

J. A. M. van den Ancker, P. W. Evers, P. P. Th. M. Maessen,  
J. H. Oterdoom en P. A. van den Tweel

Werkgroep Inventarisatie Boomvitaliteit op bedrijfsniveau

## Inleiding

In de afgelopen jaren is de vitaliteit van het Europese bos, dus ook die van het Nederlandse bos, door velen met zorg gadegeslagen. Bij vrijwel alle boomsoorten werd een vitaliteitsvermindering geconstateerd.

De vitaliteitsvermindering werd het eerst opgemerkt in Duitsland eind zeventiger jaren bij zilverden en vervolgens aan het begin van de tachtiger jaren bij fijnspar. Luchtverontreiniging werd als de primaire veroorzaker van de schade gezien omdat:

1 de schade bij vele boomsoorten werd geconstateerd: zilverden (*Abies alba*), fijnspar (*Picea abies*), douglas (*Pseudotsuga menziesii*), groveden (*Pinus sylvestris*), zomereik (*Quercus robur*) en beuk (*Fagus sylvatica*)

2 de verminderde vitaliteit op vele groeiplaatsen en bij meerdere leeftijden van de boomsoorten werd waargenomen, en

3 de schade over grote delen van Europa en Amerika geconstateerd werd.

Na enkele jaren onderzoek naar de relatie tussen de vitaliteitsvermindering en luchtverontreiniging is de meerderheid van de onderzoekers er op het moment van overtuigd, dat bij de huidige concentraties luchtverontreinigende stoffen, luchtverontreiniging waarschijnlijk vooral in combinatie met andere stress-factoren zoals bijvoorbeeld een lange droogteperiode of een insectenplaag tot uiting komt.

Al met al is het nog steeds onduidelijk wanneer en hoe schade ontstaat in samenhang met weersomstandigheden, bodem, en factoren als sociale positie van de boom en beheer van het bos. Evenmin is het bekend in hoeverre het directe effect van luchtverontreiniging op de bladeren (naalden) van de bomen de vitaliteitsvermindering veroorzaakt en/of wanneer het indirecte effect via de bodem de dominerende factor bij de vitaliteitsvermindering is. In dit artikel wordt op de diverse methoden van vitaliteitsbepaling ingegaan. Tevens wordt een oproep gedaan om van gedachten te wisselen met terreinbeheerders over een vitaliteitskartering op bedrijfsniveau.

## Summary

*This article tells the forest managers in the Netherlands about the current research on acid deposition and tree vitality. The attitudes towards and the situation of this research in the Netherlands are described. Then different methods to measure tree vitality are discussed:*

- *crown appearance as measured from the ground*
- *crown appearance as measured from aerial photographs*
- *growth analysis*
- *tree ring analysis*
- *nutrient analysis*
- *physiological measurements: starch, ethylene*
- *detailed growth analysis*

*A first draft of a system to monitor tree vitality within smaller forest management units is proposed. Managers who are interested in the development of such a system are invited to participate in a working group on this subject.*

## Zure depositie; onderzoek en bosbouwpraktijk

De auteurs van dit artikel waren de afgelopen jaren ieder voor zich op een andere manier bij de bestudering van de invloed van luchtverontreiniging op bomen/bos betrokken. Daarbij hadden zij regelmatig contact met beheerders van bosterreinen. Het viel hun daarbij op dat de diverse terreinbeheerders de ernst van de invloed van "zure depositie" op het door hun te beheren terrein zeer verschillend inschatten. De reacties verschilden van: "mijn hele bos is over enkele jaren weg en het heeft geen zin om te herplanten", via "het gaat hier om allemaal verkeerde herkomsten: dus geen wonder dat het mis is" tot "hier is niets aan de hand, het bos heeft er nog nooit zo goed bijgestaan". Veel terreinbeheerders gaven ook aan dat ze eigenlijk geen oordeel konden geven, omdat ze onvoldoende wisten hoe luchtverontreiniging op het bos inwerkte.

Deze verschillende reacties zijn begrijpelijk in het licht

van de in de inleiding genoemde lacunes in het onderzoek naar de gevolgen van luchtverontreiniging. Behalve verschillen in beoordeling van dezelfde terreinsituatie door de diverse personen, zijn er zeer waarschijnlijk ook werkelijke verschillen tussen de diverse bosgebieden als gevolg van het feit dat er regio's zijn met meer en minder luchtverontreiniging, beheersverschillen tussen de opstanden en bodemverschillen, die dit verschil in reactie van de terreinbeheerders verklaren.

Verontrustend vinden de auteurs het echter dat er vanuit de praktijk zo weinig vraag is naar meer informatie over het luchtverontreinigingsonderzoek in het algemeen en de situatie in de eigen terreinen in het bijzonder. Veelal loopt men zelfs tegen de mening aan dat het doen van onderzoek zinloos is: "het kost enkel geld, duurt lang, en levert niets meer op dan de volgende onderzoeksvraag". Omdat deze uitspraak vaker dan eenmaal werd gehoord, willen wij nader op deze drie bedenkingen ingaan.

Onderzoek kost inderdaad geld. Toch wordt er ons inziens niet echt veel in zure-depositieonderzoek geïnvesteerd. Op zich lijkt de f 170 miljoen die hiervoor de afgelopen drie jaar zijn uitgetrokken een hoog bedrag. Op de jaarlijkse begroting van Landbouw en Visserij voor onderzoek van ca. f 2,2 miljard is de 5 miljoen die L&V jaarlijks aan het zure-regenonderzoek besteedt slechts ¼% (2,5%). De gelden voor het verzuringsonderzoek komen voor de periode 1984 t/m 1986 van: VROM (43%), EZ (20%), L&V (0,5%), Additioneel Verzuuringsprogramma (6%), Bedrijfsleven (1%), Overige (5%). De resterende 25% komen uit verschuivingen binnen de onderzoeksonderwerpen van instituten: L&V = 30%; universiteiten = 19%; non-profit onderzoeksinstituten = 39%; Rijk/gemeente/provincie = 9%; bedrijfsleven = 3%.

Onderzoek duurt vaak lang. In het Duitse rapport: "Steinkohle Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland" waarin de economische, technische en milieuhygiënische gevolgen van elektriciteitsproductie door verhoogde inzet van steenkool worden vergeleken, vinden we over het "zure depositie" onderzoek de volgende zin:

"Aus prinzipiellen Gründen kann nicht mit einer raschen und lückenlosen Aufklärung der Kausalverbindungen zwischen emittierten Schadstoffen und allen Krankheits-symptomen der Pflanzen gerechnet werden (Diskrepanz zwischen der Komplexität des Untersuchungsgegenstandsökosystem und den gegenwärtigen wissenschaftlichen Möglichkeiten". [*Op principiële gronden (discrepantie tussen de complexiteit van het onderzoeksonderwerp ecosysteem en de tegenwoor-*

*dige wetenschappelijke mogelijkheden kan niet worden verwacht dat er snel en sluitend causale (oorzaak-gevolg) verbanden worden aangetoond tussen de luchtverontreinigende stoffen en alle ziekteverschijnselen aan planten.*]

Onderzoek naar de relatie tussen luchtverontreinigende stoffen en vitaliteit van het bos is nog niet eerder met de huidige intensiteit verricht. Voorheen werd er bijvoorbeeld in dit verband nauwelijks gekeken naar het boomuiterlijk, een factor die nu als belangrijk bij het bepalen van de mate van schade wordt gehanteerd. De "nieuwsoortige bosschade" (neuartige Waldschäden) werd in eerste instantie in het veld herkend aan het naaldverlies en de geelverkleuring. Het boomuiterlijk werd weinig gedocumenteerd, dus laat staan dat er werd geïnvesteerd in fundamenteel ecofysiologisch onderzoek aan bomen. Er moesten en moeten nu eerst methoden ontwikkeld worden om de effecten van luchtverontreiniging te kunnen vastleggen en mogelijk te vertalen naar meer traditioneel bekende gegevens als hoogte- en diktetoename in relatie tot de standplaats, en het nutriëntengehalte van de naalden. Deze achterstand in kennis moet in korte tijd ingehaald worden.

Een eerste belangrijke bijdrage aan het onderzoek van de "nieuwsoortige bossterfte" was de landelijke vitaliteitsinventarisatie die in meerdere Westeuropese landen tegelijk van start is gegaan. In Nederland werd de landelijke inventarisatie door Staatsbosbeheer geïnitieerd. Deze inventarisatie dient om een globaal beeld te krijgen van de vitaliteitstoestand van de bomen en de snelheid waarmee deze verandert.

Momenteel poogt men meer specifieke technieken te ontwikkelen, die de effecten van de verschillende luchtverontreinigende stoffen op verschillende delen (= twijgen, knoppen, naalden, cuticula, wortels, bast) van de boom registreren. Dat dit niet allemaal op een achternamiddag kan gebeuren, moge de lezer duidelijk zijn.

Een ander probleem dat de snelheid van het onderzoek niet ten goede komt, is het feit dat het om ingewikkelde wisselwerkingen tussen de atmosfeer, de plant en de bodem gaat.

Dat wil bovendien zeggen dat onderzoekers uit vele disciplines met elkaar moeten samenwerken: o.a. meteorologen, luchtverontreinigingsdeskundigen en personen die het grensvlak lucht-plant bestuderen (depositiesnelheid van stoffen), fysiologen, bodemkundigen, hydrologen, elk met verschillende specialisaties. Tot op heden is dit geïntegreerde onderzoek nog nauwelijks toegepast. Nederland loopt op het ogenblik voorop in deze geïntegreerde aanpak. Het ontbreken van deze aanpak in het Duitse zure-depositieonderzoek heeft tot gevolg gehad dat de onderzoeken niet de gewenste resultaten gaven (mond. meded. G. Jäger, coördinator zure-depositieonderzoek Duitsland).

Het samenwerken tussen verschillende onderzoeks-

(Bron: Inventarisatie van het zure-regenonderzoek in Nederland. SCMO-TNO).

disciplines vereist bijvoorbeeld dat de meeteenheden op elkaar afgestemd worden, opdat de resultaten van de verschillende onderzoeken met elkaar vergeleken kunnen worden. Dat vraagt vooraf veel overleg door de onderzoekers, die uit de verschillende disciplines komen. Hierbij blijkt meteen dat de verschillende onderzoekers zich een ander beeld vormen bij hetzelfde woord. Alvorens men tot eenduidige begrippen gekomen is, is er al de nodige discussie geweest.

Een ander probleem dat zich voordoet, is dat van de wetenschappelijke pikore. Bepaalde vakgebieden vinden zichzelf nu eenmaal belangrijker dan andere. Hierbij spelen de historische ontwikkelingen binnen de wetenschappen een rol. Over het algemeen is het zo dat hoe kwantitatiever en des te meer geavanceerde apparatuur en geld nodig is, hoe hoger het onderzoek en daarmee de onderzoeker in aanzien staat. Een voorbeeld hiervoor vormen de geïntegreerde onderzoeken, die tot op heden voornamelijk in ontwikkelingsprojecten in de Derde Wereld zijn toegepast. Hier werden de sociale onderzoeksaspecten meest als van ondergeschikt belang gezien. Dit wordt thans als een belangrijke oorzaak van het mislukken van deze projecten gezien. In de opleiding van de onderzoeker is tot op heden weinig aandacht besteed aan het leren samenwerken. Er wordt zelfs tijdens de opleiding de nadruk gelegd op een individualistische manier van onderzoek bedrijven, wat die samenwerkingsvaardigheden niet ten goede komt.

Wil dit alles nu zeggen dat onderzoek zinloos is en het geld maar beter enkel aan emissiebeperking kan worden uitgegeven, zoals velen menen? Zeker is emissiebeperking van belang. Men kan op grond van een "algemeen ecosysteemen denken" beredeneren dat alles wat wordt uitgestoten elders weer neerkomt en daar effect zal hebben en men bijgevolg de uitstoot maar zo veel mogelijk moet beperken. Dat wil echter nog niet zeggen dat er geen onderzoek nodig is naar hoe de processen werken. Bovendien is die kennis voor een eventueel herstel van het boscysteem noodzakelijk. Ook is het moeilijk de industriële uitstoot opeens geheel te beperken. Daarom is het belangrijk te weten waar men prioriteiten moet leggen en bijvoorbeeld onder welke weersomstandigheden men de uitstoot sterk zou moeten verminderen.

Dat er niet voldoende bekend is over de reacties die optreden, wil trouwens ook niet zeggen dat er geen voorlopige normstelling mogelijk zou zijn. Op grond van kennis over verzuring van de meest verzuringgevoelige bodems Europa, waarvan de Nederlandse droge zandgronden deel uitmaken heeft men voorlopige luchtverontreinigingsnormen opgesteld. Deze voorlopige normen zijn per luchtverontreinigende stof verschillend, voor ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en zwavelzuur ( $\text{SO}_2$ ) komen erop neer de uitstoot met een 90% terug te brengen.

Tenslotte de derde opmerking: "dat onderzoek slechts nieuwe onderzoeksvragen opwerpt". Als onderzoek

succesvol is, stuit het altijd op nieuwe grenzen en problemen, dat is inherent aan onderzoek. Dit wil echter niet zeggen dat het antwoord op het te onderzoeken probleem niet gegeven is of tenminste dichterbij gebracht. Andere eerst openstaande mogelijkheden kunnen immers met behulp van het onderzoek verworpen worden.

Wanneer degenen voor wie de resultaten van het onderzoek bedoeld zijn en die dagelijks met het object van het onderzoek werken, het nut van dergelijk onderzoek betwijfelen, waarom zou de rest van Nederland zich dan druk maken?

Opvallend is dat door terreinbeheerders zelf vaak experimenteel onderzoek gedaan wordt. Men past bijvoorbeeld in verschillende percelen andere behandelingen toe. Helaas worden deze waardevolle experimenten nauwelijks of niet gedocumenteerd, waardoor ze hun waarde verliezen.

### **Methoden om de vitaliteit van bomen en bossen te bepalen**

"Vitaliteit" is niet een makkelijk meetbare grootheid. Zelfs het geven van een goede definitie is moeilijk. In het gewone spraakgebruik ("Jan is nog een vitale tachtiger") denkt men bij vitaliteit vooral aan gezondheid, maar bovendien aan een zeker incasseringsvermogen of herstellingsvermogen na beschadiging of aantasting, en aan het goed functioneren van alle organen en processen. In de praktijk worden de termen gezondheid en vitaliteit vaak door elkaar heen gebruikt.

Voor men conclusies kan trekken over een achteruitgang van de gezondheidstoestand van de bomen en het bos, moet men deze achteruitgang eerst nauwkeurig kunnen meten. Om de ontwikkeling van de vitaliteit van bomen te volgen zijn verschillende methoden in gebruik. Zoals de gezondheidstoestand van de mens op meerdere manieren kan worden vastgesteld: op grond van zijn uiterlijk, zijn tong, zijn temperatuur opgenomen met behulp van een koortsthermometer, een bloeddrukmeting, enzovoort, enzovoort; zo zijn er ook meerdere methoden die een indruk geven van de gezondheidstoestand (= vitaliteit) van een boom. Bij de mens is de belangrijkste vitaliteitsparameter de mens zelf, die naar de arts toekomt met bepaalde klachten. Op grond van die klachten worden dan bepaalde metingen verricht. Helaas kan deze belangrijke eerste stap bij bomen niet worden gemaakt.

Van de methoden om de vitaliteit van een boom vast te stellen, is er op het ogenblik geen die iets over de specifieke gevolgen van verschillende luchtverontreinigende stoffen vertelt. De visuele beschrijving van het uiterlijk van de boom, de klassieke groeianalyse, de registratie van schimmel- en insektenaantastingen en het nutriëntgehalte in de blad/naaldmassa zijn momenteel de verst ontwikkelde inventarisatiemethoden.



Deze douglas heeft in elk geval een hogere naaldbezetting dan de douglas op p. 411.

Net als een arts bij het stellen van een diagnose meerdere methoden naast elkaar hanteert, zo zal ook het boomvitaliteitsonderzoek niet beperkt mogen worden tot slechts één methode.

In de hierna volgende tekst zullen de bestaande methoden om de vitaliteit van een boom te meten kort beschreven worden. Om niet in de discussie te verzeilen over wat nu precies vitaliteit is, wordt er vanuit gegaan dat elke methode iets over een aspect van de vitaliteit van de bomen vertelt.

Men moet er mee rekenen dat de gezondheid of vitaliteit van een boom, net als elke andere eigenschap, bepaald wordt door zijn totale milieu, zijn genetische aanleg en zijn voorgeschiedenis. Geringe vitaliteit kan vele oorzaken hebben.

Een vitale boom zou men kunnen definiëren als een boom, die op grond van zijn genetische eigenschappen een "optimale" vorm en groei heeft bereikt op die betreffende standplaats. Maar wat is optimaal? En hoe zit het met de ziekteresistentie van die boom? Is de optimale groei per groeiplaats verschillend of vergelijken we alle bomen met een ideale boom? In de praktijk is het daarom vooral belangrijk de veranderingen van een boom ten opzichte van zichzelf in de tijd te volgen.

Vitaliteit van bossen (= ecosysteem) is een nog veel moeilijker begrip. Hieraan is nog nauwelijks aandacht besteed. Wat is het precies, en hoe moet men dit meten?

Bosvitaliteit kan ook versimpeld worden tot vitaliteit van de bomen, de bosflora en fauna. Aan deze laatste twee wordt zelfs bijna geen onderzoek verricht. Een groot deel van het inventarisatiewerk hiervoor wordt zelfs nog gedaan door vrijwilligers.

### De methoden

De bestaande methoden om de vitaliteit van de bomen te bepalen, verschillen naar de grootte van het beboste terrein dat met de methode bestreken kan worden. De onderverdeling in grote, midden en kleine schaal is arbitrair. In principe zou men van alle bomen bepaalde voedingsstofgehalten kunnen bepalen, dit kost echter meer tijd dan een visuele beschrijving van het kroon- uiterlijk. De indeling is grofweg gekoppeld aan de hoeveelheid werk, die de betreffende methode met zich meebrengt.

- 1 de methoden die op grote gebieden (= veel bomen) toegepast kunnen worden
  - a bepaling van het boomuiterlijk vanaf de grond;
  - b bepaling van het boomuiterlijk vanaf kleuren-infrarood luchtfoto's.
- 2 de 'middenschaal' methoden
  - a groeianalyse/jaarringanalyse;

- b nutriëntenanalyse;
- c zetmeelbepalingen;
- d ethyleenbepalingen;
- e overige vitaliteitsbepalingen.

3 de methoden die voor kleine terreinen/afzonderlijke bomen geschikt zijn (= weinig bomen)

- a zeer gedetailleerde groeianalyse;
- b kunstmatige begassing.

#### 1A De bepaling van de vitaliteit op grond van boomruiterlijk vanaf de grond

De gezondheidstoestand van bomen wordt voornamelijk beoordeeld op grond van hun verschijningsvorm. De kroon levert daarbij de meeste informatie. Een van de meest opvallende tekenen van een wijziging in de gezondheidstoestand is het af- of toenemen van de blad- of naaldbezetting. Deze kenmerken zijn echter afhankelijk van soort en groeiplaats en zelfs genetisch (individu) bepaald. Daarnaast wordt de mate van geelverkleuring binnen de kroon opgenomen. Dit laatste vooral ook omdat de klassifikatie Europees is en er in Duitsland bij de 'nieuwssoortige bosschade' veel geelverkleuring voorkomt.

Opname van de vitaliteit verschaft bij eenmalige opname slechts informatie over dat unieke moment. Vitaliteitsonderzoek heeft echter ook als doelstelling de vitaliteitsontwikkeling van het bos in de tijd te volgen. De jaarlijkse opname is nodig om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van het bos onder invloed van de klimatologische omstandigheden, luchtverontreinigingsomstandigheden, insektenaantastingen, de situatie van deze omstandigheden in de eraan voorafgaande jaren etc.

Nu vitaliteitsopnamen enkele jaren hebben plaatsgevonden, is het duidelijk dat de opnamen op bepaalde punten verbeterd kunnen worden

*a Aanwezigheid van de hoeveelheid bladoppervlak* De nog steeds bruikbaarste vitaliteitsparameter is de hoeveelheid bladeren of naalden. Daar moeten wel enige vraagtekens bij worden gezet omdat bij schatting in het veld van de aanwezige hoeveelheid bladmassa diverse kwaliteiten bij elkaar worden opgeteld. Deze kwaliteiten hebben te maken met de groeiplaats en de ontstaansgeschiedenis van de bladeren. Daarnaast hebben we ook in een gezonde boom te maken met diverse efficiënties (zon-/schaduwnaalden, nulde, eerste tweede en derde jaars naalden) van bladeren/naalden binnen de diverse kwaliteitsklassen. Dit betekent dat een minimale voorwaarde voor het mogen gebruiken van de parameter bladmassa voor vitaliteitsschattingen, een karakterisering van de groeiplaats en de geschiedenis van de boom op die groeiplaats is.

In het landelijk vitaliteitsonderzoek tracht men dit probleem deels te ondervangen door een bepaald niveau (7-10e takkrans) te bemeten.

Het functioneren van een blad wordt mede bepaald door de sociale positie van de boom in het bos of daarbuiten en de wijze waarop de groeiruimte tot stand gekomen is. Dit betekent onder andere dat een blad of naald die in de schaduw is ontstaan anders functioneert dan een blad of naald die overwegend aan de zon heeft blootgestaan. Het oppervlak en/of de massa van het blad of naald hoeft daarbij niet te verschillen. Met het anders functioneren van een blad in de zon of schaduw wordt bedoeld dat de efficiëntie waarmee het blad CO<sub>2</sub> (koolzuur) opneemt anders is. De CO<sub>2</sub> opname is de basis voor de groei nadat de C (koolstof) uit de verbinding in het hout is ingebouwd. De efficiëntie van het opnemen van C (koolstof) door de bladeren kan een factor 10 tot 15 verschillen. Deze extremen worden vooral gevonden bij de vergelijking van zon- en schaduwgeadapteerde bladeren. Een factor 10 verschil in C-opname betekent dat er in het benodigd bladoppervlak voor dezelfde groei ook een factor 10 kan zitten. Vooral bij naaldbomen zijn binnen de kroon verschillen beschreven die erop neer komen dat het verlies van 1 zonnenaald even erg is al het verlies van 10 schaduwnaalden.

Daar moet echter direct bij worden opgemerkt dat het al dan niet "erg" zijn van bladverlies afhangt van de hoeveelheid blad die resteert en wederom van de groeiplaats. Recente informatie wijst er tevens op, dat de efficiëntie van bladeren ook afhankelijk is van de orde van de tak waar deze zich op bevinden.

Wat ter verbetering van de vitaliteitsschattingen op basis van bladoppervlak zou moeten gebeuren, is:

- 1 de koppeling van de gegevens aan groeigegevens
- 2 het onderscheid maken tussen zon- en schaduwgeadapteerd blad.

De koppeling van oppervlakontwikkeling en groei is evenwel pas dan echt zinvol als het geplaatst wordt in de context van de groeiplaats en -klasse waar de boom zich bevindt. Dit laatste vereist nog veel onderzoek, maar zoals hierboven al genoemd, behoort het genuanceerder bekijken van de naaldmassa reeds nu tot de mogelijkheden.

Aan de biometrische maat naaldmassa kan tevens vrij eenvoudig een belangrijke biochemische dimensie gegeven worden door in de naalden/bladeren de kleurstof te bepalen waarmee bomen licht en dus energie opvangen; het chlorofyl. De dichtheid van chlorofyl per eenheid oppervlak van bladeren geeft in feite de potentie van dit blad aan in lichtopvang. Verschillende kwaliteiten (ontstaansgeschiedenis) en efficiënties van bladeren resulteren in verschillende gehalten aan deze kleurstof. Veroudering modificeert de gehalten eveneens. Met een goede monstertechniek is het mogelijk een idee te krijgen van de chlorofylinhoud van de kroon. De bepalingstechniek is zeer eenvoudig; een toepassing ervan op het niveau van de middenschaal lijkt zeer wel uitvoerbaar.

De fundamentele keuze voor een combinatie van biometrische met biochemische parameters bij het goed karakteriseren van de vitaliteit is daarom onontkoombaar.

*b De steekproef* De meeste vitaliteitsinventarisaties werken met a-select gekozen steekproefpunten en met 25 a-select gekozen bomen per steekproefpunt. In de keuze van de bomen zit dus een toevalselement. Dit zorgt ervoor dat vitaliteitsverschillen tussen opstanden zeer kras moeten zijn, wil het bij 25 bomen per steek-

proefpunt statistisch significant zijn. Wordt bij de herhaling van de inventarisatie de selectie van de bomen opnieuw verricht, dan staat vast dat niet dezelfde bomen beoordeeld worden.

Voor de vergelijking van de ontwikkeling van opstanden is het in ieder geval beter de te beoordelen bomen te merken; of eventueel meer bomen per steekproefpunt op te nemen.

*c De opnemers* Zelfs voor een ervaren waarnemer is het slechts ten dele mogelijk een verandering van de gezondheidstoestand aan de hand van een visuele waarneming te constateren. Over hoe betrouwbaar de individuele opnemer zichzelf kan herhalen is weinig bekend. Deze kennis is echter wel nodig om de resultaten van onderzoek in de tijd goed met elkaar te kunnen vergelijken. Daarnaast is evenmin veel bekend over hoe groot de beoordelingsverschillen tussen de verschillende opnemers zijn.

Bij de landelijke inventarisatie wordt gebruik gemaakt van een groot aantal inventarisatiemedewerkers. Door het houden van instructiedagen wordt geprobeerd de betrouwbaarheid van de opnamen te vergroten, zodat verschillen tussen de opnemers zo klein mogelijk blijven. Beoordelingsverschillen worden vooral waargenomen bij de indeling in de klassen 2 (10-25% naald/bladverlies/verkleuring) en 3 (26-60% naald/bladverlies/verkleuring) en dat met name bij de overgang van de ene naar de andere klasse.

Dit blijkt uit de opnamen uitgevoerd door de provinciale medewerkers en de opnamen van medewerkers van de afdeling Statistiek van het Staatsbosbeheer in 1986. Per opnamepunt komen genoemde verschillen voor. Landelijk blijken deze verschillen tegen elkaar weg te vallen.

Door gebruik te maken van landelijke normen wordt voorkomen dat lokale referentiekaders worden toegepast. Vooral bij de begininventarisaties van 1983 en 1984 heeft dit eigen referentiekader bij de beoordeling nog een rol gespeeld.

*d Tijdstip van opname* Onbekend is hoe de visuele inschatting verandert met de weersomstandigheden en het tijdstip van de dag. Bij somber weer lijkt het bladoppervlak over het algemeen groter dan bij helder zonnig weer.

De opnamen vinden over een tijdsperiode van een maand plaats. In die maand kan er een zodanige verkleuring van het blad van de loofbomen plaatsvinden dat eenzelfde boom niet in dezelfde vitaliteitsklasse terecht zou komen als voor de verkleuring.

Bij de landelijke vitaliteitsinventarisatie worden deze fouten zo klein mogelijk gehouden door alleen te inventariseren op duidelijke verkleuringen en de opnameperiode zo kort mogelijk te maken.

*e Relaties met oorzaken* Op het ogenblik dat de gezondheidstoestand van bomen en bossen wordt vastgesteld, aan het einde van de zomer, wordt slechts de gezondheidstoestand van dat moment bepaald. Daarbij wordt een ware mengeling van korte- en lange-termijn invloeden op de verschijningsvorm opgenomen. Het is ondoenlijk op basis van deze waarnemingen bijvoorbeeld het effect van luchtverontreiniging en die van een meerjarige schimmelaantasting van elkaar te scheiden. Vandaar dat het noodzakelijk is deze jaarlijkse waarnemingen aan te vullen met betrouwbare gegevens over de ontwikkeling van de groei, klimaatgegevens, groeiplaatsfactoren, beheersregime en soorteigenschappen, met kortlopende storingsin het milieu en immissiegegevens. Dan kan pas de invloed van de diverse factoren op het boomuiterlijk vastgesteld worden. Het is aan de hand van het landelijk vitaliteitsonderzoek zoals dat op het moment wordt uitgewerkt niet mogelijk oorzaken voor veranderingen in vitaliteit aan te wijzen.

#### *1B De bepaling van de vitaliteit op grond van boomuiterlijk op kleuren-infrarood luchtfoto's*

Deze methode van vitaliteitsbeoordeling wordt in Nederland nauwelijks toegepast. In alle Duitse deelstaten, Zweden en Frankrijk worden momenteel om de twee of drie jaar kleuren-infrarood luchtfoto's van bosgebieden gemaakt. In Amerika is afgelopen jaar een "landelijke vitaliteitskartering" gestart, die voor een belangrijk deel op kleuren-infrarood luchtfotografie berust.

Over het algemeen worden de luchtfoto's op een schaal 1:5000 gemaakt. De foto's worden met behulp van een stereoscoop op kroonkleur en kroonvorm geïnterpreteerd. Net als bij de kroonbeoordeling vanaf de grond zijn de beoordelingskenmerken per boomsoort verschillend, daarnaast moet bij de interpretatie rekening worden gehouden met de weersomstandigheden waaronder de foto's gemaakt zijn. Het vereist ervaring voordat men luchtfoto's kan interpreteren. Veldwaarnemingen dienen als ondersteuning van de interpretatie.

Er zijn meerdere studies verricht, waarin de resultaten van de beoordeling van de kroon vanaf de luchtfoto werden vergeleken met beoordeling van de kroon vanaf de grond en beide kroonbeoordelingen met jaarringanalysen. Soms waren de resultaten vrijwel geheel met elkaar vergelijkbaar, soms waren er duidelijke verschillen tussen de verschillende beoordelingsmethoden. Deze verschillen zijn deels terug te voeren op de beoordelingscriteria die elkaar niet overlappen. Verder is op een luchtfoto vooral het bovendeel van de kroon goed zichtbaar en zal een naaldverlies onderaan de boom niet goed beoordeeld kunnen worden, terwijl vanaf de grond een naaldverlies bovenin de boom vaak slecht beoordeeld kan worden. Een goed overzicht van het gebruik van luchtfoto's bij luchtverontreinigingsonderzoek is pas verschenen bij Pudoc.

Een kleuren-infrarood luchtfoto is opgebouwd uit drie kleurlagen: een groengevoelige laag, een roodgevoelige laag en een voor het menselijk oog niet zichtbare nabij-infrarood gevoelige

Behalve geringere naaldbezetting zijn de naalden van deze douglas duidelijk geel verkleurd.



laag. De beeltenis van een boom op de groene en rode gevoelige lagen op de luchtfoto zijn waarschijnlijk gerelateerd met het chlorofylgehalte van de buitenste bladeren/naalden en op de infrarood gevoelige laag met de biomassa van de boom.

Nadelen van gebruik van luchtfoto's ten opzichte van een grondbeoordeling van de kroon zijn:

- er is speciale scholing en apparatuur nodig om de beelden te kunnen interpreteren
- details als naaldverkleuringen, stambeschadigingen, insectenaantastingen en afgevallen blad op de bosbodem zijn vanaf de luchtfoto's niet zichtbaar
- de weersomstandigheden voor het maken van de luchtfoto's zijn zeer kritisch en het kan voorkomen dat die binnen de periode dat de foto's gemaakt moeten worden, niet goed zijn waardoor er geen foto's gemaakt kunnen worden.
- het is een bewerkelijke procedure om steeds dezelfde bomen op de luchtfoto terug te vinden.

Voordelen zijn:

- de situatie is gedocumenteerd (mits een interpretatiesleutel bij de opnamen gevoegd wordt)
- de foto's kunnen altijd opnieuw geïnterpreteerd worden (bijvoorbeeld als men een andere steekproef wil)
- de top van de boom kan goed beoordeeld worden
- de foto's geven een overzicht van een groot gebied waardoor eventuele patronen in vitaliteitsverlies (zoals bij sommige schimmelinfecties) zichtbaar zijn

- de foto's worden op één dag gemaakt dus alle bomen zijn ten opzichte van elkaar vergelijkbaar
- de uitwerking kan binnenskamers plaatsvinden en is niet weersafhankelijk
- men kan de interpretatiefout tussen en binnen de opnemers van de luchtfoto's makkelijk bepalen.

De kosten van een inventarisatie voor een groter gebied met behulp van luchtfoto's zijn meest een 10-30% lager dan van een veldinventarisatie. Bij een veldinventarisatie wordt echter van personeel gebruik gemaakt dat toch al in dienst is, zodat de werkelijke kosten niet altijd geobjectiveerd kunnen worden.

Op het ogenblik probeert men een meer objectief, dus meetbaar systeem te ontwikkelen om vitaliteitsveranderingen in de tijd op luchtfoto's te registreren.

In Duitsland is men momenteel eveneens bezig om een systeem van voorraadinventarisatie met behulp van luchtfoto's te ontwikkelen.

In Duitsland en Zweden zijn voorts vitaliteitsveranderingen met behulp van satellietbeelden geanalyseerd. De resolutie (detail) van satellietbeelden is te gering om de

afzonderlijke boomkronen te herkennen (schalen 1:25000-1:50000), er zijn slechts reflectieveranderingen van opstanden zichtbaar. De opstandsniveau maken echter gemengde opstanden en holle opstanden met veel ondergroei de interpretatie moeilijk.

Misschien is het wel mogelijk de verschuivingen in de reflectie over meerdere jaren binnen opstanden met satellietbeelden vast te leggen en in combinatie met beheersgegevens te interpreteren.

## 2A De bepaling van de vitaliteit op grond van groeigegevens

Een boom heeft de eigenschap een belangrijk deel van de opgenomen energie om te zetten in hout. Een gezonde boom zal door dit proces toenemen in hoogte en dikte. Een minder gezonde boom zal dit in verminderde mate doen. Bij een verminderde gezondheidstoestand zal de boom minder reserves opbouwen en gevoeliger worden voor storingen in het leefmilieu. Dit zal zich ten slotte uiten in een neergang van de aanwas. De ontwikkeling van het wortelstelsel en de lengtegroei van de jonge scheuten, zijn evenzo goede kenmerken om de vitaliteit te beoordelen. Echter deze delen van de plant zijn moeilijk op te meten en worden daarom veelal niet gebruikt.

De toename van de hoogte en de dikte van een boom kan vastgelegd worden door met regelmaat aan dezelfde boom en op exact dezelfde plaats de meting te herhalen. Men krijgt dan de beschikking over groeigegevens vanaf het moment van de eerste waarneming tot aan het einde van de waarnemingsreeks. De aanwas is dan de uitdrukking van de vitaliteit van de boom.

Een andere methode is een boorspaan te nemen en de hierop aanwezige jaarringen te tellen en te meten. Men krijgt in dat geval informatie over het verloop van de groei van de boom vanaf het kiemjaar tot op het moment van bemonstering. Jaarringgegevens verschaffen inzicht in het verloop van de aanwas van de boom over een tijdsperiode.

Voordat deze aanwasgegevens gebruikt kunnen gaan worden, moeten de gegevens gedateerd en gesynchroniseerd worden. Hiertoe worden de aanwasgegevens van de spaan geconfronteerd met compacte klimatologische informatie, de zgn. wijzerjaren. Vervolgens worden de reeksen gerangschikt zodat alle aanwasgegevens met elkaar vergelijkbaar worden. Meestal worden jaren met een zeer geringe of een zeer uitbundige aanwas opgespoord onder de aanwasmetingen op de boorspaan. Deze momenten worden gelocaliseerd. Mochten er dan jaarringen en aanwasgegevens gemist worden of aanwezig zijn terwijl daar historisch geen redenen toe zijn, dan kan dit gecorrigeerd worden. Het nalaten van deze correctie kan grote fouten veroorzaken in de interpretatie van de groeigegevens, met name bij oudere en langzaam groeiende bomen.

Een andere bron van fouten is de onttrekking en de bewaring van de boorspaan. Een niet zorgvuldig radiaal genomen boorspaan veroorzaakt ernstige vervuiling van de meetgegevens bij het opmeten van de jaarringen. Evenzo wordt dit bereikt door te meten aan gekrompen of vervormde boorspanen na een onzorgvuldige bewaring.

Indien men ertoe overgaat historische groeigegevens te verzamelen met behulp van boorspanen, moet men zich realiseren dat bij een onjuiste keuze van een van de vele monstermethoden die er zijn, men mogelijk betrouwbare groeigegevens krijgt van de bomen die men bemonsterd heeft maar geen enkele indicatie heeft verkregen over de groei en daarmee de gezondheid van de opstand.

Bovendien is het niet mogelijk afwijkingen van het "normale" groeipatroon (bijvoorbeeld onder invloed van luchtverontreinigende stoffen) op te sporen zonder zeer gedetailleerde informatie over opstandsbeheer, groeiklasse en klimaatgegevens, tenzij de groei-afname zeer drastisch is en of een van de processen dominant is.

Het nemen van boorspanen, het tellen en meten gevolgd door het dateren en synchroniseren, zijn arbeidsintensieve en deels specialistische activiteiten die in vele gevallen niet uitgevoerd kunnen worden binnen de bosbedrijven en beheersorganisaties in ons land. Om hieraan tegemoet te komen neemt men wel relatief korte boorspanen met daarop weinig jaarringen met het doel aanwasgegevens te verkrijgen over de laatste paar jaren voorafgaande aan het moment van bemonstering. Het is onmogelijk deze korte boorspanen met relatief weinig aanwasgegevens op een aanvaardbare wijze te dateren en synchroniseren.

Wanneer men zich als terreinbeheerder tot doel stelt om op een objectieve en overdraagbare wijze de groei en daarmee een maat voor de gezondheidstoestand van bomen vast te leggen en te interpreteren, dan blijft over:

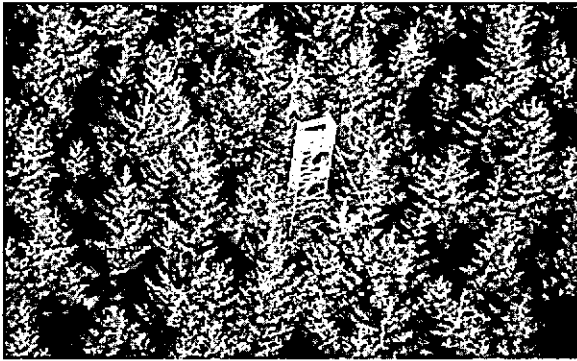
1 het met regelmaat meten van de hoogte en de dikte van de bomen. Daarbij moeten dan wel steeds dezelfde bomen opgenomen worden. Dit heeft dan als bijkomend voordeel dat de beheerder die belangstelling heeft voor de ontwikkeling van zijn bosvoorraad, deze informatie dan tevens direct verkrijgt. Een uiterst praktische wijze van uitvoering kan zijn in de verschillende opstanden wijzerperken aan te leggen. Naarmate men met een kleinere tijdsinterval de metingen uitvoert, worden er strenge eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de meting. Binnen het bosbouwkundige onderzoek zoals dat in Nederland plaatsvindt o.a. bij de afdeling Bosteelt van De Dorschkamp, is grote ervaring opgedaan met dit type waarnemingen en beschikt men over een beduidende kennis hoe om te gaan met de beschikbaar gekomen gegevens.

2 het uitbesteden van de jaarringanalyses aan daarvoor opgeleide krachten. Een dergelijke analyse heeft vooral zin als ook de vereiste historische beheersinformatie voorhanden is.

## 2B Nutrientenanalyse

Met behulp van naald- en bladanalyses is het mogelijk zich een oordeel te vormen over de voedingstoestand van een opstand. Bladanalyses zijn een zinvolle aanvulling van vitaliteitsbeoordelingen: visueel zichtbare symptomen worden onderbouwd met metingen. Maar ook op het oog gezonde opstanden kunnen nog een gebrek of een relatief gebrek aan een of meerdere voe-





Oblique luchtfoto van een van de twee opstellingen waar continue wordt gemeten aan het functioneren van bomen (par. 3).

dingsstoffen hebben. In een dergelijke situatie heeft bladanalyse een waarschuwingfunctie.

Indien er bemesting overwogen wordt, in de hoop het leven van bepaalde opstanden te kunnen rekken, is een bladanalyse een eerste voorwaarde om de juiste samenstelling van de mestgift te bepalen. Een hulpmiddel bij de interpretatie van de gegevens die van het laboratorium terugkomen, is de publikatie van J. van den Burg: *Overzicht van blad- en naaldanalyses voor de beoordeling van de minerale voedingstoestand van bomen*. Rapport De Dorschkamp, nr. 414, 1985. Deze publikatie is een samenvoeging van literatuurgegevens.

Het vaststellen van de oorzaak van een eventuele afwijking van de ideale toestand is en blijft een lastige zaak, waarbij onder andere lokale en historische kennis onontbeerlijk zijn. Luchtverontreiniging is slechts een van de factoren die de voedingstoestand van een boom kunnen beïnvloeden. Maar niet alle vormen van luchtverontreiniging laten sporen achter die op deze wijze meetbaar zijn.

## 2C Zetmeel als vitaliteitsparameter

Tussen de koolstofconsumptie van de diverse typen bladoppervlakken via de gasuitwisseling (fotosynthese) en het uiteindelijke resultaat, groei en houtproductie, zit nog een heel scala aan processen. Een uiterst efficiënte fotosynthese hoeft nog niet tot een goede groei te leiden. Helaas is het nog niet bekend waar de diverse stressfactoren (waarvan luchtverontreiniging er één is) in deze opeenvolging van processen aangrijpen. En of dit primair bovengrondse dan wel ondergrondse factoren zijn.

Duidelijk is wel dat het onterecht is geweest in het verleden de boom te beschouwen als een zwarte doos en diens toestand vooral af te leiden uit uiterlijke kenmerken. Als even teruggekomen mag worden op de vergelijking tussen een patient en een boom dan is men in het verleden vrijwel uitsluitend bezig geweest met het karakteriseren van de gezondheidstoestand door het ontbijt, lunch en diner (= gasuitwisseling) te onderzoeken. Een werkelijke patientbenadering houdt voor de voeding van

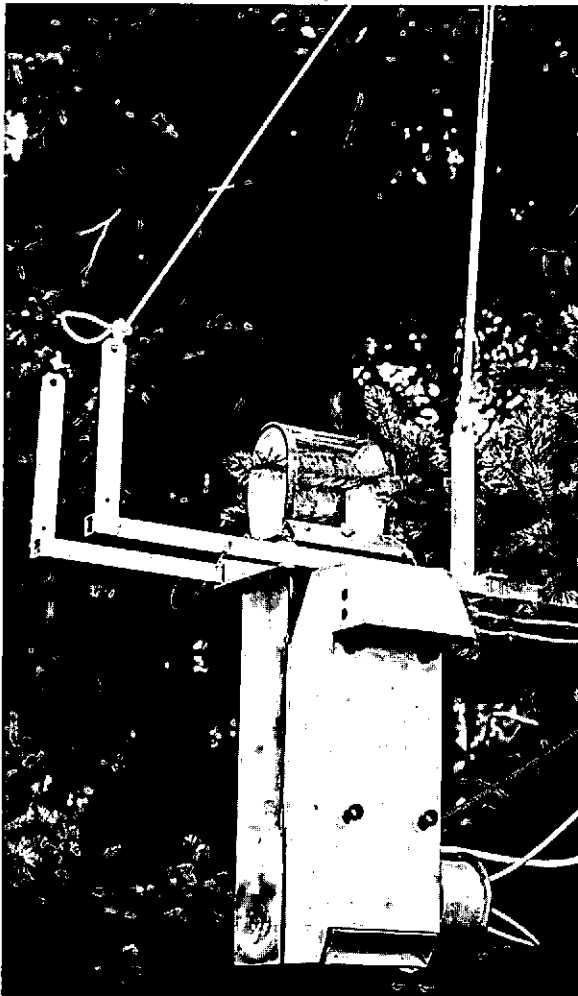
de boom, dus voor de gasuitwisseling in dat niet alleen wordt bestudeerd hoeveel koolstof de naalden uit de lucht vangen maar ook wat die naalden ermee doen.

In bladeren en naalden bevindt zich een voorraad suikers, het uiteindelijke resultaat van de fotosynthese. In deze suikers is de energie vastgelegd voor alle verdere processen in de boom. Hoe deze suikers de rest van de boom bereiken en hoe efficiënt ze worden verbrand om energie te verkrijgen voor de overige processen is dus van essentieel belang voor de vitaliteitstoestand: de suikers nemen een sleutelpositie in het totaal functioneren van het individu in. De aanmaak van suikers gaat door zolang het licht is. Een deel van de suikers wordt overdag naar de andere delen van de boom getransporteerd, een ander deel wordt omgezet in een immobiele, dus niet transporteerbare vorm: zetmeel. In de nacht vindt omzetting van dit zetmeel plaats terug in suikers waarna het blad vrijwel leeg wordt gemaakt totdat de volgende morgen opnieuw de aanmaak via fotosynthese begint.

Diverse stressfactoren zorgen er echter voor dat er nogal eens van dit ideale beeld wordt afgeweken. Zoals zo vaak blijkt luchtverontreiniging in het rijtje van stressfactoren geen specifieke effecten te veroorzaken. De belangrijkste verstoring in de genoemde processen, die onder invloed van luchtverontreiniging is geconstateerd, is het ophopen van het zetmeel in bladeren en naalden. In dit geval kan ook in de nacht dit koolhydraat in de naalden aangetoond worden. In extreme gevallen zijn op microscopische opnamen grote zetmeelbollen te zien tussen de membranen waar normaal de fotosynthese plaats vindt.

Recent onderzoek heeft aangetoond dat dit effect optreedt in bomen in door luchtverontreiniging aangetaste opstanden (o.a. Fichtelgebirge) maar ook in bomen die te lijden hebben van droogtestress. Het is inmiddels ook duidelijk dat in bomen waar deze beschadiging optreedt de suikers het wortelstelsel vertraagd of geheel niet bereiken. Het is echter nog te vroeg om te kunnen concluderen dat deze suikertransportverstoring de achteruitgang van wortelstelsels veroorzaakt. Overtuigend is het wel dat deze transportverstoring een belangrijke vitaliteitsparameter heeft opgeleverd: zetmeelgehalten van naalden en bladeren, al zal deze parameter niet specifiek naar luchtverontreiniging wijzen. Voordeel van de methode is dat de bepalingstechniek relatief simpel is en dat met geringe monsters van bladeren kan worden volstaan. Dit biedt uiteraard mogelijkheden voor middenschaal toepassingen. De zetmeelbepaling lijkt voorlopig ook makkelijker toepasbaar dan het gebruik van de eerste fase van de koolstofvastlegging: de fotosynthese, daar meting van dit proces technisch nog zeer gecompliceerd is. Voor grootschalige meting van het fotosyntheseproces is hier het wachten op de ontwikkeling van lasertechnieken, waarmee chlorofylfluorescentie gemeten wordt.

Stress-factoren kunnen dus de opname van koolstof, inbouw in suikers en transport van suikers beïnvloeden. Het resulteert altijd in modificaties in het transportmechanisme. Wat er bij transportremming of -vertraging op celniveau precies plaatsvindt, is niet bekend. De ophoping is duidelijk, het niet of minder bereiken van de transportsystemen ook, maar hoe het proces daartussen verstoord wordt niet. Sommige onderzoekers suggereren metabolische afwijkingen, anderen beweren dat cellen die het transportsysteem als het ware moeten laden beschadigd raken. Beschadiging van het transportsysteem zelf wordt ook regelmatig gerapporteerd (vooral in neerwaartse richting). Maar hierover is een discussie gaande of deze niet primair veroorzaakt wordt door een voedingsdisbalans (teveel stikstof -N) in de bodem. Of de efficiëntie van suikeromzetting in de nabije toekomst een bruikbare middenschaal vitaliteitsparameter op zal leveren is nog onvoldoende duidelijk.



Een takkamer. Aan de steiger (p. 413) zijn zo'n 12 takkamers bevestigd. Met behulp van deze takkamers wordt de ademhaling geregistreerd.

Er is inmiddels ook aangetoond dat diverse stress-factoren de enzymverhoudingen modificeren die voor de omzettingen van zetmeel(verbindingen) verantwoordelijk zijn. De energetisch gezien belangrijkste enzymverhouding is de verhouding ATP:ADP. Deze verbindingen zijn helaas niet zo eenvoudig te extraheren en te bepalen. Bij andere kandidaat-enzymparameters zijn de problemen echter nog groter. Verwacht wordt dat deze stoffen alleen bij kleinschalige wetenschappelijke oorzaak-effectenstudies zullen worden betrokken.

## 2D Ethyleen als vitaliteitsparameter

Bomen hebben een gecompliceerd systeem van chemische boodschappers die vrijwel alle processen sturen, vergelijkbaar met het hormonale systeem mens en van dier. Deze stoffen werden vroeger daarom planten-hormonen genoemd, tegenwoordig spreekt men liever van regulatoren. Regulatoren sturen groei, bloei en herstel. Dit betekent dat regulatoren een centrale rol spelen bij het beperken en het herstel van stress-schade in de breedste zin van het woord. Regulatoren spelen dus zowel een rol bij lichte veranderingen in de groei-processen als bij het ontwerp van een overlevingsstrategie.

Deze stoffen reageren op het moment dat de storing optreedt, dus al ver voordat er sprake is van wat voor een visuele verandering dan ook. Dat maakt regulatoren aantrekkelijk als vroege indicatoren van vitaliteitsverandering.

De meeste regulatoren zijn echter pas secundair bij de stress-invloeden betrokken. Bovendien zijn de meeste stoffen in sterk wisselende concentraties in de tijd in de boom actief. Deze bezwaren gelden niet voor het stress-hormoon ethyleen. Bomen reageren op alle vormen van stress met verhoogde ethyleenproductie.

Ethyleen is een gasvormige regulator die uiteraard inwendig getransporteerd wordt. De "bedreigde" plaats (bijvoorbeeld verkeersschade) produceert het ethyleen met als doel alle metabolische activiteiten in de omgeving van de beschadiging binnen de boom te reduceren. Door deze reductie ontstaat er een relatief overschot aan reserves, die vervolgens (kunnen) worden aangesproken om tot herstel te komen. Ethyleen kan dus een aanzienlijke invloed hebben op de plaatsbepaling van verschillende stoffen in de boom en dus ook via de koolstofhuishouding op de energiehuishouding van de boom.

Het gas ethyleen kan niet in het veld gemeten worden omdat het opvangen ervan moeilijk zo niet onmogelijk is (zeer lage concentraties, die plaatselijk kunnen verschillen) en omdat ethyleen normaal in de lucht voorkomt als vorm van luchtverontreiniging (!).

Na elke acute stress neemt de concentratie van een voorloper van het ethyleen, de stof ACC, toe. Hieruit wordt vervolgens ethyleen gevormd, maar tegelijkertijd wordt ook een gelijke hoeveelheid van een conjugaat van deze stof, MACC, aangemaakt. Dit MACC is niet

afbreekbaar, dus na iedere stressperiode neemt de hoeveelheid MACC toe. MACC accumuleert en geeft als het ware de totale stressgeschiedenis van de boom weer. Dit betekent dat indien verschillende vormen van stress elkaar in de tijd opvolgen ze qua invloed van elkaar gescheiden kunnen worden door periodieke bemonstering van bladeren en de bepaling van MACC daarin. Samengevat levert de ethyleensynthese dus twee vitaliteitsparameters: één voor elke acute vorm van stress (ACC) en één voor de "stress-accumulatie" (MACC). Onlangs werd bijvoorbeeld aangetoond dat door N overbemesting in de Peel grovedennen MACC accumuleren en dat ze daarboven nog verder accumuleren als er aantastingen door Sphaeropsis plaatsvinden. De bepalingsmethode voor beide stoffen is eenvoudig, maar de extractie ervan uit bladeren of naalden is gecompliceerd. Toch zijn ACC en MACC bepalingen geschikt om de stress-situatie van bomen te kunnen schatten en, wat misschien het belangrijkste is, een verslechtering vast te stellen die visueel (nog) niet te constateren is.

De toekomst zal leren of ook rechtstreekse ethyleenbepalingen voor de praktijk bruikbaar zijn. Een Schotse onderzoeksgroep toonde namelijk onlangs aan dat naalden van door luchtverontreiniging aangetaste bomen geplaatst in luchtledige potjes meer ethyleen produceren dan hun gezonde buurexemplaren. Na de recente ontdekking dat ethyleenproductie na ozonperiodes ook toeneemt, lijkt het waarschijnlijk dat bestudering van de ethyleenproductie een van de belangrijkste vitaliteitsparameters zal worden.

### 2E Overige biochemische vitaliteitsmarkers

Het zij hier herhaald, dat bestudering en taxatie van vitaliteit van bomen niet kan zonder een gebalanceerde combinatie van biometrische, anatomische, fysiologische en metabolische methoden. Hier wreekt zich het gebrek aan investeringen in fundamenteel fysiologisch en biometrisch onderzoek aan houtachtige gewassen in het verleden. Er zijn vele vitaliteitsmarkers bij bomen in het overige deel van het metabolisme gedefinieerd, maar evaluatie van hun bruikbaarheid in de praktijk vergt nog veel onderzoek.

Wellicht vormen aminozuurbepalingen op deze generalisatie een uitzondering. Bij vele vormen van stress accumuleren in naalden en bladeren bepaalde aminozuren, sommige meer specifiek gekoppeld aan bepaalde vormen van stress dan andere. In het verleden is veel onderzoek gedaan naar proline accumulatie, maar achteraf bleek dit verschijnsel te specifiek.

Arginine en glutamine lijken betere kandidaten al treedt accumulatie hiervan veelal alleen op bij aan stikstof overmaat gerelateerde vormen van stress. De Vakgroep Aquatische Ecologie van de KU Nijmegen publiceerde hier reeds regelmatig over. Zoals reeds opgemerkt, vele co-factoren, peroxidases, ftopigmenten enz. enz. zijn aangedragen als vitaliteitsparameters maar hun evaluatie ligt in de wat verdere toekomst.

### 3 Continue metingen aan het functioneren van bomen

Naast het ontwikkelen van grootschalige en middenschaal-methoden voor vitaliteitskarakterisering blijft uiteraard fundamenteel onderzoek naar de oorzaken van de achteruitgang essentieel. Dit fundamentele onderzoek is de enige manier om tot bepaling van stressdrempels te komen, bijvoorbeeld de vaststelling van een grensconcentratie voor ozon en ammonium in de lucht, waarbij groei en ontwikkeling van bomen op een acceptabel niveau gehandhaafd blijven.

Een oude discussie in dit type onderzoek is of je een boom voor het bepalen van bruikbare grenswaarden moet isoleren uit de gecompliceerdheid van zijn ecosysteem, of dat grenswaarden juist een fundament krijgen als je ze definieert onder natuurlijke ecosysteem-stressomstandigheden. Het laatste ligt meer voor de hand omdat pas in de bossituatie blijkt hoe moeilijk bomen het in het systeem hebben.

Grenswaardevaststellingen onder gecontroleerde omstandigheden worden verder bemoeilijkt omdat men tot op heden slechts "baby-bomen" aan kan en omdat het duidelijk wordt dat de gebruikte gecontroleerde omstandigheden niet zo heel veel met zelfs de normale situatie in de vrije natuur te maken hebben.

Uiteraard is het ook nodig de genetisch bepaalde grenswaarden van het functioneren van bomen te bepalen (die dus onafhankelijk zijn van de groeiplaats) voordat het onderzoek zich in het bijna ondoorgroendelijke ecosysteem stort. Het nationaal additioneel programma zure depositie koos daarom in de eerste fase (1985-1987) voor een combinatie van experimenten in klimaatkamers, kassen, dakloze kassen (open top chambers), kwekerijproeven en een ecosysteemstudie.

Uit de evaluatie van deze eerste fase zal een waarde-inschatting voor de verschillende vitaliteitsparameters volgen. Deze informatie zal in de tweede fase (1988-1990) gebruikt worden in de ecosysteemstudie.

Uiteraard heeft niemand de illusie dat het wetenschappelijke "circuit" dat voor de bestudering van twee douglas-ecosystemen op de Veluwe is opgezet grootschaliger toegepast zal kunnen worden. Wel bestaat er de hoop dat deze outillage en de opgebouwde expertise bij meer boomsoorten dan de gekozen modelsoort toegepast zullen kunnen worden.

De essentie van de studie is, dat gekeken wordt naar een aantal bomen functionerend in de bossituatie met alle daar voortvloeiende vormen van stress. Luchtverontreiniging is een veroorzaker van stress.

Een evaluatie van het functioneren van de bomen is pas mogelijk als alle omstandigheden rond deze bomen continue worden beschreven. Dit betekent bovengronds de beschrijving van de luchtkwaliteit en de weersomstandigheden en ondergronds karakterisering van de fysische bodemstructuur en de hoeveelheid bodemwater met de daarin steeds wisselende concentraties voedingsstoffen.

Uit metingen van de samenstelling van het regenwater boven het kronendak, de samenstelling van het water dat door het kronendak heenvalt, het bodemvocht, de snelheid waarmee en de richting waarin het bodemvocht zich beweegt en de veranderingen in de samenstelling tijdens het transport wordt een beeld verkregen van de verzuring van de bosbodem in de tijd.

Een van de belangrijkste hiaten in de studies die verricht

worden, is het feit dat het onder bosomstandigheden nog niet mogelijk is exact vast te stellen wat er aan water met nutriënten door het wortelstelsel wordt opgenomen. Ook laten de omvang en de kwaliteit van dit wortelstelsel zich moeilijk schatten. Via een ingenieus poriënsysteem in de bodem is het wel mogelijk wortelgroei (-periodiciteit) en mycorrhiza-bezetting en -ontwikkeling waar te nemen. Kwantitatief laat het wortelstelsel zich echter niet eenvoudig karakteriseren. Dit haait is zeer vervelend omdat een van de belangrijkste theorieën voor de oorzaken van het bossterven nog steeds wortelachteruitgang door bodemverslechtering (verzuring, disbalans in voedingsstoffen, vrijkomen van toxische metalen) is.

Bovengronds zijn beschrijvingen van luchtverontreiniging en klimaat in relatie tot de structuur van de opstand essentieel. De structuur van de opstand en het fysisch klimaat rond de bomen en het genotype bepalen de concurrentiepositie van de verschillende bomen.

Luchtverontreinigingsstress kan alleen worden berekend uit metingen van de verschillende luchtverontreinigingscomponenten op een aantal hoogten boven, in en onder het kronendak. Deze gegevens worden met de ruimtelijke verdeling van de diverse bladoppervlakken in een model gebracht. De som van wat er al dan niet tijdelijk in de boom blijft hangen en wat er periodiek doorheen komt geeft een indicatie voor de totale luchtverontreinigingsstress. In de praktijk betekent dit het meten van  $\text{SO}_2$  (zwaveldioxide),  $\text{NH}_3$  (ammoniak),  $\text{NO}_x$  (stikstof-oxiden) en  $\text{O}_3$  (ozon) en het doen van een onvoorstelbaar aantal bladmetingen en metingen.

De weersomstandigheden worden nauwkeurig geanalyseerd om hun betekenis als 'normale' veroorzaker van stress te kunnen scheiden van invloeden van luchtverontreiniging. In de analyse van de resultaten van de verschillende onderzoeken wordt er rekening mee gehouden dat de effecten van de weersomstandigheden kunnen interfereren met de effecten van luchtverontreiniging. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat door luchtverontreiniging verzwakte bomen de invloeden van extremen in het klimaat minder goed kunnen opvangen. Zo is bekend dat door stikstofovermaat gestresste bomen een grotere gevoeligheid voor extreme vorstperioden hebben.

Bij de bomen is de groei de parameter die bepaald wordt. In dit geval gaat groei verder dan de groei van het economisch meest interessante deel, de stam. Van een aantal exemplaren wordt de biomassa toename ook binnen takken vastgesteld per jaar van vorming, per orde en per hoogte in de kroon om tot een totaalproductie per kroon te komen, gedifferentieerd per takdeel. Op deze wijze is het mogelijk ook zeer lokale groeireducties binnen de kroon vast te stellen.

Zoals reeds vermeld vindt ook bij de vaststelling van de bladoppervlakontwikkelingen eenzelfde differentiatie plaats. Wederom is het doel strategische beschadigingsplaatsen te definiëren waarmee men bij grootschaliger vitaliteitskarakterisering aan de slag kan.

De wijze waarop de diverse kwaliteiten bladoppervlak hun koolstof voor de uiteindelijke groei uit de lucht vangen, wordt onderzocht door vanaf steigers in het bos delen van takken met daarop een naald en van een bepaalde kwaliteit in gasuitwisselingskamers in te pakken. In deze kamers worden tegelijkertijd koolstofopname en waterafgifte (transpiratie) bestudeerd. Door meerdere kamers in een kroon te hangen kan een indruk worden verkregen van de relatieve bijdragen aan de gasuitwisseling van zon- en schaduwnaalden, naalden van verschillende leeftijden, enz. Verschillende naaldbeschadigingen kunnen uiteraard ook selectief fotosynthese of transpiratie beïnvloeden. Het kan niet worden uitgesloten dat bepaalde

delen van de kroon te veel water verliezen, terwijl andere delen in de loop der tijd hun koolstofconsumptie reduceren. In deze analyses speelt modellering weer een belangrijke rol, evenals uitvoering van tijdreeksanalyses. Een belangrijk probleem bij de interpretatie van de resultaten is namelijk dat het niet bekend is hoe lang het duurt voordat de gasuitwisseling verandert na het optreden van luchtverontreinigingsstress en hoe lang het vervolgens weer duurt voordat de groei afneemt of vochtverlies optreedt.

Vergelijkingen tussen bomen en bossen blijven altijd relatief omdat in Nederland alle bomen een meer of mindere mate van luchtverontreiniging ontvangen. Er worden wel pogingen gedaan om delen van bomen extra te verontreinigen of juist gefilterde lucht aan te bieden. Het is niet duidelijk of daar gegevens uit te halen zijn die het mogelijk maken naar "referentie-bomen" = (vitale boom, die niet aan luchtverontreiniging heeft blootgestaan) terug te rekenen.

## Hoe nu verder in de praktijk

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat het in dit stadium onmogelijk is aan te geven welke vitaliteitsparameters de meest geschikte zijn om te gebruiken bij inventarisatie. De kenmerken die bij de landelijke inventarisatie gebruikt worden geven een globale indruk over de vitaliteit van bomen, maar zijn zeker niet de enige vitaliteitskenmerken. Zoals al eerder gesteld is de gevolgde steekproefmethode bij de landelijke vitaliteitsinventarisatie onvoldoende voor een bosbeheerder zelf om een goed beeld te krijgen van de vitaliteitstoestand van zijn eigen bosbestand en de gevolgen van de geconstateerde vitaliteit voor de bosbedrijfsplanning.

Voor de beheerder is namelijk van belang te weten hoeveel goede bomen nog in de opstanden aanwezig zijn, hoe de groei van de opstand is, de nutriëntenstatus, enz.

## Vitaliteitsbeoordeling en voorraad-inventarisatie/opstandsinventarisatie

In deze paragraaf wordt een eerste, verre van volledige poging ondernomen om tot een vitaliteitsinventarisatie op bedrijfsniveau te komen. Wij hopen in een zogenaamde "werkgroep" in samenwerking met terreinbeheerders tot een meer uitgewerkt systeem te komen. Hiertoe worden in april tot juni voorlopig een viertal bijeenkomsten georganiseerd. Meer informatie hierover vindt u onder het hoofdje: bijeenkomsten.

Het doel van een vitaliteitsinventarisatie is het verkrijgen van informatie die mede betrokken kan worden bij beheersbeslissingen: de verzorging, dunning, eindkap, bemesting etc. De benodigde informatie moet dus op zijn minst op het niveau van behandelingseenheden verzameld worden (opstanden--- > typen van opstan-

den --- > behandelingsseenheden). Informatie op opstandsniveau is voor voorraadsbeheer wel zeer gedetailleerd, voor vitaliteitsbewaking daarentegen het hoogst mogelijke zinvolle niveau.

De verzamelde informatie moet zowel vergelijking tussen opstanden mogelijk kunnen maken (vergelijking van de toestand op een tijdstip) als vergelijking van een opstand op meerdere tijdstippen (beoordeling van de ontwikkeling). De informatie die uit een dergelijke inventarisatie beschikbaar komt kan de vanouds benodigde informatie, zoals bv. leeftijd, bijgroei, volkomenheidsgraad, houtmarktprijzen, niet vervangen, maar zinvol aanvullen.

Voor de beoordeling van de vitaliteit kunnen in principe alle onder 1 en 2 genoemde (op grote en "midden"-schaal toepasbare) methoden worden gebruikt. Of ze allemaal even zinvol zijn, laten we voorlopig in het midden. Omdat het hier gaat om een bedrijfsinventarisatie moet de informatie ten minste binnen het bedrijf consistent worden verzameld. Het is van belang dat de op te nemen verschijnselen per inventarisatieronde niet veranderen en dat de criteria voor de verschillende verschijnselen niet verschuiven van ronde tot ronde.

Uit de bovenstaande tekst valt af te leiden dat een verbinding tussen een bestaand inventarisatiesysteem en een vitaliteitsbeoordelingssysteem de voorkeur verdient als het gaat om de bedrijfsvoering.

Er zijn diverse inventarisatiesystemen ontworpen die op efficiënte wijze voorraad en, na herhaling bijgroei bepalen. Een systeem dat op de bepaling van de bijgroei is toegespitst, lijkt meer ideaal. De groei van individuele bomen kan met de vitaliteit in verband worden gebracht. Dergelijke systemen vergen echter nogal wat rekenwerk en aanpassing aan onze Nederlandse omstandigheden. Een redelijk compromis tussen een nauwkeurig en snel inventarisatiesysteem is bijvoorbeeld de steekproeftechniek van Bitterlich.

De keuze van de "telfactor" bij deze methode bepaalt niet alleen voor een belangrijk deel de hoeveelheid werk die moet worden verzet, maar ook de nauwkeurigheid van het resultaat. Ervaring leert dat een telfactor 2 voor voorraadsbepaling aan deze twee tegengestelde eisen tegemoet komt. Er van uitgaande dat een belangrijk deel van het Nederlandse bos een grondvlak van ongeveer 20-35 m<sup>2</sup> per ha heeft, betekent dit dat er 10 tot 17 bomen per steekproefpunt worden geteld (een getelde boom komt overeen met 2 m<sup>2</sup> grondvlak bij de telfactor 2). Bij twee perken per opstand komt men op 20 tot 34 bomen per opstand.

Deze steekproeftechniek houdt rekening met de opstandsdichtheid, hetgeen voor de vergelijking van opstanden van belang is. Indien de bomen op de steekproefpunten gemerkt zijn, kan ook het effect van

dunningen op de vitaliteit van de opstand ('gezond kappen') worden bepaald.

## Bijeenkomsten

In overleg met een twintig terreinbeheerders zouden we bovenstaande eerste aanzet tot een inventarisatiesysteem dat op bedrijfsniveau toepasbaar is, verder willen uitwerken. Wij wilden dat doen in de vorm van een werkgroep, al vergaderend werken aan een verbetering van het systeem. In eerste instantie dachten we aan vier bijeenkomsten in de periode *april tot juni 1988*. De data van de bijeenkomsten zijn: 21 april, 19 mei, 9 juni en 30 juni. De terreinbeheerders die interesse hebben, kunnen zich hiervoor schriftelijk opgeven: Werkgroep Inventarisatie Boomvitaliteit, De Dorschkamp, Postbus 23, 6700 AA Wageningen.

We hopen op terreinbeheerders uit de diverse groeperingen: Staatsbosbeheer, particuliere eigenaren, gemeenten en de natuurbeschermingsorganisaties. Bij overschrijving wordt de volgorde van binnenkomst gehanteerd, in samenhang met de vier genoemde categorieën.

## Oproep

### **Gevraagd twintig terreinbeheerders voor de werkgroep 'Inventarisatie boomvitaliteit op bedrijfsniveau'**

Verdere informatie: in het artikel "Inventarisatie van boomvitaliteit - een discussie." (zie p. 405)

Dit is een vrij lang artikel, dat hoewel het vooral met het oog op de terreinbeheerder is geschreven, volgens ons toch informatie bevat op meerdere niveaus.

Het is verder nuttig te weten dat het onszelf ook niet lukte het artikel in een keer te lezen. Het beknopter maken van de verschillende delen leek ons echter niet meer helderheid te geven.

Opgave: Werkgroep Inventarisatie Boomvitaliteit: De Dorschkamp, Postbus 23, 6700 AA Wageningen.