

Dendrochronologie als diagnostische methode in het verzuringsonderzoek

## Luchtverontreiniging en diktegroei van bomen (1)

In het kader van het Nationale Programma Verzuring werd een onderzoek uitgevoerd met als doel het effect van luchtverontreiniging op de diktegroei van bomen te bepalen. Dit artikel, in een reeks van drie, belicht de bosbouwkundige aspecten van het onderzoek. Daarnaast komen een aantal algemene facetten van dit type onderzoek en een beperkt historisch overzicht van de ontwikkelingen aan de orde. In de twee navolgende artikelen zal nader worden ingegaan op de toegepaste rekenmethoden en het omgaan met meteorologische data en met gegevens inzake de waterhuishouding ten behoeve van dit onderzoek.

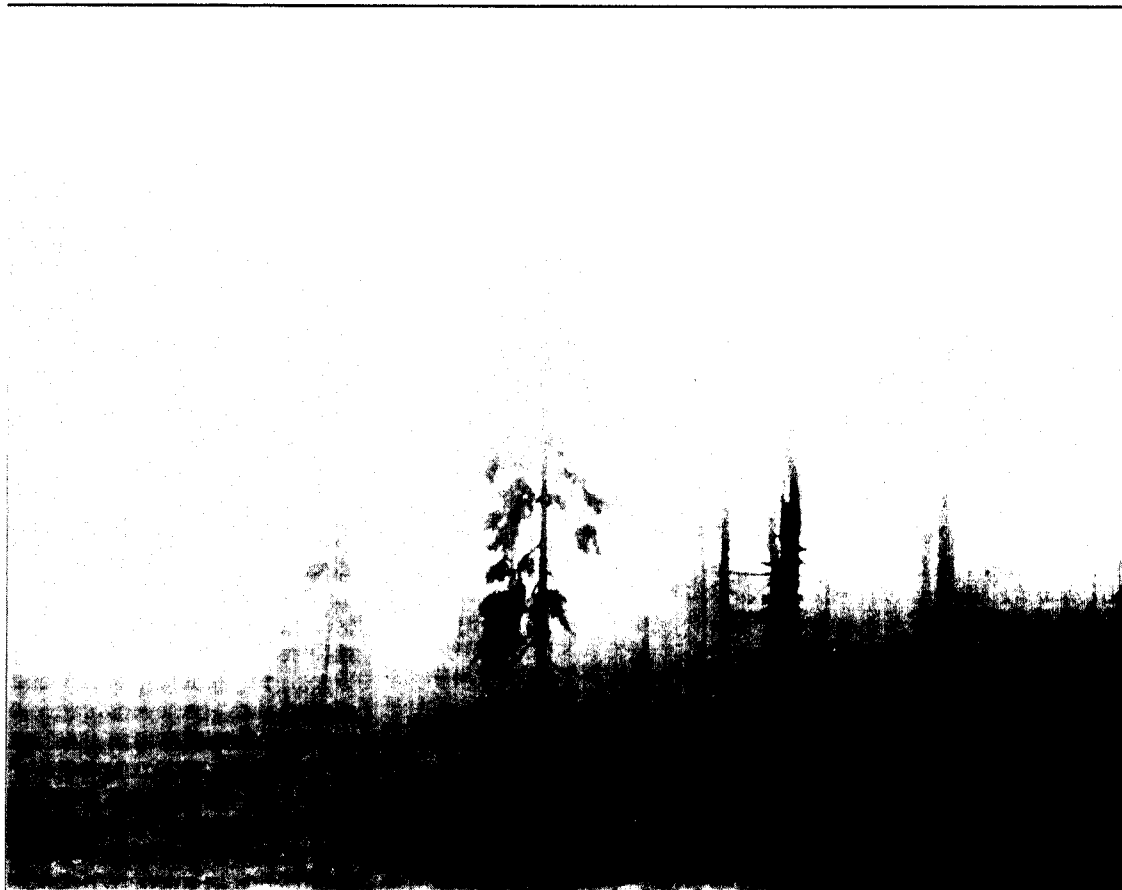
De verontreiniging van het milieu en de effecten daarvan op het bos, staan sinds het begin van de jaren tachtig volop in de belangstelling. Een belangrijke aanleiding daartoe vormde de alarmerende berichtgeving uit de Scandinavische landen, Duitsland,

Oostenrijk en Zwitserland. Omvangrijke arealen bos in deze gebieden zouden afsterven ten gevolge van de directe effecten van luchtverontreiniging. Ook in Nederland tenderde men naar de opinie dat de Instandhouding en duurzame ontwikkeling van het Nederlandse bos onder grote druk zou komen te staan als gevolg van de schadelijke effecten van luchtverontreiniging. Met name was er grote ongerustheid over de soorten van luchtverontreiniging die vrijkomen bij industriële processen en het wegverkeer. Onder druk van deze ontwikkeling en de heftige maatschappelijke discussie over de kwaliteit van het milieu, ging in 1984 het Staatsbosbeheer ertoe over de vitaliteit van het Nederlandse bos te inventariseren. Deze verkenning werd opgevolgd door een inventarisatie in de vorm van een jaarlijkse representatieve steekproef. Deze moest inzicht gaan geven in het verloop van de actuele vitaliteit van het Nederlandse bos.

Het bedrijfsleven en de overheid startten in 1985 een grootschalig fundamenteel onderzoek naar de oorzaken en effecten van luchtverontreiniging om een solide fundament te scheppen voor het milieubeleid in de toekomst. Het onderzoek naar de invloed van het weer, luchtverontreiniging en andere externe factoren op de diktegroei van bomen, waarvan hier verslag wordt gedaan, maakte een onderdeel uit van dit programma (Anonymus, 1991).

### Bossterven en het onderzoek

In de wetenschappelijke literatuur wordt vele malen melding gemaakt van het plotseling afsterven van bomen en bossen. Betrouwbare meldingen dateren reeds uit het midden van de achttiende eeuw (Moser, 1757). Veelal hebben ze betrekking op het plotselinge afsterven van bomen en bossen van één specifieke soort. Bekende fenomenen in deze zijn het fijnsparsterven, het dennensterven en meer recent het eikensterven. Dit periodiek wederkerende soortspecifieke afsterven wordt vaak toegeschreven aan een combinatie van factoren waarbij kleine veranderingen in het klimaat de sturende factor zijn. In Duitsland is op dit thema langdurig onderzoek gedaan waarbij koppelingen zijn gelegd met het traditionele opbrengstonderzoek. De opstanden die gedurende lange tijd zijn gemeten ten behoeve van het samenstellen van opbrengsttabellen, dienen zo als referentie voor het onderzoek naar de oorzaak en de omvang van dit type bossterven. Deze onderzoeken worden tot op heden voortgezet voor de boomsoorten fijnspar en eik, dit mede vanwege



het grote economische belang dat deze boomsoorten vertegenwoordigen bij de oosterburen. Vormen van bossterven zoals die naar voren kwamen uit de alarmerende berichtgeving aan het begin van de jaren tachtig hadden als kenmerk dat niet één specifieke boomsoort maar een heel complex van soorten in bepaalde gebieden dreigden af te sterven. Dit fenomeen was vanuit het verleden bekend in situaties waarbij grove vormen van industriële luchtverontreiniging neersloegen op bosgebieden. Reeds in de tweede helft van de vorige eeuw was hiertoe uitgebreid onderzoek gedaan in Groot Brittannië en Duitsland. In het toenmalige Duitsland kende de Forstakademie Tharandt sinds 1850 een leerstoel voor het onderwijs in en onderzoek naar de gevolgen van rookschade voor de bosbouw. Tussen 1880 en de eeuwwisseling werd op dit thema fundamen-

teel onderzoek verricht door Carl Reuss. Dit zeer goed gedocumenteerde onderzoek werd gepubliceerd in een standaardwerk dat ten dele nu nog actuele informatie bevat (Reuss, 1883). Zie figuur 1.

#### Wetenschappelijke twijfels

Ervaringen en kennis uit het onderzoek in het verleden en resultaten uit recent wetenschappelijk onderzoek veroorzaakten diepgaande meningsverschillen aangaande de aanpak van het onderzoek dat als doel had een objectief beeld te krijgen van de aard en de omvang van de actuele vormen van bossterven. Deze situatie deed zich voor in heel Europa en leidde ertoe dat een groot aantal onderzoeken werd gestart die evenwel niet complementair waren. Dit heeft geleid tot een onnodige verspilling van middelen en wetenschappelijke creativiteit (Empfehlungen 1988, Ort-

■ Foto 1. Geen zure regen, maar zure mist: stervende lijnspaar in de Harz (Duitsland)

hofer, 1991). Deze situatie duurt voort tot op de dag van heden, getuige de tegenstellingen tussen de bij dit type onderzoek betrokken wetenschappers in Noord- en Zuid-Duitsland (Van den Burg, 1991)

De twijfels die ten grondslag lagen aan deze wetenschappelijke richtingenstrijd, kwamen onder andere daaruit voort dat niet exact bekend was hoe een levende boom fysiologisch functioneert, met name op het celniveau. Dat is ook nu nog niet voldoende onderzocht. Deze kennis is noodzakelijk om te kunnen reconstrueren hoe een levende boom omgaat met de elementen die zijn groeiplaats ontregelen. Essentieel daarbij is hoe de boom deze elementen opneemt met de wortels via het bodemvocht of in gasvormige vorm uit droge of natte

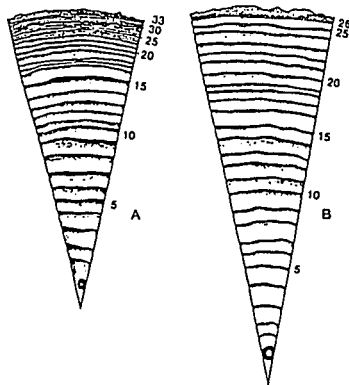
neerslag via naald of blad.

Dit probleem diende in een vroeg stadium te worden opgelost, maar vroeg om omvangrijke en zeer gecompliceerde onderzoeken. Daarbij moesten de te gebruiken methodieken en instrumenten vaak nog worden ontwikkeld voordat men aan het eigenlijke onderzoek kon beginnen. De resultaten van deze onderzoeken die eigenlijk het voortraject hadden moeten zijn van het opvolgende fundamentele onderzoek, komen op dit moment beschikbaar in binnenland.

Een ander probleem was dat er onvoldoende kennis bestond over het verband tussen de uiterlijke vitaliteitskenmerken van een boom en het actuele fysiologische functioneren (Van den Ancker et al., 1987). Veel kennis op dit terrein was opgedaan bij de klassieke vormen van luchtverontreiniging zoals rookschade. Echter, nu ging het om een cocktail van elementen die over grote delen van Europa een ongeveer gelijke samenstelling heeft en plaatselijk zelfs nog kon zijn aangevuld met de afvalprodukten van lokale en regionale vervuilende bronnen. Ook in Nederland werden deze discussies gevoerd. Maar doordat het Nederlandse onderzoek in vergelijking tot dat van de buurlanden redelijk laat werd gestart, kon geleerd worden van de eerste onderzoekresultaten uit met name Duitsland en Zwitserland (Eckstein et al., 1983; Eckstein et al., 1984; Franz, 1983; Kramer & Dong, 1985; Dong & Kramer, 1986; Kenneweg & Nagel, 1983; Schweingruber, 1983; Weimann, 1983).

### Vitaliteit

"Vitaliteit" is geen makkelijk meetbare grootheid. De vitaliteit van een boom wordt namelijk bepaald door een groot aantal factoren zoals groeiplaats, ruimte, sociale positie en genetische kwali-



■ *Figuur 1. Gedeelten uit stamschijven van twee fijnsparren. De jaarringen lopen van de kern van de boom (onder) tot aan de bast (boven). De bomen groeiden in de omgeving van Grevenbruck (Duitsland) en werden in 1901 door Carl Reuss gekapt. Boom A is aangetast door luchtverontreiniging. De 33-jarige spar groeide nabij een zwavelzuurfabriek die in 1875 zijn productie startte en daarna steeds uitbreidde. De groeireductie begint in 1885. Boom B groeide op een grotere afstand van de fabriek en laat geen enkele groeireductie zien.*

teiten. Daarom is het geven van een sluitende definitie bijna onmogelijk. Bij vitaliteit wordt vooral gedacht aan gezondheid maar ook aan een zeker incasserings- of herstelvermogen na een beschadiging of aantasting en aan het goed functioneren van de processen in de boom. In de bosbouwpraktijk worden de begrippen gezondheid en vitaliteit vaak door elkaar gebruikt. Echter, "vitaliteit" omvat meer dan de gezondheid alleen (Van den Ancker et al., 1987). In het kader van dit onderzoek wordt een vitale boom gedefinieerd als een boom die op grond van zijn genetische eigenschappen een optimale vorm en groei heeft bereikt op die betreffende groeiplaats. De boom bezit dan het vermogen om na perioden van groeibelemmering tot herstel van de groei te komen. De

vitaliteit van een bos is een nog veel complexer begrip. Bij gebrek aan operationele kennis op dit gebied, wordt bosvitaliteit vooralsnog versimpeld tot de vitaliteit van de bomen, de bosflora en bosfauna.

### Beoordeling van de vitaliteit

De vitaliteit van bomen wordt in West-Europa voornamelijk beoordeeld op grond van de verschijningsvorm. De blad of naaldbezigting en de blad- of naaldverkleuring worden beschouwd als de meest operationele uiterlijke kenmerken van het aspect vitaliteit (Europese Gemeenschap Verordening 3528/86). In de Nederlandse situatie worden deze gegevens gecompliceerd met informatie over lokale insecten schimmelaantastingen. De beoordeling van de vitaliteit verschaft bij een eenmalige opname slechts informatie over dat unieke moment. Het vitaliteitsonderzoek heeft echter ook ten doel de vitaliteitsontwikkeling van het bos in de tijd te volgen. Daartoe worden jaarlijks op een vast tijdstip waarnemingen gedaan. Zodoende krijgt men inzicht in de ontwikkeling van de vitaliteit van het bos onder invloed van wisselende omstandigheden als het weer, luchtverontreiniging, aantastingen en de effecten van deze omstandigheden vanuit de voorgaande jaren. Over deze inventarisatiemethode wordt sedert jaren getwist. Met name het onderdeel blad c.q. naaldbezigting vormt onderdeel van studies. Het belangrijkste bezwaar tegen de heersende methode is dat er onvoldoende rekening wordt gehouden met de verschillen in boom- en kroonarchitectuur van de te onderscheiden boomsoorten. Voor grove den is een alternatief ontwikkeld door de Forstliche Versuchsanstalt in Göttingen (Niehaus, 1989), voor beuk is dit gedaan door het Institut für Wald-

bau der Universität Göttingen (Roloff, 1989). Voor andere boomsoorten zijn alternatieve methoden in ontwikkeling (Gerrecke, 1989; Neumann & Pollanschütz, 1988). Deze alternatieve methoden worden reeds ten dele op praktijkschaal toegepast.

#### Vitaliteit en groei

Door velen wordt voetstoots aangenomen dat een boom die vitaal oogt ook een goede groei zal vertonen. Deze aanname is in vele gevallen echter onjuist (Schmid-Haas, 1990). Dit gegeven was ons bekend op basis van ervaringen opgedaan in het groeien opbrengstonderzoek van "De Dorschkamp" en uit het veredelingsonderzoek van dit instituut. Uit langlopend Duits onderzoek is bekend geworden dat met name oudere bomen al gedurende meerdere jaren voordat een afnemende vitaliteit door middel van de uiterlijke kenmerken zichtbaar wordt een gereduceerde groei kunnen vertonen. Groeireducties, een uiting van het minder optimaal functioneren van de fysiologische processen in de boom, treden dus eerder op dan zichtbaar wordt bij de visuele vitaliteitsbeoordeling, zeker wanneer er sprake is van extreme omstandigheden (Worbes, 1989). Uit Zwitsers onderzoek is gebleken dat bij naaldboomsoorten de groei zich na een calamiteit ongeveer vijf jaar eerder herstelt tot op het oorspronkelijke niveau dan zichtbaar wordt uit de visuele vitaliteitsbeoordeling (Kontic & Winkler-Seifert, 1987). In sommige situaties gold hiervoor een termijn van twaalf jaar (Kontic et al., 1990). Voor de boomsoort beuk is aangetoond dat de bijgroei tussen, maar ook binnen de verschillende vitaliteitsklassen grote spreiding vertoont. Systematische verschillen tussen de vitaliteitsklassen komen niet voor. Slechts bij een deel van de niet vitale beuken (schade-



■ Foto 2. Kroonaanzicht opstand landgoed Groot Brunink (Foto's: H. Visser)

klasse 4) is er sprake van de complete uitval van de jaarlijkse bijgroei zoals deze wordt gemeten op borsthoogte (Eigenschappen, 1989).

#### Verplaatsing van de aanwas

Uit deze resultaten valt af te leiden dat een correcte vaststelling van de huidige groei van de boom of een groep bomen, een objectief beeld geeft van het actuele functioneren van het individu of het collectief. Toch zitten er nog enige adders onder het gras. Bij het bepalen van de actuele groei wordt de diameter van de boom op borsthoogte (1.30 mtr.) gemeten. Bomen die in een fysiologische stress verkeren, ze behoeven dan nog niet uitwendig minder "vitaal" te lijken, verplaatsen de aanwas

vaak van de hogere naar de lagere stamdelen. Daarmee loopt de waarnemer het risico een te optimistisch beeld te presenteren van de actuele groei van de boom. Onder druk van de omstandigheden neemt de boom een meer pyramidale vorm aan (Fischer & Rommel, 1989). Echter het omgekeerde doet zich ook maar al te vaak voor, met name bij fijnspar. De bijgroei verplaatst zich naar de hogere stamdelen (Athari, 1981; Athari & Kramer, 1983; Franz, 1983). Ook bij beuken is dit fenomeen geconstateerd (Athari & Kramer, 1988; Fischer & Rommel, 1989). In een groots opgezet onderzoek

op vele groeiplaatsen in de Jura, de Vogezen, het Zwitserse middelebergte, de Zwitserse en Italiaanse Alpen en in de belangrijkste bosgebieden van Baden-Württemberg werden zowel groeireconstructies met behulp van dendrochronologische technieken geproduceerd als visuele vitaliteitsbeoordelingen verricht. De variatie tussen de "uitwendige" vitaliteit en de gereconstrueerde bijgroei, was erg groot. Zelfs tussen individuele bomen binnen een opstand en tussen opstanden (Becker et al., 1990). De oorspronkelijke ervaringen en kennis van de auteurs en de resultaten van de hier aangeduide onderzoeken die ten dele reeds op een vroeg moment aan ons bekend waren, hebben ertoe geleid dat ten behoeve van het onderzoek onder de Nederlandse omstandigheden is gekozen voor een methodiek waarbij de reconstructie van de bijgroei met behulp van dendrochronologische technieken centraal stond.

### **Het onderzoek in Nederland**

De effecten van de gehele cocktail van luchtverontreinigende stoffen, ook wel aangeduid met het enigszins misleidende begrip "zure regen" (Van den Burg, 1983), op het Nederlandse bos waren in het begin van de jaren tachtig moeilijk te kwantificeren. Zowel vanuit het bedrijfsleven als de overheid bestond de behoefte over deze informatie te beschikken. Vanuit deze behoefte en de mogelijkheden die werden geboden door het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek, ontstond de samenwerking tussen de afdeling Milieu Onderzoek van de N.V. KEMA te Arnhem en het toendertijd geheeten Rijksinstituut voor het Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" te Wageningen (heden: IBN-DLO). De bosbouwkundige en biometri-

sche inbreng werd geleverd door "De Dorschkamp", de wiskundige statistiek en de meteorologie werd ingebracht door de N.V. KEMA. Op onderdelen van het project is bijstand verleend door de Katholieke Universiteit van Nijmegen. Overigens had dit onderzoek nooit kunnen plaatsvinden als niet een tiental bouseigenaren de onderzoekers toestemming had verleend hun terreinen te betreden en in hun archieven te snuffelen. Op deze plaats is het gepast hen dank te zeggen voor de aan de onderzoekers geboden faciliteiten.

### **Onderzoekdoelen**

Het onderzoek richtte zich in principe op de beschrijving en de verklaring van de diktegroei van bomen in bossen. Om dit doel te bereiken werd gebruik gemaakt van een reconstructie van de diametergroei met behulp van dendrochronologische technieken; alhoewel niet correct, wordt dit ook wel jaarringanalyse genoemd. Een wiskundige en statistische modellering van deze groeigegevens werd gerelateerd aan omgevingsinvloeden met als belangrijkste factor de meteorologie. Door gebruik te maken van zeer lange jaarringchronologieën en meteorologische reeksen kon een belangrijk deel van de variatie in de tijd van de diktegroei worden verklaard. De diametergroei beïnvloedende factoren als dunningen, variaties in de grondwaterstand en aantastingen werden opgespoord of gefixeerd. Het veronderstelde effect van luchtverontreiniging zou langs eenzelfde weg opgespoord moeten worden, dit in relatie tot voorhanden zijnde emissiegegevens. In een opvolgend artikel zal aandacht worden besteed aan deze statistische modelleringen.

### **Keuze van boomsoorten**

Het onderzoek is met name ge-

richt op de boomsoorten inlandse eik en grove den, daarnaast spelen douglas en fijnspar een bescheiden rol. Voor de keuze van deze boomsoorten zijn een aantal motieven. Inlandse eik is gekozen omdat er internationaal veel ervaringen zijn opgedaan met het dendrochronologisch onderzoek aan deze soort (Hollstein, 1980). Inlandse eik kan vandaar dienen als standaard, als een ijkbasis binnen het onderzoek.

Daarnaast speelde mee dat mogelijk een bijdrage kon worden geleverd aan het onderzoek naar het zgn. eikensterven. Douglas is in vergelijking tot de beide andere boomsoorten gevoelig voor de invloed van luchtverontreiniging. Verder is deze boomsoort, in economische zin althans, van groot belang voor de Nederlandse bosbouw. Grove den is de meest voorkomende boomsoort in Nederland. Door de veelheid aan groeiplaatsen waar deze boomsoort voorkomt, kon er additioneel informatie worden verkregen over de ontwikkeling van deze groeiplaatsen onder invloed van luchtverontreiniging.

### **Selectiecriteria voor de opstanden**

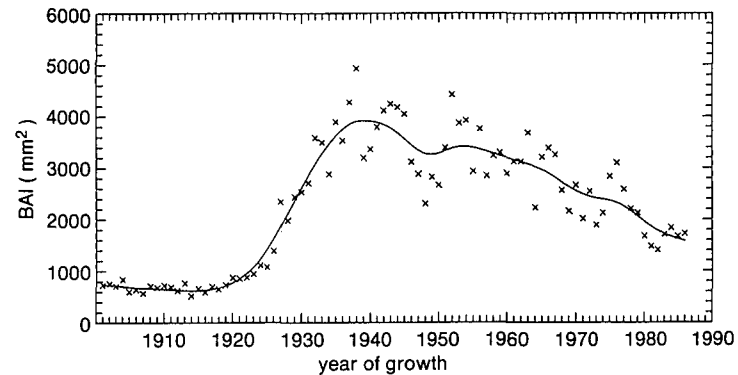
Vanuit de gestelde doelen dienen de opstanden te voldoen aan een aantal voorwaarden om bruikbaar te zijn binnen het onderzoek. Dit geeft ernstige beperkingen aan de beschikbaarheid van deze opstanden.

Een eerste criterium is de locatie van de opstand ten opzichte van meteorologische waarnemingsstations. De opstand moet zijn gelegen in de onmiddellijke nabijheid van een meteorologisch waarnemingsstation van het K.N.M.I. Vervolgens moet dit station beschikken over een lange waarnemingsreeks. Erg belangrijk zijn hierbij dan de neerslaggegevens. Dit in verband met de

sterke variabiliteit van de neerslag over korte afstanden.

Het grondwaterregime is van belang omdat er behoefte is aan opstanden die gelegen zijn in gebieden met een relatief stabiel grondwaterregime. Dit om te voorkomen dat fluctuaties in de groei voor een belangrijk deel kunnen worden verklaard uit wijzigingen in het gedrag van het grondwater. De structuur en samenstelling van de opstand vormt het volgende criterium. Daar het onderzoek zich richt op de beschrijving en analyse van de diametergroei van bomen, is het van belang dat de omgevingscondities van de individuele bomen binnen de opstand zoveel mogelijk overeenkomen (Franz et al., 1990). Dit wordt voor een belangrijk deel bepaald door de wordingsgeschiedenis van de opstand en de bosbouwkundige behandeling. Vooral het dunningsregime kan grote effecten hebben op de diktegroei. De opstanden dienen een "normale" bosbouwkundige behandeling te hebben ondergaan. Hieronder moet worden verstaan een op houtteeltkundige principes stoevend beheersregime waarbij wordt gepoogd een vitale opstand met een lange omloop te verkrijgen en behouden. Dit in relatie tot de boomsoort en de groeiplaats. Deze fixatie op de beheersvorm is van wezenlijk belang indien in het analyseproces historische informatie uit opstand-sleggers in onvoldoende mate voorhanden is. Deze informatie moet dan meestentijds door deductie en reconstructie worden verkregen.

Door de normale bosbouwkundige behandeling als selectie criterium te hanteren, kan men een koppeling leggen met additionele informatiebronnen. Tevens kan het groeiverloop van de opstand worden gespiegeld aan opbrengsttabellen. Deze berusten



■ *Figuur 2. Ontwikkeling van de grondvlakbijgroei in de tijd.*

op meerjarige waarnemingen en bevatten zodoende een historische component.

Veelvuldig is ten behoeve van dit onderzoek gebruik gemaakt van het computerprogramma OPTAB. Dit programma bood de onderzoekers de mogelijkheid hun groeireconstructie te vergelijken met een normale situatie of sterk afwijkende beheersregimes.

#### Monocultures

Vanwege de grote overeenkomst in groeiruimte per boom die wordt geeist, komen alleen monocultures of opstanden waarin de bijmenging een te verwaarlozen effect heeft op de groei en ontwikkeling van de hoofdboomsoort in aanmerking. In opstanden met meerdere boomsoorten, eventueel in verschillende leeftijdsklassen, is sprake van een zeer complexe competitie tussen de individuele bomen. Dit beïnvloedt de sociale positie van de bomen binnen de opstand en daarmee het verloop van de diktegroei (Figuur 2). Het is echter onvoldoende bekend in welke mate. De effecten van deze interactie tussen soorten al/of niet van een gelijke leeftijdsklasse binnen een opstand zijn maar ten dele gedocumenteerd (Faber, 1983; Faber, 1986; Schütz, 1989; Zajczkowski et al., 1989). Dit gegeven maakt het onmogelijk zulke

opstanden te gebruiken voor een onderzoek als dit.

De opstanden moeten geplant zijn vóór 1920 zodat voldoende lange waarnemingsreeksen worden verkregen. Dit criterium is een sterk beperkende factor geweest bij het vinden van een geschikte opstand met douglas. Evenzo vormt de topografie een beperking bij het selecteren van opstanden met grove den. Geaciditeerde of sterk hellende terreinen zijn minder geschikt omdat de individuele bomen ten opzichte van elkaar vaak niet vergelijkbare posities innemen (Vries, 1986; Prodan, 1965). Daar voor de groeibesrijving en analyse een selectie wordt gebruikt van bomen uit de heersende boomlaag, ontstaat een diffuus beeld van de werkelijke competitie tussen de individuele bomen en de effecten hiervan op de diktegroei (Prodan, 1965).

#### Historische informatie

Grote waarde wordt toegekend aan het voorhanden zijn van een betrouwbare vorm van historische beheersverslaglegging. Gebeurtenissen die van belang kunnen zijn voor de ontwikkeling van de opstand moeten gedocumenteerd zijn. Deze informatie is van groot belang voor het verklaren

van de groei-ontwikkeling van de opstand los van de weersinvloeden. Binnen de Nederlandse beheerspraktijk is het sinds een tiental jaren geen gebruik nauwkeurig verslag te doen van relevante informatie op het niveau van opstand en/of bedrijf (Maessen, 1985; Maessen, 1986). Dit criterium kon dan ook niet in alle gevallen in de volle breedte worden gehanteerd. Een belangrijk deel van dit type informatie moest worden verkregen uit interviews met beheerders/eigenaren en houthandelaren of aannemers. Met name in situaties waar het terrein meerdere eigenaren heeft gekend, bleek de historische verslaglegging voor een belangrijk deel afwezig te zijn, dit ongeacht de huidige eigendomssituatie.

#### Kwaliteit

De opstanden dienen te voldoen aan een aantal kwaliteitscriteria; deze zijn van algemene aard. De hoofdboomsoort moet aansluiten bij de kwaliteit van de groeiplaats. Het stamtal moet passen bij de ontwikkelingsfase waarin de opstand verkeert. Voorts dient de opstand een voldoende vitaliteit te bezitten. Dit zoals omschreven in een voorgaand deel van dit artikel. De in 1984 in Nederland geïntroduceerde methode voor het bepalen van de vitaliteit van bomen in bossen geeft hiertoe met name voor de boomsoort grove den onvoldoende houvast. Deze komt in veel verschillende verschijningsvormen voor, in tegenstelling tot de andere naaldboomsoorten. De beoordeling en de onderlinge vergelijkbaarheid van de toestand van de kroon wordt hierdoor ernstig bemoeilijkt. De belangrijkste oorzaken hiervan zijn het vaak geringe aantal naaldjaargangen, de grote variatie in de habitus ten gevolge van genetische factoren en de reactie van deze boomsoort op de groeiplaats. Het is vandaar on-

doenlijk waarnemingen aan individuele grove dennen op een objectieve wijze met elkaar te vergelijken.

#### Dendrochronologisch onderzoek

In het dendrochronologische on-

#### Dendrochronologie

Een stamschijf of een boorkern vertoont grote overeenkomsten met een schijf uit de tachograaf van een vrachtauto. Hierop is iedere actie die het voertuig ondergaat als gevolg van de handelingen van de chauffeur feilloos vastgelegd. Stilstaan, langzaam rijden en zelfs de snelheidsovertredingen. Zoiets wordt ook aangetroffen bij een boom. Iedere verandering in de omgeving van een boom beïnvloedt de ontwikkeling van de groei van een boom of een verzameling daarvan, het bos. Dit kan worden afgelezen uit de jaarringen die een boom vormt, zelfs uit de jaarringen die een boom niet vormt! Zo verkregen groei-informatie kan in samenhang met andere gegevens (beheer, milieu) worden gebruikt om meer inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de bomen en opstanden.

Deze techniek wordt in binnen- en buitenland met succes toegepast bij het bepalen van het moment en de omvang van groeistoornissen als gevolg van grondwaterdaling, luchtverontreiniging en andere groeibeïnvloedende processen inclusief het dagelijkse beheer (Braam et al., 1987; Van den Burg et al., 1984; Faber et al., 1986; Hajer et al., 1989; Joos, 1988; Joos et al., 1988; Joos, 1990; Van Ouden-aarden, 1987).

derzoek van de laatste 25 jaar is veel aandacht besteed aan het vervolmaken van de wiskundige en statistische methoden en technieken (Cook & Kairiukstis, 1989; Innes & Cook, 1989). Hierdoor werd het mogelijk groeicurves op een zeer betrouwbare wijze samen te stellen en analyseren. Belangrijke aanzetten hiertoe werden gegeven door de Amerikaanse onderzoeker H.C. Fritts (Fritts, 1976). Aanzienlijk minder aandacht is besteed aan het verzamelen van de primaire data voor het samenstellen van de groeicurves, het voortraject van het eigenlijke onderzoek (Schweingruber, 1983). Deze primaire data worden verkregen uit het doen van tellingen en metingen op boorkernen of stamschijven. Deze zijn de dragers van de informatie over het historische verloop van de groei. Iedere individuele boom zal zijn eigen historie uitdrukken in de voor hem specifieke groeicurve. Dominante bomen zullen daarom een ander beeld vertonen dan onderdrukte exemplaren.

Lange tijd is het gebruik geweest in de dendrochronologie, in zoverre het een relatie had met levende bomen, om met zeer kleine populaties te werken en dan nog meestal met solitaire bomen. Indien men gebruik maakte van boorkernen dan onttrok men er één, soms twee aan de boom. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is in bosbouw, kende men geen gestandaardiseerde methode voor het onttrekken van boorkernen aan de boom. Daarnaast rekende men veelvuldig met de absolute diametertoename (jaarringbreedte) in plaats van met de grondvlakontwikkeling per boom of opstand.

#### Grondvlakbijgroei

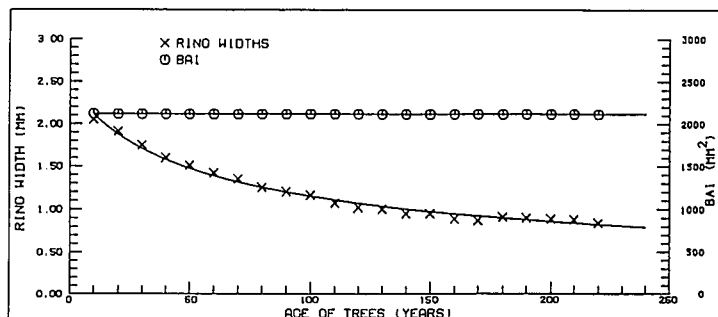
De jaarringbreedten zullen bij een gelijke bijgroei exponentieel afnemen naarmate de boom ouder

en daarmee meestal ook dikker wordt. Indien gebruik wordt gemaakt van het grondvlak treedt deze exponentiële afname niet op. De bijgroei uitgezet tegen de tijd manifesteert zich dan als een rechte, horizontale lijn. Hierdoor wordt het simpeler en betrouwbaarder om afwijkingen in de groei op te sporen (Figuur 3). Informatie uit de dendrochronologie was dan ook veelal niet overdraagbaar of bruikbaar binnen de bosbouw. Er kon geen relatie worden gelegd met de omvangrijke bestanden groeigegevens die sinds het midden van de vorige eeuw zijn opgebouwd.

In Europa is in de tweede helft van de jaren zeventig de behoefte ontstaan aan een synthese van de dendrochronologie en de groei- en opbrengstleer binnen de bosbouw. Het belangrijkste voordeel hiervan is dat methoden zijn gestandaardiseerd en dat er een betere relatie kan worden gelegd tussen de vraag die aan de dendrochronoloog wordt gesteld en de selectie en het verzamelen van het benodigde materiaal in het terrein. Evenzo komen monster technieken die hun toepasbaarheid hebben bewezen in het klassieke groeien opbrengstonderzoek binnen het bereik van de dendrochronologie.

### Proefobjecten

Op grond van de eerder beschreven criteria werden de opstanden geselecteerd. Binnen deze opstanden werden vervolgens 60 heersende of medeheersende bomen gezocht. Deze bomen mochten helemaal geen krooncontact hebben. De sociale positie van de bomen werd nauwkeurig in kaart gebracht, de bomen werden gemerkt met een stalen nummerstrip. Van iedere monsterboom werd vervolgens op borsthoogte (1.30 mtr.) de omtrek, de grootste en de kleinste diameter bepaald. Met een hoogte-



■ *Figuur 3. Groeicurves van jaarringbreedtes en grondvlakken samengesteld uit groeigegevens van 376 eiken.*

meter (Blume-Leiss) werd de boomhoogte tweezijdig bepaald. Het grondvlak van het betrokken deel van de opstand werd vastgesteld met behulp van de Bitterlich-Relaskop (Bitterlich, 1984; Zöhner, 1973). Op borsthoogte werden op de grootste en kleinste diameter van de boom, radiaal vier boorkernen aan de stam onttrokken. Dit gebeurde met de aanwasboor van Pressler, diameter boorkern 5 mm (Jozsa, 1988; Kopinga, 1979; Maeglin, 1979; Maessen, 1991; Phipps, 1985). Indien noodzakelijk werd aan de voet van de boom een boorkern genomen voor het vaststellen van de leeftijd. De aan de bomen onttrokken boorkernen werden reeds in het veld opgeslagen in kunststof buizen gevuld met een alcoholmengsel. De boorkernen werden op "De Dorschkamp" verwerkt met de dendrochronograaf van dit instituut (Van der Beek & Maessen, 1981; Johann, 1977).

### Locaties proefobjecten en weerstations

Het onderzoek werd uitgevoerd gedurende de periode 1985-1990 op een tiental locaties verspreid over het gehele land:

- Het natuurgebied Roderveld

nabij Oldenzaal: grove den 1903  
- Het landgoed Smalenbroek nabij Enschede: inlandse eik 1885

- Het landgoed Groot Brunink nabij Enschede: douglas 1905  
fijnspaar 1905

- Het Harderwijkerveld nabij Harderwijk: grove den 1913

- Het landgoed Oud Groevenbeek nabij Putten: inlandse eik 1890

- Het Kasteelbos Arcen nabij Arcen: grove den 1904 inlandse eik 1836

- De boswachterij Annendaals Bos nabij Mariahoop: grove den 1904

- Het landgoed Hillenraad nabij Swalmen: grove den 1819

- Natuureservaat Het Leudal nabij Roggel: inlandse eik 1870

Gezien de situering van de onderzoeklocaties werd de meteorologische informatie betrokken van de meteostations De Bilt, Gemert en Winterswijk. In verband met de sterke variabiliteit van de neerslag en het belang van deze parameter voor het groeigedrag van een bosopstand, zijn de gegevens van een viertal speciale neerslagstations aan de bestanden toegevoegd. Het betrof de stations Deneekamp, Putten, Heerde en Roermond. In een volgend artikel zal nader worden ingegaan op het omgaan met deze informatie ten behoeve van het groeireconstructie onderzoek.



## Resultaten

Het gemiddelde groeipatroon van alle opstanden werd geanalyseerd in relatie tot veranderingen binnen de opstand, afwijkingen van de groeitrend (gemiddeld over alle bomen binnen de opstand), verandering in de reactie van bomen op het weer en de directe relatie met luchtverontreiniging. Hier worden enige resultaten van het onderzoek belicht, samen met een aantal algemene conclusies. Deze worden omgeven door een aantal kritische opmerkingen gevolgd door een nabeschuiving van de auteurs. Deze stijgt uit boven de formele verslaggeving van het onderzoek zoals neergelegd in het eindrapport van het onderzoek (Visser & Maessen, 1990). In de twee volgende artikelen wordt nader ingegaan op deelaspecten.

### Wijzerjaren

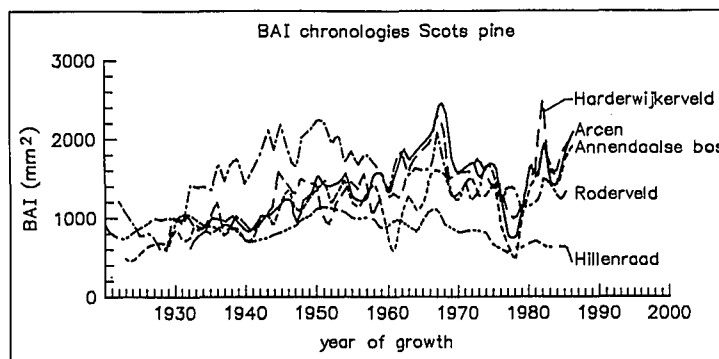
Het onderzoek heeft een robuuste set wijzerjaren opgeleverd. Dit zijn jaren waarbinnen de bomen extreem hebben gereageerd op omgevingsinvloeden (Schweingruber et al., 1991). Ze vormen dan extreem brede of smalle jaarringen, of in het geheel geen jaarringen. Deze wijzerjaren, die gekoppeld zijn aan groeiplaatstypen en boomsoorten, zijn van groot belang voor het synchroniseren van jaarringreeksen van individuele bomen (crossdating). Voor de Nederlandse situatie zijn dit de navolgende jaren:

grove den:

- 1940 (smalle jaarringen)
- 1960 (zeer smalle jaarringen)
- 1967 (zeer brede jaarringen)
- 1977 (smalle tot zeer smalle jaarringen)
- 1979 (smalle jaarringen)
- 1982 (zeer brede jaarringen)

inlandse eik:

- 1956 (smalle jaarringen)
- 1957 (smalle jaarringen)
- 1979 (brede jaarringen)



■ *Figuur 4. Chronologie van grove den.*

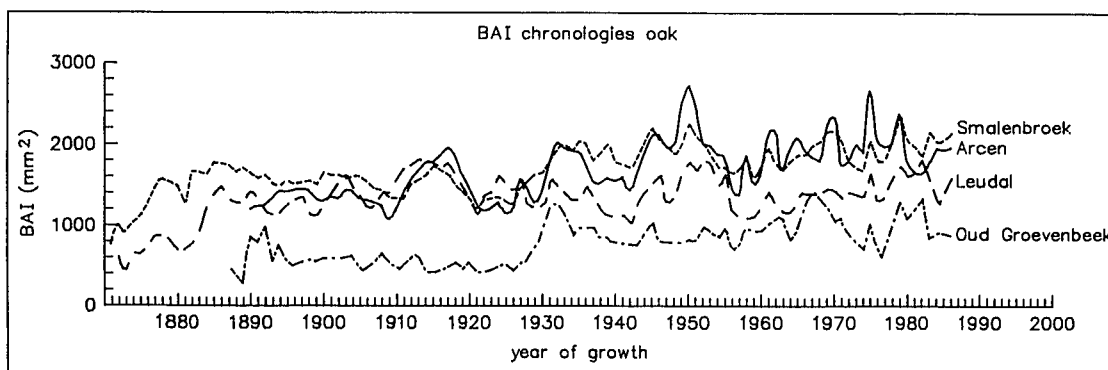
Het aantal wijzerjaren voor inlandse eik is beperkt. Dit wordt daardoor veroorzaakt dat deze boomsoort weinig heftig reageert met de diktegroei op veranderingen van het weer. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de inlandse eik zich optimaal heeft aangepast bij de Nederlandse klimatologische omstandigheden. In tegenstelling tot een wijd verspreide mening blijken de jaren 1947, 1959 en 1976 geen betrouwbare wijzerjaren te zijn. Dit wordt veroorzaakt door het nauwelijks effect van weersinvloeden voorafgaand aan deze jaren.

### Invloed luchtverontreiniging

Alle chronologieën van grove den, uitgezonderd die van het landgoed Hillenraad, laten een grote groeireductie zien in de periode 1968-1978 (Figuur 4). Dit wordt gevolgd door een aanhoudend herstel van de groei tot boven het oorspronkelijke niveau. Een geringe groeidepressie heeft plaatsgevonden in de eerste helft van de jaren vijftig. De chronologieën van inlandse eik zijn weergegeven in figuur 5. De chronologieën van de opstanden in het natuurreservaat Het Leudal en het landgoed Oud Groevenbeek, vertoonden een geringe groeireductie na 1982. De opstand op het landgoed Oud Groevenbeek heeft een groeidepressie gehad gedurende de periode 1968-

1978. Een licht herstel kon plaatsvinden tot 1982.

Alleen in het geval van douglas en fijnspar (Het landgoed Groot Brunink nabij Enschede) werden aanwijzingen gevonden voor een groeireductie ten gevolge van luchtverontreiniging. Het betreft hier naar alle waarschijnlijkheid de invloed van de nabij de opstand gelegen boerderijen. Ook veranderingen in de bodemvegetatie gaven hiervoor een indicatie. De resultaten van de groei-analyses van de andere opstanden, konden geen aanwijzingen leveren voor groeireducties ten gevolge van luchtverontreiniging. Alle opstanden grove den en één opstand inlandse eik reageerden heftig op de totale hoeveelheid neerslag gedurende het lopende jaar en de twee voorgaande jaren. Bij een meer dan gemiddelde neerslag na de relatief droge periode 1968-1978 reageerden de bomen binnen alle opstanden hierop overduidelijk door de groei flink aan te zetten. Vóór 1968 vond deze reactie niet plaats. Deze veranderde reactie op de hoeveelheid neerslag wijst op een algehele verdroging van de bosbodems op de hogere delen van Nederland (Hiege, 1985; Rolf, 1989).



■ *Figuur 5. Chronologie van inlandse eike.*

### Ouderdomseffect

Treffend was overigens dat bijna alle opstanden, uitgezonderd die op de landgoederen Groot Brunink en Hillenraad, ondanks de veroudering van de bomen géén continu afnemende groei vertoonden. Dit zou kunnen betekenen dat ondanks de negatieve beïnvloeding van de groeiplaatsen door onder andere verdroging en veranderingen in de kwaliteit en samenstelling van de omgevingslucht, er een groeistimulus is voor deze bomen. Mogelijk speelt hier de verstikstofing op en rond de hogere Nederlandse zandgronden een rol. Indien dit het geval zou zijn, is een verhoogd groeivolume net zo alarmerend als een verlaagd niveau. Het zijn dan indicaties voor grote veranderingen in het aldaar aanwezige ecosysteem. De grove den op het landgoed Hillenraad vertoonde een voortgaande groeireductie sedert 1954. Aan het einde van de waarnemingsperiode, 1986, bedroeg deze reductie 5 procent per jaar. Dit wordt toegeschreven aan de leeftijd van de opstand in combinatie met de kwaliteit van de groeiplaatsen en het beheer. Mogelijk spelen de effecten van de bruinkoolwinning in dagbouw in het iets zuidelijker gelegen Duitse grensgebied hier ook een rol. In een normale situatie met dunnings eenmaal in de vijf jaar, zal het

grondvlak per boom toenemen met ca. 1 à 2 procent per jaar.

### Tweede Wereldoorlog

Verschillende opstanden vertoonden het "Tweede Wereldoorlog Effect": een afnemende groei in de periode 1930-1940, een toename gedurende de periode 1940-1950 en wederom een afname in de periode 1950-1960. Dit is duidelijk te zien bij de chronologieën van de inlandse eiken van Arcen en Leudal. Ofschoon er een grote overeenkomst te zien is tussen dit groeipatroon en dat van de industriële inspanningen gemeten aan de uitstoot van zwaveldioxide (Figuur 6), is het moeilijk te bewijzen of er een causaal verband bestaat tussen de grondvlakaanwas en luchtverontreiniging (Visser & Molenaar, 1991). Daarbij komt dat gedurende de oorlogsjaren 1940-1945 een niet gedocumenteerde, ongecontroleerde en naar alle waarschijnlijkheid overmatige houtoogst heeft plaatsgevonden. Daar in dit onderzoek de groei is gemeten aan dominante bomen, ligt het gezien de leeftijd van de opstanden in de lijn der verwachtingen dat deze bomen gedurende dat tijdvak hebben geprofiteerd van de toen geschapen grotere groei ruimte per boom. Dit heeft onmiddellijk invloed op de diktegroei (dunningseffect, zie figuur 2).

### Nabeschuiving

Jaarringanalyse als een onderdeel van de dendrochronologie, in combinatie met andere indicatoren voor de vitaliteit, is een geaccepteerde techniek om de causale verbanden aan te tonen tussen boomgroei en luchtverontreiniging (Innes & Cook, 1989; Visser & Maessen, 1989). Ofschoon niet sluitend kon worden aangetoond dat luchtverontreiniging de groei van de bomen beïnvloed heeft in de periode 1930-1986, mag niet worden geconcludeerd dat deze geen invloed heeft op de groei en ontwikkeling van bomen. Dit temeer daar er geen metingen op grotere hoogte, 10 of 20 meter boven het maaiveld, aan de stam hebben plaatsgevonden. Een door stress veroorzaakte verplaatsing van de bijgroei kon daardoor niet worden aangetoond.

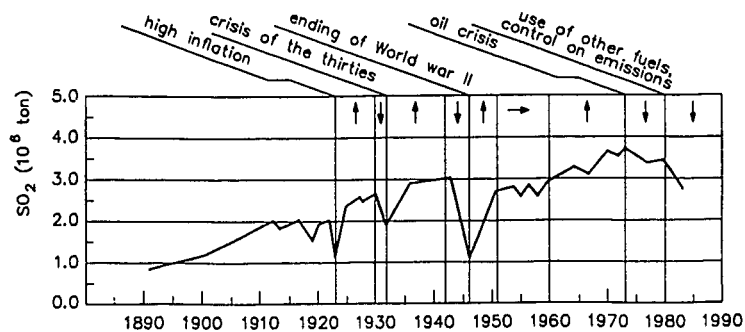
Op grond van de gehanteerde selectiecriteria voor de opstanden en vanwege de ontlening van groeigegevens aan dominante bomen, heeft het onderzoek mogelijk plaatsgevonden in opstanden waar het systeem nog voldoende bufferend vermogen had. Misschien worden groeireducties ten gevolge van luchtverontreiniging in dezelfde opstanden wel aangetroffen bij onderdrukte bo-

men. Deze zijn gevoeliger voor externe stressfactoren omdat ze de lichte ruimte competitie reeds hebben verloren (Eckstein et al., 1989). Een andere mogelijkheid is dat het onderzoek op een te vroeg moment heeft plaatsgevonden. Dit mede tegen de achtergrond van de resultaten uit buitenlands onderzoek zoals vermeld in de paragraaf "Vitaliteit en groei".

Recentelijk zijn de resultaten vrijgekomen van soortgelijk onderzoek in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland. Ondanks niet geheel vergelijkbare methodische benaderingen, formuleren de onderzoekers ongeveer gelijklopende conclusies als hier geëtaleerd (De Kort, 1986; Neumann & Schädler, 1990; Neumann & Pollanschütz, 1988; Schmid-Haas, 1991; Stemberger, 1991; Orthofer, 1991).

### Aanbevelingen voor de praktijk

Uit dit onderzoek is naar voren gekomen dat bij het kwantificeren van groeiveranderingen ten gevolge van luchtverontreiniging een complex van factoren de resultaten beïnvloedt. In dit artikel is daar uitvoerig op ingegaan. Dit neemt niet weg dat ten behoeve van het praktisch geïntendeerde bosbeheer een aantal factoren uitgeschakeld kan worden zodat mogelijk in de toekomst op het niveau van het lokale bosbedrijf, veranderingen van de groei kunnen worden verklaard. Een steeds terugkerend probleem vormt het ontbreken van betrouwbare praktijkgegevens. Bosbeheerders moeten méér aandacht besteden aan het verzamelen en registreren van gegevens die belangrijk kunnen zijn voor het verklaren van groeiveranderingen. Deze kunnen worden benut ten behoeve van het formuleren van schadeclaims, maar evenzo hun nut bewijzen bij de bedrijfsvoering. Het



■ *Figuur 6. Uitstoot zwaveldioxide gedurende de periode 1890-1985.*

gaat hier vooral om voorraad-, aanwas- en oogstgegevens (Jans, 1990; Empfehlungen, 1988; Maessen, 1986). Dit krijgt een nog grotere betekenis naarmate men het beheer meer richt op het stimuleren van spontane processen (Naturgemässe Waldwirtschaft, Pro Silva) binnen de opstanden (Kratzer, 1988). De grotere diversiteit in soorten, leeftijdsklassen en dimensies maakt het bos in termen van data dan nog onoverzichtelijker dan het nu vaak al is.

Het in Zwitserland ontwikkelde Kontrollstichprobeverfahren biedt hiertoe voldoende mogelijkheden en levert de benodigde informatie over de voorraad, bijgroei en samenstelling van de opstand (Schmid-Haas, 1989; Kurt, 1989). Soortgelijke resultaten zijn te behalen met de toepassing van de Winkelzählprobe volgens Bitterlich met behulp van de Relaskop, zeker indien wordt gebruik gemaakt van in het terrein gefixeerde meetpunten. (Bitterlich, 1990; Eckmüller, 1990; Zöhrer, 1973). Beide methoden zijn uitermate geschikt voor het monitoren van de ontwikkeling van de groei; koppelingen met additionele informatie kunnen dan worden gelegd. De "Top-Method" (Bitterlich, 1990), een meetmethode met gefixeerde meetpunten in combinatie met de "Kronenmeter" (Van der Roest & Kopinga, 1989) of soortgelijke apparatuur, is bruik-

baar ten behoeve van een monitorsysteem in stedelijke beplantingen (lanen etc.). Tevens is het van belang over informatie te beschikken met betrekking tot voorvallen die de ontwikkeling van het bos hebben beïnvloed zoals aantastingen, lokale weersextremen en beschadigingen ten gevolge van de bosexploitatie.

De bepaling van de vitaliteit volgens het in Europa genormeerde systeem, kan op bedrijfsniveau zijn waarde hebben mits het wordt gecompleteerd met een op het bedrijfsniveau gericht monitorsysteem zoals hier wordt aanbevolen (Schmid-Haas, 1987; Sagl, 1991). Het verdient daarbij aanbeveling de steekproef te clusteren naar opstandstype, leeftijdsklasse en groeiplaats. Een inventarisatiemethodiek zoals wordt gehanteerd ten behoeve van het opstellen van beheersplannen volgens de richtlijnen van de subsidieverstrekende beleidsdirectie van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, is niet gericht op het zichtbaar maken van de hier gewenste informatie. Deze specifieke informatie gaat dan meestal verloren. Ten behoeve van het vaststellen van groeiveranderingen gekoppeld aan additionele informatie is een meer specifieke benadering

noodzakelijk die het tevens mogelijk maakt eerder gestelde beheersdoelen te controleren. Dit komt het totaal van de bosbedrijfsvoering ten goede!

## Literatuur

- Ancker, J.A.M. van den, Evers, P.W., Maessen, P.P.Th.M., Oterdoom, J.H., Tweel, P.A. van den, 1987; Inventarisatie van boomvitaliteit, een discussie. Nederlands Bosbouw-tijdschrift 12, 405-417.
- Anonymus, 1991; Acidification research in the Netherlands, final report of the Dutch priority programme on acidification (editors G.J. Hey, T. Schneider). Studies in Environmental Science 46. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Nederland.
- Athari, S., 1981; Jahrringausfall, ein meist unbeachtetes Problem bei Zuwachsuntersuchungen in rauchgeschädigten und gesunden Fichtenbeständen. Mitteilungen der Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien 139, 7-27.
- Athari, S., Kramer, H., 1983; Erfassen des Holzzuwachses als Bioindikator beim Fichtensterben. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 767769.
- Athari, S., Kramer, H., 1988; Problematik der Zuwachsuntersuchungen in Buchenbeständen mit neuartigen Schadsymptomen. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 1, 1-8.
- Becker, M., Bräker, O.U., Kenk, G., Schneider, O., Schweingruber, F.H., 1990; Kronenzustand und Wachstum von Waldbäumen im Dreiländereck Deutschland-Frankreich-Schweiz in den letzten Jahrzehnten. Allgemeine Forstzeitschrift 11, 263-274.
- Beek, J. van der, Maessen, P.P.Th.M., 1981; The "Dorschkamp" equipment for measuring width of annual growth rings. Mededeling nr. 191. Rijksinstituut voor het onderzoek in de bosen landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, Nederland.
- Bitterlich, W., 1984; The Relascope Idea. Verlag FOB, Salzburg, Oostenrijk.
- Bitterlich, W., 1990; Ein umfassendes Konzept für Zustandsund Leistungserfassung von Wäldern. Österreichische Forstzeitung 4, 70-71.
- Braam, R.R., Weiss, E.E.J., Burrough, P.A., 1987; Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. Catena 14, 573-584.
- Bräker, O.U., 1991; Der Radialzuwachs an unterschiedlich belaubten Buchen in zwei Beständen bei Zürich und Basel. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 5, 427-433.
- Burg, J. van den, Faber, P., Lynden, K.R. van, Maessen, P.P.Th.M., Wenenink, A.E., Wösten, J.H.M., 1984; Onderzoek naar de relatie tussen vochtvoorziening en boomgroei in het "Oldenzaalse Veen". Rapport 1751. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, Nederland.
- Burg, J. van den, 1983; Zure depositie en luchtverontreiniging, hun betekenis voor het bos. Nederlands Bosbouw-tijdschrift 11/12, 371-379.
- Burg, J. van den, 1991; Verslag van de bijeenkomst van de Sektion Waldernährung im deutschen Verband forstlicher Forschungsanstalten. Rapport nr. 628. "De Dorschkamp" Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer, Wageningen, Nederland.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A., 1990; Methods of Dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nederland.
- Dong, P.H., Kramer, H., 1986; Auswirkungen von Umweltbelastungen auf das Wuchsverhalten verschiedener Nadelbaumarten im nordwestdeutschen Küstenraum. Forst und Holz 11, 286-290.
- Eckmüllner, O., 1990; Moderne Vorratsund Zuwachsschätzung mittels Winkelzählprobe. Österreichischen Forst-Jahrbuch 1990.
- Eckstein, D., Aniol, R.W., Bauch, J., 1983; Dendroklimatologische Untersuchungen zum Tannensterben. European Journal for Pathology 1983, 279-288.
- Eckstein, D., Richter, K., Aniol, R.W., Quiehl, F., 1984; Dendroklimatologische Untersuchungen zum Buchensterben im Südwestlichen Vogelsberg. Forstwissenschaftliches Centralblatt 103, 274290.
- Eckstein, D., Krause, C., Bauch, J., 1989; Dendro-ecological investigations of spruce trees (*Picea Abies* (L.) Karst) of different damage and canopy classes. Holzfor-schung 43, 411-417.
- Eigenschaften des Holzes von Buchen auf Waldschadensgebieten untersucht. 1989. Forst und Holz-wirt 1, 109-110.
- Empfehlungen zur Ertragskundlichen Aufnahme und Auswertungsmethodik für den Themencomplex "Waldschäden und Zuwachs" der Sektion Ertragskunde im deutschen Verband forstlicher Forschungsanstalten. 1988. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 7, 115-116.
- Europese Gemeenschap Verordening 3528/86.
- Faber, P.J., 1983; Concurrentie en groei van bomen binnen een opstand. Uitvoerig verslag band 18(1). Rijksinstituut voor het onderzoek in de bosen landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, Nederland.
- Faber, P.J., 1986; De ruimtekenmerken en de sociale positie bij het vrijstellen van toekomstbomen. Rapport nr. 456. Rijksinstituut voor het onderzoek in de bosen landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, Nederland.
- Faber, P.J., Maessen, P.P.Th.M., Wösten, J.H.M., 1986; De relatie tussen vochttekort en boomgroei in het "Oldenzaalse Veen". Nederlands Bosbouw-tijdschrift 4, 99-105.
- Fischer, H., Rommel, W.D., 1989; Jahrringbreiten und Höhentrieb-längen von Buchen mit unterschiedlicher Belaubungsdichte in Baden-Württemberg. Allgemeine Forst Zeitschrift 11, 264-268.
- Franz, F., 1983; Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 102, 186-200.
- Franz, F., Pretzsch H., Foerster, W., 1990; Untersuchungen zum Jahreszuwachsengang geschädigter Fichten in Südbayern. Forst und Holz 16, 461-466.
- Fritts, H.C., 1976; Tree-rings and climate. Academic Press inc., Londen, Groot Britannië.

- Gerecke, K.L., 1989; Tannensterben und Neuartige Waldschäden, ein Beitrag aus der Sicht der Waldwachstumskunde. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 5, 81-96.
- Hajer, B.D., Kuper, J.H., Maessen, P.P.Th.M., 1989; Ontwikkeling van produktiewaarden in een uitkapvariant. Nederlands Bosbouw tijdschrift 7/8, 194-201.
- Hiege, W., 1985; Wasserhaushalt von Forsten und Wälder und der Einfluss des Wassers auf Wachstum und Gesundheit von Forsten und Wälder: eine Literaturstudie. SWNBL, Utrecht, Nederland.
- Hollstein, E., 1980; Mitteleuropäische Eichenchronologie, Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte. Trierer Grabungen und Forschungen Band XI. Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein, Duitsland.
- Innes, J.L., Cook, E.R., 1989; Tree-ring analysis as an aid to evaluating the effects of pollution on tree growth. Canadian Journal for Forestry Research 19, 1174-1189.
- Jans, M.F.F.W., 1990; Bedrijfseconomische gevolgen van vitaliteitsvermindering. Rapport nr. 597. Instituut voor Bosen Groenbeheer "De Dorschkamp".
- Johann, K., 1977; Eine neue Jahrringmessanlage für Bohrkerne und Stammscheiben. Forstarchiv 10, 204-206.
- Joos, K., 1988; Einfluss des Autobahnverkehrs auf den Zustand umliegender Waldgebiete. Forschungsauftrag 23/86 der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute. Bericht 1988-144 Eidgenössisches Verkehrs und Energiewirtschaftsdepartment, Bundesamt für Strassenbau, Zürich, Zwitserland.
- Joos, K., Masumy, S., Schweingruber, F.H., Staeger, C., 1988; Untersuchung über mögliche Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf den Wald. Technische Mitteilungen PTT 1, 2-11.
- Schweizerischen PTT-Betrieben, Bern, Zwitserland.
- Joos, K., 1990; Jahrringanalysen in den Testflächen des NFP14+, Davos-Alpatal-Lägeren. Holz-Labor Katrin Joos, Basel, Zwitserland.
- Jozsa, L., 1988; Increment core sampling techniques for high quality cores. Special Publication No. SP-30. Forintek Canada Corp., Vancouver, Canada.
- Kenneweg, H., Nagel, J., 1983. Vorschläge für ein mehrphasiges Inventurmodell zur grossräumigen Erfassung des Zuwachsganges in geschädigten Fichtenwäldern. Allgemeine Forstzeitschrift 19, 763-766.
- Kontic, R., Winkler-Seifert, A., 1987; Comparative studies on the annual ring pattern and crown condition of conifers. Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring analysis, 1986. Tarrytown, New York, U.S.A.
- Kontic, R., Bräker, O.U., Nizon, V., Müller, R., 1990; Jahrringanalytische Untersuchungen im Sihlwald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 1, 55-76.
- Kopinga, J., 1979; De aanwasboor als hulpmiddel bij het opsporen van verborgen gebreken van loofbomen. Bericht nr. 96. Rijksinstituut voor onderzoek in de bosen landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, Nederland.
- Kort, I. de, 1986; Wood structure and growth ring width of vital and nonvital Douglas Fir from a single stand in the Netherlands. IAWA Bulletin Vol. 7(4).
- Kramer, H., Dong, P.H., 1985; Kronenanalyse für Zuwachsuntersuchungen in immissionsgeschädigten Nadelholzbeständen. Forstund Holzwirt 40, 115-118.
- Kratzer, H., 1988; Betriebswirtschaftliche Entscheidungen und Strategien der Forstlichen Wirtschaftsführung bei Immissionschäden. Österreichische Forstzeitung 3, 23-25.
- Kurt, A., 1989; Ständig zugängliche waldbauliche Informationen aus der Kontrollstichprobe durch betriebseigene Datenverarbeitung. Allgemeine Forstund Jagdzeitung 6, 132-136.
- Maeglin, R.R., 1979; Increment cores, how to collect, handle and use them. Rapport FPL 25. USDA Forest Service.
- Maessen, P.P.Th.M., 1985; Onderzoek naar de bosbouwkundige planning voor het beoordelen van het beheer van bosbedrijven. Nederlands Bosbouw tijdschrift 7/8, 196-201.
- Maessen, P.P.Th.M., 1986; Bosinventarisatie, bijdrage aan de Studiekring van Koninklijke Nederlandse Bosbouwvereniging. Nederlands Bosbouw tijdschrift 5, 139-143.
- Maessen, P.P.Th.M., 1991; Handleiding voor het gebruik van de aanwasboor. Pius Floris Scholingen, Vught, Nederland.
- Moser, W.G., 1757; Grundsätze der Forst-Oeconomie. Verlag Heinrich Ludwig Brönner, Frankfurt/Leipzig, Duitsland.
- Niehaus, G., 1989; Terrestrische Zustandserfassung von Kiefernkrönen (Pinus Sylvestris), ein differenzierter Anspracheschlüssel. Forst und Holz 8, 200-206.
- Neumann, M., Pollanschütz, J., 1988; Taxationshilfe für Kronenzustandserhebungen. Österreichische Forstzeitung 6, 27-38.
- Neumann, M., Pollanschütz, J., 1988; Waldzustandsinventur 1988, Der Wald hat sich heuer erholt. Österreichische Forstzeitung 11, 14-16.
- Neumann, M., Schadauer, K., 1990; Waldzustandsinventur, methodische Überlegungen und Detailauswertungen. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt nr. 45/1990. Österreichischer Agrarverlag, Wenen, Oostenrijk.
- Orthofer, R., 1991; Integrierte Waldschadensstudie Rosalia: Synopse. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 1/2, 237-251.
- Oudenaarden, H. van, 1987; Jaarringanalyse, houtanatomie en vitaliteit. Dokaarscriptie biologie Rijksherbarium Leiden, Nederland.
- Pelzmann, G., 1989; Dendroklimatologische Untersuchungen über Zuwachsrückgänge bei Fichten. Österreichische Forstzeitung 11, 10-11.
- Phipps, R.L., 1985; Collecting, preparing, crossdating, and measuring tree increment cores. Water-resources investigations report 85-4148. U.S. Geological Survey.
- Prodan, M., 1965; Holzmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, Duitsland.
- Reuss, C., Schroeder, J. von., 1883; Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Verlag Paul Parey, Berlin, Duitsland.

- Roest, P.B. van der, Kopinga, J., 1989;** De toepasbaarheid van lichttransmissie-metingen onder boomkronen bij het vaststellen van de vitaliteit van bomen, een oriënterend onderzoek. Rapport nr. 561. Instituut voor Bosen Groenbeheer "De Dorschkamp".
- Rolf, H.L.M., 1989;** Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland. Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Roloff, A., 1989;** Entwicklung und Flexibilität der Baumkrone und ihre Bedeutung als Vitalitätsweiser; Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung am Beispiel Buche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 9, 775-789.
- Sagl, W., 1991;** Die terrestrischen Erhebungen der Kronenvitalität 1985 und 1988. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 1/2, 145-155.
- Schmid-Haas, P., 1987;** Inventur und Überwachung des Gesundheitszustandes des Waldes. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 10, 837-853.
- Schmid-Haas, P., 1989;** Schweizer Kontrollstichprobeverfahren in der Forsteinrichtung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 1, 43-56
- Schmid-Haas, P., 1990;** Kronenverlichtung und Waldwachstum. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 3, 189-209.
- Schmid-Haas, P., 1991;** Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 6, 505-512.
- Schütz, J.P., 1989;** Zum problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 12, 1069-1083.
- Schweingruber, F.H., 1983;** Der Jahrring. Verlag Paul Haupt, Bern, Zwitterland.
- Schweingruber, F.H., Wehrli, U., Aellen-Rumo, K., Aellen, M., 1991;** Weiserjahre als Zeiger extremer Standortseinflüsse. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 1, 33-52.
- Stemberger, A., 1991;** Baumsterben in Österreich, aber stirbt deswegen der Wald? Allgemeine Forst Zeitung 15, 754-755.
- Visser, H., Maessen, P.P.Th.M., 1989;** Responses of trees to weather variations and air pollution: tree-ring research in the netherlands. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989 Volume 2. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Nederland.
- Visser, H., Maessen, P.P.Th.M., 1990;** Responses of trees to weather variations and air pollution: A tree-ring based approach. Rapport nr. NPZR 73-7. N.V. Kema, Arnhem, Nederland.
- Visser, H., Molenaar, J., 1991;** Estimating trends and stochastic response in dendro-ecology with an application to fir decline. Forest Science, in druk.
- Vries, P.G. de, 1986;** Sampling theory for forest inventory. Springer-Verlag, Berlin, Duitsland.
- Weimann, H.J., 1983;** Schäden durch Immissionsbedingte Fichtentrocknis. Allgemeine Forstund Jagdzeitung 1, 24-26.
- Worbes, M., 1989;** Abrupte Zuwachsreduktionen an Fichten aus dem Harz. Forst und Holz 10, 254-259.
- Zajaczkowski, J., Lech, A., Kopyrk, W., 1989;** Ein Nelder Planzversuchsversuch mit Kiefer (Pinus Sylvestris L.) in SüdostPolen. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung 9/10, 205-209.
- Zöhrer, F., 1973;** Methodische Details und Effektivität der Winkelzählprobe für die Forstinventur. Forstwissenschaftliches Zentralblatt 4, 169-182.