

# De voedingstoestand van Grove den (*Pinus sylvestris* L.) in het Level II-proefvlak in Brasschaat

Roskams, P.<sup>1</sup>, Neiryneck, J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen

<sup>2</sup> Laboratorium voor Bosbouw, Geraardsbergse steenweg 267, 9090 Gontrode

## Samenvatting

De voedingstoestand van een 70-jarig dennenbestand in het Domeinbos 'De Inslag' werd geëvalueerd aan de hand van chemische analyses van de naalden in de periode 1988-1997. Uit de resultaten blijkt dat de fosfor- en de magnesiumvoorziening onvoldoende zijn. Het stikstof- en zwavelgehalte in de naalden is hoog. Het hoge stikstofgehalte heeft tot gevolg dat gebreksverschijnselen van fosfor, kalium en magnesium al bij hogere gehalten kunnen optreden dan bij een normale stikstofvoorziening het geval is. Vooral de verhouding van magnesium t.o.v. stikstof is ongunstig en bevestigt de gebrekkige magnesiumvoorziening. Het hoge zwavelgehalte is waarschijnlijk toe te schrijven aan de zwavelbelasting door het Antwerpse industriegebied. Uit de analyse van de naaldgehalten van beschadigde en niet-beschadigde bomen in 1991 blijkt dat er geen eenduidig verband kan afgeleid worden tussen de voedingstoestand van bomen en hun gezondheidstoestand, beoordeeld op basis van het naaldverlies.

De afname van de kalium- en magnesiumgehalten in de naalden en hun verhouding ten opzichte van stikstof komt overeen met de dalende trend in de bodemoplossing. Samen met de resultaten van de depositiemetingen in Brasschaat ondersteunen deze bevindingen de hypothese dat atmosferische depositie een belangrijke factor kan zijn in het ontstaan van nutriëntentekorten en voedingsonevenwichten in bossen.

## Summary

### **Nutrient status of Scots pine in the level II plot of Brasschaat**

The nutrient status of a 70 years old Scots Pine stand at Brasschaat in 1988-1997 was investigated by means of repeated foliar analysis. From the results it appears that a phosphorus and a magnesium shortage occurs at this site. The nitrogen and sulphur concentrations in the needles are high. This high nitrogen concentration may result in a shortage of phosphorus, potassium and magnesium at higher concentrations than in a situation with a normal nitrogen supply. Especially the ratio of magnesium to nitrogen indicates a nutritional imbalance for this element. The high sulphur concentration in the needles is probably due to the immissions originating from the industrial area of Antwerp. In 1991 the relationship between nutrient concentrations and needle loss was investigated. However a clear relationship could not be detected. The decrease in the needle concentrations of potassium and magnesium and their ratio to nitrogen is in line with the declining trend in the soil solution. Together with the results of the deposition monitoring at Brasschaat, these results support the hypothesis that atmospheric deposition may act as an important factor in the development of nutrient shortages and nutrient imbalances in forests.

## 1 Inleiding

Sinds 1988 maakt het bosgebied 'de Inslag' in Brasschaat deel uit van het bosbodemmeetnet in het Vlaamse Gewest. In dit netwerk van 11 geselecteerde bosgebieden wordt het boscosysteem doorlopend bewaakt door middel van een intensieve monitoring. Doel is meer inzicht te krijgen in de factoren die de bosgezondheidstoestand beïnvloeden en in de achterliggende oorzaak-gevolg relaties.

Het is reeds lang bekend dat de voedingstoestand van bomen een indicator is van eventuele chemische stress op het niveau van de boomwortels dan wel van de bladeren (Landmann & Bonneau, 1995). Daarbij kunnen zowel gebrek als overmaat aan één of meerdere (voedings)elementen aan de basis liggen. Reeds in het midden van de vorige eeuw werd aangetoond dat planten karakteristieke symptomen vertonen wanneer ze onvoldoende voorzien worden van voedingsstoffen (Kühn, 1972) en de werking van de verschillende voedingselementen is uitvoerig beschreven. De typische gebreksverschijnselen worden gebruikt als diagnostisch kenmerk bij het optreden van problemen gerelateerd aan de voedselvoorziening.

Naast deze visuele diagnose wordt vooral gebruik gemaakt van de chemische analyse van de bladeren als een geschikte methode om de voedingstoestand van planten te karakteriseren.

In het kader van het onderzoek naar de inwerking van luchtverontreiniging op het boscysteem is het belang van de voedingstoestand van bomen hernieuwd in de aandacht gekomen. De resultaten van verschillende onderzoeksprojecten tonen een daling van de zuurtegraad en een afname van de basenverzadiging of de kationenuitwisselingscapaciteit in bosbodems in de loop van de voorbije decennia aan (o.a. Ronse et al., 1988; Landmann & Bonneau, 1995). Zuurinput vanuit de atmosfeer wordt als één van de belangrijkste oorzaken beschouwd die aan de basis liggen van deze uitspoeling van voedingselementen en dus ook als een belangrijke factor in het optreden van eventuele gebreksverschijnselen bij bomen. Zo zijn er sterke aanwijzingen dat zuurinput de belangrijkste oorzaak is van magnesiumuitloging uit de bosbodem en het optreden van magnesiumgebreksverschijnselen in fijnspar- en zilverdenbestanden in de Vogezen (Landmann & Bonneau, 1995). In Z-Zweden werd een dalende trend gevonden in de gehalten van kalium en koper en hun verhouding ten opzichte van stikstof in de naalden van Fijnspar en Grove den. De resultaten ondersteunen de hypothese dat de verhoogde depositie van stikstof kan leiden tot nutriëntenonevenwichten in bomen (Thelin et al., 1997).

Voor de beoordeling van de nutriëntengehaltes werden door verschillende auteurs grenswaarden opgesteld (o.a. van den Burg & Schaap, 1995). Ze geven concentraties voor een optimale, normale of gebrekkige voorziening aan nutriënten voor verschillende boomsoorten. De nutriënten beïnvloeden echter ook elkaars werking. Deze onderlinge beïnvloeding kan omschreven worden met behulp van de nutriëntenverhoudingen. Het betreft o.a. de verhouding van een aantal macronutriënten t.o.v. stikstof en de onderlinge verhoudingen van enkele kationen.

In dit artikel wordt de voedingstoestand van Grove den in Brasschaat in de periode 1988-1997 m.b.t. enkele belangrijke nutriënten geëvalueerd en wordt onderzocht of er onevenwichten in de voedingshuishouding optreden. Tevens wordt nagegaan of er op basis van de momenteel beschikbare gegevens een verband kan aangetoond worden tussen de concentraties van elementen in de bodemoplossing en de gehalten in de naalden.

## **2 Methodiek**

### **2.1 Onderzoeksgebied**

Het onderzoek vindt plaats in een Grove dennenbestand in het bosgebied 'de Inslag' in Brasschaat (locatie +51° 18' 33'' NB, +04° 31' 14'' OL). Het betreft een aanplanting daterend uit 1929. Voor een beschrijving van de basiskarakteristieken van het onderzochte bestand wordt verwezen naar Overloop et al., 1999.

## 2.2 Staalname

In 1988, 1991, 1995 en 1997 werden in het proefvlak of in de bufferzone verse naalden van dominante bomen verzameld.

In oktober 1988 werden 10 dominante bomen in het proefvlak bemonsterd. De staalname gebeurde door kleine twijgen en takken uit het bovenste deel van de kroon met hagelpatronen naar beneden te schieten. Per boom werd vervolgens een mengmonster uit het verzamelde materiaal samengesteld.

In 1991 werd materiaal verzameld van 20 verschillende bomen in het proefvlak. Deze 20 bomen werden vooraf geselecteerd: 10 bomen vertoonden minder dan 25 % naaldverlies (geen tot licht naaldverlies), de overige 10 ex. meer dan 25 % naaldverlies (matig tot sterk naaldverlies). De staalname gebeurde eveneens door met hagelpatronen goed geëxposeerde delen van de bovenkroon af te schieten, waarna voor de individuele bomen een mengmonster werd samengesteld. De staalname vond plaats op 21/10/1991 (Maddelein et al., 1997).

In 1995 en 1997 werden door een klimmer stalen verzameld van telkens dezelfde 5 dominante bomen in de bufferzone rond het proefvlak. Het betrof stalen uit het bovenste derde kroongedeelte, waarbij de kroon werd bemonsterd volgens verschillende oriëntaties, overeenstemmend met de 4 hoofdwindrichtingen. Nadien werd hieruit een mengmonster per boom samengesteld. De staalname vond plaats op 7/11/1995 respectievelijk 6/11/1997.

## 2.3 Voorbehandeling en analyse

### 2.3.1 Voorbehandeling

Bij de staalnamecampagnes 1988, 1991 en 1995 werd telkens dezelfde werkwijze gevolgd voor de voorbehandeling van de naaldstalen. De verse naalden werden gescheiden volgens naaldjaargang en vervolgens gedurende 48 u. gedroogd in een droogoven op 80 °C. Vervolgens werd 1 gram plantenmateriaal verast bij 450 °C gedurende 4 uur. De as werd gedigereerd in 1 M HNO<sub>3</sub>. In de asoplossing werden K, Ca, Na, Mg, P en de meeste sporenelementen bepaald. Voor de bepalingen met ICP werd 1 M HCl gebruikt in plaats van 1 M HNO<sub>3</sub> voor de digestie van de as. Voor SO<sub>4</sub> werd in 1988 en 1991 een verassing uitgevoerd na behandeling van de droge stof met Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, in 1995 werd AgO<sub>2</sub>/NaHCO<sub>3</sub> gebruikt. Voor de bepaling van B werd het plantenmateriaal verast in aanwezigheid van CaO en opgelost in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. In 1997 werden de naalden, na de scheiding in halfjarige en 1-jarige naalden, gedurende 96 u. gedroogd in een droogoven aan 40 °C. De ontsluiting gebeurde in een microgolfoven na behandeling met HNO<sub>3</sub>, voor stikstof met H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### 2.3.2 Analytische bepaling

N: Kjeldahl

Na, K, Ca: emissie-spectrometrie

Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Al: atoomabsorptie

Pb: '91: polarografisch (ASV); '95: atoomabsorptie

B: spectrofotometrie

P: colorimetrie

S: '88-'91: turbidimetrie; '95: ICP-AES

In 1997 werd voor alle bepalingen ICP-AES gebruikt, met uitzondering van stikstof dat via de Kjeldahl-methode werd bepaald. Aangezien zowel de ontsluitings- als de analysemethode in 1997 voor nagenoeg alle elementen verschilde van deze in de voorgaande meetcampagnes, werden in het kader van een vergelijkend onderzoek 15 stalen volgens de 'nieuwe' en de 'oude' methode geanalyseerd. Uit de resultaten bleek dat enkel de resultaten voor stikstof vergelijkbaar waren (gemiddelde afwijking 4 %). Voor de andere elementen werden min of meer grote verschillen gevonden. Bij de toetsing van de concentratieverschillen tussen de verschillende meetjaren, werd daarom enkel voor stikstof de volledige tijdsreeks 1988 - 1997 onderzocht. Voor de overige elementen werd de analyse beperkt tot de periode 1988 - 1995.

## **2.4 Interpretatie**

De concentraties van de macronutriënten (N, P, K, Ca, Mg), de verhouding van de macronutriënten t.o.v. stikstof en de kationenverhoudingen (K/Ca, K/Mg) worden geëvalueerd aan de hand van de referentiewaarden opgesteld door van den Burg (van den Burg, 1994; van den Burg & Schaap, 1995) en de Nederlandse commissie advies bosbemesting (CAD-BLB, 1990).

De tabel met richtwaarden voor de beoordeling van de minerale voedingstoestand onderscheidt concentratiebereiken waarbinnen de gehalten van de nutriënten als hoog, voldoende of laag kunnen geïnterpreteerd worden (tabel 1). Voor de nutriëntenverhoudingen geldt een iets afwijkende terminologie (tabel 2). Voor de betekenis van deze waarderingen wordt verwezen naar tabel 3.

Voor de evaluatie van de gehalten aan zwavel (S) en de sporenelementen (Mn, Fe, Zn, Cu) worden de referentiewaarden van Hüttl (1992) gehanteerd (tabel 1).

## **2.5 Verwerking**

Verschillen in nutriëntengehalten en -verhoudingen werden voor de periode 1988-1995 getoetst op hun significantie d.m.v. een ANOVA met aanduiding van de homogene groepen op basis van het kleinste significante verschil. Voor stikstof waren tevens data voor 1997 beschikbaar.

Verschillen tussen de halfjarige en 1-jarige naalden werden onderzocht d.m.v. een t-test. Het verband tussen de nutriëntengehalten in de naalden en de concentraties in de bodemoplossing werd in een eerste benadering onderzocht door na te gaan of er overeenkomstige trends gevonden werden.

De verzamelde gegevens werden opgeslagen met Dbase IV en Microsoft Excel 4.0. De statistische verwerking gebeurde met Statgraphics 5.1.

## 3 Resultaten

### 3.1 Stikstof

Stikstof speelt als belangrijk bestanddeel van enzymen een essentiële rol in de stofwisseling van planten. Een te lage stikstofvoorziening resulteert in een lichtgroene tot geelachtige verkleuring van naalden of bladeren. De verkleuring is egaal over de assimilatie-organen verdeeld en treedt op in de gehele kroon. Bij stikstofgebrek zijn de naalden en bladeren kleiner dan normaal en er treedt een algemene groeivermindering op. Stikstof is (was) in vele bosgebieden de meest beperkende factor voor de groei, maar vooral onder invloed van antropogene bronnen begint in deze situatie verandering op te treden. In Nederland, waar net als in Vlaanderen hoge stikstofdeposities in bossen vastgesteld worden, komt stikstofgebrek in bossen thans zelden of nooit voor. Stikstofovermaat kan tot uiting komen in een zeer donkergroene tot dofgroene bladkleur en intensiveert het optreden van symptomen van o.a. fosfor-, kalium- en magnesiumgebrek (van den Burg & Schaap, 1995).

Het stikstofgehalte wordt in alle jaren als 'hoog' geëvalueerd: de gemiddelde concentratie in de halfjarige naalden varieert van 20289 mg/kg tot 23394 mg/kg (tabel 4). In de loop van de periode 1988 - 1997 worden geen belangrijke wijzigingen vastgesteld, behalve in 1995 waar een significant hoger gehalte ( $p < 0.05$ ) dan in alle overige jaren wordt gemeten. Voor de 1-jarige naalden worden geen significante verschillen gevonden. De toegepaste criteria volgens van den Burg zijn vooral gerelateerd aan de boomgroei: hoge N-gehalten kunnen leiden tot een afname van de groei en onevenwichtige verhoudingen t.o.v. andere macronutriënten. Hoge stikstofconcentraties kunnen echter ook leiden tot verhoogde gevoeligheid voor vorst en infectie door de schimmel *Sphaeropsis sapinea*. In dit verband worden in de literatuur gehalten van  $\pm 18000$ - $20000$  mg/kg als kritische waarden opgegeven (Aronsson, 1980; Roelofs et al., 1985), zodat in Brasschaat tevens met een verhoogde gevoeligheid voor deze schadefactoren moet gerekend worden.

Stikstof is een mobiel element dat bij een krappe bevoorrading uit de oudere naalden naar de jonge, fysiologisch actievere naalden kan getranslokeerd worden. Onder normale omstandigheden worden de hoogste stikstofgehalten daarom in de jongste naaldjaargang aangetroffen (Wolff & Riek, 1997). In Brasschaat daarentegen ligt het gemiddelde N-gehalte in de 1-jarige naalden iets hoger dan in de jongste naaldjaargang maar de verschillen zijn niet significant. Laatstgenoemde auteurs schrijven hogere N-gehalten in de oudere naaldjaargangen toe aan stikstofovermaat. De gemiddelde stikstofdepositie in Brasschaat via het doorvalwater is met 35.4 kg/ha.jaar in de periode 1992-1997 vrij hoog. Neiryneck et al. (1999) leiden uit het onderzoek van de bodemoplossing, meer in het bijzonder uit de uitspoeling van nitraten, af dat het betreffende dennenbestand stikstofverzadigd is.

## 3.2 Fosfor

Net zoals stikstof is fosfor een bestanddeel van enzymen en dus een belangrijk element in de stofwisseling van planten.

Fosforgebrek komt tot uiting in de donkere, vaalgroene kleur van de naalden, die vaak met zwarte algen zijn bedekt. Bij ernstig gebrek treedt een verkleuringspatroon op dat boomsoortspecifiek is. De naalden zijn klein en de oudere naalden worden bij sommige boomsoorten necrotisch. Fosforgebrek is in de praktijk echter vrij moeilijk waar te nemen (van den Burg & Schaap, 1995). De fosforgehalten zijn in de periode 1988 - 1995 steeds laag, zonder evenwel aanleiding te geven tot zichtbare gebreksverschijnselen: de gemiddelde concentratie in de halfjarige naalden varieert van 1206 mg/kg tot 1295 mg/kg (tabel 4) en ligt daarmee onder de kritische drempelwaarde van 1400 mg/kg. Zowel in de halfjarige als in de 1-jarige naalden worden in de onderzochte periode echter geen significante wijzigingen waargenomen.

Bij hoge stikstofgehalten kunnen zichtbare gebreksverschijnselen van fosfor, kalium en magnesium al bij hogere gehalten optreden dan bij een normale N-voorziening het geval is. In dergelijke situaties mag het gehalte aan deze macronutriënten niet beoordeeld worden zonder rekening te houden met de stikstofvoorziening (van den Burg & Schaap, 1995). De verhouding van P t.o.v. N ligt maar net boven de kritische ondergrens waardoor de gebrekkige fosforvoorziening in Brasschaat bevestigd wordt (tabel 5).

Net zoals stikstof kan ook fosfor vanuit de oudere naalden getranslokeerd worden naar de jongere naalden. Dit komt ook tot uiting in de data van Brasschaat: de gemiddelde concentratie in de halfjarige naalden is significant hoger ( $p < 0.001$ ) dan in de 1-jarige naalden. Bij een lage beschikbaarheid van fosfor concentreert de boom de opgenomen hoeveelheden in de jongere weefsels en tracht zo de verliezen door uitloging of strooiselproductie zo beperkt mogelijk te houden (Van Den Berge et al., 1992).

## 3.3 Kalium

Kalium heeft een sturende functie in de regeling van de transpiratie en is daardoor van essentieel belang voor de waterhuishouding van planten. Een tekort aan kalium verhoogt de gevoeligheid voor schimmelinfecties, beïnvloedt de groei ongunstig en veroorzaakt een vermindering van de droogte- en vorstresistentie (Wolff & Riek, 1997).

Bij dennen resulteert kaliumgebrek in een lichtgroene tot geelgroene verkleuring van de toppen van de halfjarige naalden, terwijl de basis groen blijft. De overgang van het geelgroene naar het groene gedeelte verloopt zeer geleidelijk. Deze naalden hebben echter een normale grootte en er ontstaan bijna nooit necrotische naaldtoppen. Kalium- en magnesiumgebrek zijn bij jonge bomen moeilijk van elkaar te onderscheiden, vooral in het beginstadium (van den Burg & Schaap, 1995).

De kaliumgehalten worden in de periode 1988 - 1995 als voldoende tot hoog geëvalueerd. De gemiddelde kaliumconcentratie in de halfjarige naalden varieert van 5782 mg/kg in 1995 tot 7256 mg/kg in 1991 (tabel 4). De gehalten in de 1-jarige naalden zijn significant lager ( $p < 0.001$ ) dan in de halfjarige naalden. Dit is toe te schrijven aan de grote mobiliteit van het kaliumion in planten (Wolff & Riek, 1997).

Ook de verhouding t.o.v. stikstof toont aan dat de kaliumvoorziening in Brasschaat voldoende is, maar in 1995 wordt de kritische ondergrens bereikt (tabel 5). Dit is te wijten aan het significant hogere N-gehalte maar ook aan de afname van het K-gehalte t.o.v. 1991, zodat bij een verdere daling in de toekomst zowel met een te laag absoluut gehalte als met een ongunstige verhouding t.o.v. stikstof rekening moet gehouden worden.

Het is bekend dat elementen als K, Ca en Mg onder invloed van zure depositie uitgespoeld kunnen worden uit de kroon ('leaching') of dat ze ingewisseld kunnen worden tegen protonen en ammonium. In Brasschaat is vooral kalium in inwisselings-/uitspoelingsprocessen in de kroon betrokken, voor calcium en magnesium geldt dit slechts in beperkte mate (Neiryck, 1996).

### **3.4 Calcium**

Calcium is van essentieel belang voor verschillende fysiologische processen in planten. Het calciumgehalte in de assimilatie-organen en aan de bladoppervlakte staat tevens in verband met de buffercapaciteit tegen zuurinput in de boomkroon (Wolff & Riek, 1997).

Calcium is een belangrijke antagonist van kalium. Bij hoge concentraties in het wortelbereik kan de opname van kalium geremd worden (K/Ca-antagonisme op kalkrijke bodems).

Calciumgebrek veroorzaakt bij jonge Grove dennen een heldergele verkleuring van de naalden aan de top van de eindscheut en de zijscheuten. Deze naalden zijn dikwijls kleiner dan deze aan het midden en de basis van de scheut en hebben vaak necrotische punten. De knoppen kunnen soms sterke harsuitvloei vertonen. Bij dennen van enkele meters hoogte worden Ca-gebrekverschijnselen niet meer waargenomen. De symptomen van kaliumgebrek kunnen verward worden met deze van calciumgebrek, maar het eerste verschijnsel treedt op aan alle naalden van de halfjarige scheut, veroorzaakt nooit necrotische naaldpunten en een geelgroene maar nooit een heldergele verkleuring van de naaldtoppen (van den Burg & Schaap, 1995).

De calciumgehalten zijn steeds voldoende volgens het toegepaste waarderingschema, hoewel de concentraties in 1995 de kritische ondergrens naderen. Het calciumgehalte in de halfjarige naalden is systematisch afgenomen van 1988 tot 1995, zij het statistisch niet significant. Eenzelfde vaststelling geldt voor de concentraties in de 1-jarige naalden (tabel 4). Wegens de geringe mobiliteit van calcium treedt in oudere naalden een accumulatie op: de gehalten in de 1-jarige naalden zijn significant hoger ( $p < 0.001$ ) dan in de halfjarige naalden.

Over de fysiologische betekenis van de verhouding van calcium t.o.v. stikstof in bladeren en naalden is momenteel nog te weinig bekend (van den Burg & Schaap, 1995) zodat er voor deze verhouding geen kritische grenswaarden beschikbaar zijn.

### **3.5 Magnesium**

Magnesium is het centraal element in chlorofyl en is dus van groot belang voor het assimilatievermogen van de boom. Gebrek leidt tot afbraak van chlorofyl, wat tot uiting komt in typische verkleuringsverschijnselen en storingen in de groei.

Magnesiumgebrek leidt bij dennen tot een hardgele verkleuring van de naaldtoppen: bij jongere bomen zijn de halfjarige naalden verkleurd, bij oudere exemplaren begint de verkleuring bij de oudere naalden.



In tegenstelling tot kaliumgebrek is de overgang van de gele naaldtop naar de groene naaldbasis vrij scherp. In hun beginstadia zijn kalium- en magnesiumgebrek echter moeilijk te onderscheiden (van den Burg & Schaap, 1995).

De magnesiumgehalten in de halfjarige naalden zijn laag en er moet met latent gebrek rekening gehouden worden. In 1988 en 1995 bedraagt de gemiddelde concentratie 606 respectievelijk 687 mg/kg en ligt hiermee onder de kritische drempelwaarde van 700 mg/kg; in 1991 wordt weliswaar een hoger gehalte gemeten maar ook deze waarde ligt maar net boven de kritische ondergrens (tabel 4).

De gebrekkige Mg-voorziening in Brasschaat wordt bevestigd door de verhouding van magnesium t.o.v. stikstof, die steeds lager ligt dan de kritische ondergrens, evenals door het hoge K/Mg-quotient (tabel 5). Magnesiumgebrek is één van de meest frequente vormen van voedingsonevenwicht in bossen op zure bodems en is gecorreleerd met het gehalte aan uitwisselbaar magnesium in de oppervlakkige bodemhorizont (Landmann & Bonneau, 1995).

Magnesium is mobiel in de plant en kan dus eenvoudig getranslokeerd worden van de oudere naar de jongere, fysiologisch actievere naalden. Dit verklaart de significant hogere gehalten ( $p < 0.05$ ) in de halfjarige naalden.

### 3.6 Zwavel

Zwavel is als bouwsteen van proteïnen en aminozuren een essentieel element in planten. Normalerweise volstaat het in de bodem aanwezige sulfaat om aan de zwavelbehoefte van bomen te voldoen. Afgezien van opname via de wortels kunnen bomen zwavel ook opnemen uit de lucht ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ). Deze S-opname via antropogene gassen leidt tot een accumulatie van zwavel in de bladeren en naalden. De zwavelconcentratie in de naalden kan dus een indicator zijn voor de belasting van bomen met potentieel schadelijke zwavelhoudende gassen (Wolff & Riek, 1997).

Op basis van het waarderingsschema worden de zwavelgehalten steeds als 'zeer hoog' geëvalueerd: de gemiddelde concentraties in de halfjarige naalden in de periode 1988-1995 variëren van 1597 tot 1691 mg/kg. De gehalten in de halfjarige naalden zijn in de periode 1988 - 1995 nauwelijks gewijzigd. In de 1-jarige naalden worden significant hogere gehalten ( $p < 0.01$ ) dan in de jongere naalden vastgesteld. Dit stemt overeen met de bevindingen van Knabe & Cousen (1988), die in Duitsland bij een grootschalig onderzoek in fijnsparbestanden een progressieve toename vaststellen in de zwavelgehalten van de 1-jarige tot de 3-jarige naalden. In tegenstelling tot de halfjarige naalden wordt in de 1-jarige naalden een significante afname ( $p < 0.01$ ) van de S-concentraties in de loop van de onderzochte periode waargenomen.

Op de meetsite in Brasschaat wordt de concentratie aan gasvormige pollutanten ( $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$ ) doorlopend gemeten d.m.v. automatische gasanalysers. Hoge  $\text{SO}_2$ -concentraties worden hoofdzakelijk gemeten bij zuiden- en westenwinden, waaruit volgt dat deze sector als een brongebied van emissies kan beschouwd worden (Overloop & Roskams, 1998). De hoge zwavelgehalten in de naalden in Brasschaat zijn dus hoogstwaarschijnlijk toe te schrijven aan de zwavelbelasting door het nabijgelegen Antwerpse haven- en industriegebied.

Voor de beoordeling van de potentiële zwavelbelasting leidde Fürst (1992) op basis van de grenswaarden in de "Zweiten Österreichischen Bundesverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen" (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 22.05.1984) een grensbereik af voor de maximale natuurlijke zwavelgehalten bij Fijnspar. Het grensbereik wordt bepaald a.h.v. de gehalten in de half- en 2-jarige naalden. Waarden buiten dit grensbereik wijzen op de invloed van zwavelimmissie. Uit de confrontatie van de S-gehalten in halfjarige en 1-jarige dennennaalden in Brasschaat met dit grensbereik blijkt dat de gevonden gehalten volledig in het gebied gekenmerkt door zwavelimmissie gesitueerd zijn. Kupka (1993) stelt dat de naaldbezetting bij Fijnspar begint af te nemen als het S-gehalte van de naalden minstens 1600-1800 mg/kg bedraagt. Er zijn momenteel echter onvoldoende gegevens beschikbaar om de relevantie van deze waarde te toetsen aan de situatie in Brasschaat.

### **3.7 Mangaan, ijzer, koper, zink, lood en cadmium**

Mangaan, koper en zink zijn sporenelementen die een rol spelen in verschillende fysiologische processen. Ijzer is een bouwsteen van chlorofyl en veroorzaakt bij gebrek verkleuringsverschijnselen. Lood en vooral cadmium zijn zware metalen die toxisch kunnen zijn voor planten.

#### **Mangaan**

De mangaangehalten variëren in de onderzochte periode van laag tot middelmatig. De gemiddelde concentratie in de 1-jarige naalden is significant hoger ( $p < 0.001$ ) dan in de halfjarige naalden. Mangaan wordt door planten vooral als  $Mn^{2+}$  uit de bodemoplossing opgenomen. De vrij lage naaldgehalten die in Brasschaat worden vastgesteld zijn waarschijnlijk vooral toe te schrijven aan het feit dat in podzolbodems door de bodemontwikkeling een sterke verarming aan uitwisselbaar mangaan is opgetreden.

Grenswaarden voor micro-elementen zijn minder goed gekend. Op basis van het bereik dat Landmann & Bonneau (1995) suggereren (50-800 mg/kg) kan het mangaangehalte in Brasschaat als voldoende beoordeeld worden.

#### **Ijzer**

De ijzergehalten in de halfjarige naalden zijn als middelmatig te beschouwen. De concentraties in de 1-jarige naalden zijn significant hoger ( $p < 0.001$ ) dan in de jonge naalden, zodat van een duidelijke accumulatie van ijzer in de oudere naalden kan gesproken worden.

Aangezien ijzer in de loop van de bodemontwikkeling pas bij lagere pH-waarden wordt gemobiliseerd, worden, in tegenstelling tot mangaan, op de armere standplaatsen hoge ijzerconcentraties in de naalden vastgesteld (Woff & Riek, 1997).

#### **Koper**

De kopergehalten in Brasschaat kunnen volgens het waarderingschema van Hüttl als 'hoog' geëvalueerd worden. In 1991 - 1995, de periode waarvoor data beschikbaar zijn, worden nagenoeg geen wijziging vastgesteld. De gehalten in oude en jonge naalden zijn vergelijkbaar.

## **Zink**

De zinkgehalten in 1991 - 1995 zijn middelmatig en zijn in deze periode nauwelijks gewijzigd. Enkel in 1991 wordt in de 1-jarig naalden een beduidend hoger gehalte dan in de jongere naalden gemeten. Het zinkgehalte situeert zich in een normaal bereik (Landmann & Bonneau, 1995).

## **Lood**

In 1991 - 1995 bedraagt het gemiddeld loodgehalte in de halfjarige naalden respectievelijk 4.29 en 3.25 mg/kg. Deze gehalten bevinden zich in een bereik dat volgens de literatuur als 'normaal' (< 5.0 mg/kg) te evalueren is (Wolff & Riek, 1997). In de 1-jarige naalden treedt accumulatie op en de gehalten zijn hoger dan deze grenswaarde: in 1991 en 1995 respectievelijk 6.72 en 5.63 mg/kg.

## **Cadmium**

Het gemiddelde cadmiumgehalte in de halfjarige naalden bedraagt in 1991 - 1995 respectievelijk 0.60 en 0.58 mg/kg. Deze waarden zijn duidelijk lager dan het gehalte van  $\pm 3$  mg/kg dat in de literatuur als toxische waarde wordt opgegeven (Burse & Schramm, 1996).

### **3.8 Relatie met vitaliteit**

In 1991 werd in het proefvlak in Brasschaat onderzocht of er een verband kon aangetoond worden tussen het nutriëntengehalte en de vitaliteitstoestand van de bomen (Maddelein et al., 1997). Voor de beoordeling van de vitaliteit werd het naaldverlies als criterium gehanteerd, waarbij volgens de gebruikelijke internationale normen een onderscheid werd gemaakt tussen bomen met een verwaarloosbaar tot licht naaldverlies ( $\leq 25$  %) en beschadigde bomen met meer dan 25 % naaldverlies. In elke categorie werden 10 bomen bemonsterd.

Bij de beschadigde bomen werd een significant hoger sulfaatgehalte gevonden, een hoger stikstofgehalte en een lager calciumgehalte in de 1-jarige naalden. Voor stikstof en calcium waren de verschillen echter niet significant. Ook voor de overige nutriënten werden geen significante verschillen gevonden en voor magnesium, kalium en fosfor werden in de minst vitale bomen zelfs de hoogste gehalten vastgesteld. Uit de resultaten kon dus geen éénduidige relatie tussen het nutriëntengehalte en de vitaliteitstoestand op basis van het naaldverlies afgeleid worden.

Ook in andere studies kon vaak geen duidelijke relatie tussen kroontoestand en nutriëntengehalte aangetoond worden. Hendriks et al. (1994) vonden in Nederland geen significante relatie tussen de concentratie van de afzonderlijke voedingselementen en het blad-/naaldverlies; op basis van meervoudige regressies kon het belang van voedingselementen echter wel (indirect) aangetoond worden. Andere verklarende variabelen waren boomsoort, bodemtype, bestandsleeftijd, kroonsluiting en pH van de bodemoplossing. Liu (1988) stelde op basis van een onderzoek in ZW-Duitsland dat 'het bladverlies toe te schrijven is aan dezelfde onevenwichten in de voedingshuishouding als voor bladvergelijking maar dat het verband minder duidelijk is door de interacties met andere factoren (bestandsstructuur, sociale positie enz.)'.

Er bestaan niet alleen interacties tussen factoren gerelateerd aan de voedingstoestand en andere factoren, maar niet-voedingsgebonden factoren kunnen op zich vaak al het grootste deel van het bladverlies verklaren (Landmann & Bonneau, 1995). In verschillende studies kon in dit verband o.a. een relatie aangetoond worden tussen het bladverlies enerzijds en klimaatsfactoren, biotische schadefactoren en bestandsleeftijd anderzijds (Hendriks et al., 1994; Landmann & Bonneau, 1995; Roskams, 1997; Neiryneck et al., 1998). Wat biotische schadefactoren betreft, werden in talloze studies trouwens overtuigende bewijzen aangevoerd over de invloed van de minerale voedingstoestand op de resistentie van planten tegen talloze schadeverwekkers (Bergmann, 1993).

### **3.9 Nutriëntenverhoudingen en relatie met de bodemoplossing**

Naast de absolute gehalten kunnen ook de onderlinge verhoudingen van nutriënten of hun verhouding t.o.v. stikstof informatie leveren over de voedingstoestand van bomen. Deze verhoudingen zijn gebaseerd op het principe van de evenwichtige plantenvoeding van *Liebig*. Volgens dit principe worden de verschillende nutriënten door de plant niet opgenomen in evenredigheid tot het aanbod, maar wel in een specifieke verhouding.

Door middel van een ANOVA wordt voor de periode 1988-1995 onderzocht hoe de onderlinge verhoudingen K/Ca, K/Mg, Ca/Al en de verhoudingen van Mg, P, K, Ca en S t.o.v. N evolueren. De verhoudingen waarvoor significante verschillen zijn gevonden, worden weergegeven in tabel 6. In de halfjarige naalden worden significante verschillen vastgesteld voor de verhouding van Mg, K en S t.o.v. N en voor de K/Mg-verhouding. Enkel voor de K/Mg-verhouding wordt een systematische afname tussen 1988 en 1995 waargenomen. De ongunstige magnesiumvoorziening in het bestand wordt hierdoor nogmaals aangetoond. In de 1-jarige naalden wordt enkel een significant verschil voor de verhouding van S t.o.v. N gevonden, die systematisch afneemt tussen 1988 en 1995.

Naast andere beïnvloedende factoren, mag verondersteld worden dat vooral factoren gerelateerd aan de bodem van invloed zijn op de nutriëntengehalten in de naalden. Hoewel de invloed van het moedermateriaal meestal duidelijk is, kon echter in verschillende studies slechts een beperkt verband tussen de bodemchemie en de voedingstoestand aangetoond worden. De chemie van de bodemoplossing wordt verondersteld in dit verband een beter beeld te geven van de chemische bodemtoestand (Landmann & Bonneau, 1995).

Voor de nutriënten en -verhoudingen waarvoor significante veranderingen worden vastgesteld (zie hoger), wordt in een eerste benadering onderzocht of de temporele wijzigingen in overeenstemming zijn met de trends van de corresponderende nutriënten en -verhoudingen in de bodemoplossing (tabel 6). Aangezien een trendberekening voor de bodemoplossing enkel beschikbaar is voor de periode 1992-1997, worden voor de nutriënten enkel de data van 1991 en 1995 in beschouwing genomen. De beschouwde periode is dus vrij kort en de resultaten hebben vooral een indicatieve waarde.

Uit de resultaten blijkt dat voor kalium en magnesium een gelijkaardige evolutie in de bodemoplossing en de naaldgehalten gevonden wordt. De afname van de gehalten in de halfjarige naalden (K) respectievelijk 1-jarige naalden (Mg) komt overeen met de dalende trend van de K- en Mg-concentraties in de bodemoplossing.

Ook voor calcium en zwavel komt de dalende trend van de concentraties in de bodemoplossing overeen met afnemende gehalten in de naalden, maar de wijzigingen zijn statistisch niet significant. Neiryck et al. (1999) schrijven de dalende trends van de calcium- en sulfaatconcentraties in de bodemoplossing toe aan de afnemende doorvaldepositie. Ook Bonneau et al. (1991) stellen dat de depositie van basische kationen van primair belang is voor de nutriëntenvoorziening van bomen, vooral op standplaatsen die arm zijn aan verweerbare materialen. Er mag aangenomen worden dat deze stelling ook opgaat voor de relatief arme zandgrond in Brasschaat, zodat een afname van de depositie van basische kationen kan leiden tot lagere naaldgehalten.

Wat de nutriëntenverhoudingen betreft wordt een overeenkomst gevonden tussen de afname van de Mg/N-, de K/N- en de S/N-verhouding in de naalden en de respectieve trends van de Mg/NO<sub>3</sub>-verhouding, de K/NO<sub>3</sub>-verhouding en de SO<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>-verhouding in de bodemoplossing. Voor de verhouding van magnesium en kalium t.o.v. stikstof geldt dit enkel voor de halfjarige naalden, voor de verhouding van zwavel t.o.v. stikstof zowel voor de halfjarige als voor de 1-jarige naalden.

## 4 Conclusies

Uit de analyse van de nutriëntengehalten in het onderzochte dennenbestand in Brasschaat blijkt dat de fosfor- en de magnesiumvoorziening in de periode 1988-1995 onvoldoende zijn waardoor (latente) gebreksverschijnselen kunnen optreden. Het calciumgehalte is voldoende maar de gehalten vertonen in de onderzochte periode een dalende evolutie. Het stikstofgehalte is hoog waardoor het herstel van de bomen na het optreden van schade door biotische of abiotische schadefactoren bemoeilijkt wordt. Het hoge N-gehalte heeft tevens tot gevolg dat gebreksverschijnselen van fosfor, kalium en magnesium al bij hogere gehalten kunnen optreden dan bij een normale N-voorziening het geval is. Vooral de verhouding van magnesium t.o.v. stikstof is ongunstig en bevestigt de gebrekkige magnesiumvoorziening. De verhouding van kalium t.o.v. stikstof bereikt na een daling in 1995 de kritische ondergrens zodat bij een verdere afname in de toekomst ook met eventueel kaliumgebrek moet rekening gehouden worden.

Het gehalte aan zwavel is hoog en is waarschijnlijk toe te schrijven aan de zwavelbelasting door het Antwerpse industriegebied. In de onderzochte periode wordt in de 1-jarige naalden echter een duidelijke afname van de zwavelconcentratie vastgesteld.

De gehalten aan mangaan en zink zijn voldoende. Wat lood en cadmium betreft bevinden de gehalten zich onder de toxische drempelwaarde.

Uit de analyse van de naaldgehalten van beschadigde en niet-beschadigde bomen in 1991 blijkt dat er geen eenduidig verband kan afgeleid worden tussen de voedingstoestand van bomen en hun gezondheidstoestand, beoordeeld op basis van het naaldverlies. Bij beschadigde bomen werd wel een significant hoger sulfaatgehalte gevonden, maar voor de overige elementen zijn de verschillen niet significant.

Deze vaststelling wijst eerder op de interactie van het bladverlies met andere factoren, zodat monocausale verbanden gemaskeerd worden, dan wel op het volledig ontbreken van een verband tussen voedingstekorten en de gezondheidstoestand van bomen.

De afname van de kalium- en magnesiumgehalten in de naalden komt overeen met de dalende trend van de K- en Mg-concentraties in de bodemoplossing. Dezelfde vaststelling geldt voor hun verhouding t.o.v. stikstof en de S/N-verhouding, waarvan de afname parallel verloopt met de dalende trend van respectievelijk de Mg/NO<sub>3</sub>-, de K/NO<sub>3</sub>- en de SO<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub>-verhouding in de bodemoplossing. Anderzijds toonden Neiryck et al. (1999) aan dat de afname van de nitraat- en magnesiumconcentraties in de bodemoplossing grotendeels kan verklaard worden door hun verminderde toevoer in de doorvaldepositie. Op standplaatsen die arm zijn aan verweerbare mineralen is de depositie van basische kationen van groot belang voor de nutriëntenvoorziening van de bomen en een afname van de depositie kan leiden tot verminderde naaldgehalten. Deze resultaten ondersteunen de hypothese dat atmosferische depositie een belangrijke factor kan zijn in het ontstaan van nutriëntentekorten en voedingsonevenwichten in bossen.

## 5 Literatuur

Aronsson, A., 1980. Frost hardness in Scots pine. In: EC-UN/ECE; De Vries W. et al. Intensive monitoring of Forest ecosystems in Europe, 1998 Technical Report. Brussels, Geneva, EC-UN/ECE, p. 151.

Bergmann, W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena Stuttgart, 835 pp.

Bonneau, M. et al., 1991. Apports acides et cycles des cations et de l' azote: quelques reflexions à partir des dispositifs de Monthermé (Ardennes) et d' Aubure (Vosges). In: Landmann, G. & Bonneau, M. (Eds.). Forest decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, p. 197.

Burse, K.D. & Schramm, H.-J., 1996. Waldbodenzustandsbericht für Thüringen. In: Wolff, B. & Riek, W. Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustanderhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), p. 86.

CAD-BLB, 1990. Eindrapport commissie advies bosbemesting. In: Hendriks, C.M.A. et al. Effects of acidic deposition on 150 forest stands in the Netherlands. Wageningen, Nederland, DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Report 69.2, p. 19

EC-UN/ECE, 1998; De Vries W. et al. Intensive monitoring of Forest ecosystems in Europe, 1998 Technical Report. Brussels, Geneva, EC-UN/ECE, 104 pp. + bijlagen.

Fürst, 1992. Blatt- und Nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden-Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. In: Wolff, B. & Riek, W. Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustanderhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), p. 76 - 86.

Hendriks, C.M.A. et al., 1994. Effects of acidic deposition on 150 forest stands in the Netherlands. Wageningen, Nederland, DLO Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Report 69.2, 39 pp.

Hüttl, R., 1992. In: Wolff, B. & Riek, W. Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustanderhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), p. 132-133.

Knabe, W. & Cousen, G., 1988. Regionale Verteilung einiger Nähr- und Schadstoffgehalte in Fichtennadeln. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, heft 360, p. 32.

Kupka, I., 1993. The influence of foliage degree and sulphur content in needles on spruce stand increment. In: van den Burg, J. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991, deelrapport 1. Wageningen, Nederland, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, p. 38.

Kühn, H., 1972. Das Erkennen von Nährstoffmangelerscheinungen. In: Bergmann, W. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena Stuttgart, p. 13.

Landmann, G. & Bonneau, M. (Eds.), 1995. Forest decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 461 pp.

Liu, J.C., 1988. Ernährungskundliche Auswertung von diagnostischen Düngungsversuchen in Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.). In: Landmann, G. & Bonneau, M. (Eds.). Forst decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, p. 73.

Maddelain, D. et al., 1997. Chemische analyse van blad- en naaldmonsters. In: Roskams, P., Sioen, G. en Overloop, S. (Red.). Meetnet voor de intensieve monitoring van het bosesysteem in het Vlaamse Gewest - Resultaten 1991-1992. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, pp. 169-178.

Meiresonne, L. & Overloop, S., 1999. Transpiratiebegroting van een Grove dennenbestand: eerste modelmatige benadering. Mededelingen van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer 1999/1, dit volume.

Neiryck, J., 1996. Meettoeren Gontrode - Bosbodemmeetnet, eindverslag 1996, BNO/IBW/1/1996. Universiteit Gent, Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, p. 18.

Neiryck, J. and Roskams, P., 1998. Relationships between crown condition of *Fagus sylvatica* L. and throughfall and soil water chemistry. Submitted to Water, Air and Soil Pollution.

Neiryck, J., Roskams, P. & Lust, N., 1999. Resultaten van 6 jaar monitoring van de chemische samenstelling van neerslag en bodemwater in het level II proefvlak te Brasschaat. Mededelingen van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer 1999/1, dit volume.

Overloop, S. & Roskams, P., 1998. Meetstation voor luchtverontreiniging Brasschaat. Jaarverslag 1997. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, rapport IBW.Bb R 98.001, p. 4.

Overloop, S. & Meiresonne, L., 1999. Basiskarakteristieken van het proefvlak Brasschaat, De Inslag. Mededelingen van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer 1999/1, dit volume.

- Roelofs, J.G.M. et al., 1985. The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. *maritima* in the Netherlands. In: EC-UN/ECE; De Vries W. et al. Intensive monitoring of Forest ecosystems in Europe, 1998 Technical Report. Brussels, Geneva, EC-UN/ECE, p. 151.
- Ronse, A., De Temmerman, L., Guns, M. and De Borger, R., 1988. Evolution of acidity, organic matter content and CEC in uncultivated soils of North Belgium during the past 25 years. *Soil Sci.*, 146, pp. 453-460.
- Roskams, P., 1997. Kroontoestand. In: Roskams, P., Sioen, G. en Overloop, S. (Red.). Meetnet voor de intensieve monitoring van het boscysteem in het Vlaamse Gewest - Resultaten 1991-1992. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, pp. 119-145.
- Roskams, P., Sioen, G. & Overloop, S. (Red.), 1997. Meetnet voor de intensieve monitoring van het boscysteem in het Vlaamse Gewest - Resultaten 1991-1992. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, 191 pp.
- Thelin, G. et al., 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine stands in South Sweden 1985-1994. *Environmental Pollution*, 99 (1998), pp. 149-158.
- Van Den Berge, K., Maddelein, D., De Vos, B. & Roskams, P., 1992. Analyse van de luchtverontreiniging en de gevolgen daarvan op het boscysteem. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Universiteit Gent, Werkgroep Sociale en Economische betekenis van het Bos, rapport nr. 19, 169 pp.
- van den Burg, J. & Schaap, W. (Red.), 1995. Richtlijnen voor mineralentoediening en bekalking als effectgerichte maatregelen in bossen. Wageningen, Nederland, Informatie- en KennisCentrum Natuurbeheer, Rapport nr. 16, 63 pp.
- van den Burg, J., 1994. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991, deelrapport 1. Wageningen, Nederland, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, 64 pp. + bijlagen.
- Wolff, B. & Riek, W., 1997. Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustanderhebung im Wald von 1987-1993 (BZE). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), 141 pp.



**TABEL 1**

Boonsoort	Interpretatie	N (mg/kg DS)	P (mg/kg DS)	K (mg/kg DS)	Ca (mg/kg DS)	Mg (mg/kg DS)
Grove den (halfjarige naalden)	Hoog	> 18000	> 1700	> 7000	-	> 1000
	Voldoende	14000-18000	1400-1700	5000-7000	≥ 1500	700-1000
	Laag	< 14000	< 1400	< 5000	< 1500	< 700
(van den Burg, 1995).						
		S (mg/g DS)	Mn (mg/g DS)	Fe (mg/g DS)	Cu (mg/g DS)	Zn (mg/g DS)
Grove den (halfjarige naalden)	zeer laag	< 0.05	< 0.05	< 0.02	< 0.002	< 0.015
	laag	0.05 - 1.0	0.05 - 1.0	0.02 - 0.05	0.002 - 0.003	0.015 - 0.03
(Hüttl, 1992)	matig	1.0 - 1.2	1.0 - 2.0	0.05 - 0.10	0.003 - 0.005	0.03 - 0.05
	hoog	1.2 - 1.4	2.0 - 4.0	0.10 - 0.50	0.005 - 0.007	0.05 - 0.07
	zeer hoog	> 1.4	> 4.0	> 0.50	> 0.007	> 0.07

**Tabel 1: Criteria voor de beoordeling van de nutriëntengehalten in halfjarige naalden van Grove den (van den Burg & Schaap (Eds), 1995 and Hüttl, 1992).**

*Table 1: Criteria for the judgement of nutrient concentrations in half year old needles of Scots pine (van den Burg & Schaap (Eds), 1995 and Hüttl, 1992).*

**TABEL 2**

Nutriëntenverhouding x 100						
Waardering	P/N	K/N	Mg/N	S/N	K/Ca	K/Mg
optimaal	10 - 14	50 - 100	≥ 10	10 - ...	optimaal: 3.5 - 1.0	zeer hoog: >12 <sup>(3)</sup>
voldoende	5 - < 10	25 - < 50	< 10 - 5	< 10 - 5	voldoende: 1.0 - 0.5 <sup>(1)</sup>	hoog: 7 à 9-12 <sup>(2)</sup>
laag	< 5	< 25	< 5	< 5	laag: < 0.5	normaal: 1-7 à 9

(1): Bij sommige soorten K-gebrek

(2): Bij sommige soorten Mg-gebrek

(3): Bij de meeste soorten Mg-gebrek

**Tabel 2: Waardering van de nutriëntenverhoudingen in halfjarige naalden van Grove den (CAD-BLB, 1990 en van den Burg & Schaap (Red.), 1995).**

*Table 2: Criteria for the judgement of the foliar nutrient ratios in half year old needles of Scots pine (CAD-BLB, 1990 and van den Burg & Schaap (Eds), 1995).*

**TABEL 3**

Waardering van nutriëntengehalte	Betekenis t.a.v. kenmerken van de boom
Hoog	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Het gehalte is zo hoog dat toename ervan geen groeivermeerdering geeft (P, K, Ca, Mg) of leidt tot groeiafname (N)</li><li>2. De nutriëntenverhoudingen zullen vaak onevenwichtig zijn (N in verhouding tot P, K, Mg; K/Ca, K/Mg)</li><li>3. Herstel na het optreden van extreme factoren als vorst, droogte en ziekte wordt bemoeilijkt door overmaat van de betreffende nutriënt of relatief gebrek aan andere nutriënten.</li></ol>
Voldoende	<ol style="list-style-type: none"><li>1. De gehalten zijn voldoende voor gemiddelde tot goede groei (N, P, K, Ca, Mg)</li><li>2. De nutriëntenverhoudingen zijn evenwichtig (cfr. hoog)</li><li>3. Herstel nadat schade is ontstaan door blootstelling aan extreme factoren mag verwacht worden.</li></ol>
Laag	<ol style="list-style-type: none"><li>1. De gehalten zijn zo laag dat de groei slecht is (latent gebrek) of gebreksverschijnselen (zichtbaar gebrek) optreden (N, P, K, Ca, Mg).</li><li>2. De nutriëntenverhoudingen kunnen al dan niet evenwichtig zijn (cfr. hoog)</li><li>3. Een gevolg van onvoldoende voorziening met nutriënten (P, K, Ca, Mg) is dat de boom geringe mogelijkheden heeft om weerstand te bieden aan extreme factoren.</li></ol>

**Tabel 3: Waardering van de nutriëntengehalten in bladeren / naalden (van den Burg & Schaap (Red.), 1995).**

*Table 3: Appreciation of the nutrient concentrations in leaves/needles (van den Burg & Schaap (Eds) , 1995)*

TABEL 4

	Jaar	Aantal bomen	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe
<b>halfjarige naalden</b>	1988	10	21105	1206	6770	1975	606	1691	119	65,8
	1991	20	20593	1226	7256	1841	723	1684	72	83,9
	1995	5	23394	1295	5782	1684	687	1597	101	78,2
	1997	5	20289	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Gemidd .</b>			<b>21033</b>	<b>1230</b>	<b>6907</b>	<b>1857</b>	<b>685</b>	<b>1673</b>	<b>90</b>
<b>1-jarige naalden</b>	1988	10	21980	1113	5294	3406	580	2253	155	85,1
	1991	20	21751	1084	5269	3042	668	1749	94	131,2
	1995	4	23804	1132	4451	2828	504	1486	109	115,5
	1997	5	21148	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Gemidd .</b>			<b>21986</b>	<b>1098</b>	<b>5177</b>	<b>3115</b>	<b>624</b>	<b>1866</b>	<b>112</b>

  

	Jaar	Aantal bomen	Cu	Zn	Pb	Cd	B	Al	Na
<b>halfjarige naalden</b>	1988	10	-	-	-	-	-	204,7	380
	1991	20	5,59	47,94	4,29	0,60	30,63	153,1	155
	1995	5	5,55	45,16	3,25	0,58	22,22	154,0	135
	1997	5	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Gemidd .</b>			<b>5,58</b>	<b>47,38</b>	<b>4,08</b>	<b>0,59</b>	<b>28,95</b>	<b>167,9</b>
<b>1-jarige naalden</b>	1988	10	-	-	-	-	-	199,1	772
	1991	20	5,34	60,13	6,72	0,71	43,21	175,2	467
	1995	4	5,86	45,83	5,63	0,57	34,48	216,8	346
	1997	5	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Gemidd .</b>			<b>5,42</b>	<b>57,75</b>	<b>6,54</b>	<b>0,68</b>	<b>41,75</b>	<b>186,8</b>

Tabel 4: Gemiddelde nutriëntenconcentraties (mg/kg) in naalden van Grove den in Brasschaat.  
 Table 4: Average nutrient concentrations (mg/kg) in needles of Scots pine at Brasschaat.

TABEL 5

Jaar	Aantal bomen	K/Ca	K/Mg	P/N	nutriëntenverhouding ( x 100)			Ca/Al
					K/N	Mg/N	S/N	
1988	10	3.8 <sup>(2)</sup>	12	6	32	3 <sup>(1)</sup>	8	10
1991	20	4.3 <sup>(2)</sup>	10	6	36	4 <sup>(1)</sup>	8	13
1995	5	3.6 <sup>(2)</sup>	8	5	25	3 <sup>(1)</sup>	7	11

(1): Waarde lager dan de ondergrens van de kritische nutriëntenverhouding  
 (2): Waarde hoger dan de bovengrens van de kritische nutriëntenverhouding

Tabel 5: Nutriëntenverhoudingen in halfjarige naalden van Grove den in Brasschaat.  
 Table 5: Nutrient ratios in half year old needles of Scots pine at Brasschaat.

**TABEL 6**

Nutriënt / nutriënten ratio	Halfjarige naalden					Eenjarige naalden			Trend van concentraties in bodemplossing '92-'97 <sup>(1)</sup>	
	Sign. niveau	Homogene groepen				Sign. niveau	Homogene groepen			
		1988	1991	1995	1997		1988	1991		1995
N	*	21105 <sup>A</sup>	20593 <sup>A</sup>	23394 <sup>B</sup>	20289 <sup>A</sup>	NS				dalend (NO <sub>3</sub> ) / NS (NH <sub>4</sub> )
K	*	6770 <sup>AB</sup>	7256 <sup>B</sup>	5782 <sup>A</sup>		NS				dalend
Mg	*	606 <sup>A</sup>	723 <sup>B</sup>	687 <sup>AB</sup>		*	522 <sup>AB</sup>	668 <sup>B</sup>	504 <sup>A</sup>	dalend
Al	**	204.7 <sup>A</sup>	153.1 <sup>B</sup>	154.0 <sup>B</sup>		NS				stijgend
S	NS					**	2253 <sup>A</sup>	1749 <sup>B</sup>	1486 <sup>B</sup>	dalend
Mg/N	**	3 <sup>A</sup>	4 <sup>B</sup>	3 <sup>A</sup>		NS				dalend (Mg/NO <sub>3</sub> )
K/N	**	32 <sup>A</sup>	36 <sup>A</sup>	25 <sup>B</sup>		NS				dalend (K/NO <sub>3</sub> )
K/Mg	*	12 <sup>A</sup>	10 <sup>AB</sup>	8 <sup>B</sup>		NS				stijgend
Ca/N	NS					NS				dalend (Ca/NO <sub>3</sub> )
S/N	*	8 <sup>A</sup>	8 <sup>A</sup>	7 <sup>B</sup>		***	10 <sup>A</sup>	8 <sup>B</sup>	6 <sup>C</sup>	dalend (SO <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub> )

(1): Zie ook Neiryck et al., 1999.

**Tabel 6: Variantie-analyse van de nutriëntgehalten en -verhoudingen, aanduiding van de homogene groepen.**

**Data met verschillende lettercodes zijn significant verschillend.**

(\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ ; NS: niet significant)

*Table 6: ANOVA of the nutrient concentrations and ratios, indication of homogeneous groups.*

*(data show a significant difference if lettercode is different)*

(\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*\*\*:  $p < 0.001$ ; NS: not significant)