

J. van den Burg

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

## Samenvatting

Tijdens de "Douglasdagen-1986" van de KNBV op 23 en 24 oktober zijn de belangrijkste eigenschappen van bodem en klimaat voor de douglas, en de mineralen-voorziening van deze soort toegelicht. Deze toelichtingen zijn uitgewerkt tot een literatuuroverzicht van de belangrijkste groeiplaatseisen en hoedanigheden van de douglas, op basis van recente gegevens en onderzoekresultaten. Tevens zijn de mogelijke gevolgen van zure depositie en stikstofimmissie besproken, voorzover de stand van zaken van het lopende onderzoek dat toeliet.

## 1 Inleiding

De uitdrukking "groeiplaats van de douglas" heeft eigenlijk betrekking op de beschrijving van eigenschappen van bodem en klimaat van die standplaatsen waar de douglas groeit. Het onderwerp dat in dit artikel ter sprake komt, is deels ruimer, deels beperkter van opzet. De verruiming is te vinden in de beschrijving van relaties tussen groeiplaatseigenschappen en – werkelijke of te verwachten – groei, en in de voedingsstoffenhuishouding. De beperking is aangebracht door alleen die weer- en klimaateigenschappen te bespreken waarvan de invloed op groei en vitaliteit afhankelijk is van de bodem.

Het onderwerp is niet nieuw. Reeds in 1957 werd de toen beschikbare kennis over de douglas in Nederland samengevat (43, 67). Onderzoek, uitgevoerd in de zestiger jaren (40), breidde deze kennis uit. Sindsdien is meer bekend geworden over bepaalde aspecten van de groeiplaats (waterhuishouding, generatie, groei, en bodemgesteldheid) en zijn problemen samenhangend met zure depositie, luchtverontreiniging en eutrofiëring belangrijker geworden. Tevens wordt gedacht aan een groter aandeel van de douglas in de Nederlandse bosoppervlakte. Dit artikel bevat daarom een overzicht van de sinds de laatste jaren toegenomen kennis, maar ook een interpretatie van die kennis met het oog op de vragen die in de laatste jaren zijn gerezen.

## 2 Overzicht van de groeiplaatseisen van de douglas

### 2.1 Klimaat, bodem en groei

Er bestaat een vrij uitvoerige literatuur over de groeiplaatseisen van de douglas, gebaseerd op onderzoek in het natuurlijke verspreidingsgebied van de soort, en op onderzoek in gebieden waar de douglas is geïntroduceerd (1, 3, 24, 31, 34, 35, 43, 49, 57, 62, 74). Deze eisen zijn:

- De tegenstellingen tussen zomer- en wintertemperatuur mogen niet te uitgesproken zijn; een tamelijk hoge luchtvochtigheid is gewenst, hoewel zomerdroogte door de douglas beter wordt verdragen dan door de fijnspaar; zeer droge zomers zijn echter nadelig, als de watervoorziening door de bodem te wensen overlaat.
- Wintervorst wordt volgens sommigen goed verdragen, maar volgens anderen zijn koude winters nadelig; de groene vorm (*viridis*) zou in koude winters naaldverbruining en naaldval vertonen (vooral aan de zonzijde), in tegenstelling tot de grijze vorm (*caesia*); voor Nederland komt daarbij de negatieve invloed van zonnige winters.
- Voorjaarsvorst en najaarsvorst zijn vooral in de jeugdperiode schadelijk.
- Zeewind en – op oudere leeftijd – expositie van de kroon boven een beschuttende opstand worden niet verdragen; ook is de douglas gevoelig voor plotselinge vrijstelling door het vellen van aangrenzende opstanden.
- De bodem moet zo mogelijk zandig-lemig zijn, diep doorwortelbaar en goed doorlucht; zware gronden zijn ongeschikt; de tolerantie tegen een gering vochtleverend vermogen van de bodem mag niet worden overschat.
- De douglas verdraagt geen hoge grondwaterstanden; waar deze in de vegetatieperiode optreden, is windworp vaak het gevolg.
- Zeer droge zandgronden, waarop volgens bosbouwkundige maatstaven alleen de teelt van groveden verantwoord is, zijn ongeschikt voor de douglas.

<sup>1)</sup> Verschijnt tevens als Mededeling 227 van De Dorschkamp.

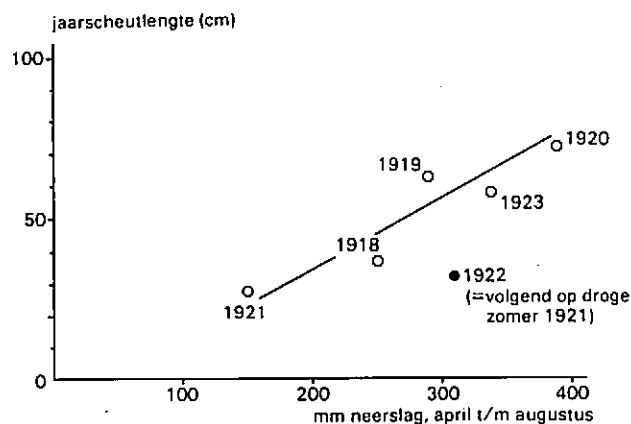
– De eisen aan de watervoorziening zijn hoger dan die van groveden, maar iets lager dan die van fijnspar en Abiessoorten.

– De eisen aan de minerale voeding zijn hoger dan die van de groveden, en ongeveer gelijk of iets hoger dan die van de fijnspar; op stikstof- of fosforgebrek reageert de douglas veel negatiever dan de groveden.

Bovenstaande groeiplaatseisen, zoals ze in de literatuur worden omschreven, zijn hoofdzakelijk kwalitatief. In de hierna volgende hoofdstukken worden ze zoveel mogelijk gekwantificeerd, dit wil zeggen geformuleerd als grootheden die in het bos of in het laboratorium meetbaar zijn.

## 2.2 Groei en bodemgesteldheid

In het groeiplaatseisenonderzoek worden klimaat, weer en bodem als het ware ontbonden in hun samenstellende factoren, en wel voornamelijk in die, die een merkbare invloed op de groei uitoefenen. Door vast te stellen hoe groot de bijdrage van elke afzonderlijke groeiplaatsfactor aan de groei is, kan men in theorie voor elke combinatie van groeiplaatsfactoren de te verwachten groei schatten. Dit is theorie, want in feite is het onderzoek nog niet zover gevorderd. In het verleden is uit onderzoek van "De Dorschkamp" en de Stichting voor Bodemkartering echter zoveel bekend geworden over de douglas (1, 55, 67, 71) dat het mogelijk is om per bodemeenheid de boniteit op basis van een aantal eigenschappen en hoedanigheden van de bodem te kunnen schatten. Deze zijn de zogenaamde beoordelingsfactoren (ontwateringstoestand (OT), vochtleverend vermogen (VL), voedingstoestand (VT, op basis van de spontane vegetatie, de aard van het moeder materiaal en het vroegere bodemgebruik) en de zuurgraad (ZG)). De achtergrond en betekenis van deze factoren zijn beschreven in (1). De combinatie van de gradatie van deze factoren per bodemeenheid



Figuur 1 Hoogtegroei van douglas in de boswachterij Kootwijk en de neerslag in de vegetatieperiode (naar 45).

geeft dan de groeiverwachting. Voor de meest voorkomende combinaties zijn deze groeiverwachtingen neergelegd in tabellen in het handboek "Aanleg en beheer van bos en beplantingen" (1). Om misverstanden te vermijden: het daarin gepresenteerde systeem is een bodemgeschiktheidsbeoordeling, geen groeiplaatsgeschiktheidsbeoordeling of – zo men wil – groeiplaatsstypologie. Een factorencombinatie als bijvoorbeeld het klimaat ontbreekt (nog), maar ook het ontwikkelingsstadium van het bos is (nog) niet ingevoerd. Dat behoort tot het onderzoek in de toekomst.

## 3 Klimaat, watervoorziening en groei

### 3.1 Neerslag en vochtleverend vermogen

Uit Amerikaans onderzoek volgt dat de groene douglas – die van de douglasvormen het meest in Nederland is aangeplant – positief reageert op toenemende jaarlijkse neerslag in zijn natuurlijke verspreidingsgebied. 625 mm.jaar<sup>-1</sup> is ongeveer het minimum, en tot 1000 mm.jaar<sup>-1</sup> neemt de boniteit toe, boven 1000 mm.jaar<sup>-1</sup> niet meer (29, 72). Een soortgelijk verband vond De Hoogh (45, 46) voor douglas in de boswachterij Kootwijk, op gronden zonder waternalevering vanuit het grondwater (figuur 1). Uit deze figuur worden twee dingen duidelijk:

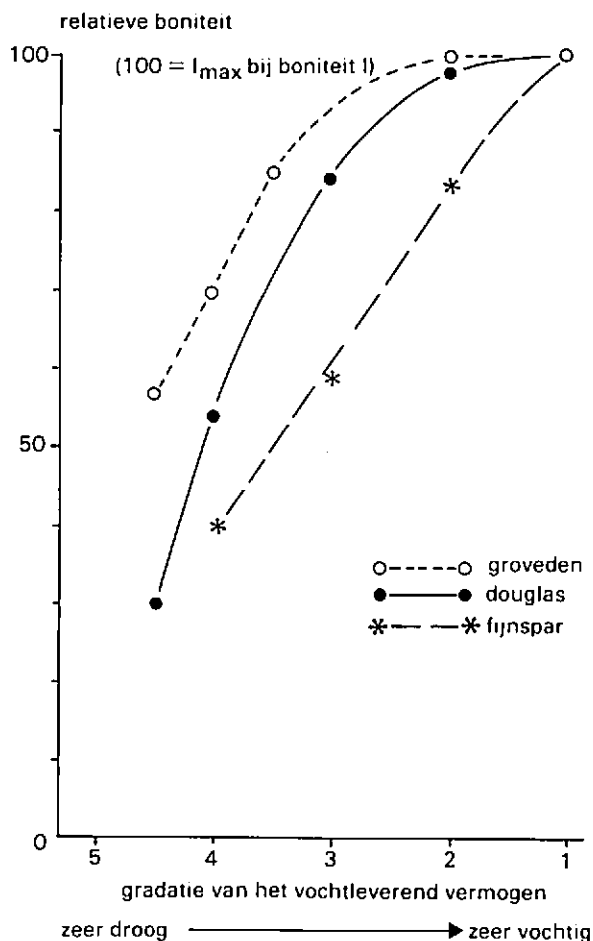
- de douglas reageert duidelijk negatief op lage neerslaghoeveelheden in de voorzomer en de zomer.
  - een droog jaar heeft een negatieve invloed op de groei in het volgende jaar (1921: zeer droog; 1922: hoogtegroei minder dan met de neerslaghoeveelheid in de periode april t/m augustus overeenkwam).
- De Hoogh (45) en met hem anderen (3, 7) waarschuwen dan ook tegen de neiging, de droogtetolerantie van de douglas te overschatten.

Vorderingen zijn gemaakt met het onderzoek naar de relatie tussen het vochtleverend vermogen en de boniteit van boomsoorten (20). In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de relatieve boniteit van drie naaldboomsoorten – waaronder douglas – die nogal eens met hun vochteisen worden vergeleken. Deze relaties zijn in ruwe benadering min of meer onafhankelijk van het bodemvruchtbaarheidsniveau.

Tabel 1 Gradaties van het vochtleverend vermogen van de grond (VL) en de relatieve groei van douglas, fijnspar en groveden (100 = relatieve volumeboniteit I).

VL	boomsoort		
	groveden	douglas	fijnspar
1	100	100	100
2	100	98	83
3	93	84	59
4	70	54	40
5	ca. 40	(geen waarnemingen)	

(1 = zeer vochtig; 5 = zeer droog).



Figuur 2 Relatieve boniteit van groveden, douglas en fijnspaar in afhankelijkheid van het vochtleverend vermogen van de grond.

Het bovenstaande is ook in figuur 2 weergegeven. Duidelijk blijkt wat in de praktijk allang bekend is, namelijk dat de fijnspaar het minst tolerant is tegen droogte, maar ook dat de douglas geen geschikte soort is voor zeer droge gronden. Gronden met gradatie van het vochtleverend vermogen 4 (3) zijn nog wel geschikt, gronden met de gradatie 4 (5) mogelijk niet meer.

In Beieren is een positief en praktisch lineair verband vastgesteld tussen de hoogteboniteit en het vochtleverend vermogen, op gronden met een vochtleverend vermogen van 60-220 mm (28). De lopende volumebijgroei was niet gerelateerd aan de neerslag in de vegetatieperiode, maar opvallend genoeg positief gecorreleerd met de gemiddelde temperatuur in maart en in oktober. De onderzoeker schrijft dit toe aan de eigenschap van de douglas, zeer vroeg in het voorjaar met de diametergroei te beginnen (voorafgaand aan de hoogtegroei), en de diametergroei pas laat in het na-

jaar af te sluiten. De uitkomst van dit Beierse onderzoek maakt aannemelijk

- de betekenis van de lange vegetatieperiode van de douglas (1)
- de uiteenlopende relaties van hoogte- en volumebijgroei met groeiplaatsfactoren; het zou interessant zijn om meetgegevens van langdurig waargenomen douglasproefvelden te correleren met meteorologische gegevens.

### 3.2 Regionale groeiverschillen

Hoewel Nederland over het algemeen niet die orografische verschillen vertoont, die het in het buitenland mogelijk maken om groeigebieden af te grenzen, is het aannemelijk dat verschillen in weersomstandigheden en op langere termijn klimaatverschillen mede bepalend zijn voor de groei van de douglas. Er is nog te weinig onderzoek verricht aan meteorologische factoren om met zekerheid uitspraken te doen, maar bepaalde tendenzen zijn wel aan te wijzen.

Bijna dertig jaar geleden werd het Nederlandse douglasbestand aan een uitgebreid groeiplaatseisenonderzoek onderworpen (40). Een van de uitkomsten was dat in het noordoosten (Drenthe) en midden (Veluwe) van Nederland de absolute boniteit ( $I_{max}$ ) gemiddeld  $12,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$  bedroeg, en in het zuiden (Brabant) gemiddeld  $10,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$ , op dezelfde gronden. De toen voorgestelde verklaring voor dit verschil berustte op verschillen in meteorologische factoren. Hoe de samenhang tussen de verschillen in meteorologische factoren in het NO + midden en het zuiden, en de boniteit is, laat zich niet bewijzen maar wel als volgt plausibel maken:

- een directe invloed van de temperatuur in de vegetatieperiode is niet waarschijnlijk; de gemiddelde maandtemperatuur in deze periode is namelijk in het noordoosten circa  $\frac{1}{2} \text{ }^\circ\text{C}$  lager dan in het zuiden (50); het ligt meer voor de hand, bij een gemiddeld hogere temperatuur ook een gemiddeld iets hogere boniteit te veronderstellen, op gronden van dezelfde kwaliteit.
- de neerslag in de vegetatieperiode vormt een betere verklaring; voor de groeigebieden "Dr" (Drenthe) en "Ve" (Veluwe) bedraagt de neerslag in de vegetatieperiode (V-IX) 365 respectievelijk 370 mm, in het groeigebied "Ke" 320 mm (1); vergelijkt men deze waarden met de uitkomsten van het onderzoek van De Hoogh (45), en neemt men aan dat de diametergroei ook enigszins samenhangt met de neerslag in de vegetatieperiode, dan vormt dit neerslagverschil een verklaring voor regionale groeiverschillen van de douglas in Nederland (Drenthe vs Brabant)
- neerslagtekorten kunnen eveneens een verklaring geven voor het gevonden regionale groeiverschil; vol-

## $E_o - N$ (mm)

	Drenthe	Veluwe	Brabant
juni	35-40	40	40-50
juli	0-10	0-10	20-30
<b>totaal</b>	<b>35-50</b>	<b>40-50</b>	<b>60-80</b>

gens (50) is in de maanden april, mei, augustus en september de waarde van het verschil  $E_o - N$  ( $E_o$  = "Penman"-verdamping;  $N$  = neerslag) in het NO, midden en zuiden ongeveer nul; in de maanden juni en juli tekenen zich echter regionale verschillen af:

Het neerslagtekort in juni + juli is dus in het zuiden groter dan in het midden en NO.

Stelt men  $E_o \approx E_p$  ( $E_p$  = potentiële verdamping) dan kan men concluderen dat in gemiddelde jaren douglasopstanden op gronden in Brabant met eenzelfde vochtleverend vermogen vaker een vochttekort zullen vertonen dan opstanden op gronden met dezelfde eigenschappen in het midden en noordoosten. Omdat het vochttekort negatief is gecorreleerd met de boniteit (20), is te verwachten dat de boniteit in Brabant gemiddeld geringer zal zijn.

### 3.3 Vorstgevoeligheid

De gevoeligheid van douglas voor late nachtvorst is een van de belangrijke problemen in het herkomstenonderzoek (68, 80). Deze eigenschap hangt vooral af van het herkomstgebied en is als zodanig eerder een fysiologische dan een bodemkundige aangelegenheid. Wel wordt de mate van vorstgevoeligheid op bepaald door de voorziening met minerale voedingsstoffen. Aan dit probleem is in de laatste jaren enige aandacht besteed (52, 53). Omdat het ook kan worden beschouwd als een onderdeel van de minerale voeding, wordt er in paragraaf 4.5 op teruggekomen.

## 4 Minerale voeding

### 4.1 Bodemeisen

4.1.1 *Stikstof* De douglas is een boomsoort, die vrij hoge eisen stelt aan de stikstofvoorziening (35, 39, 44). Uit groeiplaatseisenonderzoek (11) is enigszins af te leiden welke kwaliteit de organische stof van de minerale bovengrond (0-25 cm) ongeveer moet hebben om de douglas een bepaalde relatieve boniteit te laten bereiken. Deze grenswaarden zijn overigens afhankelijk van het vochtleverend vermogen van de bodem (tabel 2).

Tabel 2 Relatieve boniteit van de douglas en minimumwaarden voor de kwaliteit van de organische stof (N-org., %) in de minerale bovengrond (0-25 cm).

relatieve boniteit	gradatie van het vochtleverend vermogen (VL)		
	1-3	(3/4)	4(15)
I + II	> 1,8	> 2,1	—
III + IV	> 1,3	> 1,7	> 2,2

Men hantere deze getallen niet als zwart-wit-uitspraken, want de grenzen zijn vrij onscherp. De in tabel 2 vermelde getallen dienen ter oriëntatie. Als N-org. minstens 2,5% bedraagt ( $C/N \leq 23$ ), is de stikstofvoorziening meestal voldoende. Boomsoorten als fijnspar en groveden reageren voor wat hun groei betreft bij  $C/N < 24$  à 26 meestal niet meer op stikstofbemesting (27). In het natuurlijk verspreidingsgebied geldt N-org. = 2,0 - 3,7% als optimaal (72, 81).

Ook het totale stikstofgehalte van de minerale bovengrond speelt een zekere rol. In Nederland bestaat een zekere positieve samenhang tussen N-totaal (%) en de boniteit van de douglas (40). Als maatstaf voor een voldoende N-voorziening geldt N-totaal > 0,05 à 0,10% (11, 30, 81). In het traject N-totaal 0,05 à 0,10-0,25% is de N-voorziening voldoende,

Tabel 3 Criteria ter beoordeling van de fosforvoorziening van douglasopstanden door de bodem (0-25 cm).

P-totaalcijfer		beoordeling	opmerkingen
$mgP_2O_5/100\ g$	$mg\ P/100\ g$		
0-10	0- 4	zeer laag	gronden ongeschikt voor douglas, tenzij na P-bemesting
10-20	4- 9	laag	
20-40	9-17	matig	P-bemesting verbetert de groei
40-70	17-30	voldoende	
> 70	> 30	optimaal	

maar een positieve reactie op N-bemesting is mogelijk (30, 72). N-totaal > 0,25% geldt als optimaal (30). Voor de toepassing van het N-totaalcijfer als criterium geldt evenals voor de waarde van N-org.: de grenswaarden moeten niet absoluut, maar meer als oriënterend worden opgevat.

4.1.2 *Fosfor* Dit element heeft bij de aanleg van douglas als eerste bosgeneratie na heide een sleutelrol vervuld. Bemesting met 500-600 kg slakkenmeel.ha<sup>-1</sup> (ca. 30 kg P.ha<sup>-1</sup>) was een noodzakelijke maatregel (6, 8). Het belang van een goede P-voorziening is uit later onderzoek steeds weer gebleken (32, 33, 37, 51, 67). Het criterium voor fosforvoorziening is het P-totaalcijfer van de minerale bovengrond (tabel 3).

In de praktijk werd tot nu toe P-totaal ≥ 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 gram als voldoende beschouwd. Het is de vraag of dit uitgangspunt nog te handhaven is met het oog op de gevolgen van de stikstofimmissies van de laatste decaden (zie paragraaf 6.2).

Voor holtpodzolgronden wordt aangenomen dat voor cultures P-totaal ≥ 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 gram al voldoende is (37). Uit het groeiplateiseisonderzoek komt een dergelijk verschil met andere gronden niet zo duidelijk naar voren (40). Aannemelijk is daarom dat voor douglasopstanden op holtpodzolgronden geldt dat P-totaal ≥ 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 gram de grenswaarde is voor een voldoende P-voorziening.

4.1.3 *Overige bodemchemische eigenschappen* De betekenis daarvan is voor douglasopstanden weinig onderzocht. De K-, Ca- en Mg-voorziening zijn beter te beoordelen aan de hand van naaldanalyses. (72, 81) achten minstens 2½% organische stof in de minerale bovengrond vereist. De CEC-waarde van de minerale bovengrond zou minstens 10 mmol (IE)/100 g moeten bedragen (81). Uit het koperbemestingsonderzoek in Nederland is komen vast te staan dat het Cu-totaalcijfer van de minerale bovengrond van de meeste voormalige heidegronden onder bos uiteenloopt van ½ tot

2 mg Cu.kg<sup>-1</sup>, maar dat aan de hand van deze waarden het al dan niet optreden van kopergebrek bij de douglas niet is vast te stellen.

De pH komt in paragraaf 6.1 ter sprake, in samenhang met de problematiek van de bodemverzuring.

#### 4.2 Minerale voeding van douglasopstanden: macro-elementen (N, P, K, Ca, Mg, S)

Bomen hebben een aantal minerale voedingsstoffen nodig om te kunnen groeien en om voldoende vitaal te blijven. De mate waarin de boom met minerale voedingsstoffen voorzien is, is onder andere vast te stellen aan de hand van de gehalten aan elementen en aan hun onderlinge verhoudingen. Uit langdurig en uitgebreid onderzoek is komen vast te staan dat elementgehalten van delen van de boom (vooral van het blad of de naalden), en hun onderlinge verhoudingen, veel inzicht kunnen geven in de voorziening met minerale voedingsstoffen. Eis is dan wel dat men zich aan de regels betreffende de monsternamen houdt (positie van de boom, plaats in de kroon, leeftijd van de naalden, bemonsteringstijdstip). Is aan deze eisen voldaan dan kunnen de gehalten van bepaalde elementen worden vergeleken met standaardwaarden. Hieruit is op te maken of de voorziening slecht, matig of voldoende is.

Het was tot voor kort gebruikelijk dat de zogenaamde macro-elementgehalten (N, P, K, Ca, Mg, S) afzonderlijk werden gewaardeerd, dit wil zeggen dat aan het gehalte van andere elementen geen invloed werd toegekend. Hoewel dit de eenvoudigste methode is, is ze helaas niet altijd meer toepasbaar omdat er situaties zijn waarbij sprake is van een overheersend invloed van één element op de voorziening met andere elementen. Het meest voor de hand liggende voorbeeld is de hier en daar in bossen overmatig geworden N-voorziening, gevolg van de N-immissie. De criteria waarmee de minerale voedingstoestand van douglasopstanden kan worden beoordeeld zijn dus te splitsen in die, geldend voor "normale" situaties (tabel 4) en die voor situaties met een optimale of zelfs overmatige N-

Tabel 4 Criteria ter beoordeling van de minerale voedingstoestand van douglasopstanden, in het "normale" traject van N-voorziening (N = 0,8-1,7 à 2,0%): gehalten van de afzonderlijke elementen.

beoordeling	elementgehalten (percentage van de droge stof)				
	N	P	K	Ca	Mg
optimaal	> 1,8	> 0,22	> 0,8	> 0,20	> 0,12
voldoende	1,5	0,15	0,6		0,09
onvoldoende	1,3	0,12	0,5		0,06
grenswaarde voor zichtbaar gebrek	1,1	0,10	0,4		0,04

Deze criteria gelden voor halfjarige naalden (bemonsteringsperiode oktober-december) van heersende en medeheersende bomen, uit de geëxponeerde delen van de kroon.

Tabel 5 Criteria ter beoordeling van de minerale voedingstoestand van douglasopstanden, in het traject van optimale of overmatige N-voorziening. (N > 1,7 à 2,0%): elementverhoudingen (basis: N = 100).

beoordeling	N	P	K	Ca	Mg
optimaal	100	10 (7-16)	50-100	5-10	5-10
voldoende	100	5-10	25- 50		
onvoldoende	100	< 5	< 25		< 5

De elementverhoudingen zijn berekend uit de gehalten van de elementen als percentage van de droge stof; de criteria gelden voor halfjarige naalden (bemonsteringsperiode oktober-december) van heersende en medeheersende bomen, uit de geëxponeerde delen van de kroon.

Tabel 6 Criteria ter beoordeling van de S-voorziening van douglasopstanden

S/N (%/%, in de droge stof)	beoordeling
0,10	optimale S-voorziening
0,05-0,20	voldoende S-voorziening
< 0,05	S-gebrek of N-overmaat
> 0,20	S-overmaat of N-gebrek

De elementverhoudingen zijn berekend uit de gehalten van de elementen als percentage van de droge stof; de criteria gelden voor halfjarige naalden (bemonsteringsperiode oktober-december) van heersende en medeheersende bomen, uit de geëxponeerde delen van de kroon.

voorziening (tabel 5). In het laatste geval kan niet met gehalten als criterium worden volstaan, maar moet met elementverhoudingen worden gewerkt. De inhoud van tabel 4 en 5 is ontleend aan diverse bronnen (10, 19, 30, 69, 78).

Op de inhoud van tabel 4 en 5 kan de volgende aanvullende informatie worden gegeven:

– Voor douglascultures geldt dat N = 2,0% optimaal is, en voor zaailingen en jonge planten N = 2,0-2,4% (26, 37).

– In niet recent met N bemeste opstanden in Nederland was het "normale" N-gehalte van halfjarige naalden hoogstens 1,7% (5, 43).

– Het S-gehalte is niet in tabel 4 en 5 opgenomen; het absolute S-gehalte heeft minder betekenis dan de S/N-verhouding; bij benadering is de S-voorziening als volgt te beoordelen (S en N als percentage van de droge stof in halfjarige naalden, tabel 6).

– Hoewel er steeds meer aanwijzingen komen dat op zure, arme zandgronden behalve een onvoldoende K- en Mg-, ook een onvoldoende Ca-voorziening kan optreden, is van kritische Ca-gehalten in naalden nog te weinig bekend (zie 19 voor details). Bij wijze van proef zou men de volgende waarden kunnen hanteren, echter ter oriëntatie en niet als scherp criterium (gehalten als percentage van de droge stof, in halfjarige naalden).

Ca > 0,2%	voldoende
Ca 0,1-0,2%	onvoldoende (optreden van storingen in fysiologische processen; gevaar voor aluminiumvergiftiging; mogelijk optreden van zichtbare gebreksverschijnselen)

Ca < 0,1%

bij deze waarde kunnen zichtbare gebreksverschijnselen optreden.

N : Ca = 100: < 5

mogelijk optreden van storingen en zichtbare gebreksverschijnselen bij overmatige N-voorziening.

#### 4.3 Minerale voeding van douglasopstanden: micro-elementen

4.3.1 *Koper* Vanaf het begin van de zestiger jaren is kopergebrek waargenomen bij de douglas op voormalige heidegronden. Aan dit probleem is vrij veel onderzoek uitgevoerd (5, 9, 14, 15, 21, 41, 42, 54, 60). Grondonderzoek geeft geen uitsluitsel over het optreden van kopergebrek. Waar ooit met compost is bemest, is de kans op kopergebrek klein (9). De kopervoorziening van douglasopstanden is te beoordelen met behulp van naaldanalyseresultaten (19) (Tabel 7). De kopervoorziening hangt af van de stikstofvoorziening (14, 15). De N/Cu-verhouding speelt bij de beoordeling van de kopervoorziening een rol naast het Cu-gehalte van de naalden, vooral bij een optimale of overvloedige N-voorziening.

4.3.2 *Zink* In douglascultures in Noord-Brabant en Limburg zijn in het verleden verhoogde zinkgehalten waargenomen (22, 69). Het probleem van zinkovermaat is echter minder groot gebleken dan wel werd verondersteld, en is hoofdzakelijk lokaal van belang. Criteria voor de beoordeling van de zinkvoorziening (19, 23) vindt men in tabel 7.

Tabel 7 Criteria ter beoordeling van de voorziening van douglasopstanden met micro-elementen (gehalten van halfjarige naalden, mg.kg<sup>-1</sup>).

element	criterium	beoordeling		
		zichtbare gebreksverschijnselen	onvoldoende	voldoende
Cu	Cu-gehalte	< 3,0	3,0-4,5*)	> 4,5
	N/Cu ( $\frac{\%}{\text{mg.kg}^{-1}}$ )**) > 0,8		0,8-0,4*)	< 0,4
Zn	Zn-gehalte	< 9	10-20?	> 10 à 20
B	B-gehalte	< 5	5-10?	> 10
Mn	Mn-gehalte	< 10 à 40	...	> 10 à 40
Mo	Mo-gehalte	...	...	0,05

\*) soms optreden van zichtbare Cu-gebreksverschijnselen.

\*\*) grenswaarden gelden bij benadering.

4.3.3 *Borium* In douglasculturen en in kwekerijen zijn soms in halfjarige naalden lage B-gehalten vastgesteld, namelijk tot 7 mg.kg<sup>-1</sup> (5, 41, 42) zonder dat zichtbare boriumgebreksverschijnselen zijn waargenomen. Opmerkelijk is dat het B-gehalte van halfjarige naalden van douglasopstanden in gebieden met een vrij hoge N-immissie in Nederland niet laag is, namelijk 16-43 mg.kg<sup>-1</sup> (16; ongepubliceerde resultaten "zure regenonderzoek" 1985/86). Bekalking van bossen op arme zandgronden zou een verminderde B-voorziening tot gevolg kunnen hebben.

Criteria voor de beoordeling van de boriumvoorziening (19, 23) vindt men in tabel 7.

4.3.4 *Ijzer en mangaan* Het optreden van ijzergebrek bij douglasopstanden op zure zandgronden is tot nu toe nooit waargenomen. Of het volledig is uit te sluiten als door zure depositie en andere immissies wortelbeschadiging en afname van de mycorrhiza plaatsvindt, is de vraag. De ijzervoorziening moet worden beoordeeld aan de hand van zichtbare gebreksverschijnselen. Het ijzergehalte in de naalden is namelijk meestal geen maatstaf voor de ijzervoorziening.

Evenals ijzergebrek is mangaangebrek in douglasopstanden op zure zandgronden niet waarschijnlijk. Wel is het mogelijk dat zure depositie en andere immissies de mangaanvoorziening beïnvloeden. In de BRD vindt men hier en daar afname van de Mn-bezetting van het adsorptiecomplex en daling van het Mn-gehalte van fijnsparnaalden.

4.3.5 *Molybdeen* Van dit element is bijna niets bekend. De beschikbaarheid ervan is op zure gronden gering, maar tot nu toe is van een onvoldoende Mo-voorziening van douglasopstanden niets gebleken. Recent onderzoek (61) toont in halfjarige naalden van douglasopstanden 0,27-0,37 mg Mo.kg<sup>-1</sup> aan. Dit moet voldoende worden geacht.

#### 4.4 *Gebreksverschijnselen in douglasopstanden*

Het meeste onderzoek in Nederland is verricht in culturess (35, 39, 44). Herhaaldelijk zijn gevallen van N-, P- en K-gebrek waargenomen, waarbij vooral N- en K-gebrek karakteristieke verschijnselen veroorzaken (37). P-gebrek is veel moeilijker aan de hand van zichtbare gebreksverschijnselen vast te stellen. Naast deze gebreksverschijnselen zijn in de laatste twintig jaar frequent Mg- en vooral Cu-gebrek waargenomen in culturess. Al deze gebreksverschijnselen werden veroorzaakt door de chemische armoede van onze zure zandgronden. Een van de oorzaken van kopergebrek is te zoeken in de verbetering van de N- en P-huishouding van douglasopstanden (21) (zie paragraaf 5).

In douglasopstanden is de situatie momenteel de volgende. Stikstofgebrek wordt weinig of niet waargenomen, terwijl fosforgebrek lijkt toe te nemen. Ook wordt toename van magnesiumgebrek geconstateerd, terwijl kaliumgebrek thans nog wat latent lijkt, maar vermoedelijk wel van grote invloed is op de conditie van douglasopstanden. De frequentie van kopergebrek neemt toe, en dit gebrek wordt thans ook in het midden en zuiden van Nederland vaker geconstateerd. In beginsel zijn al deze gebreken door aangepaste bemesting op te heffen (5, 27, 37, 39).

#### 4.5 *Droogte- en vorstresistentie, en de minerale voedingstoestand*

De weerstand van bomen tegen vorst en droogte kan door correcties in de minerale voedingstoestand niet geheel worden opgeheven, maar wel worden verbeterd. De grote betekenis van de kaliumvoorziening in dit opzicht is bekend. De kaliumvoorziening is voor de douglas van speciale betekenis omdat deze soort in Nederland nadelen ondervindt van nogal eens optredende zonnige winters. De winter van 1956 wordt wel

Tabel 8 Vorstgevoeligheid van douglas (kwekerijplanten, 1-4 j.) in afhankelijkheid van de naaldsamenstelling in het najaar (gehalten als percentages van de droge stof) (52).

element	aard van de vorst	beoordeling			
		gevoelig	iets gevoelig	hoge resistentie	
N	vroege nachtvorst (nj)	0,8 en 2,2	—	1,3-1,4	
	wintervorst	2,2	—	0,8-1,4	
	late nachtvorst (vj)	—	2,2	0,8-1,4	
P	alle vorstsoorten	—	—	0,11-0,22	
K	naalden	vroege nachtvorst (nj)	0,66 <sup>1)</sup>	0,35-0,53 <sup>1)</sup>	—
		wintervorst	0,35-0,53	—	0,66
		late nachtvorst (vj)	—	—	0,35-0,66 <sup>2)</sup>
	knoppen	vroege nachtvorst (nj)	—	—	0,35-0,66 <sup>3)</sup>
		wintervorst	—	—	0,35-0,66 <sup>3)</sup>
		late nachtvorst (vj)	0,35 <sup>4)</sup> -0,53	—	0,66
		(= bij uitlopen van de knoppen)			

1) voldoende met K voorziene douglas was iets gevoeliger voor najaarsvorst dan matig met K voorziene douglas.

2) de gevoeligheid van de naalden voor late nachtvorst hing niet van verschillen in de K-voorziening af.

3) de gevoeligheid van de knoppen voor vroege nachtvorst en wintervorst hing niet van verschillen in de K-voorziening af.

4) door (52) als zeer gevoelig aangeduid.

aangehaald (34, 36), maar het is goed om ook te denken aan de recente winters van 1984/1985 en 1985/1986, met relatief veel zon, lage temperaturen en droge, continentale wind. De betekenis van deze verschijnselen is enigermate onderzocht (1, 34, 35). Niet alleen het N-gehalte maar ook het K-gehalte van de naalden bleek in zonnige winters te dalen. De nadelige gevolgen (naaldvergelting en naaldverbruining in de winter, naaldval in het voorjaar) konden door kaliumbemesting worden verzacht.

Aan deze aspecten van de douglasteelt is in de laatste jaren door de Deense onderzoeker Larsen aandacht besteed (52, 53). Hij onderzocht de relatie tussen N-, P- en K-voorziening, en de resistentie tegen vorst en droogte van de douglas. Zijn resultaten worden hieronder samengevat.

De vorstgevoeligheid van de douglas (kwekerijplanten, 1-4 jarig) was vooral van de N- en K-voorziening van de naalden afhankelijk. Als maatstaf voor de NPK-voorziening koos Larsen de naaldsamenstelling in het najaar (tabel 8).

De P-voorziening heeft blijkbaar weinig invloed op de vorstgevoeligheid. Zowel N-gebrek als optimale N-voorziening (< 1,1; resp. > 1,8%) doen de vorstresistentie afnemen. Een optimale N-voorziening werkt iets negatief op de resistentie tegen voorjaarsvorst. De K-voorziening is vooral van belang voor de vorstgevoe-

ligheid van de naalden in de winter en in het voorjaar. Een goede K-voorziening gaat de vorstgevoeligheid van de naalden tegen. In nog grotere mate geldt dit voor de vorstgevoeligheid van de knoppen ten tijde van het uitlopen. Deze gevoeligheid is bij een slechte K-voorziening zeer groot. Op te merken valt dat Larsen geen aandacht besteedde aan de Mg-voorziening. Uit waarnemingen aan douglas met Mg-gebrek en uit de literatuur zou kunnen volgen dat een onvoldoende Mg-voorziening de resistentie van oudere naalden tegen wintervorst vermindert.

De resistentie van de douglas tegen droogte is door Larsen (53) onderzocht in potproeven. Zijn resultaten wijzen op paralleliteit tussen de resistentie tegen vorst en tegen droogte. De resistentie van de douglas tegen droogte nam iets toe als het N-gehalte van de naalden steeg van 0,8 naar 2,0%. Bij hogere N-gehalten (2,0-2,4%) – dus bij een optimale tot overvloedige N-voor-

Tabel 9 Droogteresistentie van douglas in een potproef en de K-voorziening (53).

K-gehalte van de naalden (percentage van de droge stof)	droogteresistentie
0,3	gering
0,6	matig
0,8	voldoende
1,1	optimaal



Tabel 10 Veranderingen in eerste- en tweede-generatie douglasopstanden in Drenthe, aangelegd op voormalige heidegronden (opname 1977).

A. Groei		gemiddelde jaarscheutgroei (m jaar <sup>-1</sup> *)			
generatie 1		0,6			
generatie 2		1,1			

B. Veranderingen in de bodem (0-25 cm)					
generatie	pH- KCl	org. stof (%)	N- tot (%)	N-org. (%)	P-totaal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g)
0 (= heide)	3,27	5,89	0,091	1,56	17
1	3,39	5,57	0,102	1,81	26
2	3,51	5,72	0,102	1,79	24

C. Veranderingen in de naaldsamenstelling (halfjarige naalden)				
generatie	N (%)	P (%)	N/P	
			gem.	traject
1	1,5-2,2	0,09-0,30	17	9-24
2	1,5-2,4	0,10-0,42	12	4-20

\*) berekend vanaf h = 3 m.

zienting – ging de droogteresistentie achteruit. Zeer sterk was de afhankelijkheid van de droogteresistentie van de K-voorziening, die als volgt was te karakteriseren (tabel 9).

Uit deze waarnemingen kan men de conclusie trekken dat onder omstandigheden van een voldoende tot optimale N-voorziening van de douglas (1,5-2,0% N in halfjarige naalden) het K-gehalte van halfjarige naalden minstens 0,7 a 0,8% moet bedragen om een voldoende vorst- en droogteresistentie te waarborgen. Als men dit in elementverhoudingen zou willen weergeven, zou dit inhouden dat in de naalden N : K = 100 : > 40 à 50 (N/K < 2,0 à 2,5) zal moeten bedragen.

### 5 Groei, bodem en minerale voeding in eerste- en tweede-generatie heidebebossingen

Als men de publikaties over de heidebebossingen leest (6, 7, 8, 12), en daarbij vooral aandacht besteedt aan de uitgangspunten, valt op dat zeker in Drenthe de verbetering van de heidegronden het allereerste doel was, en dat bij de boomsoortenkeuze en bosaanlegmethoden steeds dat doel in het oog moest worden gehouden. Was deze doelstelling eenmaal bereikt dan kon men hout gaan telen. Er bestond dus vanaf de bosaanleg op heidegronden de verwachting dat deze gronden langzamerhand zouden verbeteren.

In de vijftiger en zestiger jaren begon men in Drenthe met de aanleg van de tweede bosgeneratie. Dit proces werd versneld na de stormrampen van 1972 en 1973. Niet alleen moest toen in snel tempo opnieuw bos worden aangelegd, maar ook de discussies over de ontwikkeling en de toekomst van het Nederlandse bos namen toe. Meer feitenmateriaal was nodig om

stellingen te kunnen onderbouwen. In 1976 en 1977 werd daarom een onderzoek begonnen in naaldboomopstanden in Drenthe, zowel in de eerste- als tweede-generatie-bossen. Enkele aspecten van de bosontwikkeling zijn toen onderzocht (12, 14, 42). De voorlopige uitkomsten van dit onderzoek voor douglasopstanden zijn in tabel 10 samengevat.

De veranderingen, die zijn opgetreden zijn deels het gevolg van de bebossing, maar deels hebben ze andere oorzaken. De verbetering van het P-totaalcijfer komt voor rekening van de P-bemesting. De stijging van het N-totaalcijfer in de bovengrond is bijna geheel toe te schrijven aan een verplaatsing van de stikstof uit het doorwortelde gedeelte van de bodem, via de naalden en het strooisel, naar de minerale bovengrond. De enige jaren geleden geopperde gedachte dat luchtstikstofbinding de oorzaak zou zijn van de toename van de stikstofvoorraad onder het bos, wordt door de auteur niet meer gedeeld. Onderzoek in Scandinavië en Noord-Amerika maakt aannemelijk dat deze biologische N-fixatie onder naaldhoutbossen in de orde van grootte van 1 kg N.ha<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup> ligt. Deze bindingsnelheid is te gering om de veranderingen in de N-voorraad gedurende een halve eeuw te kunnen verklaren. Daarentegen is de toename van de kwaliteit van de organische stof (N-org.) wel aan het bos toe te schrijven. Dit aspect van de kwaliteitsverbetering weerspiegelt zich ook in de verandering van het N/P-quotiënt van de naalden dat van gemiddeld 17 naar gemiddeld 12 is gedaald. Hier is dus sprake van een verbetering van de relatie tussen N en P. De groeiverbetering van de tweede-generatie douglas zal hieraan voor een deel zijn toe te schrijven, maar men mag niet vergeten dat ook de verbetering van het klimaat (overgang van hei-

de naar bos) een grote rol zal hebben gespeeld, al is niet uit te maken hoe groot dit aandeel is.

Een onbedoeld effect van de toenemende bosgeneratie in Drenthe is dat de intensiteit en omvang van kopergebrek stijgen (12, 14, 21, 42, 60). De eerste bosgeneratie was er zo goed als vrij van. De oorzaak hiervan is reeds in paragraaf 4.4 beschreven, namelijk de verbetering van de N- en de P-voorziening bij een overigens vrij lage pH-KCl-waarde (ca. 3,5) waarbij koper vrij stevig aan de organische stof wordt gebonden.

Hoe de veranderingen zullen zijn bij opeenvolgende bosgeneraties, valt moeilijk te voorspellen. Men moet bos- en bodemontwikkeling onderscheiden, willen er in de discussies over dit onderwerp geen misverstanden optreden. Verbetering van de bodem is alleen te bereiken als men de fosforvoorziening nog meer verbetert, en ook aandacht schenkt aan de betekenis van de pH. Kopergebrek valt alleen te bestrijden door koperbemesting, zij het dat het enige jaren kan duren – evenals bij fosforbemesting het geval is – voordat een zichtbare reactie optreedt.

## 6 Zuurgraad, zure depositie, bodemverzuring en stikstofimmissie

### 6.1 Bodemverzuring

**6.1.1 De betekenis van de pH** De optimale pH-KCl-waarde van Nederlandse douglasopstanden wordt verondersteld 3,0-4,5 te bedragen (13). De buitenlandse literatuur geeft echter hogere pH-optima namelijk pH-KCl 4,2-5 à 6. Een recent onderzoek in Beierse douglasopstanden (28) leidt tot de conclusie dat de optimale pH-KCl 2,8-4,0 is. In dat onderzoek is echter de slechts 0-6 cm dikke Ah-horizont onderzocht, waarvan de pH lager is dan die van de laag 0-25 cm. De negatieve invloed van pH-KCl-waarden > 4,0 was in dit Beierse onderzoek in feite een indirect effect, veroorzaakt door de geringe vochtleverantie van ondiep bewortelbare rendzinagronden, die een vrij hoge pH hebben. Men zou dus kunnen vermoeden dat de douglas niet zo zeer zuurminnend maar wel zuurtolerant is, en dat de optimale pH-KCl-waarde hoger ligt dan in veel voormalige heidegronden het geval is (65, 66, 81). Dat de douglas minder zuurtolerant is dan wel eens wordt verondersteld, volgt uit twee recente onderzoeken:

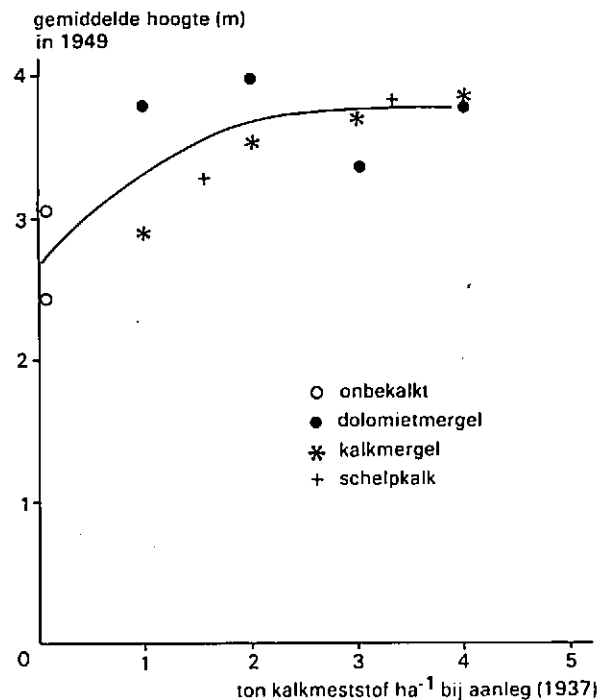
– Bewerking van bestaande groeiplaats- en groeigegevens (20, 40) leidde tot de conclusie dat bij eenzelfde vochtleverend vermogen van de grond de volumeboniteit ( $I_{max}$ ) op holt-, haar- en veldpodzolgronden gemiddeld 4-6  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot jaar^{-1}$  hoger was dan op enkeerdgronden. Dit opvallende verschil kon alleen verklaard worden met de pH-KCl-waarde, die in de laag 0-

25 cm van de podzolgronden 3,3-4,2 bedroeg, en die van enkeerdgronden 2,7-3,3.

– Een onderzoek in natuurlijke verjongingen van douglas (70) gaf als grenswaarde van de pH-KCl in de bovengrond, waar beneden de lengte van de wortels van douglas afnam, circa 3,3.

Er is dus iets voor te zeggen, de ondergrens van het pH-KCl-traject waarboven geen grote effecten van de pH (direct of indirect) merkbaar zijn, bij circa 3,3 te leggen. Deze waarde komt ongeveer overeen met  $pH-H_2O = 4,1$ , welke waarde bijna identiek is met de door prof. Ulrich in Göttingen kritisch geachte bovengrens van het aluminiumbuffertraject. Mocht de douglas inderdaad minder zuurminnend zijn dan wordt aangenomen, dan moet de veronderstelde gevoeligheid voor hogere pH-waarden worden herbezien (zie paragraaf 8).

**6.1.2 Bekalking** De enige mogelijkheid om bodemverzuring tegen te gaan, is bekalking. De literatuur over bekalking van douglascultures en -opstanden is betrekkelijk beperkt (17, 18). Als voorbeeld worden de resultaten aangehaald van een bekalkingsproef, aangelegd in 1937. Onderzoek na 13 jaar gaf als uitkomst dat de groei door de bekalking toenam (figuur 3). Bekalking (1 ton kalkmeststof  $ha^{-1}$ ) was vaak naast fosforbemesting een standaardmaatregel bij de bosaanleg



Figuur 3 De invloed van bekalking op de groei van een douglascultuur, dertien jaar na bekalking (naar 17).

op voormalige heidegronden (6). Uit buitenlands onderzoek (met doseringen van  $\frac{1}{2}$ -20 ton  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) volgt dat douglas zeker niet negatief op bekalking reageert, hoewel men de directe werking van bekalking niet moet overschatten. Bekalking verbetert de condities in de bodem en daardoor kan de werking van andere bodemfactoren beter tot uiting komen. In ieder geval is aan de resultaten van bekalkingsonderzoek geen negatief oordeel te ontleen. Op de wortelrotproblematiek wordt in paragraaf 8 ingegaan.

**6.1.3 De rol van aluminium** Volgens onderzoekers van de Universiteit van Göttingen (zie literatuursamenvattingen in 16) komt het giftige  $\text{Al}^{3+}$ -ion bij pH- $\text{H}_2\text{O}$  waarden beneden 4,2 in de bodemoplossing in voor planten zo hoge concentraties voor dat het giftig is. In werkelijkheid is de situatie gecompliceerder omdat de organische stof een deel van de  $\text{Al}^{3+}$ -ionen sterk adsorbeert. Ook is het verloop van de  $\text{Al}^{3+}$ -concentratie in het bodemprofiel nog niet goed verklaarbaar, en daarom onderwerp van onderzoek (W. de Vries, Stiboka, mondelinge mededeling). Onderzoek naar de plantenfysiologische gevolgen van hoge aluminiumconcentraties in het wortelmilieu van douglas begint thans op gang te komen, maar de resultaten zijn nog voorlopig. Deze resultaten – en die van verwant onderzoek – zijn als volgt samen te vatten

– In voedingsoplossingen (pH 3,5-3,8) is de douglas tamelijk gevoelig voor  $\text{Al}^{3+}$ -ionen, hetgeen volgt uit onderstaand literatuuroverzicht van de gevoeligheden van diverse boomsoorten voor aluminium in voedingsoplossingen (tabel 11).

Tabel 11 Aluminiumconcentraties in voedingsoplossingen, waarbij geen schade optreedt bij zaailingen en jonge planten; het rechtse getal geeft bij benadering aan bij welke Al-concentratie de wortelgroei gaat afnemen; pH: 3,5-3,8; gebaseerd op literatuurgegevens (16, 63, 64, 70).

boomsoort	Al-concentratie ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )
<i>Quercus rubra</i>	0-200
<i>Q. palustris</i>	"
<i>Betula alleghaniensis</i>	0-150
<i>Betula lenta</i> , <i>B. papyrifera</i>	0-120
<i>B. pendula</i>	"
<i>Betula populifolia</i>	0-100
<i>Alnus glutinosa</i>	"
<i>Pinus sylvestris</i>	0- 75
<i>Pinus virginiana</i>	"
<i>Pinus resinosa</i>	0- 60
<i>Pinus rigida</i>	0- 50
<i>Pinus radiata</i>	0- 20
<i>Picea abies</i>	"
<i>P. sitchensis</i>	"
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0-10 à 15
<i>Fagus sylvatica</i>	0-3 à 10
<i>Populus hybr.</i> (T, TxA)	0-3
<i>Populus</i> × <i>canadensis</i>	0-1

– De Ca/Al-verhouding in voedingsoplossingen (mol/mol, atomequivalenten, geen ionequivalenten) wordt wel gebruikt om interactie van  $\text{Ca}^{2+}$  met  $\text{Al}^{3+}$  weer te geven. De douglas staat dan voor wat gevoeligheid voor Al in voedingsoplossingen betreft tussen de fijnspar en de beuk in. De grenswaarden van de Ca/Al-verhouding waarbij storingen in de wortelgroei gaan optreden zijn namelijk voor fijnspar, douglas en beuk 1,0; 0,5 en 0,1 (16, 70).

– De invloed van Al op de douglas is – evenals bij veel andere planten – gecompliceerd doordat elementen als Ca en P daarbij sterk betrokken zijn. Men komt in de literatuur de opvatting tegen dat Al-vergiftiging zowel als Ca- als P-gebrek kan veroorzaken. Of dit in Nederland al het geval is (het bij douglas waargenomen P-gebrek is vermoedelijk eerder door N-immisatie veroorzaakt) en of de in bepaalde gebieden hoge N-immisatie (als  $\text{NH}_3$  en  $\text{NH}_4^+$ ) gevolgen heeft voor de Al-werking, is onderwerp van onderzoek.

– Het aluminiumgehalte van de naalden, noch de verhouding van dit gehalte tot Ca en P, is tot nu toe bruikbaar gebleken om ondubbelzinnig de giftigheid van aluminium vast te stellen. De beschikbare gegevens wijzen er op dat Al-gehalten van 60-398  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in halfjarige naalden (16) niet schadelijk behoeven te zijn. Hogere Al-gehalten (510-1382  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) waren geassocieerd met groeiafname in een proef op een voedingsoplossing (70), maar of hier van een direct dan wel correlatief verband sprake was, is de vraag. Bij zeer lage pH in een voedingsoplossing, namelijk 3,0 kon wel worden aangetoond dat  $\text{Al}^{3+}$  giftiger was dan protonen, maar het betrof hier een zeer hoge  $\text{Al}^{3+}$  concentratie, namelijk 175  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (63, 64).

– Experimenten waarbij bodem en planten met aangezuurd water worden behandeld, zijn thans aan de gang. Een eerste, gepubliceerd resultaat (56) vermeldt alleen schade door water, aangezuurd tot pH 2,0, niet door water met pH 3,0-5,6. Veel zegt dit echter nog niet, omdat het een vrij kortdurende proef was. Dit bezwaar geldt meerdere proeven op dit gebied. Ook de – technisch helaas noodzakelijke – jeugdige leeftijd van het gebruikte plantmateriaal stelt beperkingen aan de extrapolatie van de verkregen resultaten naar oudere opstanden.

## 6.2 Stikstofimmissie

In veel Nederlandse bossen lijkt het probleem van de bodemverzuring te worden overdekt door dat van de stikstofimmissie, dat laatste ook wel als stikstofeutrofiëring aangeduid. Bronnen van deze stikstofimmissie zijn de industrie, het verkeer en de landbouw, vooral de intensieve veehouderij. De gevolgen voor bossen in het algemeen zijn als volgt samen te vatten.

a directe  $\text{NH}_3$ -schade aan bossen, gelegen op korte

afstand (orde van grootte: 25-100 m) van ammoniakbronnen;

b directe  $\text{NH}_3$ - en  $\text{NH}_4^+$ -opname door blad en naalden; het N-gehalte daarvan stijgt, waardoor de verhouding van andere elementen tot stikstof ongunstiger wordt; in blad en naalden aanwezige koolstofverbindingen fungeren als "sink" voor de opgenomen N, waardoor waarschijnlijk fysiologische storingen ontstaan omdat de wortels minder koolhydraten ontvangen;

c  $\text{NH}_4^+$ -opname door de wortels, en mogelijk nitrificatie van (een deel van)  $\text{NH}_4^+$ . Dit laatste proces is nog omstrede. Wel zijn de gevolgen van hoge N-immisatie van de bodem enigszins te voorzien:

- negatieve invloed op de opname van P, K, Ca, Mg en Cu, of althans een achterblijven in de opname hiervan in vergelijking met de behoefte eraan door de gestegen N-opname;

- verzuring door  $\text{NH}_4^+$ -opname of door nitrificatie;

- negatieve invloed op het wortelstelsel, dat in groei relatief achterblijft bij de bovengrondse delen, en negatieve invloed op de mycorrhiza; de eerste resultaten van onderzoek in oudere douglasopstanden lijken te wijzen op algehele achteruitgang van de mycorrhiza in gebieden met hoge N-immisatie (73); vrijwel volledig verdwijnen is recent waargenomen in Solling, in een beukenbos dat gedurende 4 jaar jaarlijks was bemest met  $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  (als  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ); de fijne wortels namen af en de waterhuishouding van de bomen verslechterde (Beese, instituutsonderzoek).

Het onderzoek – instituutsonderzoek en additioneel verzuringsonderzoek – is pas de laatste paar jaar op gang gekomen zodat er nog weinig resultaten bekend zijn (58, 59, 61), en zeker niet van de douglas. Toch begint zich hier en daar een beeld af te tekenen van de gevolgen van de N-immisatie:

- In acht douglasopstanden, die in de winter van 1984/1985 werden onderzocht werd fosforgebrek waargenomen (P-gehalte van halfjarige naalden 0,09-0,10%) ondanks de matige tot voldoende P-voorziening door de bodem; in vroegere jaren werden in het P-totaal traject 20-50 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100\text{g}$  P-gehalten van 0,10-0,30% in de naalden gevonden; voorlopige resultaten van 1985/1986 lijken deze waarneming van een verslechterde P-voorziening van douglasopstanden, ongeacht de P-voorziening door de grond, te bevestigen;

- In halfjarige naalden van diverse opstanden is in de winters van 1983/1984 t/m 1985/1986 gevonden dat het N-gehalte steeds hoger is (1,9-2,1%) dan wat "normaal" werd geacht in dergelijke opstanden, namelijk 1,4-1,7%; in anderhalfjarige en oudere naalden zijn N-gehalten van 2,0-3,0% gevonden; deze hogere N-gehalten van oudere naalden zijn geheel in tegenpraak met wat uit Centraaleuropees onderzoek met

fijnspar en zilverspar, en met wat uit de NW-USA met douglas bekend is (75), namelijk een lager N-gehalte van de oudere naalden;

- De N/P-verhoudingen van douglasopstanden bedragen in bepaalde gebieden al 19-25, in plaats van 7-16; behalve zichtbaar P-gebrek komt dus ook latent P-gebrek voor.

- De vrij hoge N-gehalten leiden op arme zandgronden, die bij de aanleg niet of slechts in geringe mate bemest zijn, tot ongunstige verhoudingen van niet alleen N tot P (58, 59) maar ook tot K, Mg en Cu.

- Er bestaat een vermoeden dat de slechte conditie van enkele douglasopstanden sinds de winters van 1984/1985 en 1985/1986 veroorzaakt is door wintervorst, waarvan de invloed door ongunstige N/K- en N/Cu-verhoudingen (N overmaat induceert o.a. Cu-gebrek (41)) verergerde; uit enkele waarnemingen is de indruk ontstaan dat het verschijnsel van roodbruinverkleuring van de naalden aan willekeurig verspreide takken in de kroon – wel primair als vorstschade te beschouwen – (hetgeen een ander verschijnsel is dan de bruinverkleuring van naalden aan de bezonnde zijde van de bomen) onder andere samenhang met het optreden van kopergebrek; hier en daar is zelfs acute sterfte in douglasopstanden waargenomen, hetgeen op basis van waarnemingen en plausibele veronderstellingen (arme gronden, zichtbare kopergebreksverschijnselen, ligging in gebieden met hoge N-immisaties, winters van 1984/1985 en 1985/1986) met N-immisatie moet samenhangen.

Op dit gebied is nog veel te doen. Wel zijn onderzoeken gedaan naar de betekenis van  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  als N-bron voor de douglas (4, 25, 65, 66, 76, 77, 78, 79) maar de uitkomsten daarvan zijn vaak strijdig: soms was  $\text{NH}_4^+$  optimaal als N-bron, soms  $\text{NO}_3^-$ , soms  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ , alles in het pH-traject 4-6 in voedingsoplossingen. Deze onderzoeken betreffen geen N-overmaatsituaties en laten de verzuringsaspecten – o.a. Al-vergiftiging – grotendeels buiten beschouwing. Ook de mycorrhiza-aspecten zijn nog weinig onderzocht (65, 66, 73). (70) vond dat bij pH- $\text{H}_2\text{O} = 4,0$  in een potproef met een zure bosgrond  $\text{NH}_4^+$  als bron de douglasplanten deed afsterven, terwijl  $\text{NO}_3^-$  als N-bron bij pH( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 3,3 nog een redelijke groei van de douglas veroorzaakte.

## 7 Douglas, fijnspar en groveden

De individuele menging van douglas en fijnspar komt soms weer in de belangstelling. In de bosbouwkundige literatuur worden de voor- en nadelen van deze menging beschreven. Moderne publikaties zijn er over dit onderwerp eigenlijk niet. In de oudere literatuur (6, 7, 31, 35, 39, 47, 48) worden de hogere eisen aan de watervoorziening en de iets lagere eisen aan de

bodemvruchtbaarheid door de fijnspar genoemd. Op droge of rijkere gronden gaat de douglas overheersen, op vochtige of armere gronden de fijnspar. De overige aspecten van deze menging zijn meer teeltkundig dan bodemkundig van aard. De opmerkingen bij Houtzagers (47, 48) en de praktijkwaarnemingen van Blokhuis (6) zijn nog steeds goede richtlijnen. Het handhaven van beide soorten in individuele menging gedurende de gehele omloop is vanuit bodemkundig oogpunt niet een goede realiseerbaar.

Van groter belang is de in de laatste jaren geformuleerde doelstelling, het douglasareaal in Nederland uit te breiden. Er zijn twee mogelijkheden namelijk (a) het vervangen van andere goedgroeiende boomsoorten op goede gronden door de douglas, als men de doelstelling van een gelijkblijvende houtproductie wil handhaven, of (b) vervanging van groveden door douglas. Uit de in dit artikel opgenomen vergelijking van groeiplateiseisen van groveden en douglas blijkt het volgende:

– Daar waar groveden is aangelegd op gronden, die zo droog waren dat andere boomsoorten niet geschikt waren zal de douglas op den duur teleurstellen. Dit zijn de gronden met gradaties van het vochtleverend vermogen 5 en 4(15).

– Gronden met een P-totaalcijfer kleiner dan 20 zijn voor de douglas ongeschikt. Voorzover ze een voldoende vochtleverend vermogen hebben, is zeker fosforbemesting nodig om de douglas een goede groei te verzekeren.

Wel moet worden opgemerkt dat daar waar zich een voorraad ruwe humus onder de groveden heeft gevormd, deze voorraad na de aanleg van de douglas zal mineraliseren, en de groei van de douglas gedurende de eerste 10 à 20 jaar zal stimuleren. Naar de verwachting van de auteur zal pas daarna de groei gaan afnemen, omdat de voorraden in de ruwe humus verdwenen zijn.

## 8 Bodemkundige risico's van de aanleg van douglas

De volgende risico's gelden algemeen voor de douglas:

– De soort is windworpgewoelig (38). Dit treedt daar op waar de bewortelingsmogelijkheden door hoge grondwaterstanden beperkt zijn. (31) noemt als hoogste nog tolereerbare GLG (gemiddelde laagste grondwaterstand) 80 cm -mv. en houdt 80 cm als minimaal bewortelbare diepte aan. (81) geeft aan dat GLG = 60 cm -mv. nog wordt getolereerd, maar dat heeft vermoedelijk betrekking op gebieden met minder stormgevaar dan Nederland. In een recent beheersplan (2) worden gronden met de volgende grondwatertrappen (GT's) als zeer riskant voor de douglasteelt beschouwd: II, II\*,

III, III\*, V en V\*. Dit zijn alle gronden met een GHG < 40 cm -mv.

– De douglas wordt geacht gevoelig te zijn voor aantasting door de schimmel *Heterobasidion annosum*, die de Fomesziekte (wortelrot) veroorzaakt. Dit verschijnsel is ook een van de oorzaken van windworp. Houtzager (47) geeft – op basis van waarnemingen van "De Dorschkamp" –  $\text{pH-H}_2\text{O} = 4,8$  ( $\text{pH-KCl} = 4,0$ ) aan als bovengrens voor de landbouwvoorbouw verterde gronden, waar bij de douglassteelt nog verwoord is. In Drenthe is zelfs bij  $\text{pH-H}_2\text{O} 4-5$  ( $\text{pH-KCl} 3-4$ ) al wortelrot geconstateerd (7). De conclusie zou dus kunnen zijn dat onder andere haarpodzolgronden, kamppodzolgronden, en niet te zure enkeerdgronden te riskant zijn voor de douglas (2).

Het is volgens de auteur de vraag of dit nogal rigide veronderstelde verband tussen de aantasting door wortelrot en de pH wel zo oorzakelijk is als wel wordt verondersteld. In een eerdere paragraaf (6.1.1) is er al op gewezen dat de optimale pH van de bodem voor de douglas zeker niet uitgesproken laag is, zeker niet in zijn gebied van natuurlijke verspreiding. Verder moeten we bedenken dat in Nederland de douglas vaak op voormalige heidegronden is aangelegd, die eerst zijn bewerkt en bemest. De stijging van de pH is dan slechts een begeleidend verschijnsel geweest van handelingen, die de heidegronden chemisch en fysisch geschikt maakten voor de douglas, maar nog niet volledig biologisch. Het ontbreken van voldoende antagonistische *Heterobasidion annosum* zou dan een tijdelijke zaak zijn, die vermoedelijk niet met de pH samenhangt, maar met de voorgeschiedenis (heide) en de ontginningswijze (landbouwvoorbouw). Op grond van Amerikaans onderzoek is niet aannemelijk dat gronden met  $\text{pH-KCl} 4-5$  op den duur niet geschikt zouden worden voor de douglas, en dat op den duur geen voldoende aantallen en soorten antagonisten zouden ontstaan. De ontwikkeling van het bestand aan fungi en mycorrhiza in bossen in verband met boomsoortenkeuze en bodemeigenschappen is een onderwerp dat past in het kader van de bosontwikkeling.

## Literatuur

- 1 Aanleg en beheer van bos en beplantingen. 1981. P. R. Schütz en G. van Tol (red.). Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen. Pudoc, Wageningen. 504 blz.
- 2 Beheersplan Boswachterij Norg 1986-1995. 1985. Bosbureau, Wageningen. 73 blz. + 13 bijl.
- 3 Beversluis, J. R. 1932. Bosbouwkundige gegevens omtrent houtsoorten: *Pseudotsuga douglasii* Carr. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 5: 451-455.
- 4 Bigg, W. L., and T. W. Daniel. 1978. Effects of nitrate, ammonium and pH on the growth of conifer seedlings and their production of nitrate reductase. Plant and Soil 50: 371-385.

- 5 Blok, H., J. van den Burg, C. P. van Goor, K. Jager en L. Oldenkamp. 1975. Bemesting en minerale voeding van douglascultures (een samenvatting van proefveldresultaten). Intern rapport Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 69.
- 6 Blokhuis, J. L. W. 1951. Heideaufforstung und Umwandlung von Kiefernplantungen in Drenthe (NO-Niederlande). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 102: 34-52.
- 7 Blokhuis, J. L. W. 1958. De aanleg van douglasopstanden. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 30: 312-315.
- 8 Blokhuis, J. L. W. 1961. De ontwikkeling van de bosbouw in Drenthe. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 33: 150-164.
- 9 Boersma, F. 1979. Een inventariserend onderzoek naar het optreden van groeimisvormingen door kopergebrek bij douglas, sitkaspar en lariks. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 183.
- 10 Brix, H. 1981. Effects of nitrogen fertilizer source and application rates on foliar nitrogen concentration, photosynthesis, and growth of Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 11: 775-780.
- 11 Burg, J. van den. 1976. De invloed van het stikstofgehalte van de organische stof in kalkloze zandgronden op de groei van naalddhoutsoorten, in afhankelijkheid van de fosfaat- en de vochtvoorziening. Intern rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 87.
- 12 Burg, J. van den. 1977. Veranderingen in heidegronden door bebossing. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 51: 69-81; Mededeling Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 174 (herzien 1982).
- 13 Burg, J. van den. 1981. pH en boomgroei – een literatuuronderzoek. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 282.
- 14 Burg, J. van den. 1982. De kopervoorziening van tweedegeneratiebossen op voormalige heidegronden in Noord-oost-Nederland. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 54: 313-322; Mededeling Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 200.
- 15 Burg, J. van den. 1983. Copper uptake by some forest tree species. Plant and Soil 75: 213-219.
- 16 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.
- 17 Burg, J. van den. 1985. Bekalking van bossen 1. Nederlandse literatuur. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 401.
- 18 Burg, J. van den. 1986a. Bekalking van bossen 2. Overzicht van de buitenlandse literatuur. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 424 (in voorbereiding).
- 19 Burg, J. van den. 1986b. 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.
- 20 Burg, J. van den. 1986c. Relaties tussen het vochtleverend vermogen van de grond, het waterverbruik en de groei van een aantal boomsoorten – een literatuurstudie. SWNBL-rapport project 7c (manuscript).
- 21 Burg, J. van den, en C. P. van Goor. 1975. Problemen bij de minerale voeding van eerste- en tweede-generatie naalddhout in heidebebossingen. Intern rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 68.
- 22 Burg, J. van den, C. P. van Goor en L. Oldenkamp. 1973. De invloed van zinkovermaat op de groei van boomsoorten in zuid-oostelijk Noord-Brabant. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 45: 329-359; Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 135.
- 23 Carter, R. E., A. M. Scagel and K. Klinka. 1986. Nutritional aspects of distorted growth in immature forest stands of southwestern coastal British Columbia. Canadian Journal of Forest Research 16: 36-41.
- 24 Douglas. 1961. Vlugschrift Staatsbosbeheer. 33 blz.
- 25 Evers, F. H. 1964. Die Bedeutung der Stickstoffform für Wachstum und Ernährung der Pflanzen, insbesondere der Waldbäume. Mitteilungen Vereins für forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, nr. 14, S. 19-37.
- 26 Fiedler, H. J., M. Heinze und H. Höhne. 1985. Ernährungsphysiologische Untersuchungen an Douglasien-sämlingen. Beiträge für die Forstwirtschaft 19: 157-162.
- 27 Fiedler, H. J., W. Nebe und F. Hoffmann. 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Fischer, Stuttgart, 481 S.
- 28 Foerst, K. 1980. Standort, Wuchsleistung und Ernährungszustand älterer bayerischer Bestände der Grünen Douglasie (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco var. menziesii). Mitteilungen Staatsforstverwaltung Bayerns, 41. Heft + Anlagen. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- 29 Gessel, S. P. 1949. Correlation between certain soil characteristics and site for Douglas fir in Northwestern Washington. Soil Science Society of America Proceedings 14: 333-337.
- 30 Gessel, S. P., K. J. Turnbull and F. T. Tremblay. 1960. How to fertilize trees and measure response. National Plant Food Institute. 67 p.
- 31 Göhre, K. 1958. Die Douglasie und ihr Holz. Akademie-Verlag, Berlin, 596 S.
- 32 Goor, C. P. van. 1955. De fosfaatbehoefte van bomen en de fosfaatbemesting in de bosbouw. Het Thomasmeel 11: 251-257.
- 33 Goor, C. P. van. 1957. Adviesbasis Grondonderzoek Bosbouw. Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, 13 blz.
- 34 Goor, C. P. van. 1958. De invloed van de zonnestraling op de groei van de douglas. Landbouwkundig Tijdschrift 70: 693-695.
- 35 Goor, C. P. van. 1959a. De naalddhoutteelt in Nederland. Stikstof 23: 376-384.
- 36 Goor, C. P. van. 1959b. Iets over de kalivoorziening van de jonge douglasaanplantingen. Kali 40: 377-382.
- 37 Goor, C. P. van. 1967a. Bemestingsvoorschrift voor naalddhoutculturen, 2e herziene druk. Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 56. 16 blz.
- 38 Goor, C. P. van. 1967b. Beperkende factoren bij de houtsoortenkeuze. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 39: 15-22.
- 39 Goor, C. P. van. 1967c. Kriterien zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses in der Forstwirtschaft. In: Bericht

- über das Kolloquium für Forstdüngung, Jyväskylä/Finland, p. 55-64. Internationales Kali-Instituut, Bern/Zwitserland.
- 40 Goor, C. P. van. 1968a. Productieniveau-onderzoek voor douglas. Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen. 12 blz.
- 41 Goor, C. P. van. 1968b. Spurenelemente bei der Ernährung; Tagungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, nr. 84, S. 147-155.
- 42 Goor, C. P. van, en Ch. H. Henkens. 1966. Groeimsvormingen bij douglas en fijnspar, en sporenelementen. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 38: 108-120; Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 76.
- 43 Goor, C. P. van, en A. van Laar. 1958. De aanleg van douglasopstanden. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 30: 67-83.
- 44 Hagenzieker, F. 1958. Fertilizing Forest Trees. World Crops, Okt. 1958: 1-4. Leonard Hill Technical Group, Londen.
- 45 Hoogh, J. de. 1925. Bijdrage tot de kennis van de groei van *Pseudotsuga taxifolia* Britt. in Nederland, in verband met zijn betekenis voor de Nederlandse bosbouw. Dissertatie Wageningen, 117 blz.
- 46 Hoogh, J. de ( $\pm$  1926). Referaat betreffende de Groene Douglas (*Pseudotsuga taxifolia* Britt.) in Nederland. In: Jaarverslagen 1924/25 van de Nederlandsche Bosbouw Vereniging, p. 20-29.
- 47 Houtzagers, G. 1954. Houtteelt der gematigde luchtstreek. Deel 1. De houtsoorten. Tjeenk Willink, Zwolle, 576 blz.
- 48 Houtzagers, G. 1956. Houtteelt der gematigde luchtstreek. Deel 2. Het Bos. Tjeenk Willink, Zwolle, 438 blz.
- 49 Jahn, G. 1959. Über die Standortbedingte Höhenleistung der grünen Douglasie und damit verbundene Anbaufragen in verschiedenen deutschen Waldwuchsräumen. Allgemeine Forstzeitschrift 14: 152-155.
- 50 Klimaatatlas van Nederland. 1972. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.
- 51 Lange, C. J. de. 1967. Nauwkring van een eenmalige bemesting in jonge douglasopstanden. Notitie Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, 3 blz. + 6 fig.
- 52 Larsen, J. B. 1976. Frostresistenz der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mir.) Franco). Dissertatie Georg-August-Universität Göttingen, 148 S.
- 53 Larsen, J. B. 1982. Trockenresistenz, Wasserhaushalt und Wachstum junger Douglasien (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Junco) und Küstentannen (*Abies grandis* (Dougl.) Lindley) in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung. Det forstlige Forsøgsvaesen i Danmark 39(1): 1-82; Beretning nr. 327.
- 54 Luit, B. van. 1979. Onderzoek naar het optreden van kopergebrek op Drentse bosgronden. Rapport Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Haren, nr. 9-79, 18 blz.
- 55 Lynden, K. R. van. 1967. De houtsoortenkeuze in verband met de bodem. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 39: 3-14.
- 56 McColl, J. G., and R. Johnson. 1983. Effects of simulated acid rain on germination and early growth of Douglas-fir and ponderosa pine. Plant and Soil 74: 125-129.
- 57 Minore, D. 1979. Comparative autecological characteristics of Northwestern tree species - a literature review. General Technical Report Pacific Northwest Forest and Range Experiment PNW-87. US Department of Agriculture, Forest Service.
- 58 Mohren, G. M. J., J. van den Burg, and F. W. Burger. 1986. Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir in the Netherlands. Plant and Soil 95: 191-200.
- 59 Mohren, G. M. J., J. van den Burg, F. W. Burger en J. H. Oterdoom. 1986. Fosforgebrek veroorzaakt door hoge stikstoftoevoer in douglasopstanden. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 58: 238-245.
- 60 Oldenkamp, L., en K. W. Smilde. 1966. Kopergebrek bij douglas. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 38: 203-214; Mededeling Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 77.
- 61 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 rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen (manuscript).
- 62 Otto, H. J. 1983. Standortsansprüche der wichtigsten Waldbaumarten. 32 S. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- 63 Ryan, P. J., S. P. Gessel and R. J. Zasoski. 1986a. Acid tolerance of Pacific Northwest conifers in solution culture I. Effect of high aluminium concentration and solution acidity. Plant and Soil 96: 239-257.
- 64 Ryan, P. J., S. P. Gessel and R. J. Zasoski. 1986b. Acid tolerance of Pacific Northwest conifers in solution culture II. Effect of varying aluminium concentration at constant pH. Plant and Soil 96: 259-272.
- 65 Rygielwicz, P. T., C. S. Bledsoe, and R. J. Zasoski. 1984a. Effect of ectomycorrhizae and solution pH on (15 N) ammonium uptake by coniferous seedlings. Canadian Journal of Forest Research 14: 885-892.
- 66 Rygielwicz, P. T., C. S. Bledsoe, and R. J. Zasoski. 1984b. Effects of ectomycorrhizae and solution pH on (15 N) nitrate uptake by coniferous seedlings. Canadian Journal of Forest Research 14: 893-899.
- 67 Schelling, J., en C. P. van Goor. 1958. Douglasdagen 1957: 2. Bodemwaardering en bodemvruchtbaarheid. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 30: 47-51.
- 68 Schober, R. 1959. Ergebnisse vom Douglasien-Provenienzversuchen in Deutschland, Holland and Dänemark. Allgemeine Forstzeitschrift 14: 145-152.
- 69 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.
- 70 Smit, H. P. 1986. Invloed van Aluminium-toxiciteit op douglaszaailingen (*Pseudotsuga menziesii*) - een onderzoek in het kader van de "zure regen" problematiek. Doctoraalonderzoek Vakgroepen Bodemkunde en Geologie, en Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwniversiteit Wageningen, 202 blz., appendices.
- 71 Soest, J. van. 1959. Erfahrungen mit der Douglasie in der niederländischen Forstwirtschaft. Allgemeine Forstzeitschrift 14: 155-157.
- 72 Tarrant, R. F. 1949. Douglas-fir site quality and soil fertility. Journal of Forestry 47: 716-720.
- 73 Termorshuizen, A. J. 1985. Current investigations on the

extent, nature and significance of the decline of ectomycorrhizas in Dutch forests. In: Indirect effects of air pollution on forest trees – Root-rhizosphere Interactions, p. 168-169. Proceedings of a workshop jointly organized by the Commission of the European Communities and the Kernforschungsanlage Jülich, 5-6 December 1985 within the framework of the Concerted Action, 'Effects of Air Pollution on Terrestrial and Aquatic Ecosystems', Working Party 1. Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Environment Research Programme.

- 74 Tol, G. van 1986. Ervaringen met de douglas als broodboom van de Nederlandse bosbouw. Nederlands Bosbouw tijdschrift 58: 228-237.
- 75 Turner, J. 1975. Nutrient cycling in a Douglas-fir ecosystem with respect to age and nutrient status. Dissertation, University of Washington, 191 p.
- 76 VandenDriessche, R. 1971. Response of conifer seedlings to nitrate and ammonium sources of nitrogen. Plant and Soil 34: 421-439.
- 77 VandenDriessche, R. 1978. Response of douglas fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources at different levels of pH and iron supply. Plant and Soil 49: 607-623.
- 78 VandenDriessche, R. 1979. Estimating potential response to fertilizer based on tree tissue and litter analysis. In: Proceedings Forest Fertilization Conference (eds. S. P. Gessel, R. M. Kenady and W. A. Atkinson), Alderbrook Inn, Union Wash. 25-27 Sept. 1979. p. 214-220. Contribution University of Washington, College of Forest Resources, Institute of Forest Resources, no. 40.
- 79 VandenDriessche, R., and J. Dangerfield. 1975. Response of Douglas-fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources under various environmental conditions. Plant and Soil 42: 685-702.
- 80 Veen, B. 1951. Herkomstenonderzoek van de douglas in Nederland. Dissertatie Wageningen, 130 blz.
- 81 Wilde, S. A. 1962. Forstliche Bodenkunde. Parey, Hamburg, 239 S.

## STICHTING HET GELDERSCH LANDSCHAP te Arnhem

is een organisatie die zich bezighoudt met het behoud en beheer van ruim 7.500 ha bos, natuurterrein en landbouwgronden in de provincie Gelderland.

Binnen deze organisatie is een vacature ontstaan voor de functie van een

### **technisch medewerker (m/v)**

op part-time basis t.w. 4/5 deeltaak.

#### **Taak:**

De aan te stellen functionaris wordt onder leiding van de rentmeester voor algemeen technische zaken belast met:

- Werkzaamheden op het gebied van verhuringen-verpachtingen etc.
- Ondersteuning van commissiewerkzaamheden.
- Het verrichten van inventarisaties t b v. van het beheer.
- Het vervaardigen en herzien van beheersplannen voor de terreinen van de stichting.
- Het vervaardigen van kaarten t.b.v. het beheer.

#### **Gevraagd wordt:**

- Een medewerker met het diploma van de Hogere Bosbouw en Cultuurtechnische school te Velp (studierichting bosbouw) of daarmee overeenkomende opleiding, met belangstelling voor natuurbeheer.
- Kandidaten met enige praktijkervaring genieten de voorkeur.
- Goede contactuele eigenschappen en organisatorische capaciteiten.
- Leeftijd 25-35 jaar.

Een psychologisch onderzoek kan deel uitmaken van de selectieprocedure.

#### **Salaris:**

Afhankelijk van leeftijd en ervaring volgens schaal 8 van de Provinciale bezoldigingsregeling, voor een volledige functie f 3.039,- tot f 4.098,- p.m. Ambtenaar in de zin van de Algemeen Burgerlijke Pensioenwet. Bij gebleken geschiktheid promotie naar schaal 9 mogelijk.

**Sollicitaties voorzien van pasfoto** (binnen drie weken na verschijning van dit blad) **aan:**

#### **Ir. P. N. Ruige, Directeur**

Stichting Het Geldersch Landschap  
Zypendaalseweg 44 – 6814 CL Arnhem