

## Planning en controle in ongelijkjarig bos

**In het kader van de studiering 1992 wordt aandacht besteed aan vormen van bosbeheer die aansluiten bij het "Pro Silva" thema. Deze vormen van bosbeheer zijn relatief nieuw in de Nederlandse bosbouw. Een bosbeheersvorm is in feite een uitgewerkte strategie. Bij het ontwerpen van een bosbeheersvorm dient men te onderkennen welke bospatronen (-typen, -structuren), met daarbij behorende processen, de "produkten" leveren die men zich ten doel stelt. De beheersvorm, een teeltsysteem én een planning en controlesysteem, is dan het middel om dat doel te bereiken. Het moge duidelijk zijn dat, indien men nieuwe beheersvormen implementeert, niet zonder meer planning- en controle-systemen gebruikt kunnen worden die voort komen uit de traditioneel toegepaste beheersvormen. Nadat de rol van planning en controlesystemen is uiteen gezet, wordt aandacht besteed aan planning en controle zoals die kan worden toegepast in ongelijkjarig bos. Het is immers te verwachten dat een deel van het Nederlandse bos, onder invloed van de Pro Silva gedachte, zal worden omgevormd naar ongelijkjarig bos.**

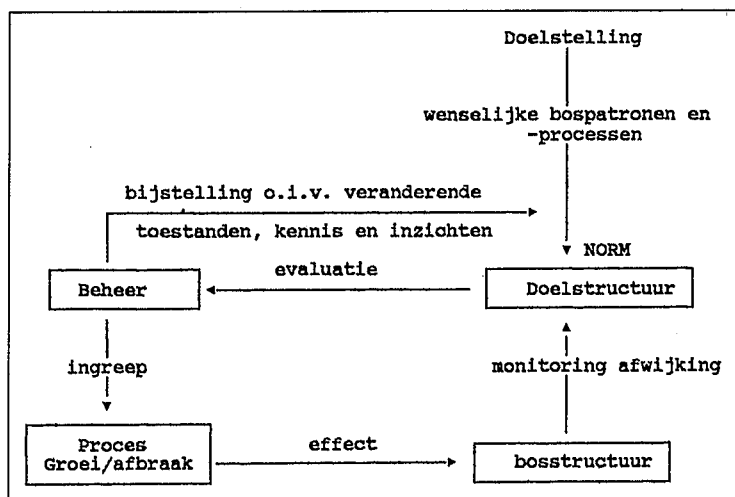
Het beheer van bos is doelgericht. Elk doelgericht handelen impliceert dat toekomstige ont-

wikkelingen worden ingeschat en worden meegewogen in een beslissing. Dit betekent dat planning wordt bedreven. "Planning is de activiteit om doeleinden te bereiken over een toekomstige tijdsperiode. Het doel is deze doeleinden te bereiken met een optimale benutting van beschikbare middelen" (Van 't Klooster, 1981, in Schürer, 1992). Om na te gaan of doeleinden inderdaad worden benaderd is controle, evaluatie van de effecten van acties, verbonden aan planning.

Nadat is vastgesteld welke bosstructuren de gewenste produkten en diensten opleveren (strategische planning), dient men over te gaan op een vorm van bosbouwkundige planning. Op basis van een diagnose van de groeiplaats en (actuele) bosstructuur, wordt een prognose gemaakt van de ontwikkelingen en sturingsmogelijkheden. Op grond van de beheersdoelstellingen wordt de prognose uitge-

werkt in een teeltdoel en worden de teelmaatregelen vastgesteld (naar Leibundgut, 1973). Uiteindelijk betreft dit het centrale probleem in het bosbeheer: de doelgerichte manipulatie van deze structuur en processen.

De bosbouwkundige planning kan worden uitgevoerd door de actuele bosstructuur te toetsen aan een of andere wenselijke toestand. Een voorstelling van een dergelijk gewenste ideale toestand (b.v. uitgedrukt in bosdoeltype of doelstructuur) is een abstractie (model) van de werkelijkheid. Dit model kan expliciet geformuleerd zijn in een beschrijving, een set wiskundige vergelijkingen of een grafische afbeelding, maar ook impliciet zijn (mentaal model). Het model doet dienst als norm, een maatstaf bij de beoordeling van de bosstructuur en de gewenste veranderingen daarin. In verloop van tijd zal een beheerder in een regelkring steeds de werkelijkheid toetsen



■ *Figuur 1: Regelkring waarin actuele toestand wordt getoetst aan norm (Naar Schürer, 1991)*

aan deze maatstaf en aan de hand van de vergelijking bepalen welke maatregelen genomen moeten worden (zie figuur 1).

De ideale toestand of norm kan per definitie niet statisch zijn. Deze verandert voortdurend door veranderingen in de maatschappelijke vraag, veranderingen in het bos (bosontwikkeling) en verandering in ecologische en teeltkundige kennis.

Onlangs concludeerde Buiting (1992) op grond van deze overweging dat eindtoestandplanning zoals hij dat noemt, ongeschikt is voor bosbeheersplanning. Echter, indien de doeltoestand of norm wordt gewaardeerd voor wat het is: een momentopname van een ideaal, en wordt gebruikt als referentie voor de actuele toestand, is het concept bruikbaar. Uiteindelijk is de planning in het bosbeheer een mix van einddoel- en procesplanning (vergeleijk Bos en Hekhuis, 1992).

Zoals gesteld behoeft zo'n ideaalbeeld niet noodzakelijkerwijs uitgedrukt te worden in een of ander tastbaar model. Het kan ook bestaan in het hoofd van een beslisser. Dit beeld is dan echter niet makkelijk over te dragen, en/of te bediscussiëren.

### **Rol van norm(maal)modellen**

Het gebruik van een ideaalbeeld als norm wordt reeds lang toegepast in de Nederlandse bosbouw. Het betreft een rechte of scheve normale verdeling van de bosoppervlakte over leeftijdsclassen. Het is een model dat, voor leegkapbos, het evenwicht weergeeft tussen doelstellingen, groeiplaats, bossamenstelling, bosontwikkeling en beheersmaatregelen.

Nu is het niet zo dat een dergelijk

model expliciet in een beheersplan behoeft te worden toegepast om een rol te spelen in het beheer. Het ideaalbeeld van het leegkapsysteem, en de daaraan ten grondslag liggende aannames, zijn door bosbeheerders zo sterk geïnternaliseerd, dat deze bij velerlei beslissingen een rol spelen. Aannames die behoren bij het normaalmodel zijn gericht op homogeniteit, horizontale kroonlagen, de afloop van een produktieperiode, normale opstand-ontwikkeling. Begrippen die deze aspecten weergeven zijn onder meer: omloop, kaprijpheid, volkomenheid, dunning ten gunste van de eind-opstand, opstand-ontwikkelingsfase, opstand-stabiliteit. Wie wel eens een excursie van Pro Silva heeft meegemaakt, en de discussies heeft beluisterd zal kunnen bemen dat deze begrippen een belangrijke rol spelen in de beoordeling van ontwikkelings- en sturingsmogelijkheden.

Reininger (1987) geeft een voorbeeld van de rol van dergelijke geïnternaliseerde normen. Bij zijn analyse van een methode die "Vorratswirtschaft" wordt genoemd, stelt hij dat de oorzaak van het falen van dit systeem ligt in het onvermogen diep ingeslepen sjablonen, het leegkapsysteem, te verlaten. Het streven naar relatief gesloten opstanden bleek te sterk en men betrachtte bij de "Pflege" niet de goede criteria ten aanzien van de oudere bomen. Het doorbreken van de kroonlagen werd niet voldoende uitgevoerd.

Ook in Nederland kan men iets dergelijks waarnemen. Natuurlijke verjonging is "in", en men kan her en der waarnemen dat maatregelen worden genomen ten gunste van deze verjonging. De maatregelen zijn in het algemeen gericht op het laten op-

groeien van de verjonging door steeds een deel van het scherm te lichten. Totdat uiteindelijk een volgende generatie met een gesloten kroonlaag is gerealiseerd.

Voorgaande observaties leiden tot de volgende stelling: indien men de homogene, gelijkjarige, bossen wil omvormen naar min of meer ongelijkjarig, heterogeen bos, dan dient men expliciet te formuleren welk (teelt)doel men na streeft met het beheer. Dit dient te zijn geformuleerd in termen die de bosstructuur en daaraan verbonden processen representeren. Het teeltdoel moet dan worden beschouwd als het ideaal zoals hierboven beschreven, geen statisch gegeven maar een tijdsafhankelijk referentiekader.

Het is evident dat de toe te passen modellen adequaat moeten zijn. Dat wil zeggen dat het model de bospatronen en structuren weergeeft, welke men vindt in de werkelijkheid, respectievelijk wenst te creëren. In het hiernavolgende wordt aandacht besteed aan ongelijkjarig bos, één van de mogelijke consequenties van de "Pro Silva" benadering.

### **Ongelijkjarig bos**

Een eerste model van ongelijkjarig bos is een beschrijving of definitie. Een definitie van ongelijkjarig bos kan zijn: een bos bestaande uit bomen van verschillende leeftijden en ontwikkelingsfasen die zich ontwikkelen in significante interactie met elkaar (Hahn and Bare, 1979). Indien men dit wil detailleren dan past alleen maar de volgende beschrijving die Biolley geeft van een uitkapbos (naar Favre, 1982) "Wollte man den Plenterwald charakterisieren, so könnte man zuerst sagen, dass er immer lebendig ist, und sich dadurch gründlich vom regelmässigen Hochwald unterscheidet. Der

Plenterwald ist stufig und gemischt, und der auf der Ganzen Fläche verteilte Vorrat erfährt möglichst geringe Vorratsschwankungen. Die von den Bäumen benützte Schicht der Atmosphäre ist in der ganze Höhe von Chlorophyll erfüllt. Der Verjüngungsvorgang ist immerwährend. Alle aufeinanderfolgende zeitlichen Zustände finden sich gleichzeitig auf kleinster Fläche vereinigt; man trifft also jedes Baumalter oder vielmehr, da das Alter im Plenterwald keine Rolle spielt, alle Baumdurchmesser vom Keimling bis zum Altholz".

In dergelijke bossen is de relatie tussen de individuele boom en de totale boompopulatie anders dan in gelijkjarige bossen. Naar Reininger (1987) zou men het volgende kunnen stellen:

De bovenlaag (> 2/3 verticaal bezette groeirimte) bestaat uit min of meer vrijstaande bomen, met diepe kronen, die het groeipotentieel ten volle benutten. H/d verhoudingen liggen tussen de 30 en de 70. Ze zijn stormvast en dragen belangrijk bij aan de bosstructuur. De bomen doen dienst als waardebijgroeier, zaadbronnen, ze bieden bescherming voor verjonging, maar leiden ook tot natuurlijke stamtalvermindering in de opgroeiende verjonging.

De middenlaag (1/3-2/3 verticaal bezette groeirimte) bevindt zich in de windschaduw van de bovenlaag. Het zijn de reservebomen die een relatief hoge houtbijgroei kennen, die dienen voor takreiniging van oudere bomen en een rol hebben bij de ontwikkeling van de verjonging. De ontwikkeling van deze middenlaag is afhankelijk van het aantal bovenlaag-bomen (kroonprojectie). Een zwak bezette bovenlaag laat

de middenlaag gesloten opgroeien en leidt tot gelijkvormigheid. Een te zware bovenlaag geeft de middenlaag te weinig kansen.

De onderlaag: zaailingen en opgroeiende boompjes, waarvan de doorgroei voor een groot deel afhankelijk is van de structuur en dichtheid van de bovenliggende kroonlagen.

### Planning en controle

Planning is het vaststellen van in de toekomst te nemen maatregelen ten einde gestelde doelen te bereiken. Het planning en controlesysteem kent beslissing- en evaluatiecriteria die kenmerkend zijn voor de na te streven bosstructuur (de maatstaf). Deze doelstructuur beschrijft het evenwicht in de wisselwerking tussen beheersingrepen en biologische dynamiek van het bos. Belangrijk is dat doelen in relevante, meetbare beslissingscriteria zijn uitgewerkt. Daarnaast dienen deze criteria, direct of indirect, manipuleerbare grootheden te vertegenwoordigen om de uitvoering van het plan mogelijk te maken. Om controle te kunnen uitvoeren dient men over meetmethoden te beschikken om deze variabelen, en de veranderingen daarin, waar te nemen, en over een schaal waarop men de waarnemingen kan waarderen. Een dergelijke schaal maakt het mogelijk te bepalen in hoeverre er sprake is van een verandering ten opzichte van een vroegere waarneming.

De bosstructuur is een belangrijk criterium indien men streeft naar ongelijkjarig bos. Andere criteria kunnen zijn: het niveau van de bijgroei, de verhouding houtvoorraad-bijgroei, soortensamenstelling, diversiteit, hoeveelheid dood hout, voorkomen van biotopen voor fauna. In het algemeen: criteria die beheersdoelstellingen representeren.

Het begrip bosstructuur is niet eenduidig gedefinieerd. Het begrip houdt verband met de horizontale en verticale benutting van de groeirimte.

In een eerder artikel (De Klein, 1991) is een aantal methoden gepresenteerd waarmee men de bosstructuur kan analyseren. Hierna volgt een case studie waarin een aantal analyses wordt uitgevoerd. Dergelijke analyses kunnen onderdeel zijn van een planning en controlesysteem.

### Het Kolkbos

De case betreft het Kolkbos, deel van het landgoed Schovenhorst. Het Kolkbos is 21.0 ha. groot. Dit deel van het bos is in het verleden beheerd volgens een kleinschalig vlakke- en groepenkapsysteem. In het beheersplan 1984-1993 is vastgelegd dat het beheer streeft naar een verticaal gestructureerd, ongelijkjarig bos. Dit in het kader van de doelstelling voor Schovenhorst, waarin onder meer wordt gesteld: "het zodanig verzorgen van het bos dat de groei zowel in kwantitatief als kwalitatief opzicht wordt bevorderd en de natuurlijke groeiplaatskwaliteit in stand wordt gehouden". Hiertoe wordt een selectief kapsysteem gehanteerd. Let wel, er is momenteel sprake van een bos in overgang. Sinds 1984 wordt door de vakgroep bosbouw van de LUW een net van permanente steekproefpunten onderhouden om de ontwikkelingen te volgen. De steekproefoppervlakte omvat 2.75 ha. in 138 steekproefpunten met een oppervlakte van 2 are, 13% van het totale oppervlak. Omdat de waarneming een steekproef betreft, zijn alle gegeven waarden gemiddelden per ha. met een bijbehorende spreiding. Terwille van de case studie wordt het gemiddelde beschouwd als representatief voor de gehele oppervlakte. Voor grotere oppervlakten

**Tabel 1: Gegevens inventarisatie Kolkbos (Methode du Controle)**

Inventarisatie 1984		kap 84-88		Inventarisatie 1988		Geplande Kap 1989	
Diameterklasse	Stamtal Kapvolume	Voorraad	Kapstamtal	Kapvolume	Stamtal	Voorraad	Kapstamtal
>72	1	7	0.4	2.9	1	6	0.4
60-72	6	22			7	30	0.4
48-60	21	53	1.1	2.6	23	58	1.5
36-48	68	99	2.3	2.4	73	108	9.4
24-36	114	83	12.8	8.7	100	73	21
12-24	148	28	15.4	3.4	170	33	26
Totaal	358	292	32	20.68	374	308	58
							41.2

is het wenselijk te toetsen in hoeverre de bosstructuur varieert over de relevante bosoppervlakte, bijv. door per plot een maat voor de bosstructuur op te nemen.

Het bos staat op relatief middelmatige bosgronden, waarop de douglas bevredigend groeit (ca. 9 m<sup>3</sup>/ha/jr). In 1988 bestond het bos uit douglas (56%), overige naalddoorten (20%) en loofsoorten (24%), voornamelijk beuk en eik. De percentages zijn gebaseerd op stamtallen van bomen met een diameter > 12 cm. (de meetdrempel).

**Methode du Controle**

Biolley (1928) stelde dat planning (in zijn woorden bedrijfsregeling) tot taak heeft: "de hoeveelheid bijgroei te bepalen en de samenhang tussen voorraad, bijgroei en voorraad-structuur vast te stellen. Aan de hand daarvan aangeven van de mogelijke kap in de volgende beheersperiode in het licht van duurzame en zo mogelijk stijgende houtopbrengsten". Periodieke inventarisaties verschaffen inzicht in de effecten van uitgevoerde ingrepen. De waargenomen bijgroei geeft de mogelijke kap. Biolley stelde dat het niet mogelijk is een evenwicht-

tige doelstructuur te voorzien of te berekenen, deze zogenaamde 'etale' is slechts te bereiken door middel van de experimentele bosbehandeling.

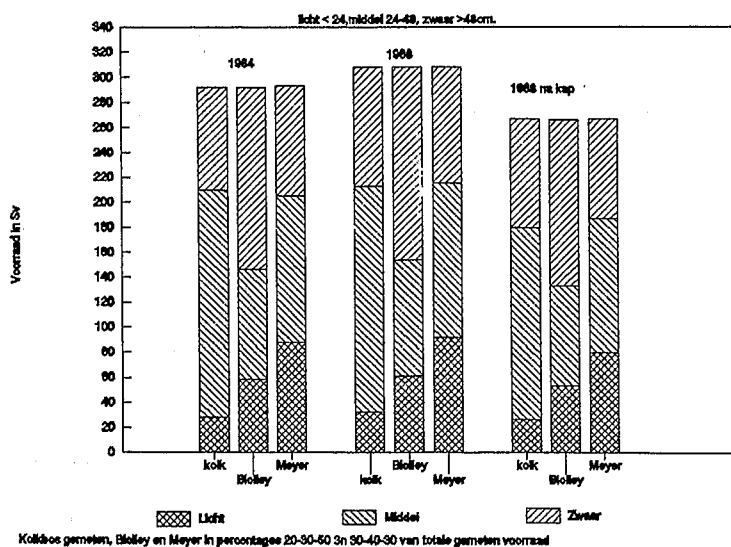
De volgende kencijfers zijn uit de inventarisaties verkregen, de kencijfers zijn per ha. gegeven:

De ingroei boven de meetdrempel wordt bepaald uit  $N_2 - N_1 + \text{kap} = 374 - 358 + 32 = 48$ . De bijgroei in kubieke meters uit  $V_2 - V_1 + \text{kap} = 308 - 292 + 21 = 37 \text{ m}^3$ . Daarvan is de ingroei 5.3 m<sup>3</sup>. De bijgroei per jaar is ongeveer 9 m<sup>3</sup> per ha.

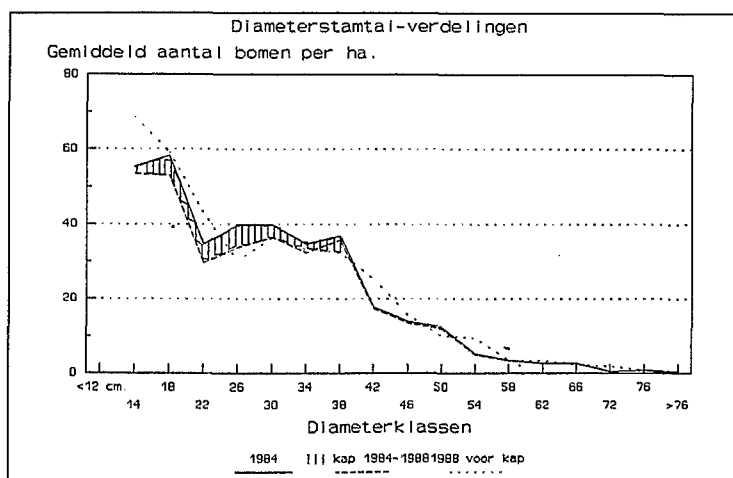
Uit de gegeven kencijfers is af te leiden dat de kap in de periode 1984-1988 slechts de helft bedraagt van de bijgroei. Aangezien de gemiddelde voorraad geen enkele aanleiding geeft tot sparen lijkt deze ingreep onvoldoende. De kap uitgevoerd in 1989 komt ongeveer overeen met de gemeten bijgroei.

Als enige kenmerk van een doelstructuur geeft Biolley een verdeling van de houtvoorraad over de de diameterklassen (licht-middel-zwaar) in een percentage van de totale voorraad: 20-30-50%. Meyer (1952) stelt daaren-

**Voorraad naar zwaarteklassen**



■ **Figuur 2: Voorraadverdeling Kolkbos naar diameter-zwaarteklassen.**



■ **Figuur 3: Diameter-stamtalverdelingen Kolkbos 1984 en 1988.**

tegen dat een ideale verhouding 30-40-30 is. In figuur 2. is de verdeling van het Kolkbos afgezet tegen deze percentages. De gehanteerde diameterklassen-grenzen zijn (dbh in cm.): 48 zwaar. De voorraadverdeling in het Kolkbos is niet evenwichtig indien men dit vergelijkt met verdelingen in ongelijkjarige bossen. De ingroei in de lichtere diameterklassen is kennelijk onvoldoende, terwijl er een overmaat is in de middelklasse. Zonder ingrijpen in de middelklasse leidt dit tot veroudering van het bos.

**Diameter-stamtalverdeling**

Een maat voor de bosstructuur is de diameter-stamtalverdeling. In figuur 3 is de diameterstamtalverdeling gegeven van het Kolkbos. Een model voor een ideale diameter-stamtalverdeling van een ongelijkjarig bos in evenwicht is de negatief-exponentiële kansdichtheid. Een ongelijkjarig bos in evenwicht wordt gedefinieerd als een bos waarin de lopende bijgroei kan worden geoogst, waarbij de bosstructuur, gerepresenteerd door de diameter-stamtalverdeling, in stand blijft evenals het initiële voorraadniveau (Davis and Johnson, 1987). Voor een bepaald bos is de bos-

structuur specifiek, afhankelijk van groeiplaats-eigenschappen, boomsoorten en beheersingrenpen (Schütz, 1981). Modelmatig wordt dit weergegeven in het niveau van de diameter-stamtalcurve (dichtheid of voorraadniveau) en het verloop daarvan. Een negatief exponentiële stamtalverdeling vormt een rekenkundige reeks waarin het stamtal in de afnemende diameterklassen toeneemt met een vast quotiënt  $q$ :  $n, nq, nq^2, \dots$ . Een wiskundige formulering van deze reeks luidt:

$$N_i = ke^{-adi}$$

- $N_i$  = Aantal bomen in diameterklasse  $i$
- $d_i$  = diameterklasse
- $e$  = grondgetal natuurlijk logaritme
- $k$  = relatieve dichtheidsindex
- $a$  = stamtalafname-quotiënt

Schatting van de parameters voor de diameter-stamtalverdeling van het Kolkbos (1988 na kap, 4 cm. klassen), levert de waarden 102.058 voor  $k$ , en 0.2609 voor  $a$  ( $R^2 = 0,93$ ). De bijbehorende  $q$  waarde kan worden berekend uit

$$q = e^a = 1.29$$

Voor (beheerde) bossen in mid-den europa worden voor ongelijkjarige bossen in evenwicht waarden voor  $q$  gerapporteerd tussen 1.3-1.7 (Knuchel, 1950), terwijl in natuurlijke ongelijkjarige bossen in Noord-Amerika waarden zijn gevonden tussen 1.2 en 1.9 (Davis and Johnson, 1987).

Op basis van de negatief-exponentiële verdeling zijn er verschillende modellen ontwikkeld om een evenwichtstructuur te representeren (Voorbeelden in Alexander and Edminster, 1976, Leak, 1965, Meyer, 1952, Prodan, 1949, Zeide, 1984).

Terwille van de analyse van de bosstructuur in het Kolkbos, is een model gekozen met de volgende opstandparameters (Davis and Johnson, 1987):

- $N_{max}$  = aantal stammen in grootste diameterklasse
- $q$  = quotiënt waarmee stamtal afneemt in de opvolgende diameterklassen (De Lioucourt constante)
- $G$  = dichtheid in grondvlak ( $m^2/ha.$ )
- $D_{max}$  = grootste (geplande) diameterklasse
- $D_{min}$  = minimum diameter (meetdrempel)

Een evenwichtstructuur kan worden berekend indien 4 van de 5 parameters bekend zijn:

$$N_{max} = \frac{G}{\sum g_i q^{(D_{max}-D_i)W}}$$

- $W$  = diameterklasse-breedte
- $g_i$  = gemiddeld grondvlak van een boom in diameterklasse  $i$

Door de waarden voor de parameters te variëren kan men een model zoeken voor de balans tussen groeiplaats, soortensamenstelling en doelstelling.

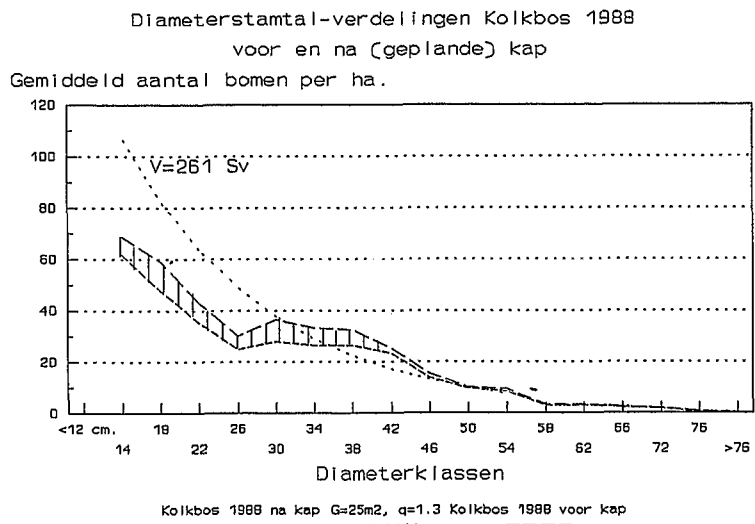
In deze case is een model gekozen met de volgende parameterwaarden:  $G = 25 \text{ m}^2/\text{ha.}$ ,  $D_{\text{max}} = 54 \text{ cm.}$  en  $q = 1.3$ . Dichtheid ( $G$ ) en doeldiameter zijn een uitdrukking van inzicht in groeiplateiseigenschappen en produktiedoelstellingen. De waarde voor  $q$  is onder meer afhankelijk van het schaduwverdragend vermogen van de aanwezige boomsoorten: hoe lager de  $q$ , hoe groter het aandeel zware bomen. Dit houdt in dat een relatief groot aantal bomen de zwaardere diameterklassen bereikt. Je zou het kunnen vertalen tot: hoeveel "kleine" bomen zijn er nodig om een bepaald aantal bomen van de doeldiameter te bereiken. Uiteindelijk is de structuur van een ongelijkjarig bos afhankelijk van de lichtbehoefte van de aanwezige boomsoorten in de verschillende ontwikkelingsfasen. Een hogere  $q$  waarde dan 1.3 vraagt een uitbundige verjonging. De eigenschappen van de aanwezige boomsoorten laten dit waarschijnlijk niet toe.

Het gekozen evenwichtmodel is gegeven in figuur 4, tesamen met de diameterstamtal verdelingen van het Kolkbos 1988, voor en na (geplande) kap. Het volume dat behoort bij het evenwichtmodel is  $261 \text{ m}^3$  per ha.

De vergelijking tussen de actuele toestand en het evenwichtmodel duidt op onvoldoende verjonging. Deze wordt onder meer veroorzaakt door te veel bomen in de middel en zware diameterklassen. Deze vormen over te veel oppervlakte een dicht kronendak waardoor verjonging geen kans krijgt in te groeien.

### Dynamiek

De gepresenteerde modellen zijn statisch. Zoals getoond kunnen ze dienen als referentie voor de actuele toestand. Een dynami-



■ Figuur 4: Evenwichtmodel Kolkbos bij  $G = 25 \text{ m}^2$ ,  $D_{\text{max}} = 54 \text{ cm}$  en  $q = 1.3$ .

sche benadering kan geschieden met behulp van een Transition matrix model dat wordt gebruikt voor de beschrijving van dynamiek in ongelijkjarig bos (Usher, 1966, Pukkala and Kolström, 1988).

In het matrix-model wordt de toestand van de boompopulatie, de diameter-stamtalverdeling, beschreven door een vector, terwijl verschuivingen, i.e. doorgroei door de diameterklassen, worden weergegeven in matrices.

Dit model maakt het mogelijk de

effecten van alternatieve kapingrepen te simuleren, dan wel vast te stellen welke (gesimuleerde) kapingrepen leiden tot een gekozen evenwichttoestand.

Het aantal bomen in iedere diameterklasse op een gegeven tijdstip  $t$  wordt uitgedrukt door  $N_{1t}, N_{2t}, N_{3t}, \dots, N_{nt}$ . Het gehele bos (opstand) op tijdstip  $t$  wordt gerepresenteerd door de vector  $[N_t]$ .

De dynamiek van het bos wordt gemodeleerd met behulp van de vector  $[N_t]$ , de transitionmatrix  $T$  en de kapmatrix  $H$ :

$$[N_t] \begin{bmatrix} N_{1t} \\ N_{2t} \\ \vdots \\ N_{it} \\ \vdots \\ N_{nt} \end{bmatrix} = H = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & k_2 & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & k_3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & k_n \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} a_1+c_1 & c_2 & c_3 & \dots & \dots & c_n \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & b_3 & a_3 & 0 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & b_4 & 0 & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & b_n & a_n \end{bmatrix}$$

In de transitionmatrix  $T$  is  $a_i$  de kans dat een boom in diameterklasse  $i$  op tijdstip  $t$ , op tijdstip  $t+1$  zich in dezelfde klasse bevindt (blijvers).  $b_i$  is de kans dat een boom die op tijdstip  $t$  zich bevindt in klasse  $i-1$ , op tijdstip  $t+1$  is doorgesloegen naar klasse  $i$  (springers). Het aantal nieuwe bomen, ingroeiers boven de meetdrempel, wordt gegeven door de coefficient  $c_i$ . Het geeft het aantal bomen dat ingroeit in het gat dat wordt gemaakt door de uitkap van een boom van diameterklasse  $i$ . De uitkap wordt (indirect) weergegeven in  $H_i$ , waarin  $k_i$  is de kans dat een boom in diameterklasse  $i$  niet wordt gekapt in het tijdsinterval. Er volgt dan

$$T \cdot [N_t] = [N_{t+1}] \quad N^* = \text{toestand voor kap}$$

$$H \cdot [N_{t+1}] = [N_{t+1}] \quad N = \text{toestand na kap}$$

Voor een ongelijkjarig bos in evenwicht  $[N_s]$  geldt

$$H \cdot T \cdot [N_s] = [N_{s+1}] = [N_s]$$

Hiermee kan de eenheidsmatrix  $H$  bepaald worden:

$$H \cdot T \cdot [N_s] = H \cdot [N_s] = [N_s]$$

De kans dat een boom in diameterklasse  $i$  niet wordt gekapt is in de evenwichtstoestand constant, in de overgang naar dit evenwicht wordt per diameterklasse deze kans gecorrigeerd met  $(N_s/N_i)^2$ .

Een simulatie is uitgevoerd waarbij als evenwichtverdeling is genomen het alternatief dat hiervoor is gedefinieerd:  $G = 25 \text{ m}^2/\text{ha}$ ,  $D_{\text{max}} = 54 \text{ cm}$ . en  $q = 1.3$ .

■ *Figuur 5: Simulatie diameter-stamtaal ontwikkeling voor  $G = 25$ ,  $D_{\text{max}} = 54$  en  $q = 1.3$ .*

De stamtaalverdeling behorend bij dit evenwicht is (zie ook figuur 4):

$d_i$	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54
$N_i$	107.6	82.9	63.8	49.1	37.8	29.0	22.3	17.2	13.2	10.2	7.8

De fractie springers (voor kap) in diameterklasse  $i$  ( $b_i$ ) en de fractie blijvers in diameterklasse  $i$  ( $a_i$ ) zijn berekend volgens Prodan (1949)

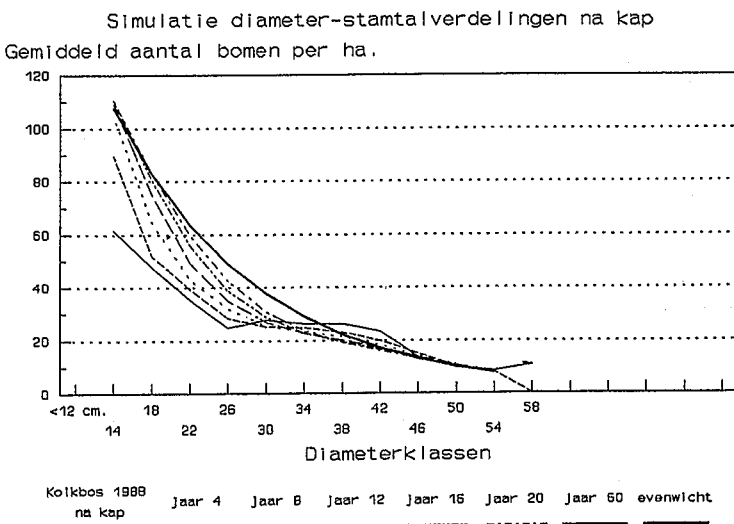
$$b_i = \frac{id_{i-1}}{w} \quad \text{en de fractie blijvers in klasse } i \text{ is } a_i = 1 - b_i$$

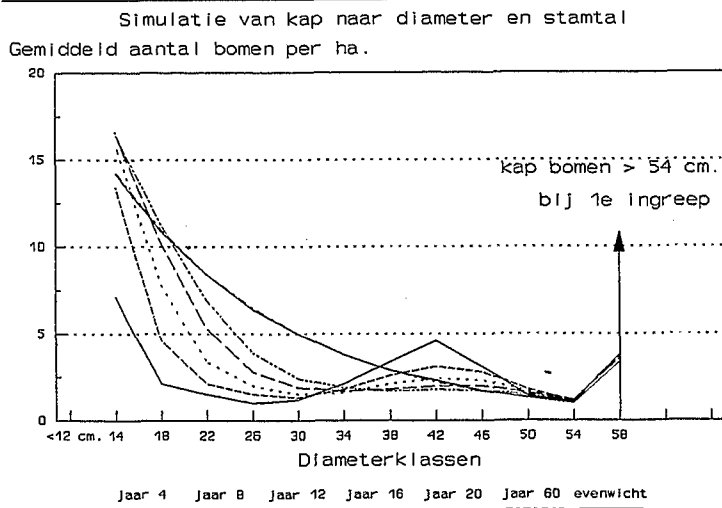
$id_i$  = diameterbijgroei in diameterklasse  $i$  in cm.  
 $w$  = klassebreedte van de diameterklassen.

Ten behoeve van deze simulatie is de diameterbijgroei geschat op basis van twee inventarisaties. De bijgroei van de bomen tussen de meetdrempel en de maximum waargenomen diameter bleek een grote variantie te hebben. Een significante verklaring werd slechts gevonden in het grondvlak ( $G$ ), de diameter zelf had geen invloed op  $id$ . Dit model luidt:  $id = 2.354 - 0.0240G$ . De fractie springers is daarmee 0.439 voor  $G = 25 \text{ m}^2/\text{ha}^{-1}$ . Er is geen onderzoek verricht naar de ingroei in het systeem.

Het is te verwachten dat deze ingroei niet alleen afhankelijk is van het aantal gekapte bomen, maar eveneens van de dimensie van deze bomen (het gat in het kronendak). Aangenomen mag worden dat de ruimte die door kap ontstaat in het kronendak, bij kleine bomen volledig wordt ingenomen door buurbomen, terwijl door het wegnemen van zware bomen kansen ontstaan voor de ingroei van nieuwe bomen. Hier is slechts aangenomen dat er zoveel ingroei plaats vindt, als in de evenwichtige toestand noodzakelijk is (61.3 bomen), gecorrigeerd voor het totale grondvlak op tijdstip  $t$ .

De resultaten van de simulatie zijn gegeven in de figuren 5, 6, en 7. Hierbij wordt aangetekend dat in deze simulatie volumes zijn berekend met een eenheidstarief, en dat alle bomen dikker dan de doeldiameter zijn ingedeeld in de klasse 54. Als gevolg hiervan verschilt het hier gegeven volume voor de toestand in 1988 iets van de eerder gegeven cijfers.





■ *Figuur 6: Simulatie kap naar diameter en stamtal.*

Uit de simulatie blijkt dat het evenwicht wordt benaderd tussen jaar 40 en 60, gegeven de aannames en vastgestelde groei. Het effect van het kiezen van een doeldiameter in het model is dat steeds alle bomen die dikker zijn dan de doeldiameter gekapt worden. Bij de eerste ingreep leidt deze aanname tot een rigoreuze (modelmatige) ingreep.

De simulatieresultaten suggereren dat het mogelijk is een evenwichtige ongelijkjarige bosstructuur te bereiken door een selectief kapregime. Het oogstniveau komt overeen met het niveau van de bijgroei, alleen verschilt de oogst per periode naar diameterklassen. Voorwaarde is, zie modelaannames, dat voldoende ingroei wordt gerealiseerd.

### De praktijk

De analyses als hiervoor gegeven zijn een goede vingeroefening, maar wat is daarvan de waarde voor de beheerspraktijk? Immers, een plan moet uiteindelijk uitmonden in een kap die moet leiden tot een gewenste bostoestand. De kapbeslissing kent twee belangrijke criteria:

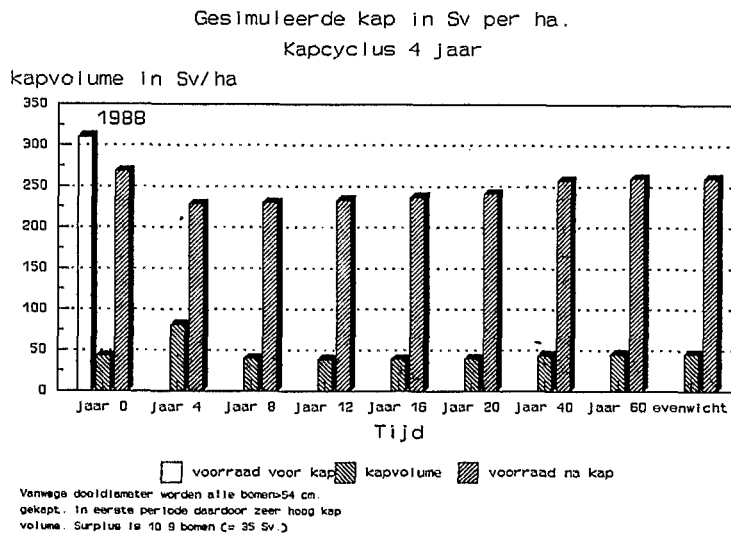
1. het oogstniveau, dit volgt uit de kapcyclus en de voorraad van het bos die men normaal acht (evenwichtsvoorraad).
2. de structuur van de bosopstand, uitgewerkt in criteria die men toepast bij de keuze van te kappen bomen.

Eerder is aangegeven dat men hiertoe de actuele bosstructuur toetst aan een maatstaf. In Nederland hebben we niet de beschikking over ongelijkjarig bos en/of ervaring met ongelijkjarig bosbeheer. Dientengevolge beschikken we niet over een maatstaf, anders dan maatstaven gebaseerd op verwachtingen en aannames voortgekomen uit ervaringen elders. De effecten van alternatieve ingrepen zijn onbekend. Planning en voortgangscntrole kunnen dientengevolge slechts empirisch plaats vinden. Ter ondersteuning en controle van dit experiment, want dat is de overgang naar ons onbekende bosstructuren, zijn analyses als gepresenteerd onontbeerlijk. Het ontwikkelen van modellen dwingt tot het maken van keuzes die de criteria vormen bij de kapingrepen. Immers, modelparameters

representeren bos(opstand)kenmerken die zijn gebaseerd op groeiplaats, soortensamenstelling en beheersdoelstellingen. Door waarden daarvan te bepalen, cq in te schatten worden de (on)mogelijkheden van het beheer bepaald.

Wellicht wordt de indruk gewekt dat het gebruik van de gedemonstreerde methoden leidt tot "beheer vanachter het bureau". Dit is uitdrukkelijk niet het geval. Uiteindelijk leidt een plan tot criteria die worden gehanteerd bij de keuze van te kappen bomen. Slechts in het veld kan een oordeel worden geveld over de feitelijke kap, waarbij aard en niveau in het plan zijn vastgesteld. Indien wordt aangenomen dat de gepresenteerde analyses van de bosstructuur in het Kolkbos deel uit maken van een planning- en controlesysteem, dan leiden deze, voor het beheer van het Kolkbos, tot de volgende conclusies: de oogst bedraagt ongeveer 10 m<sup>3</sup>/ha. per jaar. De voorraad is momenteel relatief hoog, zodat vooreerst méér moet worden weggenomen dan de bijgroei. Bomen die dikker zijn dan de doeldiameter, in de case-studie is deze gesteld op 55 cm., dienen in principe te verdwijnen. Echter, voor deze bomen geldt hetzelfde als voor alle andere bomen: elke individuele boom wordt beoordeeld op het functioneren in het systeem. Hierbij moet men denken aan het functioneren met betrekking tot de verjonging (zaadboom, beschutting, schaduwdruk e.d.), de bosstructuur (potentiële doorgroei, soortensamenstelling), en bijgroei. Deze beoordeling is bepalend voor de termijn waarop het surplus aan zware bomen wordt weggenomen. De kap wordt gericht op het doorbreken van kroonlagen. De bomen die uiteindelijk zullen doorgroeien moeten





■ **Figuur 7: Simulatie voorraadontwikkeling en kapvolume.**

in staat zijn om min of meer als solitaire boom te overleven. Dit vereist een goede vitaliteit, diepe kroon en een relatief lage h/d verhouding. Bomen die deze ontwikkeling worden toegedacht dienen vrijgesteld te worden van alle concurrenten, waarbij slechts beperkingen gelden ten aanzien van de stormvastheid.

Hoewel de verjongingsmogelijkheden en ingroeikansen vergroot moeten worden, heeft het geen zin om de aanwezige verjonging als enige criterium te hanteren. Dit kan alleen maar leiden tot een geleidelijke lichte van een aanwezig scherm, en uiteindelijk ruiming daarvan. Een min of meer gelijkjarige bosstructuur zal daarvan het gevolg zijn. Wel dient men rekening te houden met de lichtbehoefte van potentiële in- en doorgroeiërs. Ook voor deze bomen geldt dat zij individueel worden beoordeeld op het functioneren in het systeem.

Nagegaan moet worden waardoor de relatief lage ingroei van bomen wordt veroorzaakt. Is dit voornamelijk het gevolg van het ontbreken van voldoende licht op de bodem, of zijn er andere con-

dities die een rol spelen? Het te hanteren teeltsysteem moet er op gericht zijn de mogelijke belemmeringen te traceren en op te heffen. Eventueel kan kunstmatige verjonging een rol spelen in het teeltsysteem. Schaal en verspreiding van deze verjonging dient te worden afgestemd op de na te streven bosstructuur.

### Discussie

De overgang naar ongelijkjarig bosbeheer is, onder de actuele Nederlandse omstandigheden, een experiment. Hiervóór is gesteld dat het noodzakelijk is vast te stellen welk (teelt)doel men nastreeft met het beheer. Dit doel is afhankelijk van de beheersdoelstellingen, en moet geformuleerd zijn in manipuleerbare grootheden ten einde planning en uitvoering daarvan mogelijk te maken. Het (teelt)doel doet dienst als maatstaf, waaraan de actuele toestand voortdurend wordt getoetst (zie figuur 1). Uiteindelijk dient het planning en controle-systeem de volgende elementen te omvatten:

- Inventarisatiesysteem waarmee de actuele bostoestand kan worden vastgesteld. Het

inventarisatiesysteem moet kencijfers opleveren die relevant zijn voor ongelijkjarig bos.

- een maatstaf voor de bosstructuur, gebaseerd op inzicht in groei(plaats)omstandigheden, beheersdoelen, en aannames ten aanzien van de mogelijke ongelijkjarige bosstructuur. Deze maatstaf, bijvoorbeeld in de vorm van een diameterstamtaal-verdeling vormt de meetschaal waartegen men de actuele bosstructuur kan waarden.

- een maatstaf voor de verjonging. De bosstructuur zoals hierboven gedefinieerd betreft alleen bomen boven de meetdrempel. Zonder voldoende verjonging vindt er ook onvoldoende ingroei boven de meetdrempel plaats. Deze maatstaf moet bijv. geformuleerd zijn in het aantal kiemplanten en het aantal lichte staken per oppervlakte en kroonstructuur.
- eventueel een aantal andere meetbare kenmerken van het bos, die representatief zijn voor de doelstelling. Dit heeft alleen zin indien men beschikt over bijbehorende meetmethoden en waarderingsschalen.

Hiermee is men in staat een regelkring toe te passen zoals is gepresenteerd in figuur 1. Indien hierbij de ervaringen, dat wil zeggen inzicht in effecten van de uitgevoerde ingrepen, worden gebruikt om zowel de maatstaf als het beheer bij te stellen, zullen uiteindelijk doel en realiteit elkaar naderen.

### Literatuur

Alexander R.R. and C.B. Edminster, 1976. Regulation and control under unevenaged management. In: Uneven-aged silviculture and management in the United States, Washington, Timber management research Forest Service USDA

- Biolley H.E., 1928 La methode d'aménagement dite "Methode du Controle" In: Henry Biolley, Oeuvre écrite, Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins no. 66, 1980.
- Bos J. en H.J. Hekhuis, 1992. Proces- of einddoelplanning: praktisch gezien lood om oud ijzer. Ned. Bosb. Tijdsch. 64 (3): 104-109.
- Buiting R.B., 1992. Procesplanning als alternatief voor eindtoestandplanning. Ned.Bosb.Tijdsch. 64 (2):68-72.
- Davis L.S. and K.N. Johnson, 1987. Forest Management Part 4. McGraw Hill Book Company, Third Edition
- Favre L.A. 1982. 100 Jahre Kontrollierte Plenterung. Der Forst und Holzwirt, 37 (19) 485-494.
- Hahn P.W. and B.B. Bare, 1979. Uneven-aged forest management: State of the art (or science?). USDA Forest Service techn. report INT-50.
- Klein J.P.G. de, 1991. Van kaalkap naar selectieve kap. Ned. Bosb. Tijdsch. 63 (4) 126-132
- Leak W.B., 1965. The J-shaped probability distribution. Forest Science vol. 11 405-409.
- Leibundgut H., 1973. Grundbegriffe und Technik der waldbaulichen Planung. Schweiz. Zeitschr. Forstwesen 124
- Meyer H. 1952. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. Journal of Forestry 50: 85-92
- Miegroet M. van, 1965. Houtteelt: De toepassing van de plentering in Nederland. Ned.Bosb.Tijdschr. 37 (6): 310-334.
- Prodan M. 1949. Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 100 (2) 81-99.
- Pukkala T. and T. Kolström, 1988. Simulation of the development of Norway Spruce stands using a Transition matrix. Forest Ecology and Management 25: 255-267.
- Reininger H., 1987. Zielstärken-Nutzung. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- Reininger H., 1992. Das Plenterprinzip und seine Anwendung im Altersklassenwald. Forst und Holz 47. jrg. Nr. 9-10
- Schurer E., 1991. Bosbeheersplanning: het beheersplan als schakel tussen theorie en praktijk. Een evaluatie van het beheersplan Schovenhorst 1984-1993. Doctoraalscriptie AV 91-38, Vakgroep Bosbouw, Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Schütz J.Ph. 1981. Que peut apporter le jardinage a notre sylviculture. Schweiz. Zeitschr.f. Forstwesen 132 219-242.
- Usher M.B., 1966. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to the selection forests. Journal of Applied Ecol. 6: 355-367.
- Zeide B. 1984. Exponential diameter distribution. Interpretation of coefficients. Forest Science vol. 30 (4) 907-912.