39	ka	+	..	(+)	-	..	..	var	+	+	..	
o	40	ka	..	..	(+)	..	..	..	-	+	+	..

cat.= categorie (h=herbebossing;c=cultuur;o=opstand); prv.=nr. proefveld (zie de rapporten over het onderzoek); bem.= bemesting; ka=bekalking; nbez.=naaldbezetting; nkl.=naaldkleur; ho.=hoogtegroei; di.=diametergroei
+ = pos. effect op nbez., ho., di., gehalten en *donkerder* naaldkleur; p<0.05
(+) = pos. effect op nbez., ho., di., gehalten en *donkerder* naaldkleur; 0.05<p<0.1
- = neg. effect op nbez., ho., di., gehalten en *lichtere* naaldkleur; p<0.05
(-) = neg. effect op nbez., ho., di., gehalten en *lichtere* naaldkleur; 0.05<p<0.1
var = significante reactie (p < 0.05), maar variabel per behandeling en in de tijd
ns = effect niet significant

Tot de effecten van de bemestingen behoort in de eerste plaats de positieve invloed van de P-bemesting op de naaldbezetting (Tabel 3). De naaldbezetting nam merkbaar af als het P-gehalte $\leq 1.3 \text{ g P.kg}^{-1}$ bedroeg of als de $100 \cdot \text{P/N}$ -verhouding kleiner was dan ca. 7. P-bemesting had een duidelijk en positief effect op de naaldbezetting. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat dit effect pas optrad toen als gevolg van andere factoren het naaldbezettingspercentage tussen ca. 170 en 250 was komen te liggen. Dit is een als "laag" aan te merken traject omdat wordt aangenomen dat het naaldbezettingspercentage van een gezonde volwassen douglas 500 (= vijf volledig bezette naaldjaargangen) bedraagt (Nas & Smits 1989). Bij hogere naaldbezettingspercentages dan 170-250 trad geen P-bemestings-effect op. Deze relatie tussen de P-voorziening en de naaldbezetting komt overeen met de resultaten van een P-bemestingsproefveld in een douglasbeplanting (Van den Burg 1991) waarvan de naaldbezetting merkbaar begon af te nemen als het P-gehalte van de naalden daalde beneden 1.4 g P.kg^{-1} . Een overeenkomstige relatie tussen naaldbezetting en P-voorziening is gevonden door Olsthoorn & Maas (1994).

De naaldkleur reageerde eveneens op de P-bemesting, maar dit was geen opvallend verschijnsel, want de variatie in de naaldkleur was gering en had hoofdzakelijk betrekking op de frequenties van het optreden van de naaldkleurklassen [1] (donkergroen), [1.5] (lichtgroen) en [2] (geelgroen). Dit komt overeen met het feit dat de naaldkleur werd overheerst door de variaties in het N-gehalte. De verschijnselen van P-gebrek zijn over het algemeen niet opvallend en vrij moeilijk waar te nemen.

In overeenstemming met de duidelijke reactie van de naaldbezetting van de douglascultures en -opstanden op P-bemesting was ook sprake van een duidelijk P-effect op de hoogtegroeï. Dit effect trad op bij een P-totaal-cijfer lager dan $60 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. De grenswaarde voor een nog positief P-effect op de hoogtegroeï ligt blijkens dit onderzoek bij ca. $50 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$. De reactie op de P-bemesting trad op in het gehele traject $\text{P} = 0 - 100 \text{ kg P.ha}^{-1}$. Deze waarneming maakt het waarschijnlijk dat de P-voorziening van veel douglasopstanden in Nederland slechter is dan op basis van de tot nu toe gehanteerde interpretatie van het P-totaal-cijfer van de minerale bovengrond werd verondersteld. Het traject $30-50 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$ is thans voor de douglas niet meer voldoende te achten. Dat deze reactie op P-bemesting niet is aangetroffen in de herbebossingsproefvelden kan behalve aan de opgetreden nachtvorstschade ook hebben gelegen aan de P-voorziening van deze herbebossingen zelf, die direct na de aanleg goed was (een gevolg van de mineralisatie van de O-horizont, die was gevormd onder de vorige generatie gróveden of Corsicaanse den) maar gaandeweg afnam en na vier jaar een waarde van $1.1 \text{ à } 1.3 \text{ g P.kg}^{-1}$ in de naalden bereikte. Op dat moment is het onderzoek echter beëindigd. In vergelijking daarmee waren de positieve reactie van de groei van de douglas in herbebossingen op K-bemesting (bij een gemiddeld K-gehalte van $5.8-6.1 \text{ g K.kg}^{-1}$ en een $100 \cdot \text{K/N}$ -verhouding van 30-34) en op bekalking (Ca-gehalte van de naalden $2.6-2.7 \text{ g.kg}^{-1}$) minder spectaculair, hoewel niet zonder belang. Ze tonen aan dat o.a. de K- en Ca-voorziening van de douglas op deze arme zandgronden groeibeperkend kunnen zijn.

De reactie van de naaldsamenstelling op de bemestingen was positief. De P-, K-, Mg- en Ca-gehalten van de naalden namen toe na bemesting met P, K, Mg of na bekalking, bij een juist optimale N-voorziening. Van belang is ook dat het Ca-gehalte toenam na P-bemesting, hetgeen een gevolg zal zijn van het Ca-aandeel van de P-meststof. Het N-gehalte reageerde niet op de bemestingen. Een complicatie trad op als gevolg van de negatieve invloed van de P-bemesting op de Cu-voorziening van de douglas. Deze reactie op P-bemesting is bij de douglas overigens geen onbekend verschijnsel. Dit betekent dat na P-bemesting van douglas het risico van het optreden van Cu-gebrek bestaat.

De naaldlengte, de hoogte- en de diametergroei en het P-gehalte van de lariks reageerden significant en positief op P-bemesting. In oudere opstanden induceerde P-bemesting kopergebrek, waardoor de hoogtegroeï negatief werd beïnvloed. De reacties van de lariks op de bemestingen waren over het algemeen gelijk aan die van de douglas. Ze zijn daarom niet afzonderlijk vermeld.

Zomereik en Amerikaanse eik

Het onderzoek naar de reactie van de zomereik op bemestingen is begonnen met de aanleg van een groep van acht proefvelden in cultures (2-4 jaar oud) en opstanden (14-37 jaar oud) in het voorjaar van 1987. Dit onderzoek is in 1988 uitgebreid met twee bekalkingsproefvelden (cultuur: 8 jaar oud; opstand: 35 jaar oud) en met twee herbebossingsproefvelden (1 jaar oud) in de Peel. De resultaten zijn samengevat in tabel 5.

Van de vitaliteitskenmerken heeft de bladgrootte het duidelijkst gereageerd op de bemestingen. Zowel P-, K- als Mg-bemesting

Tabel 5. Overzicht van de belangrijkste reacties van zomereik op de bemestingen

cat.	prv.	bem.	B	G	Pe	l	ho.	di.	bladsamenstelling						opmerkingen
									N	P	K	Ca	Mg	Cu	
h	30	P	+	var	..	-	(+)	..	..	+	..	..	..	..
h	34	P	var	var	var	var	..	..	..	+	..	+	..	..
c	11/13/														
	15/17	P	..	+	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..	P: B in 1990
o	12/14/														
	16/18	P	..	+	..	..	..	..	..	+	..	..	..	..	P: G in 1990
h	30	K	..	..	+	+	..	..	..	..	+	-	-	..
h	34	K	-	..	..	..	..	..	..	..	+	..	-	..
c	11/13/														
	15/17	K	+	var	..	var	(+)	..	..	..	+	..	-	..
o	12/14/														
	16/18	K	..	var	..	var	(+)	..	..	..	+	..	-	..	K: G in 1989
h	30	Mg	..	..	+	..	..	..	..	..	-	..	+	..
h	34	Mg	+	var	+	-	..	..	..	..	..	..	+	..
c	11/13/														
	15/17	Mg	+	..	+	..	(+)	..	..	..	..	..	+	..	Mg: B in 1988; Pe in 1988
o	12/14/														
	16/18	Mg	+	..	+	..	(+)	..	..	..	..	..	+	..	Mg: B in 1988; Pe in 1988
h	30	ka	..	..	..	..	..	..	(-)	..	..	+	..	..
h	34	ka	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
c	41	ka	..	..	-	..	..	(+)	..	..	..	+	+	..
o	42	ka	..	var	..	..	..	(-)	..	..	var	+	+	..	

cat.= categorie (h=herbebossing;o=cultuur;o=opstand); prv.=nr. proefveld (zie de rapporten over het onderzoek); bem.= bemesting; ka = bekalking; B= bladbezetting; G = bladgrootte; Pe = bladverkleuring; l = bladschijfkleur; ho.=hoogtegroei; di.=diametergroei
 + = pos. effect op B,G,ho.,di., gehalten, afname van Pe en donkerder bladkleur;p< 0.05
 (+) = pos. effect op B,G,ho.,di., gehalten,afname van Pe en donkerder bladkleur;0.05<p<0.1
 - = neg. effect op B,G,ho., di., gehalten, toename van Pe en lichtere bladkleur;p<0.05
 (-) = neg. effect op B,G,ho., di., gehalten, toename van Pe en lichtere bladkleur;0.05<p<0.1
 var = significante reactie (p < 0.05), maar variabel per behandeling en in de tijd
 .. = effect niet significant

hadden in een bepaald jaar een positieve invloed op de bladgrootte. Mg-bemesting vermindert de bladverkleuringspercentage van de herbebossingen, de cultures en de opstanden. Deze reactie trad hoofdzakelijk op als het Mg-gehalte van het blad 1.2-1.3 g Mg.kg⁻¹ bedroeg, hetgeen juist iets onder de grenswaarde voor zichtbaar Mg-gebrek lag.

Een invloed van de uitgevoerde bemestingen op de groei was aannemelijk, hoewel de effecten niet significant waren. In een van de twee herbebossingsproefvelden (P-totaal-cijfer 23 mg P₂O₅, 100g⁻¹) trad een zwak significant (p < 0.1) positief effect van

de P-bemesting op de hoogtegroei op, echter niet in de cultures en opstanden (P-totaal-cijfer 19-74 mg P₂O₅, 100g⁻¹). In de cultures en opstanden was sprake van een zwak significant (p < 0.1) positief K- en Mg-effect op de hoogtegroei. De positieve reactie van de groei op K-bemesting is waarschijnlijk gerelateerd aan de lage 100*K/N-verhoudingen van het blad van de onderzochte beplantingen (25-30). Het positieve Mg-effect op de hoogtegroei is in overeenstemming met het optreden van zichtbaar Mg-gebrek en met de soms lage 100*Mg/N-verhouding van het blad (4.6). Een complicatie trad op als gevolg van de afname van het K-gehalte

en de toename van het Mg-gehalte van het blad in de zomereikcultures en -opstanden, zodat de groeireactie op K- en Mg-bemesting zich in de loop der jaren zal hebben gewijzigd. Dat vormt waarschijnlijk de verklaring voor het slechts zwak significant zijn van het KMg-bemestingseffect op de hoogtegroei en de afwezigheid van een K*Mg-interactie.

De P-, K- en Mg-bemestingen veroorzaakten een toename van resp. het P-, K- en Mg-gehalte van het blad. P-bemesting had een positieve invloed op het Ca-gehalte, en bekalking op het Ca- en Mg-gehalte. K-bemesting had soms een negatieve invloed op

het Ca-gehalte en meestal een negatieve invloed op het Mg-gehalte.

De reactie van de Amerikaanse eik op de bemestingen was kwalitatief ongeveer dezelfde als die van de zomereik, maar werd beïnvloed door nachtvorst- en wildschade.

Bekalkingsproeven

Het thema "bekalking van bossen" had twee aspecten, nl. de invloed op de beplantingen en de invloed op de bodem. De bekalking had in de herbebossingen een positief effect op het Ca- en het Mg-gehalte van blad en naalden. De invloed van de bekalking op de groei van de herbebossingscultures was verwaarloosbaar. In cultures en opstanden had bekalking soms een positief effect op de hoogtegroei van de douglas en de groveden. De invloed van bekalking op de blad- en naaldkleur was over het algemeen gering en van korte duur. De bekalkingsproeven hebben als belangrijkste resultaat opgeleverd dat de mineralisatie van de O-horizont in het algemeen niet toenam na bekalking. Wel nam in de O-horizont het aandeel $N-NO_3$ aan N_{mineraal} toe bij een stijgende kalkgift. De pH-KCl-waarde steeg 2-3 pH-eenheden. De pH-toename van de minerale bovengrond was alsnog gering (ca. 0.1 pH-eenheid), de Ca-bezetting van het adsorptiecomplex nam na bekalking merkbaar toe (14% in de controles, 28% na bekalking met 9 ton $CaCO_3 \cdot ha^{-1}$).

Discussie en conclusies

Het bemestingsonderzoek heeft als belangrijk resultaat opgeleverd dat een onvoldoende voorziening met P, K of Mg in combinatie met een hoge N-voorziening, kan worden gecorrigeerd door een aan de situatie aangepaste bemesting. Bij de

douglas is de positieve reactie van het P-gehalte en van de groei op P-bemesting groter dan werd verwacht. De reacties op de bemestingen zijn in overeenstemming met de uitkomsten van inventarisaties van de minerale voedingstoestand van het Nederlandse bos in de laatste jaren. Ze zijn als volgt samen te vatten:

* P-, K- en Mg-bemesting verhogen resp. het P-, K- en Mg-gehalte van blad en naalden; ondanks de regionaal hoge atmosferische N-depositie zijn boomwortels in staat gebleken om te reageren op bemestingen. P-bemesting verhoogt ook het Ca-gehalte van blad en naalden en kan dus in dit opzicht bekalking vervangen.

* De optimale P-gift voor de douglas en de lariks bleek in vergelijking met vroeger onderzoek te zijn verhoogd; de optimale Mg-gift is eveneens hoger uitgevallen.

* De vitaliteitskenmerken van cultures en opstanden en soms van herbebossingen kunnen worden beïnvloed door bemesting als ze samenhangen met de minerale voedingstoestand. Deze kenmerken hangen echter ook met veel andere factoren samen. In herbebossingen speelden nachtvorstgevoeligheid bij douglas en droogtegevoeligheid bij Japanse lariks een belangrijke rol, hetgeen door bemesting niet kon worden tegengegaan.

* De directe relatie van bemesting met ziektegevoeligheid kan alleen worden onderzocht als er een aantasting door een ziekte optreedt; tijdens de onderzoeksperiode nam de aantasting door *Sphaeropsis sapinea* af zodat in directe zin geen invloed van de bemesting aantoonbaar was.

* De kopervoorziening reageerde negatief op P-bemesting hetgeen uit vroeger onderzoek bekend is. De invloed van bemesting op de ijzervoorziening kwam niet duidelijk tot uiting

Voor de bosbouwpraktijk is van belang dat de uitkomsten van het landelijk bemestingsonderzoek zijn vastgelegd in het overheidsbeleid (Richtlijnen ... 1994; Van Tol 1995) en daarmee operationeel zijn geworden.

De reactie van boomsoorten op bekalking in het landelijk bemestingsonderzoek is tot nu toe tamelijk gering geweest. De uitkomsten van het verzuringsonderzoek (Tiktak et al. 1995; Mohren 1991; De Vries 1994) wijzen erop dat thans de directe betekenis van verzuring voor de boomgroei nog niet groot is. De betekenis van de P-voorziening, zoals die volgt uit het landelijk bemestingsonderzoek en uit inventarisaties van de minerale voedingstoestand van bossen, komt in het verzuringsonderzoek niet duidelijk tot uiting.

Literatuur

- Bossenbroek, Ph. 1995. Effecten van bosbemesting op bodem, vitaliteit en vegetatie in enkele naaldbossen in Noord-Limburg. Nederlands Bosbouw tijdschrift 67(1): 10-15.
- Burg, J. van den. 1994a. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 1: De effecten van kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van negen grovedennenopstanden en van een Corsicaanse-dennenopstand. IBN-Rapport nr. 101. 138 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den. 1994b. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 2: De effecten van fosfor-, kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van acht douglas- en acht zomereikencultures en -opstanden. IBN-Rapport nr. 102. 81 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den. 1994c. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 3: De effecten van fosfor-, kalium- en magnesiumbemesting en van bekalking op vitaliteitskenmerken en groei van twaalf herbebossingscultures.

- IBN-Rapport nr. 103. 137 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den. 1994d. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 4: De effecten van bekalking op vitaliteitskenmerken en groei van zes opstanden in de boswachterij St.Anthonis (1988-1991). IBN-Rapport nr. 104. 89 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den. 1994e. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 5: De effecten van fosfor-, kalium- en magnesiumbemesting op vitaliteitskenmerken en groei van zes lariksopstanden. IBN-Rapport nr. 105. 44 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Burg, J. van den & A.F.M. Olsthoorn. 1994. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 6: Overzicht en bespreking van de resultaten. IBN-Rapport nr. 106. 126 p. IBN-DLO, Wageningen.
- Genstat 5 Release 3 Reference Manual. 1993. Genstat 5 Committee of the Statistics Department, Rothamsted Experimental Station. 796 p. Oxford Science Publications. Clarendon Press, Oxford.
- Mohren, G.M.J. 1991. Integrated effects (forests). In: G.J. Heij & T. Schneider (ed.) Acidification Research in the Netherlands. Final Report of the Dutch Priority Programme on Acidification. p. 387-464. Elsevier. Amsterdam.
- Nas, R.M.W.J. & T.F.C. Smits. 1989. Handleiding voor een eenvoudige vitaliteitsopname op opstandniveau. Bosbouwvoorlichting 28(6): 82-90.
- Olsthoorn, A.F.M. & G.J. Maas. 1994. Relatie tussen vitaliteitskenmerken, groeiplaats, ziekten en herkomst bij douglas. IBN-Rapport nr. 115. 66 p. + Bijlage 1 t/m 11. IBN-DLO, Wageningen.
- Richtlijnen voor Mineralentoediening en Bekalking als Effectgerichte Maatregelen in Bossen. Rapport nr. 16. 64 p. (red. J. van den Burg & W. Schaap). IKC Natuurbeheer, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen
- Tiktak, A. et al. 1995. Application of three Forest-Soil-Atmosphere models to the Speuld experimental forest. Report nr. 733001003. 95 p. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne. Bilthoven.
- Tol, G. van. 1995. Neveneffecten van bekalking en mineralengiften in bossen. Rapport nr. 13. 28 p. IKC Natuurbeheer, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Wageningen; Nederlands Bosbouw tijdschrift 67(3): 98-104.
- Vitaliteit (De) van het Nederlandse bos 12. 1994. Verslag van de landelijke inventarisatie 1994 (red. P.R. Hilgen) Rapport nr. 10. 41 p. IKC Natuurbeheer, MvLNV. Wageningen.
- Vries, W. de. 1994. Soil response to acid deposition at different regional scales. Field and laboratory data, critical loads and model predictions. 487 p. Dissertatie Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Samenvatting

In de periode 1986-1991 is een landelijk bemestingsonderzoek uitgevoerd in bossen op zandgronden. Het doel van dit onderzoek was na te gaan hoe bossen die zijn blootgesteld aan een hoge atmosferische N-depositie en die een onvoldoende voorziening hebben met minerale-voedingsstoffen reageren op bemesting en bekalking. P-, K- en Mg-bemesting verbeterden de voorziening met deze elementen en hadden soms een positieve invloed op enkele vitaliteitskenmerken.