

424.7 : 160.21 : 174.757
114.521 : 237.4 : 174.757

(UIT : Nederlands
Bosbouw tijdschrift.
Jaargang 33, no 9,
September 1966).

Fosforgebrek veroorzaakt door hoge stikstoftoevoer in douglasopstanden*)

Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir stands

G. M. J. Mohren¹⁾, J. van den Burg³⁾, F. W. Burger²⁾ en J. H. Oterdoom³⁾

Samenvatting

Herbemonstering en analyse van nog bestaande oude NPK bemestingsproefvelden in douglasopstanden op zandgrond laat de effecten zien van de invloed van verhoogde stikstoftoevoer op de voedingstoestand van het bos op deze groeiplaatsen. De verhoogde stikstoftoevoer is onder andere een gevolg van de toegenomen luchtverontreiniging door de intensieve veehouderij gedurende de afgelopen jaren. In 1960, drie jaar na bemesting, vertoonden de bomen in het algemeen een positieve groeireactie op zowel N-, P- als K-bemesting. Alle veldjes vertonen ernstig fosforgebrek in 1984, onafhankelijk van de behandeling die 25 jaar geleden werd uitgevoerd. Minimale fosforgehalten van de naalden gaan in alle gevallen samen met maximale stikstofgehalten ervan, en de N/P verhoudingen van de naalden liggen alle tussen 20 en 30. Dit laatste werd eveneens waargenomen in een onafhankelijk hiervan uitgevoerd onderzoek naar de voedingstoestand van een aantal douglasopstanden van ongeveer 40 jaar oud. Geconstateerd wordt dat het fosforgebrek samenhangt met de hoge stikstoftoevoer. Indien voor het beheer de nadruk ligt op een goede opstandsgroei is een evenwichtige voedingstoestand gewenst, en lijken aanvullende bemestingsmaatregelen te overwegen. Gezien de huidige N/P verhoudingen in de naalden, zou een positieve groeireactie van fosforbemesting verwacht mogen worden.

Inleiding

De groei van douglasbossen op de hogere zandgronden van het Noordwesteuropese laagland is behalve door watergebrek, vaak beperkt door de beschikbaarheid van macronutriënten zoals stikstof (N) en fosfor (P). Stikstof- en fosforbeschikbaarheid wordt voorna-

Summary

A re-examination of earlier NPK fertilization experiments in Douglas fir stands on sandy soils shows the effects of high nitrogen input by air pollution during the last decades on plant nutrition at these sites. In 1960, experimental plots showed a positive growth reaction to N, P, as well as K fertilization. All suffered from severe phosphorus deficiency in 1984, low phosphorus in the needles was invariably accompanied by a high nitrogen content, with all N/P ratios between 20 and 30. The same conclusion emerges from an independent investigation of nutrient status of a selection of Douglas fir stands. Hence, if stand productivity and a balanced nutrient status of the trees is to be maintained, the increase in atmospheric input of nitrogen calls for supplementary fertilization. Given the current N/P ratios in the needles, a positive growth response to phosphorus fertilization is to be expected.

melijk bepaald door het totale volume grond dat doorworteld is, door de bewortelingsdichtheid, door de concentratie van voedingsstoffen in de bodemoplossing, en door de mineralisatiesnelheid van de labiele organische en de oplossingssnelheid van de anorganische voorraden in de bodem. Het merendeel van de stikstof in de doorwortelde bodemlaag is vastgelegd in de vorm van organische stof en komt vrij door mineralisatie. Behalve hierdoor wordt ook stikstof aan de bodemoplossing toegevoegd in de vorm van ammonium of nitraat in de neerslag, door droge depositie van ammoniak, door biologische stikstofbinding of als gevolg van het gebruik van kunstmeststikstof. Fosfor kan in de wortelzone in veel verschillende vormen voorkomen, namelijk als organisch en als anorganisch fosfaat, in zowel labiele als meer stabiele vormen. Het beschikbare fosfaat komt langzaam vrij uit de labiele voorraden.

De hoeveelheid stikstof die van buitenaf aan het systeem wordt toegevoerd kan relatief groot zijn als gevolg van atmosferische depositie en van de activiteit van stikstofbindende micro-organismen. Dit is in tegenstelling tot de toevoer van fosfor, die in de vorm

*) Bewerkte versie van een publikatie door de eerste drie auteurs in Plant and Soil met de titel: Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir in the Netherlands (Plant and Soil, 95: 191-200).

¹⁾ Vakgroep Theoretische Teeltkunde LH Wageningen.

²⁾ Vakgroep Bosteelt LU Wageningen.

³⁾ Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.

van atmosferische depositie verwaarloosbaar klein is. Fosfor wordt in land- en bosbouwsystemen vrijwel alleen toegevoerd in de vorm van kunstmest of organische mest.

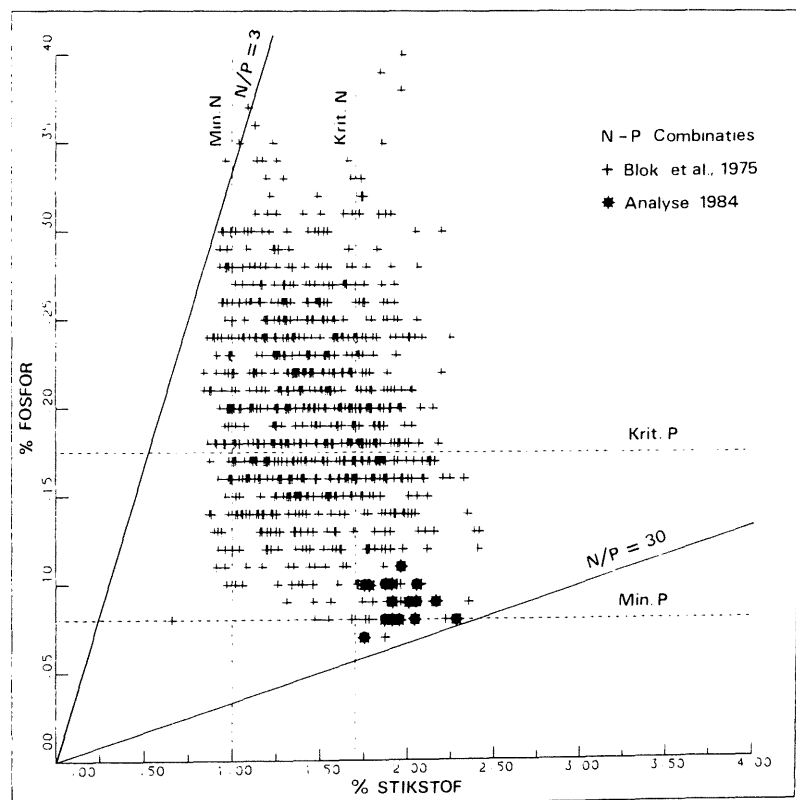
Als gevolg van de onderlinge samenhang in de functies die stikstof en fosfor vervullen in de plant (de hoeveelheid stikstof hangt nauw samen met de totale hoeveelheid eiwitten, terwijl fosfor o.a. een belangrijke rol speelt in de vorming en het onderhoud van die eiwitten), treedt een aantal belangrijke interacties op tussen beide voedingselementen (Bengtson en Holstener-Jørgensen, 1971). De concentratie van het ene element bepaalt de mogelijke concentraties van het andere, zodanig dat hun onderlinge verhouding weinig varieert: het maximaal mogelijke stikstofgehalte wordt zodoende door de aanwezige hoeveelheid fosfor beïnvloed, en is lager bij een lager fosforgehalte en hoger bij een hoger fosforgehalte. De verhouding tussen de stikstof- en fosforgehalten in het plantmateriaal kan in dit verband goed gebruikt worden om de voedingstoestand te beoordelen. In combinatie met de gehalten zelf, geeft de N/P verhouding een indicatie met betrekking tot de reacties die verwacht kunnen worden bij toepassing van bemesting (Ingestad, 1967). Traject en extremen van N/P verhoudingen kunnen eenvoudig bepaald worden uit standaard bemestingsexperimenten met stikstof en fosfor, bijvoorbeeld zoals beschreven door

Blok et al. (1975) voor douglas in Nederland. Uit hun resultaten, weergegeven in figuur 1, blijkt dat de N/P verhouding van een half jaar oude douglasnaalden varieert van ongeveer 3, in geval van een relatief tekort aan stikstof, tot 30 bij een relatief tekort aan fosfor. Deze waarden komen overeen met de waarden voor andere naaldbomen (Ingestad, 1967; Richards en Bevege, 1969), en met de waarden voor landbouwgewassen (Penning de Vries et al., 1978). De optimale N/P verhouding ligt ongeveer bij $N/P = 10$, en het traject van een evenwichtige voorziening van stikstof en fosfor komt overeen met een N/P verhouding die varieert tussen 7 en 16 (Ingestad, 1967).

Behalve in de plant kunnen er ook in de bodem een aantal interacties tussen stikstof en fosfor optreden. Een overmaat aan stikstof in de bodem kan leiden tot een reductie in wortelgroei, met als resultaat een verminderde fosforopname. De fosforopname door de wortel hangt zowel af van de opnamecapaciteit van het wortelstelsel, als van de beschikbaarheid van fosfor in het bodemvocht. De laatste wordt o.a. beïnvloed door de zuurgraad van het bodemvocht, en een pH (H_2O)-daling tot beneden de waarde 5, kan een afname van de concentratie van fosfor veroorzaken door vorming van onoplosbare aluminium- en ijzerfosfaten. Indien nitrificatie van ammonium optreedt in zure bosgronden (Van Breemen et al., 1983), waardoor de verhoogde

Figuur 1 N/P diagram met daarin uitgezet fosfor- tegen stikstofgehalten in de halfjarige naalden, zoals bepaald door Blok et al. (1975) in een groot aantal factoriële bemestingsproeven op de meest voorkomende groeiplaatsen op zandgrond in Nederland (+). De stikstof- en fosforcombinaties in de naalden in Kootwijk en Ulvenhout in november 1984 zijn eveneens gegeven (*).

Figure 1 Diagram of phosphorus and nitrogen concentrations in half-year-old needles of Douglas fir determined by Blok et al. (1975) in a number of factorial fertilization trials on the most important sites in the Netherlands (+). The nitrogen/phosphorus combinations of the half-year-old needles in November 1984 in Kootwijk and Ulvenhout are also indicated (*).



stikstoftoevoer in het Nederlandse bos zou kunnen resulteren in een pH verlaging, neemt mogelijk ook daardoor de hoeveelheid fosfor in de bodemoplossing af.

Wegens de aanzienlijke toename van de atmosferische stikstofdepositie in Nederland gedurende de afgelopen jaren als gevolg van de toegenomen luchtverontreiniging door de intensieve veehouderij (van 12-20 kg ha⁻¹jr⁻¹ tot een waarde van 50 kg ha⁻¹jr⁻¹ of meer; Van Aalst, 1984; Van Breemen et al., 1982) is het van belang om de voedingstoestand van overigens onbemest naaldbos te onderzoeken om zodoende verstoringen in de voedingstoestand en de daarmee samenhangende groeiveranderingen zo snel mogelijk te herkennen. Indien op voorheen stikstofarme groeiplaatsen het stikstoftekort wordt opgeheven, zal het stikstofgehalte van de naalden, alsmede de totale groei toenemen tot een niveau bepaald door de beschikbaarheid van een ander voedingselement. Bij het opheffen van een stikstoftekort kan met name fosfor beperkend worden voor de groei; dit blijkt ook al uit het feit dat een positieve groeireactie op fosfor reeds vele malen werd waargenomen in zowel Nederlandse als Duitse onderzoeken (Van Goor, 1963; Smilde, 1973; Blok et al., 1975; Ulrich et al., 1975; Van den Burg, 1976a; Gussone en Reemtsma, 1981). Voor douglas in Nederland zou daarom verwacht mogen worden dat een toename van stikstof gepaard gaat met een afname van het fosforgehalte.

Beoordeling van de voedingstoestand van een bos kan het beste worden uitgevoerd aan de hand van naaldanalyses. Een grote mate van variatie in naaldgehalten van een voedingselement kan optreden als gevolg van verschillen in de bemonsteringsdatum, verschillen tussen bomen, en verschillen binnen de boom tussen verschillende kroonposities en tussen verschillende naaldjaargangen (Turner et al., 1978). Een zorgvuldige monsternamen is daarom vereist. De praktijk in Nederland bestaat uit bemonstering gedurende de herfst en de vroege winter (oktober-december). Bemonsterd worden naalden, gevormd in het afgelopen groeiseizoen, uit het bovenste deel van de boomkroon (Van den Burg, 1976b). De naaldanalyse bestaat uit het vergelijken van de gemeten gehalten met literatuurgegevens over gehalten waarbeneden een groei-

Tabel 1 Indicatieve waarden uit de literatuur van stikstof- en fosforgehalten ter beoordeling van de voedingstoestand van douglas aan de hand van naaldanalyses. Alle waarden zijn uitgedrukt als percentage van het naalddrooggewicht. De kritieke waarde is hier gedefinieerd als de concentratie waarbij de groei met meer dan 10% is gereduceerd (gegevens uit Blok et al., 1975; Mead, 1984; en Van den Burg, 1986).

	minimum	kritisch	voldoende
stikstof	0.8-1.2	1.7	1.7-2.5
fosfor	0.06-0.10	0.15-0.20	0.20-0.30

reductie verwacht mag worden, en onderzoek van de elementverhoudingen in het naaldmateriaal om zodoende verstoringen vast te kunnen stellen. Dit laatste kan tevens een indicatie geven over het relatieve tekort aan een bepaald element. In tabel 1 zijn de minimale, kritische, en voldoende niveaus van stikstof en fosfor voor douglas weergegeven, gebaseerd op literatuurgegevens (Blok et al., 1975; Mead, 1984; Van den Burg, 1986).

Meetgegevens van bemestingsproeven

In de tweede helft van de vijftiger jaren is een groot aantal bemestingsexperimenten uitgevoerd in douglascultures in Nederland. De gegevens daarvan zijn te vinden in Blok et al. (1975). In de experimenten werd zowel groeirespons op bemesting gemeten, als het stikstofgehalte en minerale samenstelling van de naalden. Twee nog intacte proefvelden, gelegen in de SBB-boswachterijen "Kootwijk" en "Ulvenhout" werden na 25 jaar opnieuw bemonsterd in november 1984, om mogelijke veranderingen in naaldsamenstelling te bestuderen. Een samenvatting van de naaldanalyse uitgevoerd in de opnieuw bemonsterde veldjes is weergegeven in tabel 2, samen met de meetgegevens uit 1957, 1958, 1959 en 1960.

De opstand in Kootwijk is aangelegd in 1954 met vierjarig plantsoen, op een droge humuspodzolgrond in rood dekzand, voorheen begroeid met heide. De pH-KCl van de bovenste bodemlaag (0-25 cm) was 4,1, en N-totaal bedroeg 0,1%. De totale hoeveelheid fosfor in die bovenste laag was 18 mg P/100 g grond. Het P-gehalte van de grond werd als voldoende voor douglas beoordeeld. De fosforbemesting bestond uit 35 kg P ha⁻¹ als thomasslakkenmeel aan het begin van 1956. Aan het eind van 1956 bevatten de naalden van de met fosfor bemeste veldjes 1,06% N, 0,24% P en 0,64% K. Deze gehalten verschillen niet of nauwelijks met die van de onbemeste veldjes, waarvan de naalden 0,98% N, 0,20% P en 0,64% K bevatten. Stikstof- en kaliumbemesting werd uitgevoerd aan het begin van 1957, met 100 kg N ha⁻¹ als kalkammonsalpeter in de 1^e behandeling, 66 kg K ha⁻¹ als Chloorkali (K-40) in de tweede behandeling, en 100 kg N ha⁻¹ gecombineerd met 66 kg K ha⁻¹ in de derde behandeling. Het calciumgehalte van de naalden in 1957 varieerde tussen 0,3 en 0,4%, en bedroeg 0,2-0,3% in 1984. Calcium is niet opgenomen in tabel 2 daar alleen gegevens van 1957 en 1984 beschikbaar waren, en omdat calcium geen consistent verschil tussen de behandelingen te zien gaf.

Het tweede proefveld, in Ulvenhout, bestaat eveneens uit een humuspodzolgrond in dekzand, voorheen begroeid met een menging van groveden en Amerikaanse eik. De groeiplaats is iets vochtiger dan in Kootwijk.

Tabel 2 Stikstof- en fosforgehalten in de naalden van twee bemestingsproefvelden, resp. 2 en 28 jaar na bemesting. De meetwaarden voor 1957, 1958, 1959 en 1960 zijn overgenomen van Blok et al. (1975). Bemonstering vond plaats in oktober of november, aan de in het afgesloten groeiseizoen gevormde naalden. Zie de tekst voor een beschrijving van de afzonderlijke behandelingen.

Kootwijk:

behandeling:	stikstof			fosfor			N/P verhouding		
	1957	1958	1984	1957	1958	1984	1957	1958	1984
O	1.04	0.91	2.01	0.12	0.11	0.09	9	8	22
N	1.46	1.02	1.96	0.10	0.10	0.11	15	10	18
K	1.31	1.15	1.91	0.15	0.14	0.09	9	8	21
NK	1.71	1.20	1.76	0.10	0.13	0.10	17	9	18
P	1.01	0.98	1.76	0.19	0.17	0.10	5	6	18
PN	1.54	1.03	1.87	0.13	0.14	0.10	12	7	19
PK	1.41	1.53	1.88	0.22	0.23	0.10	6	7	19
PNK	1.68	1.41	2.16	0.15	0.17	0.09	11	8	24

Ulvenhout

behandeling:	stikstof			fosfor			N/P verhouding		
	1959	1960	1984	1959	1960	1984	1959	1960	1984
O	1.56	1.47	1.75	0.09	0.08	0.07	17	18	25
n2	1.91	1.55	1.91	0.08	0.08	0.08	24	19	24
n2K	1.88	1.68	1.95	0.09	0.08	0.08	21	19	24
P	1.26	1.28	1.87	0.16	0.16	0.08	8	8	23
PK	1.25	1.32	2.04	0.15	0.15	0.08	8	9	26
n2K	1.32	1.25	1.77	0.16	0.13	0.10	8	10	18
n1PK	1.32	1.24	2.05	0.14	0.17	0.09	9	7	23
n2PK	1.35	1.22	1.90	0.13	0.12	0.10	10	10	19
N1PK	1.37	1.35	2.05	0.17	0.15	0.10	8	9	21
N2PK	1.22	1.23	2.28	0.13	0.14	0.08	9	9	29

De cultuur is in 1952 aangelegd met driejarige douglas. De pH-KCl in 1956 bedroeg 3,4 in de minerale bovengrond (0-25 cm); N-totaal bedroeg 0,1%. Het totale gehalte aan fosfor bedroeg 9 mg P/100 g. Volgens Van Goor (1963) is dit te laag voor douglas. De behandelingen werden uitgevoerd in mei 1958 en bestonden uit de volgende hoeveelheden per hectare: P: 40 kg P als superfosfaat; PK: 40 kg P als superfosfaat en 47 kg K als kaliumsulfaat; n2: 150 kg N als kalkammonsalpeter (KAS), toegediend als 15 g per plant; n2P: 150 kg N als KAS, toegediend als 15 g per plant, en 40 kg P als superfosfaat; n2K: 150 kg N als KAS, toegediend als 15 g per plant, en 47 kg K als kaliumsulfaat; n1PK: 75 kg N als KAS, toegediend als 7,5 g per plant, 40 kg P als superfosfaat, en 47 kg K als kaliumsulfaat; n2PK: 150 kg N als KAS, toegediend als 15 g per plant, 40 kg P als superfosfaat, en 47 kg K als kaliumsulfaat; N1PK: 75 kg N als KAS, 40 kg P als superfosfaat, en 47 kg K als kaliumsulfaat; N2PK: 150 kg N als KAS, 40 kg P als superfosfaat, en 47 kg K als kaliumsulfaat.

Discussie over de uitkomsten van de bemestingsproefvelden

Kootwijk

Blok et al. (1975) evalueerden de kunstmestbehandelingen aan de hand van metingen van de hoogtegroeï in 1957, 1958 en 1959, en concludeerden dat bemesting met alleen fosfor geen significante groeitoename tot gevolg had, maar dat dit wel het geval was bij bemesting met fosfor in combinatie met stikstof of kalium, of beide. In het algemeen laten de meetgegevens van vóór 1960 een duidelijke response zien op stikstof- en kaliumbemesting. De N/P verhoudingen van de naalden in deze periode waren laag tot gemiddeld (5-12), met een duidelijke toename in 1957 in geval van stikstofbemesting zonder fosfaat. Het proefveld in Kootwijk vertoonde dus een relatief stikstofgebrek ten tijde van de uitgevoerde bemesting.

Het beeld in 1984 is volledig verschillend van de hierboven geschetste situatie aan het eind van de vijfti-

ger jaren. De naalden bevatten nu een optimale hoeveelheid stikstof, terwijl fosfor verdund is tot de minimaal vereiste waarde. Er zijn geen verschillen meer waarneembaar tussen de veldjes onderling. Hoewel er geen gebreksverschijnselen zichtbaar waren, moet uit de analyses geconcludeerd worden dat er zich sinds 1959 een ernstig fosforgebrek heeft ontwikkeld in alle behandelingen, terwijl tegelijkertijd de stikstofgehalten van alle afzonderlijke veldjes gestegen zijn, zelfs in de veldjes die in 1956 reeds stikstofbemesting ontvingen. Met betrekking tot de groei van douglas, is een verandering opgetreden van een situatie met relatief stikstofgebrek naar een situatie met relatief fosforgebrek. Dit wordt zeer duidelijk weergegeven door de veranderingen in de N/P verhoudingen in tabel 2.

Er zijn voor deze extreme N/P verhoudingen twee verklaringen: ófwel de fosforbeschikbaarheid in de bodem is sterk afgenomen, ófwel de beschikbaarheid van stikstof is belangrijk toegenomen. De beschikbaarheid van fosfor in de bodem voor opname door planten kan afnemen a) als gevolg van uitspoeling van fosfor uit de wortelzone; b) als gevolg van het cumulatieve effect van fosforopname en -vastlegging in de biomassa door de planten zelf; c) door fixatie van beschikbaar fosfor in een voor de plant niet toegankelijke vorm in de bodem. Indien de beschikbaarheid van stikstof sterk toeneemt, dan kan het fosforgehalte dalen door de groeitoename als gevolg van de verbeterde stikstofvoorziening (een verdunningseffect), of door de veranderingen in het wortelmilieu (bv. verminderde wortelgroei) als gevolg van het overvloedige stikstofaanbod, waardoor wellicht minder fosfor kan worden opgenomen.

Uitspoeling van fosfaat-ionen uit de doorwortelde grond speelt in het algemeen geen rol van betekenis in zure podzolgronden zoals in Kootwijk en Ulvenhout. De hoeveelheid fosfor die wordt geïmmobiliseerd in de levende biomassa is gering daar alleen de vastlegging in het stamhout van belang is, en stamhout slechts een zeer laag gehalte aan fosfor bevat. Het merendeel van de opgenomen hoeveelheid fosfor bevindt zich in de naalden. Deze hoeveelheid wordt voortdurend met het strooisel teruggevoerd naar het bodemcompartiment, en komt daar na decompositie en mineralisatie weer opnieuw beschikbaar voor opname. Toegenomen fixatie van fosfor in de bodem, als gevolg van een afname in de pH van de bodem kan in elk geval in Kootwijk geen rol gespeeld hebben, daar hier de pH van de bodem niet is veranderd sinds de bemestingen in 1956. Dit wil zeggen dat de fosforbeschikbaarheid in de bodem van de veldjes die geen fosforbemesting hebben ontvangen, naar alle waarschijnlijkheid hetzelfde is gebleven, en dat de verandering van een door stikstof gelimiteerde groeisituatie naar een volledig door fosfor gelimiteerde groeisituatie alleen maar

het gevolg kan zijn van een verandering in de stikstofhuishouding. Gezien de aanzienlijke toename in de atmosferische depositie van stikstof gedurende de laatste decennia als gevolg van de toegenomen activiteit van de intensieve veehouderij, leidt dit tot de conclusie dat de daarmee gepaard gaande veranderingen in stikstofbeschikbaarheid hebben geleid tot de ontwikkeling van het geconstateerde fosforgebrek.

Ulvenhout

Op deze groeiplaats, met een beduidend lager fosforgehalte van de grond, resulteerde de fosforbemesting al in een toename van de hoogtegroeï in hetzelfde jaar als waarin de bemesting werd toegediend. De gunstige werking van de fosforgift strekte zich over verscheidene jaren uit en was nog steeds zichtbaar in 1966 toen de totale volumeproductie in de bemeste veldjes driemaal zo hoog was als die in de onbemeste veldjes (Blok et al., 1975). Het resultaat van de fosforbemesting met betrekking tot de fosforgehalten in de naalden is duidelijk te zien in tabel 2. Uit tabel 2 blijkt eveneens dat bemesting met fosfor alleen of met fosfor in combinatie met kalium, tot gevolg heeft dat het stikstofgehalte in de naalden afneemt als gevolg van een verdunningseffect, veroorzaakt door de toegenomen groei. Een gecombineerde NPK bemesting geeft dan ook de beste resultaten. In tegenstelling tot Kootwijk vertoont het proefveld te Ulvenhout een duidelijke reactie op fosforbemesting. Uit de stikstofgehalten in 1958 in de onbemeste situatie is af te leiden dat stikstof destijds blijkbaar niet groeibeperkend was. Voldoende stikstof, gecombineerd met geringe fosforbeschikbaarheid resulteerde in hoge N/P verhoudingen op de veldjes zonder fosforbemesting. Bemesting met fosfor alleen, of met fosfor gecombineerd met kalium resulteerde in matig stikstofgebrek en lage N/P verhoudingen. Hieruit kan worden afgeleid dat zowel stikstof als fosfor beide in beperkte mate beschikbaar waren, waarbij fosforgebrek de overhand had in de onbehandelde situatie. Gecombineerde NPK behandelingen gaven al in het jaar van de behandeling (1958) evenwichtige N/P verhoudingen in de naalden, en resulteerden in de beste groeirespons.

Evenals in Kootwijk waren ook in Ulvenhout de fosforgehalten erg laag in november 1984, in combinatie met hoge stikstofgehalten, en eveneens hoge N/P verhoudingen, vergelijkbaar met de onbemeste veldjes in 1958. Blijkbaar is de fosforbemesting uitgewerkt en is stikstof in overmaat aanwezig, met klaarblijkelijk als gevolg een zelfde nutriëntenstatus als in Kootwijk. Net als in Kootwijk vertoonde ook hier geen van de veldjes enige zichtbare gebreksverschijnselen zoals beschreven door Van Goor (1963). Uit de gegevens van Ulvenhout kan echter niet zonder meer geconcludeerd

worden dat de toegenomen stikstofdepositie een fosforgebrek veroorzaakt, daar een effect op de fosforgehalten van de naalden als gevolg van stikstofdepositie niet te onderscheiden is van de slechte fosforvoorziening die reeds in 1959 tot lage fosforgehalten leidde. De toename in de N/P verhouding van de naalden in de proefvelden met fosforbemesting kan daardoor zowel het resultaat zijn van de afgenomen beschikbaarheid van de toegevoerde fosforbemesting, als van de toegenomen stikstofbeschikbaarheid door verhoogde atmosferische depositie. Beide effecten zijn mogelijk, maar kunnen niet worden onderscheiden op grond van de gegevens uit Ulvenhout alleen. De enige aanwijzing van een effect van de toegenomen stikstofdepositie is te vinden in het toegenomen stikstofgehalte van de naalden in de nulbehandeling.

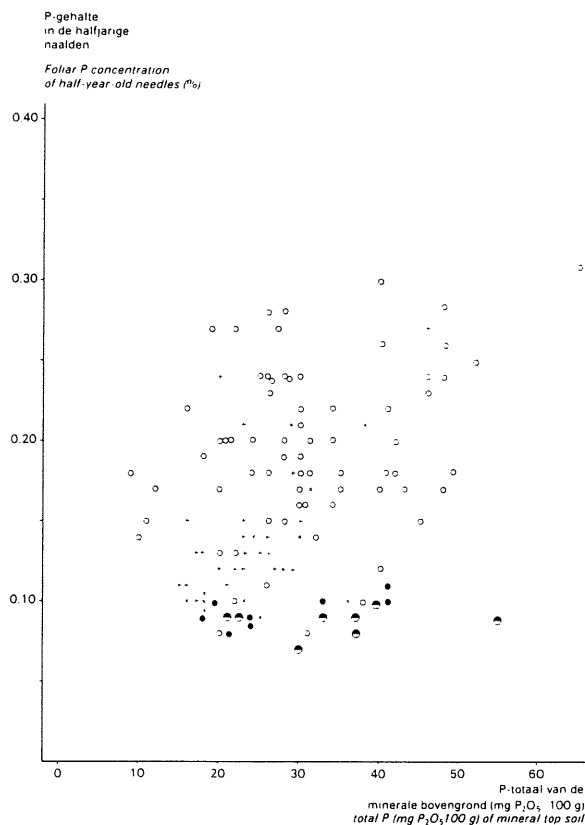
Vergelijking van de gegevens uit Ulvenhout en Kootwijk illustreert de ontwikkeling van een relatief fosforgebrek op een groeiplaats die oorspronkelijk stikstofgebrek vertoonde, waarbij dit fosforgebrek niet te onderscheiden is van fosforgebrek als gevolg van een onvoldoende fosforbeschikbaarheid in de bodem.

Recente waarnemingen in andere douglasopstanden

Dezelfde verschijnselen als hierboven beschreven voor de twee bemestingsproeven, werden gevonden in een onafhankelijk hiervan in 1984 uitgevoerd onderzoek in enkele douglasopstanden in Nederland (Van den Burg, 1984). Twee ca. 40-jarige douglasopstanden op humuspodzolgronden, beide met symptomen van afnemende vitaliteit werden onderzocht op verzoek van de plaatselijke beheerders. Beide opstanden, in Staphorst en in De Rips, zijn bij aanleg bemest met 30-40 kg P ha⁻¹. De Staphorster opstand (pH-KCl = 3.3; P-totaal = 7,5 g P/100 g grond in de bovenste 25 cm) vertoonde naaldgehalten van 2,18% N gecombineerd met 0,095% P, resulterend in een N/P verhouding van 23. De opstand nabij De Rips bevatte 1,88% N en 0,085% P, met een N/P verhouding van 22. De naaldbezetting in De Rips was ijl en de naalden hadden een grijsgroene kleur. In Staphorst waren de naalden van het St. Janslot citroengeel gekleurd. Deze verschijnselen zijn in de literatuur niet als fosforgebreksverschijnselen beschreven.

Omstreeks dezelfde tijd (winter 1984-1985) werd een onderzoek uitgevoerd naar naaldsamenstelling en bodemgesteldheid in acht geselecteerde douglasopstanden van ongeveer 40 jaar oud, waarbij alle onderzochte opstanden zowel schijnbaar gezonde als schijnbaar minder gezonde bomen bevatten. Gezonde en minder gezonde bomen zijn hierbij onderscheiden op grond van kroontransparantie (Oterdoom et al., 1986). In de opstanden varieerde de pH-KCl van de bovenste

bodemlaag (0-25 cm) tussen 3,1 en 4,0, en het totale fosforgehalte van dezelfde laag varieerde van 8 mg P/100 g grond to 24 mg P/100 g grond. In alle gevallen varieerde de N/P verhouding in de naalden maar weinig, en bedroeg overal 20-24. De gemiddelde waarde voor de schijnbaar gezonde bomen was gelijk aan 20,4 (1,95% N en 0,095% P in de naalden), terwijl de N/P verhouding in de schijnbaar minder gezonde bomen gemiddeld 23,4 was (2,06% N en 0,088% P in de naalden). Het stikstofgehalte van de anderhalfjarige naalden was daarbij hoger dan dat van de laatstgevormde (halfjarige) naalden, wat erop wijst dat het stik-



- cultures en jonge opstanden opname n.j. 1955-n.j. 1956 (Van Goor en Van Laar 1957)
- plantations and young stands, sampled autumn 1955-1956
- 1e generatie-opstanden | opname n.j. 1977
- 2e generatie-opstanden |
- 1st rotation stands | sampled autumn 1977
- 2nd rotation stands |
- opstanden in Midden-Nederland, n.j. 1984, vitaal
- stands in Central Netherlands, sampled autumn 1984, good condition
- opstanden in Midden-Nederland, n.j. 1984, niet vitaal
- stands in Central Netherlands, sampled autumn 1984, rather poor condition

Figuur 2 Fosforvoorziening van douglasopstanden in Midden-Nederland (najaar 1984), vergeleken met de fosforvoorziening van douglas op eerdere tijdstippen.

Figure 2 The phosphorus supply of stands of Douglas fir in the Central Netherlands (autumn 1984), as compared to the phosphorus supply of Douglas fir stands and plantations in the past.

stofgehalte van de naalden nog toeneemt na het eerste groeiseizoen.

De betekenis van de hoge stikstof- en lage fosforgehalten voor douglas wordt duidelijk als het fosforgehalte van de minerale bovengrond en die van de halfjarige naalden uit het onderzoek van Oterdoom et al. worden vergeleken met de resultaten uit eerder onderzoek (Van Goor en Van Laar, 1957; Van den Burg en Schoenfeld, 1986). In figuur 2 zijn de resultaten van deze vergelijkingen weergegeven. Geldt voor de vroeger onderzochte opstanden dat het fosforgehalte van de halfjarige naalden in het algemeen toeneemt met het fosforgehalte van de bovengrond, in de in 1984/1985 onderzochte opstanden lijkt dit niet meer het geval te zijn: het fosforgehalte van de halfjarige naalden van deze opstanden bleef laag ook bij totaal fosforgehalten van de bovengrond die voorheen (Van Goor, 1963) hoog genoeg geacht werden om de fosforvoorziening van douglas te waarborgen.

Conclusies

Uit de meetgegevens zoals weergegeven in tabel 2 blijkt duidelijk dat er in 1984 een ernstig fosfortekort optreedt in beide vroegere bemestingsproefvelden. In tegenstelling tot de situatie van 25 jaar geleden komen in beide proefvelden, en in alle veldjes, hoge stikstofgehalten voor, steeds in combinatie met zeer lage fosforgehalten. Dit leidt overal tot extreme N/P verhoudingen, van 20 tot 30. Voor zover het de huidige situatie betreft, kan hetzelfde geconstateerd worden uit de additionele analyseresultaten welke onlangs werden verkregen van een serie douglasopstanden. Gezien de veranderingen in N/P verhoudingen met name in het proefveld in Kootwijk, en uitgaande van een gelijkblijvende fosforbeschikbaarheid in de bodem zoals boven beargumenteerd, leidt dit tot de conclusie dat het geconstateerde fosforgebrek het gevolg is van de toegenomen stikstofdepositie en stikstofbeschikbaarheid in het Nederlandse bos.

In dezelfde richting gaan de conclusies van Friedland et al. (1985), Nihlgård (1985) en Reigber en Braun (1985), die groeistoornissen bij naaldboomsoorten onder andere toeschrijven aan de toegenomen stikstofdepositie van de laatste jaren. Waar voorheen stikstofgebrek werd geconstateerd, lijkt nu sprake van een overvloedige stikstofvoorziening. Het optreden van hoge stikstofgehalten bij douglas op zandgronden in Nederland staat daarbij niet op zichzelf. Reeds eerder werd dit waargenomen bij Corsicaanse en Oostenrijkse den in de Peel (Van den Burg 1983; Roelofs et al., 1985) en bij groveden in de boswachterij Kootwijk.

Een veronderstelling dienaangaande die de laatste tijd is geopperd, betreft niet zozeer de afnemende beschikbaarheid van fosfor, alswel de afnemende opna-

mecapaciteit van het wortelstelsel. Dit laatste zou dan onder andere een gevolg kunnen zijn van verminderde wortelgroei in combinatie met een afnemende mycorrhizabezetting, wellicht veroorzaakt door overmaat aan stikstof in de bodem (Zinke, 1980).

Op groeiplaatsen met grotere hoeveelheden fosfaat in de bodem, bijvoorbeeld als gevolg van zware fosforbemesting bij aanleg of gedurende voorafgaand landbouwkundig gebruik, is het mogelijk dat mechanismen als hierboven beschreven andere gebreksverschijnselen veroorzaken, bijvoorbeeld van magnesium of van kalium (Roelofs et al., 1985). Indien gebreksverschijnselen niet optreden, en de vochtvoorziening voldoende is, mag verwacht worden dat in deze situaties de verhoogde stikstoftoevoer tot produktieverhoging leidt.

Indien als gevolg van een aanhoudende, verhoogde stikstoftoevoer er een gebrek aan minerale voedingsstoffen ontstaat, dat niet opgeheven kan worden door externe aanvoer of verwerking uit moedermateriaal in het profiel, dan is een aanvullende of compenserende bemesting vereist indien een evenwichtige voedingsstoestand en goede opstandsgroei moeten worden gehandhaafd. In geval van fosfortekort in bos kan bemesting met fosfaatmeststoffen een aantrekkelijke beheersoptie zijn, daar fosforverlies door uitspoeling of vervluchtiging geen rol speelt in deze situaties. Bovendien is in bossen het nadeel van een geringe opneembare fractie op jaarbasis van de toegediende meststof minder belangrijk door een belangrijk intern hergebruik (herverdeling voorafgaand aan het afstoten van oudere naalden) en extern hergebruik (via het strooisel) van voedingsstoffen. Uitgaande van de stikstof- en fosforgehalten en hun verhoudingen zoals hier weergegeven mag in de beschreven situaties een respons op fosforbemesting verwacht worden. Een onzekere factor blijft echter de opname van fosfor door het wortelstelsel. De mogelijkheid van bomen om fosfor op te nemen uit gronden met lage fosforgehalten berust onder andere op de aanwezigheid van mycorrhizae, en dit kan eveneens tot uiting komen in de reactie op fosforbemesting.

Bovenstaande gevolgtrekking aangaande aanvullende bemesting geldt voor een reeks van groeiplaatsen die gebruikt worden voor douglas in Nederland. Uitgaande van een vooralsnog aanhoudende hoge atmosferische immisatie van stikstof, die op veel groeiplaatsen stikstofverzadiging veroorzaakt, is bemesting een belangrijke beheersoptie voor groeiplaatsen en opstanden waar de hoofddoelstelling een vitale en goed groeiende opstand is. Dit laatste is het geval voor het grootste deel van het Nederlandse bosareaal.

Literatuur

- Aalst, R. van. 1984. Verzuring door atmosferische depositie – Atmosferische processen en depositie. Publikatiereeks Milieubeheer, MvLV/MvVROM. 76 p.

- Bengtson, G. W. and H. Holstener-Jørgensen. 1971. Interactions of nitrogen and phosphorus: their effects on forest tree response to N-P fertilization and on the diagnostic value of foliar analysis. In: Proceedings Section 21 – Research on site factors. XV IUFRO Congress, Gainesville, Florida, USA, 1971. Wageningen, The Netherlands, 1976. p. 65-86.
- Blok, H., J. van den Burg, C. P. van Goor, K. Jager en L. Oldenkamp. 1975. Bemesting en minerale voeding van Douglascultures. Intern Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 69.
- Breemen, N. van, P. A. Burrough, E. J. Velthorst, H. F. van Dobben, T. de Wit, T. B. Ridder and H. F. R. Reinders. 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* 299: 548-550.
- Breemen, N. van, J. J. M. van Grinsven and E. R. Jordens. 1983. H⁺-Budgets and nitrogen transformation in woodland soils in the Netherlands influenced by high input of atmospheric ammonium sulphate. *Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Berichte* 500: 345-348.
- Burg, J. van den. 1976a. De invloed van het stikstofgehalte van de organische stof in zandgronden zonder kalk op de groei van naaldhoutsoorten, afhankelijk van de fostaat- en de waterbeschikbaarheid. Intern Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 87.
- Burg, J. van den. 1976b. Problems related to analysis of forest soil fertility. In: Proceedings XVI IUFRO World Congress, Division 1. p. 148-163.
- Burg, J. van den. 1983. Zure depositie en luchtverontreiniging – hun betekenis voor het bos. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 55: 371-379. Mededeling Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 209.
- Burg, J. van den. 1984. Aluminiumgehalten van een aantal boomsoorten – een samenvatting van enige literatuurgegevens. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 386.
- Burg, J. van den. 1986. Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a compilation of literature data. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 414.
- Burg, J. van den, en P. H. Schoenfeld. 1986. Groei, bodem en minerale voedingstoestand van eerste- en tweede-generatie naaldbossen in Drente. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen (in voorbereiding).
- Friedland, A. J., G. H. Hawley and R. A. Gregory. 1985. Investigation of nitrogen as a possible contributor in red spruce (*Picea rubens* Sarg.) decline. In: Air pollutants – effects on forest ecosystems. May 8-9, 1985, St. Paul, MN, Proceedings, coordinated by the Acid Rain Foundation, USA.
- Goor, C. P. van. 1963. Bemestingsvoorschrift voor naaldhoutcultures. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 35: 129-142; Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 56. (2e herz. dr. 1967).
- Goor, C. P. van, en A. van Laar. 1958. De aanleg van douglasopstanden. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 30: 67-83; Korte Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 33.
- Gussone, H. A., and J. B. Reemtsma. 1981. Nährstoffmangel und erste Reaktionen auf Düngungen in Douglasien-Jungwachsen. *Forst- und Holzwirt* 19: 476-481.
- Ingestad, T. 1967. Methods for uniform optimum fertilization of forest tree plants. In: Proceedings XIV IUFRO – World Congress, Section 22. p. 265-269.
- Mead, D. J. 1984. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: G. D. Bowen and E. K. S. Nambiar (Eds.) *Nutrition of Plantation Forests*. Academic Press, London. p. 259-291.
- Nihlgård, B. 1985. The ammonium hypothesis – an additional explanation to the forest dieback in Europe. *Ambio* 14: 2-8.
- Oterdoom, J. H., J. van den Burg en W. de Vries. 1986. Resultaten van een oriënterend onderzoek naar de minerale voedingstoestand en de bodemchemische eigenschappen van acht douglasopstanden met vitale en minder vitale bomen in Midden-Nederland, winter 1984/1985. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen (in voorbereiding).
- Penning de Vries, F. W. T., J. M. Krul and H. van Keulen. 1978. Productivity of Sahelian rangelands in relation to the availability of nitrogen and phosphorus from the soil. In: T. Rosswall (Ed.) *Nitrogen cycling in West African Ecosystems*. SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. p. 93-113.
- Reigber, E., and G. Braun. 1985. Forstliche Bioindikatoruntersuchungen in Bayern – Methodik und erste Ergebnisse 1981/82. *Forstliche Forschungsberichte, Schriftenreihe Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt*, nr. 68. 179 S.
- Richards, B. N., and D. I. Bevege. 1969. Critical foliage concentrations of nitrogen and phosphorus as a guide to the nutrient status of *Araucaria* underplanted to *pinus*. *Plant and Soil* 31: 328-336.
- Roelofs, J. G. M., A. J. Kempers, A. L. F. M. Houdijk and J. Jansen. 1985. The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. *maritima* in the Netherlands. *Plant and Soil* 84: 45-56.
- Smilde, K. W. 1973. Phosphorus and micronutrient metal uptake by some tree species as affected by phosphate and lime applied to an acid sandy soil. *Plant and Soil* 39: 131-148.
- Turner, J., S. F. Dice, D. W. Cole and S. P. Gessel. 1978. Variation of nutrients in forest tree foliage – a review. College of Forest Resources, University of Washington, Institute of Forest Products, Contribution 35. 31 p.
- Ulrich, B., R. Mayer und U. Sommer. 1975. Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. *Forstarchiv* 46: 5-8.
- Zinke, P. J., 1980. Influence of chronic air pollution on mineral cycling in forests. General Technical Report, Pacific Southwest Forest and Range Experimental Station, nr. 43. p. 88-99.