

Groei en plantafstand van 'Rap' populier in een Nelderproef*)

Growth and spacing of 'Rap' poplar in a Nelder experiment

P. J. Faber

Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw
"De Dorschkamp", Wageningen

De betekenis van de plantafstand

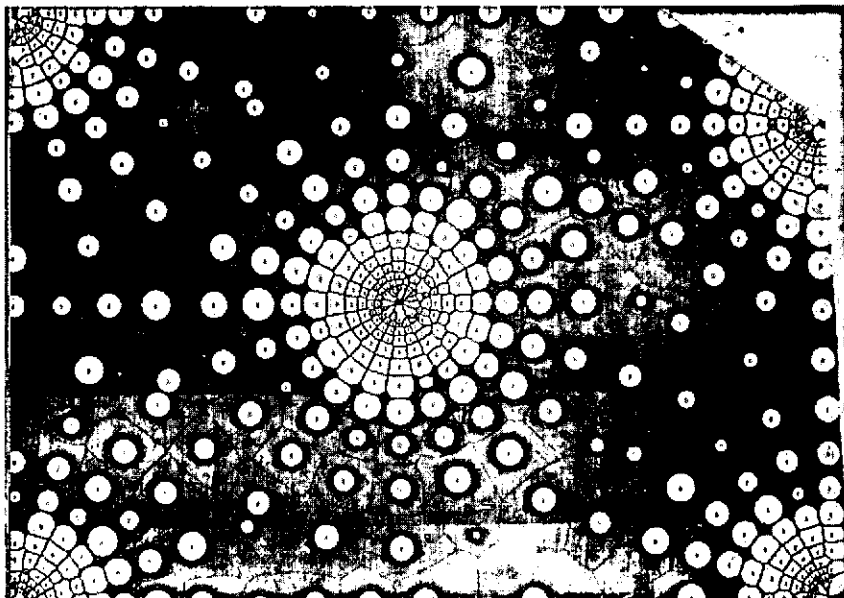
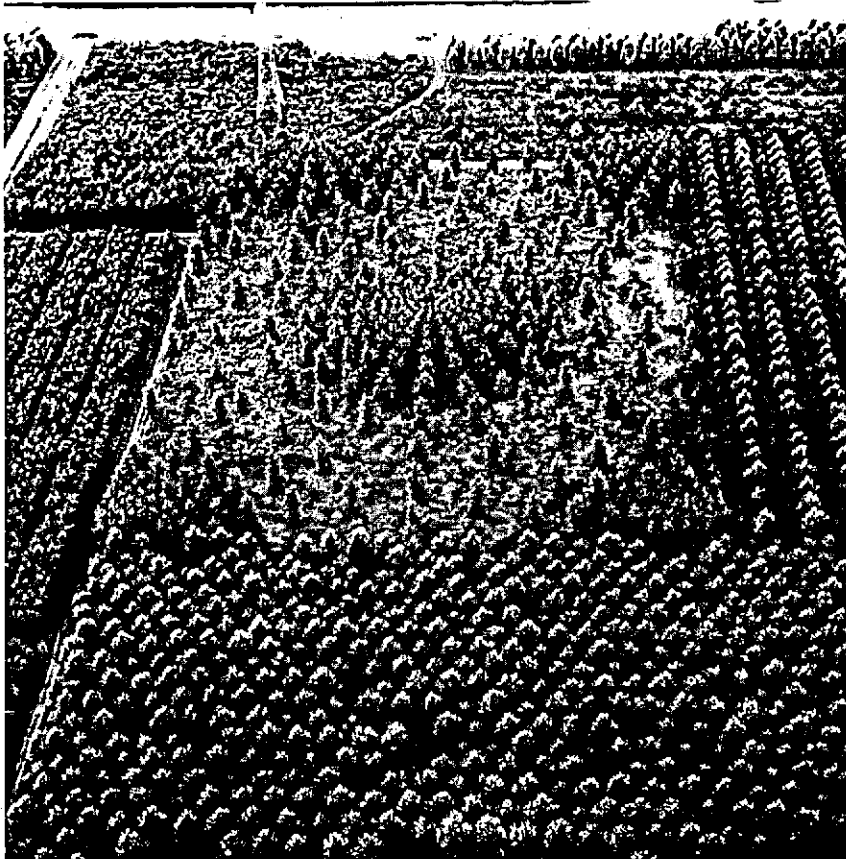
Bij de aanleg van een beplanting moet men een plantverband kiezen. Met het oog op de doelstelling van de teelt is het dan nodig dat men weet hoe de groei van de bomen bij uiteenlopende dichtheden verloopt en wat de afmetingen zijn van de bomen bij eventuele dunning of eindhak. Ook is het nodig dat men een idee heeft van de kosten van aanleg en oogst en van de verkoopprijzen van het geteelde produkt. Het maakt een groot verschil of men werkt met een populatie of met een kloon. Bij een populatie zijn de bomen genetisch verschillend, zodat door onderlinge concurrentie na verloop van tijd een sterke differentiatie kan optreden. Door middel van dunningen kan men dan later nog veel bijsturen in de richting van het gewenste resultaat. Bij een beplanting met een kloon is dit in veel mindere mate het geval: de dunningen zijn meestal systematisch en omvatten 50% van het stamtal. Vaak wordt ook meteen het eindstamtal geplant. Daarom heeft bij

tance from the tree to the perimeter of its growing space. A distinction can be made between the available growing space and the occupied growing space actually used for growth. To picture the occupied growing space, the available growing space can be reduced by ignoring the area below a certain value of the competition stress. To fix the latter value, the available growing spaces were reduced by applying different values of the competition stress. The highest coefficients of correlation between the differently reduced growing spaces (X') and the increment (IG) of the basal areas of the trees indicated the best fitting value of the competition stress on the perimeters of the occupied growing spaces. The resulting coefficients of correlation are shown in table 1, from which it can be concluded that the best fitting value of the competition stress is $MC = 4 - 8 \text{ dm}^3/\text{m}^2$. Thus the distance D (m) between a tree and the perimeter of its occupied growing space is smaller than the square root of $v/8$ or $v/4$. In this way, the competitionless growth (free growth) of a tree can be characterized, as can also be seen from the straight parts of the growth curves in fig. 4. Calculations further showed that in the closer spacings the correlation between the trapezium spaces and the basal area increment was as good as that between the available growing spaces and the basal area increment. Therefore, for the inner circles, the trapezium spaces can also be used for translating the Nelder spacing into tree numbers per ha of a normal grid spacing, important for the practising silviculturist. The trapezium space, the available growing space and the occupied growing space are illustrated in figs. 5 and 6, the mean values per circle are given in table 2. The wood volumes per ha in the successive circles and years were computed from the mean tree volumes and the tree numbers per ha based on the available growing spaces (table 3). The heavy densities and high values for the annual increment in the inner circles shown in this table may not be realistic: the trees may have been exploiting some space or shelter from the trees in the other circles. This means that the problem of translating the results from Nelder experiments into the normal practice of grid spacings is not yet totally solved.

Summary

In 1974, a Nelder spacing experiment was established with about 500 cuttings of the black balsam hybrid poplar 'Rap' on an area of 2 ha (fig. 1). The radii of the concentric circles were computed with formula 1. The trees were measured annually: the results are shown in figs. 2, 3 and 4. The areas theoretically available for each tree can be computed with formula 2 and can be called the "trapezium spaces". In Nelder experiments, estimating the real growing space is a problem, because the larger trees take up room at the expense of the smaller ones. This problem was partly solved with the help of the growing space computer program RUIM (lit. 2), which calculates the following indices of spacing of a tree in a stand: the available growing space X (m^2), the competition stress Y (dm^3/m^2) and the eccentricity of the space, Z . The competition stress is computed by the formula $Y = v/(D \cdot D)$, where v (dm^3) is the wood volume of the tree and D (m) is the mean dis-

*) Verschijnt tevens als Mededeling 221 van De Dorschkamp.



Populus 'Rap' Nelderproef in het Harderbos: overzichtsfoto (boven), beschikbare en gebruikte groeiruiten (onder).
Populus 'Rap' Nelder trial in Harder forest; above: trial field, below: available spaces and spaces occupied.

een kloon de keuze van het plantverband verder reikende gevolgen dan bij een populatie. In dit artikel zal het gaan over het verband tussen groei en plantafstand in beplantingen van populiereklonen.

De groei bij uiteenlopende plantdichtheden

De belangrijkste kenmerken van de groei zijn de hoogtegroeï en de diktegroeï (op borsthoogte). De invloed van het plantverband hierop is echter zeer verschillend. Zo wordt de diktegroeï vaak veel sterker door het plantverband beïnvloed dan de hoogtegroeï. Bij een nauw plantverband ontstaat er een hevige concurrentie tussen de bomen om het gebruik van de beschikbare ruimte. Hierbij worden de zwakke bomen verdrongen door de meer groeikrachtige exemplaren. Naarmate het plantverband wijder is, is de concurrentie minder, kunnen de bomen hun kronen vrijer laten uitgroeien en is de diktegroeï groter. Verwijding van het plantverband zal tot een bepaald maximum vergroting van de diktegroeï betekenen. Het maximum wordt bereikt als de bomen dermate ver van elkaar staan, dat van concurrentie geen sprake meer is, men spreekt dan van concurrentieloze groei. De hoogtegroeï wordt ook beïnvloed door de plantafstand, echter pas bij zeer nauwe of zeer wijde verbanden. In het eerste geval zal de groei minder zijn, omdat de bomen gaan kwijnen bij gebrek aan licht, de bomen worden dan zeer slank (hoge h/d-verhouding) en gaat er door gebrek aan stevig-hangende scheef hangen.

Bij zeer wijde verbanden zullen de bomen ook minder in de hoogte gaan groeien, maar dan omdat er veel minder van de hogere groeien gaat zitten en omdat vaak de mindere beschutting een rol gaat spelen. Bij het bestuderen van de relatie tussen de groei en het plantverband doet zich de vraag voor, of ook de hoedanig-

heid van de groeiplaats hierbij nog een rol speelt. Zou die rol groot zijn, dan zou men het onderzoek moeten uitvoeren op verschillende gronden. Gebleken is, dat de variatie in diktegroeï van populiereklonen bij dezelfde hoogtegroeï en plantdichtheid ondanks de genetische gelijkheid vrij groot is. Hierbij spelen naast lokale factoren zoals de expositie aan windinvloeden ook aantastingen van het blad door schimmels en insecten een rol. Deze factoren zijn moeilijk te kwantificeren en zijn mogelijk gestrengeld met de invloed van de bodem, terwijl van een directe invloed van de bodem tot nu toe niets is gebleken. Daarom wordt het onderzoek naar de relatie tussen plantverband en groei beperkt tot een enkel proefveld per kloon op een groeiplaats van gemiddelde hoedanigheid.

De opzet van een plantafstandsproef

In een veldexperiment kunnen de effecten van verschillende behandelingen worden gemeten en vergeleken. Om behandelingseffecten te kunnen onderscheiden van verschillen ten gevolge van andere, "toevallige" factoren, is het noodzakelijk dat een proef een aantal onderling onafhankelijke herhalingen bevat.

De opzet waarbij per blok de locatie van de behandelingen wordt geloot, de zogenaamde gewarde blokkenproef, is hiervoor het meest geschikt. Volgens deze opzet zijn er in ons land verschillende proeven met populiereklonen aangelegd, niet alleen plantafstandsproeven, maar ook gecombineerde plantafstandsdunningsproeven (3, 4, 5). Een belangrijk bezwaar hiervan is echter, dat ze veel ruimte in beslag nemen en slevan is echter informatie opeleven in de proef voorkomende plantverbanden.

In 1962 heeft de Britse statisticus J. A. Nelder in *Biometrics* (18, (3): 283-307) daarom een andere opzet

Tabel 1 Correlatie-coëfficiënt (R) tussen de grondvlakbijgroei (IG) en de verkleinde groeiruiten (X') bij aannname van verschillende waarden voor de minimum concurrentiedruk (MC).

Table 1 Coefficient of correlation (R) between the basal area increment (IG) and the occupied growing spaces (X') by applying different values of the minimal competition stress (MC).

MC (dm ³ /m ²)	jaar (year)	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00
R (IG, X')	1979	0.3478	0.9161*	0.8937	0.8515		
	1980	0.6074	0.9162	0.9166*	0.8968		0.8600
	1981	0.6511	0.9008	0.9116*	0.8806	0.8469	
	1982	0.8089	0.9044	0.9172*	0.8980		
	1983	0.8351	0.8921	0.9443	0.9517*	0.9435	
	1984	0.8934	0.9066	0.9533	0.9719	0.9726*	
R (IG, X', X' · X')	1979	0.4082	0.9209*	0.8968	0.8564		
	1980	0.6967	0.9296*				0.8714
	1981	0.7977	0.9380*	0.9221	0.8857	0.8515	
	1982	0.9038	0.9474*	0.9351	0.9079		
	1983	0.9282	0.9576	0.9707*	0.9642	0.9504	
	1984	0.9711	0.9751	0.9846*	0.9836	0.9768	

(lees voor X' · X': X' maal X')

voorgesteld. Hij bepleitte een systematische opzet, waarbij de bomen zouden worden geplant op de snijpunten van een aantal concentrische cirkels met vanuit het middelpunt getrokken stralen of spaken. Op de tweede bijeenkomst van IUFRO-bosbouwstatistici in 1965 in Stockholm heeft V. J. Chako een regressiemethode beschreven om de meetresultaten van dergelijke proeven te analyseren. Er werd toen echter ook twijfel uitgesproken of het voorstel van Nelder wel zo aanbevelenswaardig was, vooral gezien het ontbreken van echte herhalingen en de onderlinge beïnvloeding van de bomen in de verschillende plantverbanden. Dit laatste is niet alleen een theoretisch bezwaar, want het staat ook de vertaling van de uitkomsten naar de praktijk in de weg. Om de voor de bomen beschikbare ruimten te bepalen moeten namelijk grenzen getrokken worden, die niet klakkeloos midden tussen de spaken en cirkels doorlopen. Het is namelijk zo, dat de grote bomen ruimte in beslag nemen ten koste van zwakkere, kleinere exemplaren.

In een normaal regelmatig plantverband is dat ook wel zo, maar daar vindt het plaats binnen een behanding die omgeven is door isolatiebomen die zorgen voor afscherming tegen de andere behandelingen. In een Nelderproef is er geen sprake van afscherming en moeten de per boom beschikbare ruimtes zeer nauwkeurig worden omgrensd om te weten op welke ruimte de gemeten groei betrekking heeft. De toepassing van Nelderproeven is daarom nog steeds een omstrede zaak. De oplossing van het gesignaleerde groeiruumteprobleem, waarvoor in dit artikel gekozen is, moet men dan ook zien als een serieuze poging om de nadelen van de proefopzet volgens Nelder te ondervangen. Door de gekozen oplossing kon tegelijkertijd de bruikbaarheid van het recent ontwikkelde groeiruumteprogramma RUIM worden getoetst.

De aanleg van het proefveld

In 1974 werd door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders kavel X23 in het Harderbos voor de proef ter beschikking gesteld. Dit is een homogeen perceel met zware zavel tot lichte klei, en met aanvankelijk nog weinig vegetatie. In maart 1974 werden na de grondbewerking drie onbewortelde kortstekken per plantplaats gezet en tegen konijnen omgeasd. Het stekmateriaal van 'Rap' populier was afkomstig van de kwekerij van de NAKB te Dronten. Het eerste jaar werd de grond mechanisch zwart gehouden. In het najaar bleken veel planten door de wind tegen het gaas te zijn afgebroken. Per plantplaats werden toen de beste exemplaren geselecteerd, op 90 cm afgezet en omgeven met Italiaanse gaasjes, de rest werd verwijderd. Op 23 lege plaatsen moest met reservemateriaal worden ingeboet. Ook werd een bemesting van 100 g KAS

per plant gegeven. In de voorzomer daaropvolgend werden de overtollige scheuten verwijderd. In 1976 en 1977 moesten nog weer enkele plaatsen worden ingeboet. In 1978 en later werd de aantasting door de glasvlinder met succes bestreden door een suspensie met aaltjes (*Neoplectana carpocapsae*) in de boorgangen in injecteren. In fig. 1 is een plattegrond van de proef weergegeven. Men ziet dat er op elke concentrische

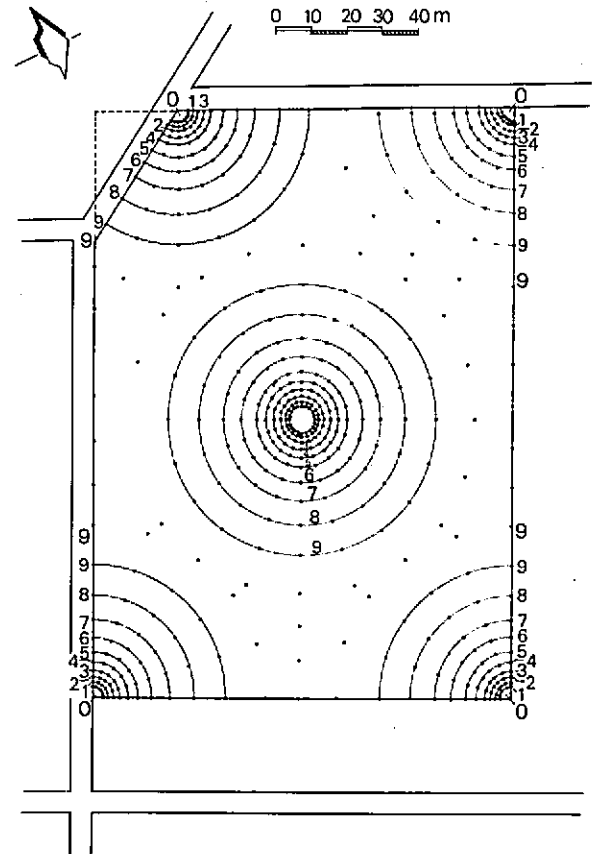


Fig. 1 Plantafstandenproef met 'Rap' populier volgens Nelder.

Fig. 1 Nelder spacing trial with 'Rap' poplar.

cirkel 20 bomen staan, zodat de hoek tussen de spaken 18 graden bedraagt. Er zijn 10 concentrische cirkels in het midden, terwijl vanuit elk van de vier hoekpunten van het langwerpige perceel nog eens 10 concentrische kwartcirkels konden worden gemaakt. Het totale oppervlak van het proefveld is bijna 2 ha. Er staan in het geheel ruim 500 bomen. De straal $R(n)$ van de n -de cirkel bedraagt:

$$R(n) = \frac{(1 (m) + 2 \cdot \sin(9))n}{2 \cdot \sin(9)} = \frac{y^n}{y - 1} \quad (m) \quad (1)$$

waarin $y = 1 + 2 \cdot \sin(9)$

Tabel 2 De trapeziumvormige groeiruiten, de gemiddelde beschikbare groeiruiten X en de gemiddelde gebruikte groeiruiten X' per cirkel gedurende de jaren 1979-1985.

Table 2 The trapezium spaces, the mean available growing spaces X and the mean occupied growing spaces X' per circle in the years 1979-1985.

X groeiruiten in m ²	(trapezium)	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
cirkel 0	—	1.95	1.86	1.82	1.77	1.82	1.96	1.99
cirkel 1	(1.55)	1.44	1.40	1.34	1.35	1.33	1.35	1.32
cirkel 2	(2.67)	2.60	2.54	2.48	2.44	2.35	2.41	2.36
cirkel 3	(4.59)	4.16	4.11	4.01	3.96	3.96	4.12	4.07
cirkel 4	(7.92)	7.56	7.53	7.49	7.34	7.23	7.23	7.19
cirkel 5	(13.65)	12.93	13.04	12.96	12.80	12.87	12.77	12.65
cirkel 6	(23.53)	21.66	21.63	21.76	21.62	21.52	21.50	21.30
cirkel 7	(40.55)	41.12	41.93	41.21	40.51	39.90	39.47	39.16
cirkel 8	(69.90)	58.79	58.38	60.32	62.91	63.04	63.84	64.12
cirkel 9	(120.48)	114.70	117.68	118.96	118.79	120.81	120.73	121.13
X' gebruikte ruimten		1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
cirkel 0		1.75	1.81	1.72	1.77	1.81	1.96	1.98
cirkel 1		1.44	1.40	1.34	1.35	1.33	1.34	1.32
cirkel 2		2.58	2.54	2.48	2.44	2.35	2.41	2.36
cirkel 3		4.11	4.11	4.01	3.96	3.96	4.12	4.07
cirkel 4		6.65	7.52	7.48	7.34	7.23	7.23	7.19
cirkel 5		7.75	12.48	12.48	12.80	12.87	12.77	12.65
cirkel 6		7.18	16.71	17.22	21.62	21.52	21.50	21.30
cirkel 7		7.07	17.78	18.61	39.91	38.84	39.46	39.15
cirkel 8		6.14	14.53	15.54	53.53	51.77	62.05	62.14
cirkel 9		6.19	14.29	15.19	59.86	55.67	85.52	84.93

Zodoende is de afstand van de bomen op cirkel (n) gelijk aan de afstand tot de bomen op cirkel (n + 1). De binnenste cirkel heeft het rangnummer n = 0 en heeft een straal R(0) = 3.20 m. De bomen staan daar op afstanden van 1 m. Als de grenzen van de groeiruiten midden tussen de spaken en cirkels gelegd worden, dan kan het per boom beschikbare oppervlak als een trapezium worden beschouwd en met de volgende formule worden berekend:

$$O(n) = \frac{y^{2n}}{8} \cdot (3 + 3/y + y + 1/(y \cdot y)) \quad (2)$$

In tabel 2 zijn de aldus berekende oppervlakken per cirkel weergegeven, de werkelijk beschikbare en de werkelijk gebruikte groeiruiten verschillen hiervan en zullen in een volgend hoofdstuk worden berekend.

De metingen en een overzicht van de resultaten

In het najaar van 1975, toen de bomen twee seizoenen gegroeid hadden, werden voor het eerst de diameters en hoogten van de geïsoleerde bomen in de cirkels 1 t/m 9 gemeten, dus niet de randbomen. Deze metingen zijn sindsdien jaarlijks herhaald. In 1979 is men begonnen ook de randbomen (de bomen in de cirkels 0 en 10) te meten, omdat deze bij de berekening van de

groeiruiten als randbomen moesten fungeren. Voor de schatting van de spijlhoutvolumes zijn met de dendrometer (Barr & Stroud) steekproefsgewijs inhoudsmetingen uitgevoerd, indien nodig gestratificeerd naar plantafstand. In de figuren 2 en 3 is het verloop van de hoogte- en diametergroei van 1974 tot 1984 in de opeenvolgende cirkels weergegeven. Het blijkt, dat aanvankelijk de groei in de binnenste cirkels het grootste was. De bomen in de meer naar buiten gelegen cirkels bleven iets achter, waarschijnlijk wegens minder onderlinge beschutting in het open polderlandschap.

Op een zeker ogenblik begon echter de onderlinge wedijver het effect van de beschutting tegen te werken. Men kan duidelijk zien, dat de diktegroei eerder en sterker door de onderlinge concurrentie wordt beïnvloed, maar dat de hoogtegroei het meest en het langst geprofiteerd heeft van de onderlinge beschutting. Ten gevolge van deze twee elkaar tegenwerkende effecten verplaatste de zone met de beste groei zich geleidelijk van binnen naar buiten in de cirkels. Voor de diktegroei ligt het omslagpunt tussen het 5e en 6e levensjaar, als de bomen 6 à 7 cm dik zijn. Voor de hoogtegroei ligt het omslagpunt tussen het 6e en 7e levensjaar bij een hoogte van 9 à 10 m. Op negenjarige leeftijd zijn de bomen in de vijfde cirkel het hoogst en in de zevende cirkel het dikst. De achterstand in hoogtegroei in de buitenste cirkels blijft echter bestaan, die wat betreft de diktegroei is sinds kort ingelopen. In fig. 4 is het ver-

band tussen hoogte en diameter in de tijd op de opeenvolgende cirkels weergegeven. De lijnen lopen aanvankelijk zeer dicht bij elkaar, maar bij een hoogte van 6 m en een diameter van 5 cm beginnen ze te divergeren vanwege de concurrentie. De groeilijnen voor de cirkels 7, 8 en 9 lopen tot aan het einde recht door, wat duidt op concurrentieloze groei. De grootte van de concurrentiedruk is af te lezen aan de mate van afbuiging van de groeilijnen. In cirkel 6 is de concurrentie pas begonnen, in cirkel 1 is bijna de eindfase van de concurrentie bereikt. Zo is een duidelijk beeld verkregen

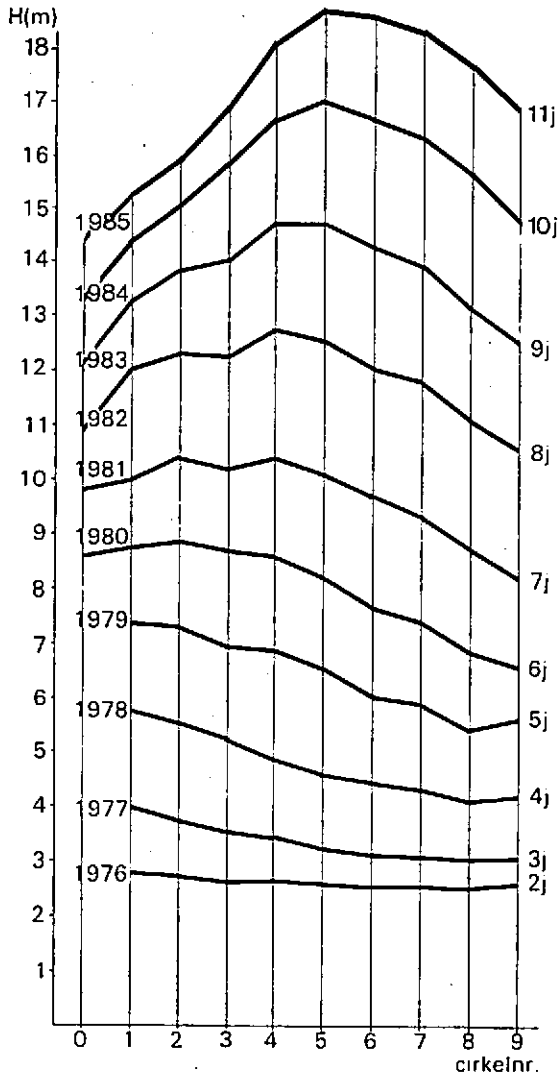


Fig. 2 Gemiddelde hoogte in de opeenvolgende cirkels in de periode 1976-1985.

Fig. 2 Mean height in the consecutive circles (1976-1985).

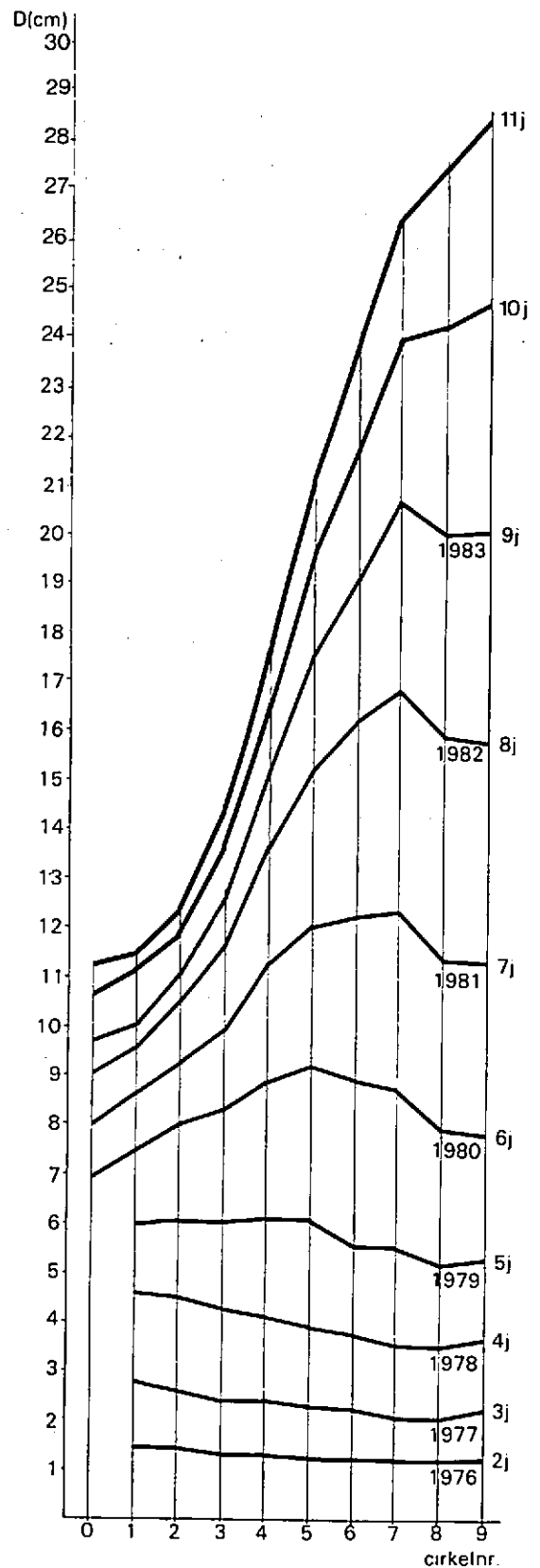


Fig. 3 Gemiddelde diameter in de opeenvolgende cirkels in de periode 1976-1985.

Fig. 3 Mean diameter in the consecutive circles (1976-1985).

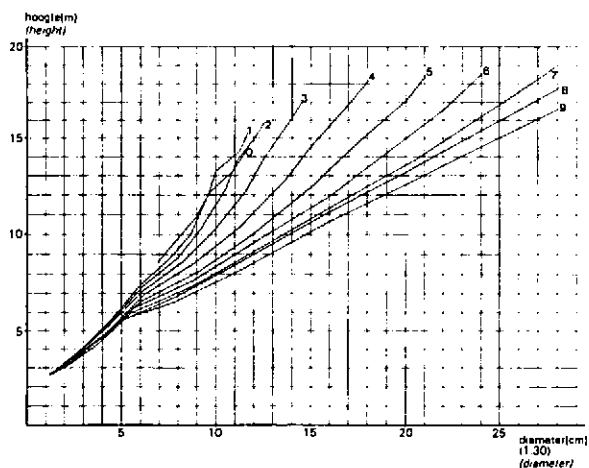


Fig. 4 Verband tussen hoogte en diameter.

Fig. 4 Relationship between height and diameter.

van de hoogte- en diktegroei van 'Rap' populier bij zeer uiteenlopende plantdichtheden. Op welke plantdichtheden en groeir ruimten deze groei betrekking heeft komt in het volgende hoofdstuk aan de orde.

De toepassing van het groeir ruimteprogramma RUIM

Met behulp van de trapezium-methode (formule 2) kunnen uit de plantverbanden de groeir ruimtes van de bomen in de respectievelijke cirkels worden berekend. Dit geldt echter in principe alleen, als alle bomen dezelfde afmetingen hebben. In deze proef is dat niet het geval, daarom moest naar een andere methode worden omgezien. Als oplossing kwam de toepassing van het rekenprogramma RUIM in aanmerking, dat een aantal jaren geleden op De Dorschkamp is ontwikkeld (Faber, 1983). Met dit programma kunnen de zogenaamde ruimtekenmerken van de bomen binnen een opstand worden berekend, zoals:

- 1 de (per boom) beschikbare groeir ruimte X in m^2 ,
- 2 de concurrentiedruk Y (per boom) in dm^3/m^2 ,
- 3 de excentriciteit van de groeir ruimte Z.

Bij de berekening wordt het terrein door middel van een gridnet in vierkantjes opgedeeld. Voor elk vierkantje wordt telkens een invloedsfactor U berekend, die gelijk is aan het concurrentiegewicht van een boom gedeeld door het kwadraat van de afstand tot die boom. Uit onderzoek is gebleken, dat het concurrentiegewicht van een boom goed benaderd kan worden met het spilhoutvolume tot de macht 1.50. Nadat in elk vierkantje de U-waarden tot de omringende bomen zijn berekend, wordt het desbetreffende vierkantje toegevoegd aan de boom die de grootste U-waarde opleverde. Optelling van de aan elke boom toegewezen vierkantjes levert vervolgens de groeir ruimte X op. Deze berekening wordt nauwkeuriger, naarmate het grid-

net fijnmaziger is. Voor deze proef met in het midden zeer nauwe plantafstanden was de toepassing van de minimum maaswijdte van 1 dm noodzakelijk. Hierbij duurt een berekening met de PDP-11/44 ruim 15 uur, bij toepassing van een grotere maaswijdte gaat de berekening evenredig sneller. De concurrentiedruk Y wordt berekend door de factor (spilhoutvolume/afstand-kwadraat) van de grensvierkantjes van de groeir ruimten te middelen. De excentriciteit Z is gelijk aan het produkt van X en Y, gedeeld door π maal het spilhoutvolume. Behalve de beschikbare groeir ruimten X kan het programma ook de groeir ruimten berekenen tot een bepaalde waarde van de concurrentiedruk Y door de terreingedeelten met een geringere concurrentiedruk uit te sluiten. Door de juiste keuze van deze concurrentiedruk kan de verkleinde groeir ruimte X' dienen als afbeelding van de werkelijk voor de groei gebruikte ruimte. In een Nelderproef, waarin de bomen op zeer verschillende onderlinge afstanden staan, is het maken van onderscheid tussen de beschikbare en de gebruikte groeir ruimte noodzakelijk. Het gaat er dan om welke waarde aan de concurrentiedruk in de grenszone moet worden gegeven, opdat de verkleinde groeir ruimte X' zo goed mogelijk past bij de werkelijk voor de groei gebruikte ruimte. Omdat de grondvlakaanwas IG van een boom min of meer evenredig toeneemt met de beschikbare groeir ruimte was deze in dit verband het meest geschikt als kenmerk van de groei. Als criterium voor het zo goed mogelijk passend zijn leek de correlatie tussen X' en IG het meest bruikbaar, omdat hiermee de onderlinge relatie tussen twee variabelen kan worden gekwalificeerd. Hoe hoger de correlatie, hoe nauwer de onderlinge relatie en hoe beter twee variabelen bij elkaar passen. De resultaten van deze bewerking komen in het volgende hoofdstuk aan de orde.

De beschikbare en gebruikte groeir ruimten

Om te weten te komen bij welke waarde van de minimum concurrentiedruk de verkleinde groeir ruimten X' en de grondvlakaanwas IG het beste bij elkaar pasten, werden de correlatie-coëfficiënten berekend bij aanname van verschillende waarden voor de minimum concurrentiedruk. Hierbij werden zowel de lineaire correlatie-coëfficiënten R (IG, X') als de multiple correlatie-coëfficiënten R (IG, X', X' * X') van de tweedegraads regressiefunctie berekend.

In tabel 1 zijn de voor de correlatie-coëfficiënten gevonden waarden over de groeiseizoenen 1979-1984 weergegeven. Hieruit blijkt, dat de best passende waarde voor de minimum concurrentiedruk MC ligt bij 4 à 8 dm^3/m^2 , in de tabel aangegeven met *. Het blijkt ook, dat de multiple correlatie-coëfficiënt van de tweedegraads regressiefunctie in de loop van de tijd steeds meer in positieve zin gaat verschillen van de lineaire

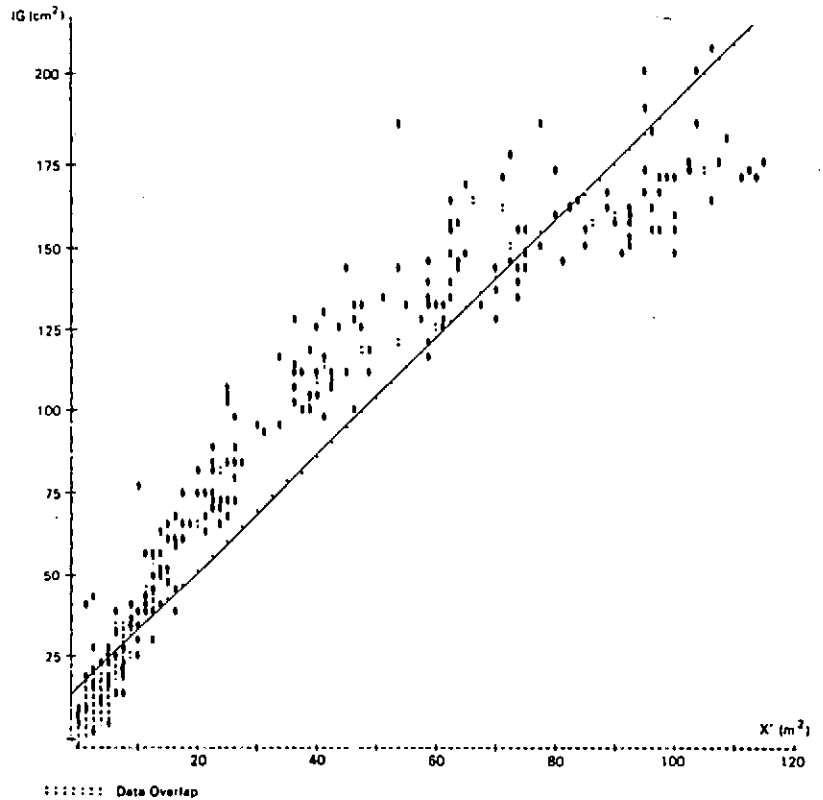


Fig. 5 Verband tussen de grondvlakbijgroei (cm^2) en de gebruikte groeir ruimte (m^2) in het groeiseizoen 1984.
 Fig. 5 Relationship between the basal area increment (cm^2) and the occupied growing space in the season 1984.

correlatie-coëfficiënt. Dat betekent, dat het verband tussen X' en IG steeds duidelijker afwijkt van een lineair verband, in die zin dat de ruimte minder efficiënt voor de groei wordt gebruikt naarmate de afstand tot de boom groter is, het is het verschijnsel van de "afnemende meeropbrengst" (fig. 5). De verkleinde groeir ruimte X' verkregen met behulp van de best passende waarde van MC kan nu beschouwd worden als een afbeelding van de werkelijk voor de groei gebruikte ruimte. In fig. 5 zijn de drie onderscheiden groeir ruimten weergegeven: de trapeziumvormige groeir ruimte, de beschikbare groeir ruimte en de gebruikte groeir ruimte. In de computerkaart (fig. 6) zijn van het gehele proefveld de in 1980 beschikbare en verkleinde (= gebruikte) groeir ruimten weergegeven. Het blijkt, dat de ruimten in de vijfde cirkel bijna geheel opgevuld zijn, in de zesde cirkel komen nog open plekken voor.

In tabel 2 zijn de gemiddelden per cirkel weergegeven. Men kan zien, dat er in de binnenste cirkels geen verschillen bestaan tussen de beschikbare en de gebruikte groeir ruimten, maar vanaf cirkel 5 in 1981 en vanaf cirkel 7 in 1983 ontstaan er belangrijke verschillen. De concurrentieloze groei, die aanvankelijk ook in de binnenste cirkels bestond, verschuift geleidelijk naar de buitenste cirkels en is daar zelfs nu nog evident! Met de gevonden waarde van MC kan het optreden van concurrentie nu dus als het ware worden voor-

speld. In tabel 2 blijkt verder dat de verschillen tussen de trapeziumvormige groeir ruimten en de beschikbare groeir ruimten gemiddeld niet groot zijn, meestal vallen de laatste zelfs iets kleiner uit. De variatie in grond-

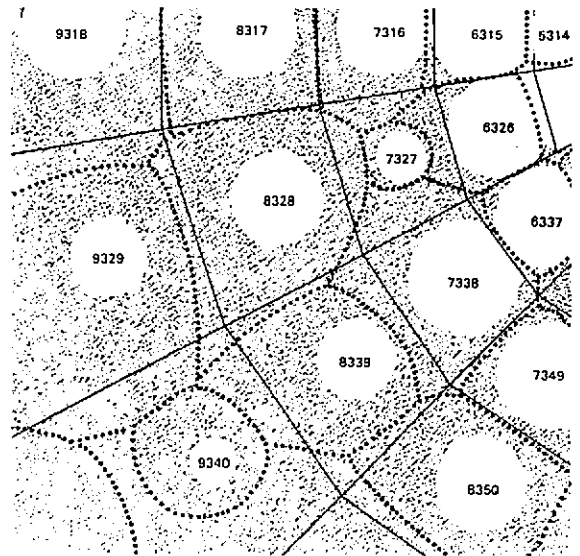


Fig. 6 De trapeziumvormige groeir ruimten, de beschikbare groeir ruimten (X) en de verkleinde groeir ruimten (X').
 Fig. 6 The trapezium spaces, the available spaces X and the occupied spaces X' .

vlak aanwas per boom bij een bepaalde groeiruumte bleek echter zo groot te zijn, dat er wat betreft de binnenste cirkels geen verschil aantoonbaar was tussen de correlatie van de beschikbare groeir ruimten met de aanwas en die van de trapeziumvormige groeir ruimten met de aanwas. De correlatie wordt pas hoger als er door middel van de minimum concurrentiedruk MC gecorrigeerd wordt voor niet voor de groei gebruikte ruimte, en dat betreft dan voornamelijk de buitenste cirkels.

Het doel van de bewerking was te weten te komen op welke plantdichtheden en groeir ruimten de gemeten diktegroei betrekking heeft. Op grond van het bovenstaande kan het antwoord op deze vraag nu als volgt luiden: Zolang de opstand niet in sluiting is heeft de gevonden groei betrekking op de ruimte zoals die berekend kan worden met behulp van het rekenprogramma RUIJ met inachtneming van een minimale concurrentiedruk van 4 à 8 dm³/m². Zodra de opstand echter in sluiting is gekomen en er dus geen verschil meer is tussen de gebruikte en de beschikbare ruimte, kunnen zowel de trapeziumvormige groeir ruimten worden gebruikt als de met RUIJ berekende beschikbare groeir ruimten.

De omrekening van groeir ruimten naar waarden per oppervlakte-eenheid

De groei van de bomen in een Nelderproef bij verschillende dichtheden is op zichzelf natuurlijk zeer interessant, maar voor de praktijk heeft het alleen waarde als de resultaten vertaald kunnen worden naar een normaal vierkantsverband. Met behulp van de gevonden groeir ruimten lijkt dat niet zo moeilijk, want voor het stamtaal per ha geldt de volgende eenvoudige formule $N = 10000 (m^2)/groeir ruimte (m^2)$. Op grond hiervan kan de omrekening worden gemaakt van de groei van de individuele boom naar de houtproduktie per ha. Als voorbeeld is dat in tabel 3 gedaan met behulp van de gemiddelde boomvolumes en de gemiddeld beschikbare groeir ruimten volgens RUIJ. Het blijkt nu, dat de staande houtvoorraad en de jaarlijkse aanwas in de binnenste cirkels, met name in cirkel 1, erg hoog uit-

vallen. Hiermee komt het kardinale probleem met Nelderproeven in alle duidelijkheid naar voren: want zijn dergelijke hoge bedragen wat betreft houtvoorraad en aanwas in een normaal vierkantsverband met dezelfde groeir ruimten ook mogelijk? De dichte stand in de binnenste cirkels gaat gepaard met zeer slanke bomen met kleine, platgedrukte kroontjes. Dergelijke bomen zijn zowel fysiologisch als mechanisch niet stabiel. Dat ze in het binnenste van de Nelderproef nog zoveel presteren kan wellicht mede mogelijk gemaakt zijn door de beschutting en de ondersteuning van de bomen in de meer naar buiten gelegen cirkels. De gestelde vraag of zoiets ook in een normaal vierkantsverband mogelijk is kan dan ook hier niet beantwoord worden. Uitsluitend een nieuw onderzoek met normale plantafstandsproeven, waarin dergelijke plantverbanden voorkomen, kan uitsluitsel geven.

Wel is er wat betreft de concurrentie nog een interessante berekening te maken. Men kan stellen, dat concurrentieloze groei voorkomt als de bomen zover van elkaar afstaan, dat in de grenszone de concurrentiedruk beneden de kritische MC-waarde van 4 à 8 dm³/m² ligt. De afstand D van de boom tot de grens van zijn gebruikte groeir ruimte is te berekenen uit de formule $MC = v/(D \cdot D)$, waarin v is het boomvolume in dm³. Indien de bomen ongeveer gelijk zijn, dan is hun onderlinge afstand gelijk aan tweemaal D (m). Omdat het stamtaal per ha gelijk is aan $N = 10000/(D \cdot D)$ en het volume per ha $V = N \cdot v$, is af te leiden, dat een concurrentieloze groei voorkomt als het volume per ha $V < 2500 \cdot MC \text{ dm}^3$.

Samenvatting en conclusies

Uit de resultaten van een plantafstandenproef opgezet volgens het principe van Nelder bleek dat zowel de hoogtegroei als de diktegroei van de 'Rap' populier reageren op het plantverband. Aanvankelijk was de groei het grootst in de dichte verbanden, waarschijnlijk wegens het beschuttingseffect. Later ging het concurrentie-effect, dat de groei afremt, overheersen, het eerst in de dichte verbanden. Gebleken is, dat de dik-

Tabel 3 Gemiddeld volume per ha en per cirkel gedurende de jaren 1979-1985 op grond van de beschikbare groeir ruimten.
Table 3 Mean wood volume per ha and per circle during the years 1979-1985 based on the available growing spaces.

Volume (m ³ /ha)	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
cirkel 0	50.77	94.12	140.77	216.72	270.82	325.87	382.41
cirkel 1	77.85	141.20	213.66	335.18	415.86	517.09	607.58
cirkel 2	45.15	91.32	140.60	221.97	284.98	346.74	399.15
cirkel 3	27.02	59.17	97.73	160.66	214.17	272.15	319.16
cirkel 4	15.07	36.32	65.25	113.61	161.96	219.29	267.18
cirkel 5	8.19	21.20	40.99	76.54	115.16	166.18	210.67
cirkel 6	4.21	11.85	25.26	47.93	76.57	115.82	152.96
cirkel 7	2.12	5.68	12.12	26.21	44.43	70.54	97.45
cirkel 8	1.23	3.23	6.72	14.35	25.50	41.79	59.78
cirkel 9	0.60	1.50	3.24	7.47	12.81	21.55	31.64

tegroei aanzienlijk meer door de plantdichtheid wordt beïnvloed dan de hoogtegroei. In figuur 4 is het verloop van de hoogte- en diktegroei in verschillende cirkels (dichtheden) fraai te zien. Bij de laatste meting was de gemiddelde diameter in de twee binnenste cirkels 11.5 cm tegen 28.5 m in de buitenste cirkels. Verder blijkt, dat de grootste gemiddelde hoogte dan in cirkel 5 voorkomt met 18.5 m, tegen een kleinste hoogte van 14.2 m in cirkel 0. In de figuur wordt de mate van concurrentie geïllustreerd door de mate van afbuiging van de lijnen: een ongeveer lineair verloop betekent een groei als een vrijstaande boom.

De groeiruimte, waarop de gemeten groei feitelijk betrekking heeft, is in Nelderproeven wegens de onderlinge beïnvloeding, niet zonder problemen te bepalen. Gebleken is, dat voor de gedeelten die nog niet in sluiting waren, de gebruikte ruimte goed kon worden afgebeeld met behulp van het programma RUIM voor het berekenen van groeiruimten, als met een minimum concurrentiedruk in de grenszone van 4 à 8 dm³/m² rekening werd gehouden. Voor de dichte gedeelten van de proef maakte het weinig verschil of uitgegaan werd van de trapeziumvormige groeiruimten, die direct uit het plantverband kunnen worden bepaald, of dat met het programma RUIM daarbij ook de afmetingen van de bomen in de berekening werden betrokken. Uit de veronderstelde groeiruimten van de bomen in de opeenvolgende cirkels in de opeenvolgende jaren werden vervolgens de hypothetische stamtallen per ha voor een normaal vierkantsverband berekend. Het bleek, dat de op grond van deze stamtallen berekende staande houtvoorraad en lopende aanwas met name voor de binnenste cirkels zeer hoge waarden opleverden. Daarom is enige twijfel gerechtvaardigd, of de groei zoals die in deze Nelderproef gevonden werd, op deze wijze zonder meer vertaald kan worden naar een in de praktijk gebruikelijk vierkantsverband met dezelfde groeiruimten. Dit betreft dan vooral de hier voorko-

mende zeer nauwe plantverbanden met meer dan 2000 bomen per ha. Verder is deze proef uitgevoerd met 'Rap', een kloon die momenteel niet meer in de handel is. Op grond van ander onderzoek mag worden aangenomen, dat de resultaten in voldoende mate zullen gelden voor verwante klonen als 'Barn' en 'Donk' (3). Vergelijking met de opbrengsttabellen van 1975 (1) laat ook zien, dat de diktegroei van 'Rap' veel gelijkert op die van de klonen Heidemij/Robusta, maar duidelijk minder is dan de veronderstelde diktegroei van bijvoorbeeld 'Gelrica'. In proefvelden (3, 4, 5) blijkt eveneens dat 'Robusta' op ongeveer dezelfde wijze reageert op de plantafstand als 'Rap'. De klonen 'Dorskamp' en 'Geneva' daarentegen reageren veel sterker: bij een hoogte van 14 m hebben die bij de wijdeste verbanden diameters van respectievelijk 25 en 28.5 cm, dat is min of meer vergelijkbaar met de groei van 'Gelrica' zoals die in de opbrengsttabellen (1) voorkomt.

Literatuur

- Faber, P. J. & F. Tiemens. 1975. De opbrengstniveaus van populier. Uitvoerig Verslag Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw De Dorskamp, Wageningen. Band 13 (1).
- Faber, P. J. 1983. Concurrentie en groei van bomen binnen een opstand. Uitvoerig Verslag Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw De Dorskamp, Wageningen. Band 18 (1).
- Faber, P. J. 1977. Onderzoek naar de ruimtebehoefte van Populus 'Dorskamp' in Oostelijk Flevoland. Populier 14 (2): 31-38.
- Faber, P. J. 1978. Wanneer dunnen we dichtgeplante populieren. Populier 15 (9): 55-60.
- Jaarverslagen De Dorskamp 1970: 31, 1971: 37, 1972: 41-42, 1973: 44-45, 1974: 53, 1975: 53-54, 1976: 65, 1977: 56, 1978: 70-71, 1979: 60-61, 1980: 68-72, 1982: 68-69, 1983: 65.