

# DE OPZET VAN DUNNINGSPROEVEN

[242]

door

A. VAN LAAR

(Faculteit voor Bosbouw, Universiteit van Stellenbosch)

## SUMMARY

*This article deals with fundamental aspects of thinning research. A major problem is to define the severity of thinning. Schumacher's tree-area ratio expresses stand density satisfactorily, but is impracticable in controlled experiments. For the sake of simplicity, Hart's  $s\%$  is preferable.*

*Replications are necessary to remove random variation from total variation. Consequently it may be necessary to reduce plot sizes. A size of 0.1 hectare will be adequate for most experiments. The relationship between severity of thinning and increment may be described by a parabolic equation. For a given total number of experimental units, it is preferable to distribute these units over three instead of four levels, since slope and curvature are more precisely estimated when three levels are used.*

*In latin squares with three treatments too few degrees of freedom are available to estimate the experimental error, but replication of these squares on similar soil types will provide sufficient degrees of freedom for this source of variation.*

*It is recommended that the relationship between severity of thinning and stand increment be investigated by regression analyses in controlled and semi-controlled experiments. The relationship between volume increment and a great number of factors, such as site index, age, stand density, % basal area removed in thinning etc. may be given in a multiple regression equation and the contribution of each variable to the regression tested independently of the other variables in an analysis of variance. Sample plot data from various research institutes in North-West and Central-Europe could be pooled and thus provide an opportunity for useful international co-operation in thinning and yield studies.*

Bij het opzetten van een dunningsproef zijn de volgende overwegingen van betekenis:

1. Een definitie van het begrip dunningsgraad.
2. De staffeling van de dunningsreeks.
3. Het aantal herhalingen.

In de boomklassedunningen wordt het accent gelegd op het relatieve aantal en de positie van bomen, die in de dunning worden verwijderd, in de hoogte-stamtaldunningen daarentegen op het aantal bomen, dat in de blijvende opstand wordt gehandhaafd. Een compromis tussen deze uitgangspunten is echter mogelijk. Bij een regressieanalyse met bijgroei als afhankelijke en dunningsgraad als onafhankelijke variabele kunnen zowel  $s\%$  van de blijvende opstand als % bomen verwijderd in de dunning als verklarende variabelen worden ingevoerd. In dat geval wordt een regressievlak in plaats van een regressiekromme verkregen. Uiteraard zullen deze variabelen onderling gecorreleerd zijn.

Het  $s\%$  van Hart, toegepast bij het dunningsonderzoek in Nederland en

Engeland heeft tot op zekere hoogte haar bruikbaarheid bewezen. Reeds in 1953 deed Becking mededeling over het optimale  $s\%$  bij verschillende houtsoorten (Becking 1953). In een recente publicatie heeft de Vries erop gewezen, dat het feitelijk onbevredigend is om de dunningsgraad van de opstand te baseren op de onderlinge afstand tussen de bomen (de Vries 1964). De auteur komt tot een gemodificeerde uitdrukking voor het  $s\%$ , namelijk via de gemiddelde groeirimte per boom, die wordt uitgedrukt als functie van de opperhoogte. Deze meer realistische benadering is ongetwijfeld een verbetering, vergeleken met het  $s\%$  van Hart, maar geeft nochtans geen oplossing voor de nadelen, die inherent zijn aan de hoogte-stamtaldunning. Deze nadelen zijn van tweeërlei aard:

1. De aanwezigheid van onderstandige bomen is storend bij de staffeling van dunningsreeksen. Indien onderstandige bomen in aanmerking genomen worden bij de telling van het aantal bomen dan is — biologisch gezien — de dichtheid van een opstand met een  $s\%$  van 14 vrijwel gelijk aan die van een opstand met een  $s\%$  van 16 of 17. De opvatting van de Vries, dat dit vraagstuk niet van praktische betekenis is, omdat monocultuurbossen uit één etage bestaan moge juist zijn voor de praktijk van de dunning, maar geldt zeker niet bij het opzetten van een dunningsreeks met dunningsgraden van bijvoorbeeld 16, 19, 22 en 25%. Anderzijds is Hart's restrictie, om het  $s\%$  te betrekken op bomen, hoger dan  $\frac{3}{4}$  van de opperhoogte arbitrair en bovendien wetenschappelijk onverantwoord, omdat een deel van de opstand eenvoudig wordt genegeerd.

2. Het tweede bezwaar tegen het  $s\%$  is, dat de diameter van de bomen niet in deze maatstaf wordt betrokken. Dit bemoeilijkt de onderlinge vergelijking van dunningsreeksen, omdat de diameter en diameterverdeling van de bomen, onafhankelijk van het  $s\%$  vrij sterk kunnen variëren, terwijl niet voldoende bekend is, door welke milieufactoren deze variatie wordt veroorzaakt. In 1958 liep het grondvlak per ha van de douglasproefperken van het IBO in de leeftijdsgroep 24—33 jaar bij een  $s\%$  van 19 uiteen van 16 tot 30 m<sup>2</sup>/ha en bij een  $s\%$  van 22 tussen 15 en 26 m<sup>2</sup>/ha (van Laar 1958).

Een oplossing voor dit probleem werd in 1940 geïntroduceerd door Chisman en Schumacher. Deze onderzoekers gingen uit van de volgende relatie tussen groeirimte van de afzonderlijke boom (Y) en diameter op borsthoogte (x):  $Y = a_0 + b_1 x + b_2 x^2$ . Voor  $n$  bomen per ha geldt dus:

$$\sum^n Y = na_0 + b_1 \sum^n x + b_2 \sum^n x^2.$$

In elk proefperk heeft de afhankelijke variabele dezelfde waarde, want de totale groeirimte per ha is steeds 10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>. Eenvoudigheidshalve zal hieraan echter een waarde 1 worden toegekend. In bovenstaande vergelijking is nog geen rekening gehouden met een mogelijke relatie tussen boniteit en leeftijd enerzijds en  $a_0$ ,  $b_1$  en  $b_2$  anderzijds. Chisman en Schumacher voerden toen de volgende vergelijkingen in:

$$\begin{aligned} a_0 &= b_3 + b_4 (\text{leeftijd}) + b_5 (\text{boniteit}) \\ b_1 &= b_6 + b_7 (\text{leeftijd}) + b_8 (\text{boniteit}) \\ b_2 &= b_9 + b_{10} (\text{leeftijd}) + b_{11} (\text{boniteit}) \end{aligned}$$

Als deze vergelijkingen worden gesubstitueerd in de uitgangsvergelijking, dan wordt een regressievergelijking met negen onafhankelijke variabelen verkregen. De waarde van de regressiecoëfficiënten wordt empirisch bepaald door eenmalige opnamen van proefperken van de betreffende houtsoort en

de significantie wordt in een variantieanalyse getoetst. In een later onderzoek werd bovengenoemde regressievergelijking gemodificeerd (Schumacher en Coile 1960), maar de grondgedachte werd daarbij gehandhaafd.

Het voordeel van de boom-groei-ruimtevergelijking van Chisman en Schumacher is, dat stamtal, diameter, diameterverdeling, boniteit en leeftijd betrokken worden in de bepaling van de opstandsdichtheid. De hierboven gesignaleerde nadelen van de hoogte-stamtaldunning worden daarmee weggenomen. Het nadeel van deze methode is echter, dat zij technisch vrijwel onhanteerbaar is, zowel bij de uitvoering van dunningsproeven als in de praktijk van de dunning. Bij de opzet van dunningsproeven zal derhalve aan meer eenvoudige maatstaven, zoals het s% de voorkeur worden gegeven. De boom-groei-ruimtevergelijking biedt echter mogelijkheden, indien het dunningsvraagstuk anders wordt benaderd. Hierop zal nog nader worden teruggekomen.

Herhalingen zijn noodzakelijk om de invloed van storende nevenfactoren op de groei van de opstand te elimineren. De noodzaak van herhalingen wordt algemeen erkend, maar de doorvoering wordt in vele gevallen bemoeilijkt, omdat voldoende grote oppervlakten veelal niet beschikbaar zijn. Dit wordt echter mede bepaald door de eisen, die worden gesteld ten aanzien van de grootte van de afzonderlijke proefperken en hieromtrent heerst geen eenheid van opvatting. Assmann meent, dat in de eindopstand van het proefperk minstens honderd bomen aanwezig moeten zijn „um einen weitgehenden Fehlerausgleich innerhalb der Einzelfläche zu sichern“, maar gaat niet verder op dit probleem in (Assmann 1960). Hij geeft vervolgens in overweging om de proefperken in kleinere percelen te verdelen. Deze laatste zouden dan als herhalingen mogen worden beschouwd. Het bezwaar tegen deze werkwijze is, dat statistische methoden hun geldigheid hebben verloren, omdat bij de toewijzing van dunningsbehandelingen aan proefperken geen lotingsmethoden zijn toegepast. Een onderverdeling van proefperken is derhalve zinloos.

Een dunningsproef, die uit één herhaling bestaat, geeft weinig informatie. Het dunningseffect is immers een variabele met een zekere kansverdeling. De populatie waarmee men hier te maken heeft is een populatie van dunningseffecten, welke voortkomt uit een oneindig aantal herhalingen van de proef onder gelijkblijvende milieuomstandigheden. Door aselechte bemonstering van deze populaties kunnen bepaalde hypothesen statistisch worden getoetst, maar dit is slechts mogelijk als de kansverdeling van deze populaties bekend is.

Indien het areaal, dat voor de proef beschikbaar is, van beperkte omvang is, dan zal het gewenst zijn, om de stringente eisen ten aanzien van de grootte van de proefperken te verminderen. Bij toenemend aantal herhalingen zal de standaardfout van het behandelingsgemiddelde dalen en deze vermindering is recht evenredig met de vierkantswortel van het aantal herhalingen. Bij afnemende grootte van de proefperken neemt de restvarians toe als gevolg van de toenemende invloed van randeffecten, maar deze toename wordt gedeeltelijk geëlimineerd door de afnemende heterogeniteit van de groeiplaats, naarmate het areaal kleiner wordt. Er is dan ook een bepaald evenwicht tussen proefperkgrootte en aantal herhalingen waarbij de efficiëntie van de proef optimaal is, hoewel uit de literatuur van het dunningsonderzoek niet duidelijk blijkt, waar dit optimum ligt.

In vorengenoemd onderzoek van Schumacher en Coile werden proefper-

ken met een areaal van 400—800 m<sup>2</sup> gebruikt. Een oppervlakte van 800—1000 m<sup>2</sup> werd voorgesteld door Wicht voor dunningsonderzoek in Zuid-Afrika (Wicht 1950). Bij een areaal van 1000 m<sup>2</sup> zal ook in de sterk gedunde proefperken het aantal bomen van de eindopstand nog 25—30 zijn.

Het aantal herhalingen in de proef is ook afhankelijk van het aantal dunningsgraden dat wordt onderzocht. Dit wordt in de eerste plaats bepaald door de vorm van de regressiekromme. Sommige onderzoekers menen, dat de opstandsbijgroei een maximum bereikt bij een bepaalde dunningsgraad, terwijl de positie van dit maximum door de vruchtbaarheid van de grond wordt bepaald (Assmann 1950, 1954, Mitscherlich 1954). Andere onderzoekers menen dat de volumebijgroei binnen ruime grenzen onafhankelijk van de dunningsgraad is (Møller en Holmsgaard 1947, Wiedemann 1931, 1936, Burger 1951 e.a.). Deze opvatting is echter moeilijk te aanvaarden, want als de opstandsbijgroei binnen zekere grenzen niet door de dunningsgraad wordt beïnvloed en daarbuiten wel, dan zou dit betekenen dat de relatie tussen dunningsgraad en volumebijgroei geen continue functie is. In biologische processen is dit laatste echter zeer onaannemelijk en het is dus juister om te zeggen, dat een uitwerking van dunningsgraad op volumebijgroei binnen een zeker interval dikwijls niet aantoonbaar is. Het is dan ook logisch om te veronderstellen, dat het verband tussen dunningsgraad ( $x$ ) en opstandsbijgroei ( $Y$ ) kan worden weergegeven door een functie van de vorm:  $Y = a_0 + b_1x + b_2x^2$  of eventueel:  $\log Y = a_0 + b_1(\log x) + b_2(\log x)^2$ . Deze functies hebben een maximum, dat echter niet noodzakelijkerwijze binnen het onderzochte dunningsinterval zal liggen.

Dikwijls wordt aangenomen, dat een proef met vier dunningstrappen de voorkeur verdient boven een proef met drie trappen. Deze veronderstelling is discutabel, omdat een experiment, waarin een totaal van  $n$  beschikbare proefperken verdeeld wordt over 3 behandelingen en  $n/3$  herhalingen, meer geschikt is om de vorm van de regressiekromme te schatten dan een experiment met 4 behandelingen en  $n/4$  herhalingen (Cox 1958, Fairfield Smith 1950, Justesen 1960). In eerstgenoemde situatie is de standaardfout van de regressiecoëfficiënten  $b_1$  en  $b_2$  geringer en derhalve het onderscheidingsvermogen van de proef groter in laatstgenoemd geval.

Ten aanzien van het proefschaema heeft de onderzoeker de keuze tussen de onbeperkt aslecte toewijzing van behandelingen aan proefperken, blokkenproeven en latijnse vierkanten. Laatstgenoemd proefschaema werd o.a. gebruikt in de Bowmont dunningsreeks (Mackenzie 1962). Zoals bekend is wordt de invloed van de heterogeniteit van de groeiplaats in het latijnse vierkant in twee richtingen geëlimineerd, maar dit gaat ten koste van het aantal vrijheidsgraden, dat beschikbaar is voor de schatting van de reststrooiing. De F-verdeling, welke wordt gebruikt om de behandelingseffecten te toetsen, wordt sterk beïnvloed door de aantallen vrijheidsgraden van behandeling en restvarians en wel progressief sterker naarmate het aantal vrijheidsgraden afneemt. Een 3 x 3 latijns vierkant, waarin beide strooiingsbronnen met twee vrijheidsgraden geassocieerd zijn, is dan ook weinig gevoelig en de proefresultaten zijn gewoonlijk teleurstellend. In dit geval is het gewenst om het latijnse vierkant elders te herhalen, zodat de behandelingen in twee, drie of meer 3 x 3 latijnse vierkanten worden getoetst. Deze herhalingen blijven daarbij een onderdeel van een en dezelfde proef. In een 3 x 3 latijns vierkant met vier herhalingen van het proefschaema zullen acht vrijheidsgraden beschikbaar zijn voor de schatting van de restvarians en zes voor de interactie tussen

behandelingen en vierkant-herhalingen. Het is gewenst deze interactie zo gering mogelijk te houden, bijvoorbeeld door de proef te herhalen op één bepaald bodemtype. Indien namelijk geen significante interactie wordt gesignaleerd zullen beide strooiingsbronnen kunnen worden samengevoegd, waardoor veertien vrijheidsgraden beschikbaar komen voor de schatting van de residuele variatie. Deze redenering werd hier toegepast op het latijnse vierkant maar geldt evenzeer voor blokkenproeven.

Ondanks een reductie van de grootte van de proefperken en van het aantal dunningsgraden, dat in de proef wordt onderzocht, zal het gewoonlijk nog steeds moeilijk zijn om voldoende grote arealen te vinden. De vraag rijst of het dunningsvraagstuk door andere methoden van onderzoek zou kunnen worden benaderd. In de hierboven besproken proeven wordt de dunningsbehandeling gevarieerd terwijl alle andere factoren constant worden gehouden. Als alternatieve oplossing zou men alle factoren kunnen laten variëren in een experiment zonder ingreep. In de Nederlandse landbouw is deze methode met succes toegepast (Ferrari 1960).

Deze werkwijze is in feite een combinatie van dunnings- en groeionderzoek. In het groeionderzoek wordt de volumebijgroei van de opstand, welke wordt gemeten in permanente proefperken, beschouwd als functie van leeftijd en boniteit. Het resultaat wordt vastgelegd in een opbrengsttabel, maar deze is gebaseerd op een duidelijk gedefinieerd dunningsregime, dat in elk proefperk wordt toegepast. Als in de proef niet alleen de factoren boniteit en leeftijd, maar ook de dunningsgraad varieert, dan kan de opstandsbijsgroei als functie van drie variabelen worden beschouwd: boniteit, leeftijd en dunningsgraad. In het experiment met gecontroleerde dunningsbehandelingen is het noodzakelijk, dat de dunningsgraden specifieke waarden aannemen, bijvoorbeeld 19, 22 en 25%, maar in een experiment zonder ingreep is dit laatste niet noodzakelijk. Een willekeurige behandeling wordt toegepast en achteraf wordt de dunningsgraad bepaald. Daardoor vallen de vorenvermelde bezwaren tegen de boom-groeiruimtevergelijking weg. Het groeiruimtequotient, als maatstaf voor opstandsdichtheid en % van grondvlak of stamtal, verwijderd in de dunning als maatstaf voor de sterkte van de dunning kunnen dan als verklarende variabelen in de regressievergelijking worden ingevoerd.

Bij het opstellen van een functie zullen zekere aannamen moeten worden gemaakt omtrent de aard van de functie. Vooral dan, wanneer de verklarende variabelen onderling zijn gecorreleerd, is de juistheid van deze aannamen dikwijls moeilijk te controleren. In andere gevallen is de vorm van de regressiekromme bekend maar gecompliceerd. De groeikromme, die het verband tussen leeftijd en groei weergeeft, is een sigmoïde kromme, welke niet tot een eenvoudige mathematische vorm kan worden teruggebracht, tenzij een beperkt leeftijdsinterval in het onderzoek wordt betrokken.

Een nadeel van de hier besproken werkwijze is ook, dat de groei van de opstand door storende nevenfactoren wordt beïnvloed. In sommige gevallen zijn deze bekend en kunnen als verklarende variabelen worden ingevoerd, zoals het klimaat gedurende de waarnemingsperiode. In andere gevallen zijn deze factoren wel bekend maar kunnen niet kwantitatief worden uitgedrukt, bijvoorbeeld insectenaantastingen. En tenslotte zal de groei nog door onbekende factoren kunnen worden beïnvloed, welke niet direct in één van vorengenoemde variabelen tot uitdrukking zijn gebracht.

Voor het welslagen van deze methode van onderzoek is het o.a. noodzakelijk dat de onafhankelijke variabelen over een redelijk groot interval uit-

eenlopen. Ten aanzien van boniteit en leeftijd kan aan deze eis worden voldaan door de keuze van de proefperken. Als het dunningsregime van de opstanden, die voor dit onderzoek worden gebruikt, niet sterk uiteenloopt, zal het noodzakelijk zijn, dat deze factor door de onderzoeker sterker wordt gevarieerd. Hieruit resulteert dan een proef, welke het midden houdt tussen de klassieke proef met gecontroleerde behandelingsniveaus en het experiment zonder ingreep.

In dit stadium staat geenszins vast, dat deze methode van onderzoek meer informatie zal geven dan de klassieke dunningsproef. Tot dusverre werden slechts door Warrack (1959) resultaten verkregen.

Het tijdrovende rekenwerk dat verbonden is aan de oplossing en toetsing van een regressievergelijking met vele variabelen is thans, als gevolg van de invoering van de digitale rekenmachine geen bezwaar. Deze verruimt ook de mogelijkheid om verschillende functies op het waarnemingsmateriaal toe te passen, waarbij de uiteindelijke keuze zou kunnen vallen op die, welke de geringste reststrooiing geeft. Ook zou een dergelijke regressiestudie samenwerking op internationaal niveau mogelijk kunnen maken. Door samenvoeging van waarnemingsmateriaal, verzameld in instituten in Noord-West en Midden-Europa en door toepassing van regressieanalyses, zou uit dit materiaal belangrijke informatie kunnen worden verkregen, zonder daarbij de autonomie van deze instituten aan te tasten.

#### Literatuur.

- Assmann, E. Grundflächen und Volumenzuwachs der Rotbuche bei verschiedenen Durchforstungsgraden. Forstw. Centralbl. 70, 1950 (256—286).
- Assmann, E. Grundflächenhaltung und Zuwachsleistung bayerischer Fichten durch forstungsreihen. Forstw. Centralbl. 73 (9/10) 1954 (257—271).
- Assmann, E. Waldetragskunde. 1961.
- Becking, J. H. Einige Gesichtspunkte für die Durchführung von vergleichenden Durchforstungsversuchen in gleichältrigen Beständen. Comptes Rendus Union Internationale des Instituts de Recherches Forestieres. 11-ième Congres 1953. Comptes Rendues 580—582).
- Burger, H. Ertragskundliche Grundlagen zur Frage der Massen und der Qualitätserzeugung. Schw. Z. f. Forstw. 102 (4) 1951 (185—201).
- Chisman, H. H. en Schumacher, F. X. On the tree-area ratio and certain of its applications. J. For. 38 (4) 1940 (311—317).
- Cox, G. Planning of experiments. 1958.
- Fairfield Smith, H. Replicated experiments. Forestry. XXIII (1) 1949 (56—58).
- Ferrari, Th. J. Vergelijking tussen proeven met en zonder ingreep. Landb. Tijdschrift 72 (19) 1960 (792—801).
- Justesen, S. H. Voorbeeld van het onderscheidingsvermogen van een proef. Landb. Tijdschr. 72 (19) 1960 (802—807).
- Laar, A. van. Het dunningsvraagstuk. 1958 (intern rapport IBO, Wageningen).
- Mackenzie, A. M. The Bowmont Norway Spruce sample plots 1930—1960. Forestry 35 (2) 1962 (129—138).
- Mitscherlich, G. Der Einfluss der Bestandesdichte auf den Zuwachs der Rotbuche in Nord- und Westdeutschland. Forstw. Centralbl. 73 (11/12) 1954 (362—382).
- Moller, C. M. en Holmsgaard, E. Staerk Hugst, svag Hugst og Hugst fra Toppen. Dansk Skovf. Tidsskr. 32 (12) 1947 (393—445).
- Schumacher, F. X. en Coile, T. S. Growth and yield of natural stands of the Southern Pines. 1960.
- Vries, P. G. de, Enige beschouwingen over hoogte/stamtal-dunningsreeksen en hun staffeling. Ned. Bosb. Tijdschr. 36 (5) 1964 (158—164).
- Warrack, G. C. Forecast of yield in relation to thinning regimes. Br. Col. For. Serv. Techn. Bull. T. 51, 1959.
- Wicht, C. L. Replicated thinning experiments. Forestry. XXI (1) 1948 (113—115).
- Wiedemann, E. Die Rotbuche 1931.
- Wiedemann, E. Die Fichte 1936.