

Groei en productie van populier in Nederland

J.J. Jansen¹, G.M.J. Mohren¹, P. Schmidt¹, L. Goudzwaard¹,
A. Oosterbaan² en J. den Ouden¹

FEM Groei en Productie Rapport 2018 - 8



¹ Forest Ecology and Forest Management group, Wageningen University, Department of Environmental Sciences

² Nature and Society, Wageningen Environmental Research (WENR)

Jansen, J.J., G.M.J. Mohren, P. Schmidt, L.G. Goudzwaard, A. Oosterbaan en J. den Ouden, 2018. *Groei en productie van populier in Nederland*. FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 8, 127 blz.

Synopsis: Van 1947 tot 1998 is in Nederland groei- en productieonderzoek bij de populier uitgevoerd. Dat betreft de studies van Becking en de Dorschkamp/IBN. Samen met de permanente steekproeven uit de HOSP zijn 235 proefperken met 1808 opnamen beschikbaar. Voor de ontwikkeling van de gemiddelde hoogte h_m met de leeftijd t werd het model van Chapman-Richards gekozen, met aanpassing voor dichte stand en verschillende parameters voor bos, lijnbeplantingen en trilpopulier. Als site index is voor de h_{25} gekozen. De diameterontwikkeling tot 7 m werd het best verklaard met een Gompertz-model in t , h_m en het plantverband SP_0 . Met een powerfunctie werd de grondvlakbijgroei i_G verklaard met h_m , t , h_{25} en de relatieve standruimte $S\%$. Voor $S\% > 29.2$ daalt de grondvlakbijgroei met een niet-lineaire functie in $S\%$. Voor dichte stand, lijnbeplantingen werden andere modellen gevonden. Met alle modellen is een opstand projectie model gemaakt, waarmee de gemeten opstandontwikkeling redelijk goed voorspeld werd. Er zijn opbrengsttabellen gemaakt met verschillende plantafstanden voor bos met wijde stand met en zonder systematische dunning, voor bos in dichte stand met sterfte, voor lijnbeplantingen zonder dunning en voor trilpopulier met sterke laagdunning.

Abstract: Between 1947 and 2000, growth and yield of Poplar was studied in the Netherlands. To the permanent plots measured by Becking and De Dorschkamp/IBN, the permanent sample plots from HOSP were added, resulting in 235 plots and 1808 recordings.

The development of the mean height h_m with age t was found to be best described by a Chapman-Richards-model, with adjustment factors for dense stand and for different parameters for forest stands, line plantings, and for aspen, using site index h_{25} . The diameter development up to a height of 7 m was best described with a Gompertz-model in t , h_m and the initial spacing (SP_0).

The basal area increment i_G was best explained by a power function in which h_m , age, h_{25} and the Becking-Hart spacing index $S\%$ are included. For $S\% > 29.2$ the basal area increment dropped with a non-linear function in $S\%$. For dense spacing and for line plantings, other models fitted best.

Combining all models, a stand projection model was constructed, which described the plot development as measured reasonably well.

Yield tables were made for forests with different spacing, for forests with a wide stand with and without systematically thinning, for forest with very dense spacing including mortality, for line plantings without thinning, and for aspen with heavy thinning from below.

Keywords: Poplar, aspen, *Populus spec.*, *Populus tremula*, Netherlands, yield tables, different initial spacing, Becking-Hart spacing index, height growth models, power model for basal area increment, systematically and La Bastide-Faber model for thinning effect, mortality and stand projection model.

Dit rapport is gratis te downloaden op: <https://doi.org/10.18174/444097>

Dit rapport is gebaseerd op de databasen:

1. Mohren, G.M.J., L.G. Goudzwaard, J.J. Jansen, P. Schmidt, A. Oosterbaan, J.F. Oldenburger & J. den Ouden, 2017. FEM growth and yield data Monocultures - Poplar (revised version). DANS. <http://dx.doi.org/10.17026/dans-zu3-256e>
2. Ouden, J. den, G.M.J. Mohren & J.J. Jansen, 2016. FEM growth and yield data - Poplar roadside plantations (revised version). DANS. <https://doi.org/10.17026%2Fdans-xky-zh99>

Voorwoord

Gedurende de periode 1947 – 1998 zijn er metingen verricht in permanente proefperken van wat tegenwoordig WUR heet. Bartelink *et al.* (2001) geven een uitgebreid overzicht van de context en publicaties van het groei- en productieonderzoek aan deze en andere boomsoorten in Nederland.

Becking & De Vries (1959) nemen in hun set opbrengsttabellen twee tabellen op voor de populier, een naar van Laar (1957) en een naar Crocoll (1954). Jansen *et al.* (1996) kiezen in tabellenboek voor tabel van Faber & Tiemens (1975).

In een eerder onderzoek naar de groei en productie van douglasopstanden (Jansen *et al.* 2016) is een nieuw groeimodel ontwikkeld. In deze studie zal onderzocht worden of dit model ook toepasbaar is voor de populier. Daarnaast is er de verwachting dat het model verbeterd kan worden met betrekking tot het effect van wijde plantafstanden op de groei.

In dit rapport wordt de ontwikkeling van opstanden van populier van verschillende klonen, met verschil in plantafstanden en wijze van dunning geanalyseerd met het doel een groeimodel te maken voor de ontwikkeling bij een ruim scala aan beheerstrategieën. Tevens wordt aandacht besteed aan de trilpopulier en aan wegbepantingen met populier.

De studie is de negende in een serie, waarin eerst de groei en productie van douglas (Jansen *et al.*, 2016), Japanse lariks, fijnspar, grove den, zomereik, beuk, Corsicaanse den en Oostenrijkse den werden bestudeerd.

De studie volgt waar mogelijk dezelfde werkwijze als de voorgaande studies en vaak zijn delen van de tekst uit deze rapporten overgenomen.

Hans Jansen
Wageningen, 2018

Inhoud

Voorwoord	1
Inhoud	2
1. Inleiding	5
2. Basismateriaal	6
2.2 Gebruik van de data bij de analyses	10
3. Hoogteontwikkeling	11
3.1 Modellen voor hoogtegroei	12
3.2 Analyse	13
3.3 Het uiteindelijke model voor de hoogtegroei	23
3.3.1 Analyse van de residuen	24
3.3.2 Boniteitindeling	26
3.4 Toetsing model met controle plots	27
3.5 Conclusie model hoogtegroei	28
4. Opbrengstniveau	30
4.1 Diameterontwikkeling tot een hoogte van 7 m	31
4.2.1 Directe schatting grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m	33
4.2.2 Indirecte schatting grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m	39
4.2.3 Keuze voor directe of indirecte schatter van grondvlakbijgroei	41
4.3 Grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m bij dichte stand	41
4.4 Grondvlakbijgroei in lijnbeplantingen	44
4.5 Conclusie	48
5. Dunningsysteem	49
5.1 Systematische dunning	49
5.2 Laagdunning bij trilpopulier	50
5.3 Sterfte bij dichte stand	51
6. Constructie Opbrengsttabellen	53
6.1 Overige kenmerken	53
6.1.1 Opstandvolume	53
6.1.2 Hoogte bij Laagdunning voor Trilpopulier	54
6.1.3 Diameter van dunning	54
6.1.4 Beginstamtal	55
6.2 Opbrengsttabellen	55

6.2.1	Keuze voor berekende opbrengsttabellen	55
6.2.2	Constructie van de opbrengsttabel	56
6.3	Kwaliteit van de voorspelling	61
6.4	Vergelijking met andere opbrengsttabellen	63
6.4.1	Hoogteontwikkeling	63
6.4.2	Productieniveau	66
6.4.3	Dunningsysteem	68
6.5	Effecten plantverband op productie	68
6.6	Lijnbeplantingen	70
6.7	Trilpopulier	72
7.	Discussie en conclusies	74
7.1	Hoogtegroei	74
7.2	Grondvlakontwikkeling	74
7.3	Variatie in groei tussen verschillende jaren	77
7.4	Plantafstand en dunning	77
7.5	Trilpopulier	78
7.6	Kwaliteit van het model	79
	Samenvatting	80
	Summary	82
	Literatuur	84
	Bijlage 1. Opbrengsttabellen voor populier	87
	Toelichting opbrengsttabellen	87
	Populier Nederland 2018	88
	Standaard 4 x 4 m	89
	Standaard 5 x 5 m	94
	Standaard 6 x 6 m	99
	Standaard 8 x 8 m	103
	Standaard 10 x 10 m	106
	Free growth 10.2 x 10.2 m	109
	Biomassa 1 x 1 m	112
	Biomassa 1.5 x 1.5 m	114
	Biomassa 2 x 2 m	116
	Populier lijnbeplanting Nederland 2018	118
	Plantafstand 3.2 m	119

Trilpopulier Nederland 2018	124
Sterke laagdunning.....	125

1. Inleiding

Tussen 1947 en 1998 zijn in verschillende studies gegevens verzameld over de groei van populier (*Populus L.*). Met deze gegevens is het mogelijk modellen te maken die de ontwikkeling van populierenopstanden bij een variatie aan beheerstrategieën verklaren en mogelijk voorspellen. Een van de gebruikelijke modellen is een opbrengsttabel.

Een opbrengsttabel is een model waarmee de opstandontwikkeling in de tijd wordt beschreven en het bestaat meestal uit drie submodellen:

1. Model voor de hoogteontwikkeling, dit wordt In Hoofdstuk 3 besproken;
2. Model voor de grondvlakbijgroei in de tijd of relatief ten opzichte van de hoogte, waarmee het productieniveau van opstanden kan worden voorspeld, dit wordt In Hoofdstuk 4 besproken;
3. Model voor de dunning. Dit model moet een definitie geven van de dunninggraden, daarnaast is het de vraag wat de interactie is met model ad 2 bij verschillende dunninggraden. In Hoofdstuk 5 komen deze vragen aan de orde.

In Hoofdstuk 2 worden de basisgegevens besproken. In Hoofdstuk 6 worden de 3 submodellen geïntegreerd tot een serie opbrengsttabellen. Deze worden vergeleken met andere tabellen en voorspellende kwaliteit van de modellen wordt gekwantificeerd. De tabellen zijn te vinden in Bijlage 1.

2. Basismateriaal

Sinds 1947 is in Nederland onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van populierenopstanden. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens uit de volgende studies en datasets:

1. Dunningonderzoek Becking 1947-1992. Dit onderzoek betrof 12 verschillende boomsoorten in Nederland met ongeveer 400 proefperken, waarvan 58 perken met populier. Van een gestuurde behandeling is bij de populier nauwelijks sprake. Het betreffen verschillende populierensoorten en cultivars met een grote verscheidenheid aan plantverband. In één perk is een stamanalyse uitgevoerd. In principe is er sprake van een systematische dunning. Maar omdat het plantverband bij aanvang al zo wijd was dat die dunning nooit nodig was is er ook sprake van behandeling zonder dunning. Deze behandeling zonder dunning kwam ook voor omdat een geplande dunning niet werd uitgevoerd. Bij een enkel proefperk kwam laagdunning voor, zie Tabel 2 voor een overzicht;
2. Groei- en productieonderzoek Dorschkamp. Dit onderzoek is opgezet ten behoeve van het opstellen van opbrengsttabellen en volumetabellen. De totale omvang is onbekend. Er zijn gegevens beschikbaar van 76 proefperken met verschillende populierensoorten en cultivars met een grote verscheidenheid aan plantverband. Het onderzoek liep vermoedelijk van 1950 – 1985, helaas zijn de opnamedata niet bewaard gebleven;
3. IBN Plantafstand Proeven. Dit zijn 2 permanente proefveldcomplexen met ieder 3 proefperken. Het onderzoek liep vermoedelijk van 1975 – 1990, helaas zijn de opnamedata niet bewaard gebleven;
4. HOSP 1984-2000. Dit zijn ca. 3000 permanente steekproefpunten uit de 4^e bosstatistiek in beheer bij de Stichting Probos. Hieruit zijn 42 monocultures met populier geselecteerd met 3 of meer opnamen. Er is geen sprake van een behandeling in het onderzoek, maar de ontwikkeling inclusief de door de eigenaren/beheerders uitgevoerde dunning wordt gevolgd.
8. Nelder Standruimte Proeven 1976-1998. Er zijn 3 permanente Nelderproefvelden (Nelder, 1962) met populier. Ieder proefveld bestaat uit 6 tot 9 series met gelijke standruimte per boom, daarnaast nog 3 series met randbomen. Er zijn 3 cultivars onderzocht zonder dunning. Een serie binnen het Nelderproefveld wordt gezien als een proefperk. Totaal zijn dat 21 proefperken, die zijn echter onderling niet onafhankelijk;
13. Weg- en grensbeplantingen 1951-1997. Er zijn 32 permanente proefvakken met populier, hier verder aangeduid als lijnbeplantingen.

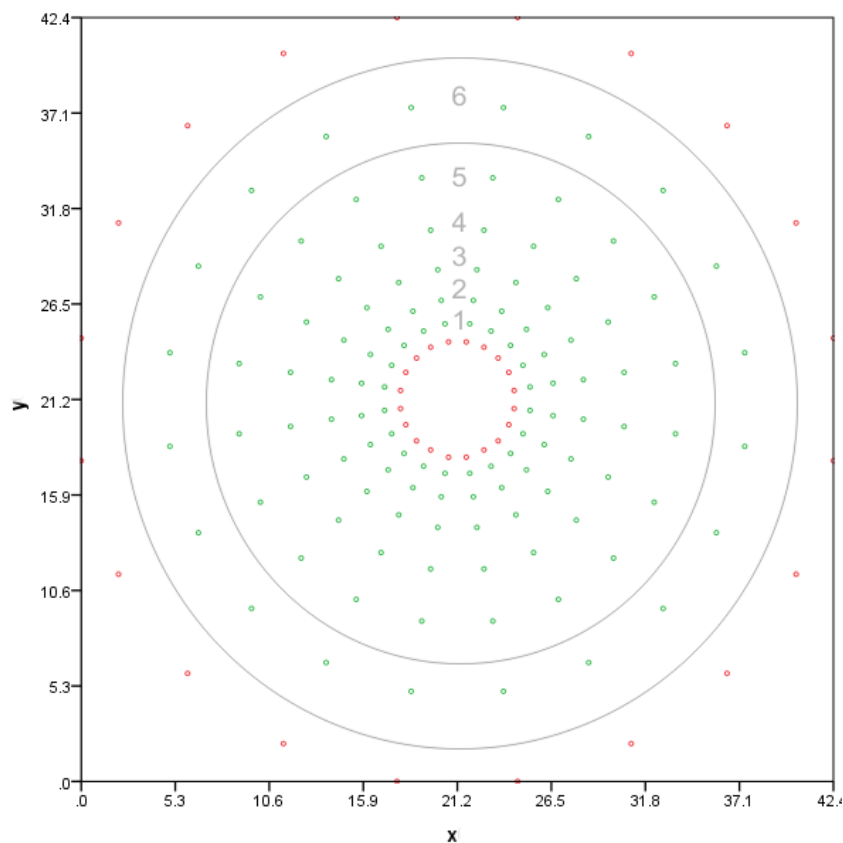
In totaal zijn op basis van bovengenoemde studies en data sets 1808 opnamen in 235 proefperken in de huidige studie opgenomen. De proefvelden betreffen, behalve die van studie 4 en 13, proefvakken een zekere vaste oppervlakte bos. In studie 4 gaat het om vaste steekproefpunten met een variërende straal zodanig dat er minimaal 25 bomen in de steekproef liggen. Door kap of ingroei kan deze wijzigen. Alleen dat deel wat in alle opnamen aanwezig was is bij het onderzoek betrokken. Voor studie 13 gaat het om een vast lengtetraject, zonder een gedefinieerde breedte en oppervlakte. Voor het gebruik in dit onderzoek zijn de basisgegevens geconverteerd naar oppervlakte door gebruik te maken van de conversiefactor $1 \text{ km} \equiv 1 \text{ ha}$, dit gaat uit van een hypothetische breedte van 10 m. Het CBS (1989) hanteert overigens een conversiefactor van $1 \text{ km} \equiv 0.8 \text{ ha}$.

Voor de proefvelden van studie 8 zie Figuur 1.

Voor het bepalen van de dunninggraad is het S-procent van Hart (1928) (ook bekend als de Hart-Becking Spacing Index) van alle perken en opnamen berekend met formule (1):

$$S\% = \frac{sp_{at}}{h_{at}} \cdot 100 = \frac{100}{h_{at}} \cdot \sqrt{\frac{10000}{N_{at}}} \quad (1)$$

In deze definitie is de gemiddelde boomaafstand na dunning (sp_{at}) bepaald met een regelmatig vierkantverband. Het symbool h_{at} staat voor de gemiddelde hoogte na dunning. Normaliter wordt gekozen voor een driehoekverband en wordt de relatieve standruimte uitgedrukt ten opzichte van de opperhoogte, maar aangezien populier meestal in een rechthoekig verband wordt aangelegd en de opperhoogte geen ideale maat voor de opstandhoogte bij klonen is gekozen voor deze versie voor het S%.



Figuur 1. Stamvoetenkaart Nelder plot P312 Horsterbos. De rode punten betreffen de coördinaten van de randbomen. De groene punten die van de proefbomen. De bomen op cirkel 6 liggen binnen de twee weergegeven grenscirkels en vormen samen een proefperk. De bomen op de cirkels 1, 2, 3, 4 en 5 vormen per cirkel eveneens een proefperk, hier zijn bijbehorende grenscirkels niet getekend.

Figure 1. Tree position map of plot P312 Horsterbos. Green dots represent the positions of plot trees, red dots represent border trees. The trees within circle 6 are located between the outer and inner border circle and together represent one experimental plot. The trees on the circles 1, 2, 3, 4 and 5 represent 5 experimental plots (no border circles drawn).

Proefperken liggen normaliter in een opstand, waarbij de bomen in het proefperk dezelfde behandeling ondergaan als die in de naaste omgeving van het proefperk (meestal aangeduid als bufferzone). Bij de Nelderproeven is daar geen sprake van (zie Figuur 1).

2.1 Algemene gegevens proefperken

Van alle proefperken van de studies 1, 4, 8 en 13 en ook van 5 proefperken met trilpopulier van studie 2 zijn basisgegevens als oppervlakte (ha), stekjaar, cultivar/soort en ligging bekend. Bij de ligging is onderscheid gemaakt tussen de regio's Noord (Drenthe, Friesland en Groningen, kop van Overijssel), Midden (rest Overijssel, Gelderland, Flevoland, Utrechtse Heuvelrug en Vallei en het Gooi), Zuid (Noord-Brabant en Limburg), West (Noord-Holland, Zuid-Holland, westelijke deel Utrecht en Zeeland (exclusief het duingebied), en Kustgebied (Waddeneiland en duingebieden in Holland en Zeeland).

In Tabel 1 is aangegeven welke cultivars of soorten het vaakst per proefperk en per studie voorkomen.

Tabel 1. Hoofdboomsoort of cultivar per studie.

Table 1. Main tree species or cultivar per study

Soort/variëteit		Studie						Totaal
Code	Naam	1	2	3	4	8	13	
0	onbekend	1			40			41
1	'Gelrica'	6	1				2	9
2	'Heidemij'	1					7	8
3	'Forndorf'	5					7	12
4	'Robusta'	2	24				10	36
5	'Serotina'	9					6	15
6	'Marilandica'	32	21					53
7	'Agatha F'					6		6
8	'Barn'			3				3
9	'Dorskamp'		10					10
10	'Geneva'		10					10
11	'Rap'					9		9
12	'Spijk'					6		6
14	'Androscoggin'			3				3
15	'Oxford'		5					5
16	<i>Populus alba</i>				1			1
17	<i>Populus tremula</i>	2	5		1			8
Totaal		58	76	6	42	21	32	235

In veel gevallen is bij aanleg gebruik gemaakt van de hulpboomsoort zwarte els, deze zijn vaak meerdere keren afgezet en later zo goed als verdwenen. Ze zijn echter nooit gemeten.

Bij de perken 1, 7, 31, 32, 33, 34, 177, 179, 188, 191, 192, 196 en 197 is sprake van een zogenaamde boomweide.

Bij perk 12 (Best 9) is bij aanleg fijnspar tussen de populier aangeplant. Omdat de hoogtegroei van de fijnspar sterk achterblijft bij die van de populier is dit proefperk opgenomen bij studie 1 als een monocultuur (dus zonder de fijnspar). Maar daarnaast is dit proefperk ook

geregistreerd bij de meetseries van de gemengde proefperken (in data base "[FEM growth and yield data Mixed species forest](#)", Bartelink *et al.*, 2016).

In perk 20 (Maas en Waal 6) is sprake van een wilgenhakgriend in de ondergroei, dit is niet gemeten.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de behandelingen per studie.

Tabel 2. Behandeling in dunning per studie

Table 2. Thinning treatment per study.

	zonder dunning	Zonder dunning met sterfte	systematische dunning	laagdunning	totaal
WU Dunningproeven Becking	30	25	3	0	58
Dorschkamp/IBN	35	36	5	0	76
IBN plantafstand proeven	0	0	0	6	6
HOSP	9	31	2	0	42
IBN Nelder proeven	0	0	0	21	21
Lijnbeplantingen	12	20	0	0	32
Totaal	86	112	10	27	235

Per proefperk en opname zijn de gegevens beschikbaar, zoals vermeld in Tabel 3.

Voor een volledige beschrijving van gemeten en berekende gegevens bij de oppervlakteproefperken zie de file "Read me - FEM growth and yield data Monocultures - Poplar.pdf" in de database "[FEM growth and yield data Monocultures - Poplar \(revised version\)](#)" (Mohren *et al.*, 2017) en voor de lijnbeplantingen de file "Read me - FEM growth and yield data - Poplar roadside plantations.pdf" in de database "[FEM growth and yield data - Poplar roadside plantations \(revised version\)](#)" (den Ouden *et al.*, 2016).

Tabel 3. Basisgegevens per plot en opname na conversie van de lijnbeplantingen.

Table 3. Base information per plot and recording after conversion of the line plantations.

Symbol	Betekenis
plotnr	Plotnummer
study	Studienummer
region	Regio
area	Plot oppervlakte in ha
yog	Kiemjaar of stekjaar
N_0	Beginstamtal
var	Soort of kloon
MS	Beheersysteem
nrec	Aantal opnamen
rec	Opname nummer
DOR	Datum van de opname
age	Leeftijd in jaar
N_{bt}	Stamtal per ha voor dunning
G_{bt}	Grondvlak voor dunning in m^2/ha
h_{bt}	Gemiddelde hoogte in m voor dunning
d_{bt}	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm voor dunning
V_{bt}	Volume voor dunning in m^3/ha
N_{th}	Stamtal per ha van de dunning
G_{th}	Grondvlak van de dunning in m^2/ha
h_{th}	Gemiddelde hoogte in m van de dunning
d_{th}	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm van de dunning
V_{th}	Volume van de dunning in m^3/ha
N_{at}	Stamtal per ha na dunning
G_{at}	Grondvlak na dunning in m^2/ha
h_{at}	Gemiddelde hoogte in m na dunning
d_{at}	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm na dunning
V_{at}	Volume na dunning in m^3/ha

2.2 Gebruik van de data bij de analyses

Alle data behalve die van studie 4 (HOSP) worden gebruikt bij het ontwikkelen van de modellen in de hoofdstukken 3, 4 en 5. Het betreft 1663 opnamen in 193 proefperken. In hoofdstuk 6 worden de ontwikkelde modellen geïntegreerd in een set opbrengsttabellen en een *'stand projection'* model. Met dit laatste model wordt, gebruik makend van diverse functies waarmee de opbrengsttabel wordt gemaakt, de groei voorspeld van opstanden, ook als de huidige opstandkarakteristieken niet voldoen aan de waarden in de opbrengsttabel. In paragraaf 6.3 wordt de kwaliteit van dit opstand projectie model getoetst voor zowel de gebruikte data uit de studies 1,2, 3 en 8 als voor de praktijksituaties van de HOSP-data van studie 4. Dat laatste gaat om 145 opnamen in 42 steekproefpunten. Deze HOSP-studie dient dus als een onafhankelijke controle set. In Paragraaf 5.2 echter is het HOSP plot 160 wel meegenomen bij de analyse.

3. Hoogteontwikkeling

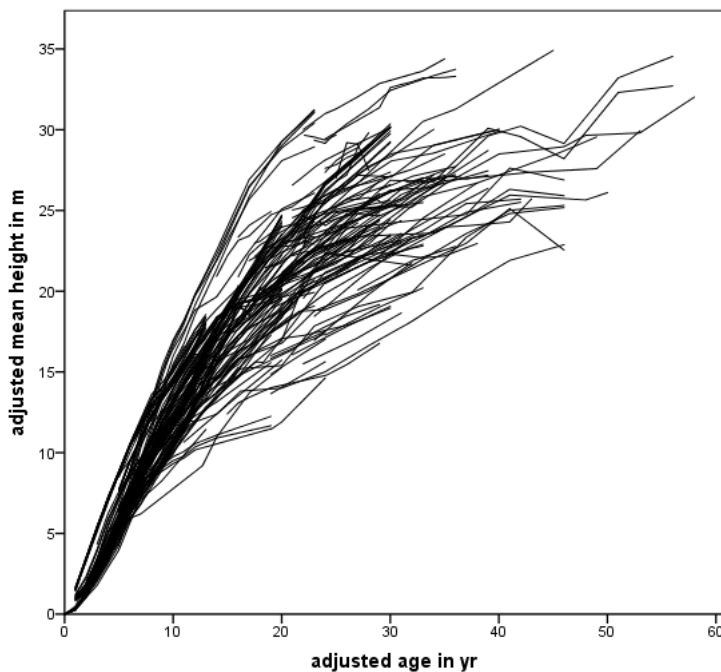
Voor het modelleren van de hoogtegroei is het gebruikelijk te werken met de opperhoogte (h_{top}) of de dominante hoogte (h_{dom}), omdat dit in beide gevallen een dominante boom betreft. Dit soort bomen wordt maar zelden gedund, althans in de laagdunning waarmee de meeste proefperken zijn beheerd, waarmee de verandering een echte dynamiek betreft en geen statistische verandering ten gevolge van dunning. Maar bij cultivars met systematische dunning en zeer wijde plantverbanden zoals bij de populier heeft deze maat geen waarde en is gewerkt met de gemiddelde hoogte. Om het eventuele toevallig effect van dunning op de hoogte te minimaliseren is de gemiddelde hoogte al volgt gedefinieerd:

$$h_m = \frac{\bar{h}_{bt} + \bar{h}_{at}}{2} \quad (2)$$

Daarnaast is er een ander probleem bij het gebruik van populierenstekken, deze waren bij de oude cultivars 'Gelrica', 'Heidemij', 'Forndorf', 'Marilandica', 'Robusta' en 'Serotina' meestal tweejarig en ongeveer 1.5 m lang. Maar ook wel eenjarig van 1 m of driejarig van 2 m. Bij de nieuwe cultivars 'Barn', 'Geneva', 'Rap' en 'Spijk' is tweejarige stek ongeveer 2.5 m lang en bij 'Agatha F' is gebruik gemaakt van eenjarige stek die gemiddeld 2.4 m lang was. Er is daarom bij de analyse gewerkt met een aangepaste leeftijd en hoogte vanaf het moment van planten:

$$\begin{aligned} h_{adj} &= h_m - h_0 \\ t_{adj} &= t - t_0 \end{aligned} \quad (3)$$

where h_0 and t_0 are the height and age of the cutting



Figuur 2. Aangepaste hoogteontwikkeling van de analyse proefperken.

Figure 2. Development of adjusted tree height for the analyse plots.

In Figuur 2 is de hoogteontwikkeling gegeven van de met formule (3) gecorrigeerde hoogte en leeftijd van de analyse plots.

Bij de plots met trilpopulier zijn in alle gevallen de h_0 en t_0 op nul gesteld, hier start de hoogteontwikkeling dus op de gebruikelijke wijze in het nulpunt.

3.1 Modellen voor hoogtegroeï

In de huidige Nederlandse opbrengsttabel voor de populier van Faber & Tiemens (1975) is het zogenaamde Chapman-Richards model gebruikt:

$$h_m = S \cdot (1 - e^{-at})^b \quad \text{for } h \geq 8 \text{ m} \quad (4)$$

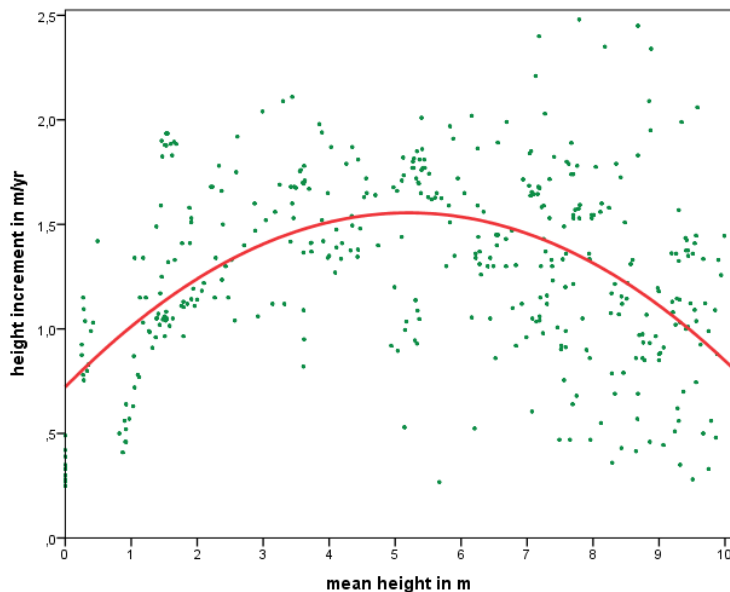
Model (4) bevat soortspecifieke parameters (a en b) en proefperkspecifieke parameters (S).

In model (4) is S de zogenaamde “site index” de proefperkspecifieke parameter. Deze S kan gezien worden als de afplattingshoogte en het is tevens een maat voor de boniteit, in dit geval een absolute hoogteboniteit. In gebruikte meetseries (zie Figuur 2) lijkt deze afplattingshoogte bij ongeveer 35 jaar te zijn bereikt, van topsterfte was in enkele gevallen sprake. Er zijn echter 2 proefperken (nr. 17 Loenen 1 en nr. 30 Nuenen 4) waarin de hoogte ook boven de 40 jaar nog toeneemt.

Het model om de hoogteontwikkeling te beschrijven moet voldoen aan de volgende eisen:

1. Het model moet een rechtscontinu stijgende functie in de leeftijd zijn, met een asymptoot die overeenkomt met de verwachte afplattingshoogte. De hoogste gemeten boom in de dataset was 39.8 m en de grootste gemiddelde hoogte was 36.9 m. Bij de opname voor de 4^e bosstatistiek (CBS, 1985) is de opperhoogte per opstand geschat. De hoogste waarde voor populier bedroeg 36 m. De maximale S -waarde voor de beste boniteit voor de populier zal daarom ongeveer 39 m moeten zijn. Jansen *et al.* (1996) gebruikten als maximale S -waarde in hun bewerking van de tabel van Faber & Tiemens (1975) voor de beste groeiklasse 45.3 m. Dit lijkt dus een overschatting. In het model met h_{adj} zal de S -waarde daarom maximaal 37 à 38 m mogen zijn;
2. Een andere eis kan gesteld worden aan de aangepaste hoogte bij een bepaalde aangepaste leeftijd, op basis van Figuur 2 komt daarom 25 jaar voor in aanmerken, de h_{adj25} moet tussen 15 en 32 m liggen;
3. Op het aangepaste tijdstip 0 moet de aangepaste hoogte ook 0 zijn. Daarna moet de groei in de jeugd langzaam op gang komen en afhankelijk van de cultivar zal de groei in het eerste jaar 0.5 tot 2.0 cm zijn;
4. De hoogtegroeï versnelt tot de aangepaste hoogte (h_{adj}) ongeveer 5 meter bedraagt. Het buigpunt van de curve zal zeker tussen de 3 en 8 m moeten liggen (zie Figuur 3);
5. De algemene maat voor de verklaring (hiervoor is R^2_{adj} gebruikt) moet hoog zijn;

6. De kwaliteit van de schatter van boniteit-parameters door naar de variatiecoëfficiënt CV ervan te kijken. Indien het model voor alle proefperken geschikt is, zal het 95% betrouwbaarheidsinterval van CV klein zijn;
7. De parameterschattingen moeten significant zijn.



Figuur 3. Hoogtebijgroei als functie van de aangepaste hoogte voor $h_{adj} \leq 10$ m. Met de rode lijn is de kwadratische fit aangegeven door de puntenwolk, met een maximum voor i_h bij $h_{adj} = 5.2$ m

Figure 3. Height increment as a function of the adjusted height for $h_{adj} \leq 10$ m. The red line shows the quadratic fit through the measured points, with a maximum at $h_{adj} = 5.2$ m.

In principe kunnen naast de bekende groeifuncties ook kansverdelingen aan bovenstaande eisen voldoen, maar ook functies zonder asymptoot kunnen gebruikt worden door een maximale hoogte bij een grensleeftijd te definiëren. Hiernavolgend zullen voornamelijk modellen voor de hoogtegroei worden onderzocht met een asymptoot.

3.2 Analyse

Het onderzoek naar het hoogtegroeimodel is in 4 stappen uitgevoerd. Er zijn voor de analyse van de hoogtegroei gegevens gebruikt uit 193 proefperken met in totaal 1663 opnamen.

Bij het ontwikkelen van het hoogtegroeimodel zijn de volgende onderzoeksvragen relevant:

1. Welk model voldoet het best? (Stap 1);
2. Faber (1985) en Houtzagers en Schmidt (1994) geven aan dat in een aantal Nelderproefvelden in Flevoland er een relatie is tussen de hoogteontwikkeling en de standruimte. De vraag is hoe dit fenomeen het model beïnvloed (Stap 2);

3. Faber en Tiemens (1975) kiezen voor een standaard parameter-set voor de hoogte groei maar geven aan dat er verschillen per cultivar zijn. De vraag is hoe dat in de huidige dataset uitpakt (Stap 3), daarnaast is het de vraag of het uitmaakt of het om een bosbeplanting of een lijnbeplanting van die kloon gaat;
4. Voldoet het model voor heel Nederland of zijn er regionale verschillen (Stap 4).

In Paragraaf 3.3 zullen de resultaten in een totaal model worden gepresenteerd, een indeling boniteiten worden ontworpen. In Paragraaf 3.4 wordt dit model getoetst met de data van de controle set.

Stap 1. Modelkeuze

De volgende vijf modellen zijn onderzocht.

1. Het homomorfe model van Chapman-Richards (zie Pienaar & Turnbull, 1973):

$$h_{adj} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b \quad (5)$$

2. Burkhart & Tennent (1977) paste het Chapman-Richard model aan door de parameter a als functie van S uit te drukken waardoor een heteromorf model ontstaat:

$$h_{adj} = S \cdot (1 - e^{-(a_0 + a_1 \cdot S) \cdot t_{adj}})^b \quad (6)$$

3. Jansen & Hildebrand (1986) pasten de werkwijze van Burkhart & Tennent toe op de b -parameter, hierdoor ontstaat eveneens een heteromorf model:

$$h_{adj} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^{(b_0 + b_1 \cdot S)} \quad (7)$$

4. Jansen *et al.* (2016) pasten model (7) aan door een jeugdgroei-component toe te voegen gebaseerd op het model van Korf (1939):

$$h_{adj} = \begin{cases} f_1(t_{adj}) = x \cdot \frac{e^{-a_k \cdot t_{adj}^{-c}}}{e^{-a_k \cdot t_x^{-c}}} & \text{for } t_{adj} \leq t_x \\ f_2(t_{adj}) = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^{(b_0 - b_1 \cdot S)} & \text{for } t_{adj} > t_x \end{cases} \quad (8)$$

where $t_x = -\frac{\ln(1 - (x/S)^{1/b})}{a}$ for $h_{adj} = x$ and $a_k = \frac{a \cdot b \cdot (S/x) \cdot e^{-a \cdot t_x} \cdot (1 - e^{-a \cdot t_x})^{b-1}}{c \cdot t_x^{-c-1}}$

Voor de grenswaarde voor de jeugdgroei is $x = 5.2$ meter aangehouden

5. Het Cieszewski model (2001) gebruikt een referentieleeftijd, voor $t_{adj} = 25$ jaar luidt het:

$$h_{adj} = h_{25adj} \cdot \frac{t_{adj}^a \cdot (25^a \cdot R + b)}{25^a \cdot (t_{adj}^a \cdot R + b)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot b \cdot h_{25adj}}{25^a}} \text{ and } Z = h_{25adj} - c \quad (9)$$

Dit heteromorfe model heeft wel een asymptoot, maar de oplossing moet gevonden worden met formule (9). Johansson (2011) concludeerde in zijn groeistudie voor populier in Zweden dat het model van Cieszewski het beste resultaat gaf.

Een probleem bij het schatten van de parameters van de modellen is dat naast de 2 of 3 parameters van het model ook de boniteit (de 193 proefperkparameters S of h_{ref}) moeten worden geschat. “Zo wordt bijvoorbeeld het Chapman-Richards model (5) herschreven tot

$$h_{adj,ij} = \left(\sum_{i=1}^{193} S_i \cdot x_i \right) \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj,ij}})^b \text{ for the } j^{\text{th}} \text{ recording in the } i^{\text{th}} \text{ plot} \quad (10)$$

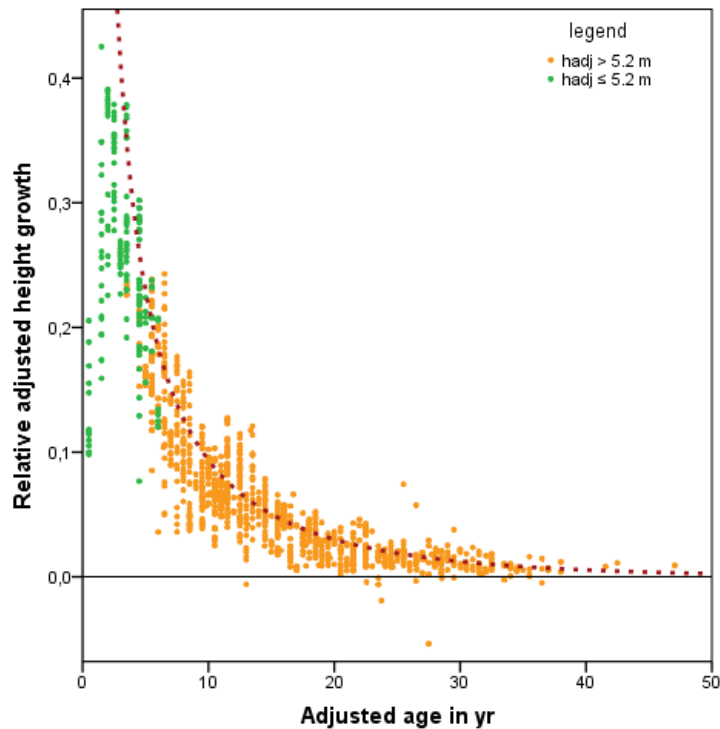
Hierin is x_i een variabele die 1 is in het i^{de} perk en 0 elders.

Om dit probleem te vermijden geven La Bastide en Faber (1972) een oplossing, door niet h_{top} te schatten maar de relatieve groei ervan:

$$y = \frac{dh_{top}}{dt} \cdot \frac{1}{h_{top}} = \frac{(h_{top2} - h_{top1})}{(t_2 - t_1) \cdot (h_{top1} + h_{top2}) / 2} \quad (11)$$

Met de huidige reken capaciteit is dat niet meer nodig, maar hiermee kunnen wel goede beginchatters voor de modelparameters worden gevonden.

In Figuur 4 is deze relatieve groei tegen de leeftijd uitgezet, met de hier getoonde grote variatie zal een duidelijk beste model niet eenduidig te bepalen zijn. De waarnemingen met een aangepaste hoogte beneden de 5 à 10 m hebben een zeer grote invloed op keuze voor de groeicurve (Figuur 4). In de meeste opbrengsttabellen wordt de moeilijk te modelleren jeugdgroei dan ook weggelaten.



Figuur 4. Relatieve hoogtegroei als functie van de leeftijd. Negatieve waarden duiden op topsterfte of meetfouten. De gearceerd donkerrode lijn geeft de beste fit met het Chapman-Richard model weer.

Figure 4. Relative height increment as a function of age. Negative values can be a die-back situation or regards to measuring errors. The dashed dark red line represents the best fit with Chapman-Richard's model

De criteria van Pagina 12 zijn in een Multi criteria-analyse met gelijk gewicht meegenomen (naar Jansen *et al.*, 2018a). In Tabel 4 zijn de resultaten weergegeven van de regressieanalyse van de opperhoogte met de besproken modellen. In de bovenste helft van Tabel 4 de absolute waarde voor de criteria opgenomen. In het onderste deel van de tabel is de volgorde van resultaat (beste=1 en slechtste is 5) gegeven (1.5 is gedeelde 1^e en 2^e plaats).

Tabel 4. Resultaten van niet-lineaire regressie met de geselecteerde modellen in de MCA.

Table 4. Results of nonlinear regression for the selected models in MCA.

	model	$n_{par}^{1)}$	R^2_{adj}	CV	h_{25}	S	h_{ij}	Par-s ²⁾	Par-r ³⁾	result
values	Chapman-Richards	2	0.986	2 {1;4}	24 {17;31}	30 {21;39}	5 {4;7}	+	+	1
	Burkhardt & Tennent	3	0.986	3 {1;6}	24 {16;31}	31 {19;42}	5 {3;7}	+	-	4
	Jansen & Hildebrand	3	0.986	3 {1;5}	24 {16;31}	33 {20;41}	5 {2;7}	+	-	2
	Jansen <i>et al.</i>	4	0.984	3 {1;5}	24 {17;31}	30 {20;39}	5 {4.6}	+	-	3
	Cieszewski	3	0.986	2 {1;4}	23 {16;29}	34 {24;43}	6 {4;8}	-	-	5
ranking	Chapman-Richards	2	4	1.5	1.5	1	2	2.5	1	13.5
	Jansen & Hildebrand	3	1	3.5	3.5	3	3	2.5	3.5	20
	Jansen <i>et al.</i>	4	5	3.5	1.5	2	4	2.5	3.5	22
	Burkhardt & Tennent	3	2	5	3.5	4	1	2.5	3.5	21.5
	Cieszewski	3	3	1.5	5	5	5	5	3.5	28
	best score			max	min	24 {17;31}	< 37	5.2 {3;8}	+	+

¹⁾ Aantal model parameters exclusief de 193 boniteit parameters voor ieder proefperk.

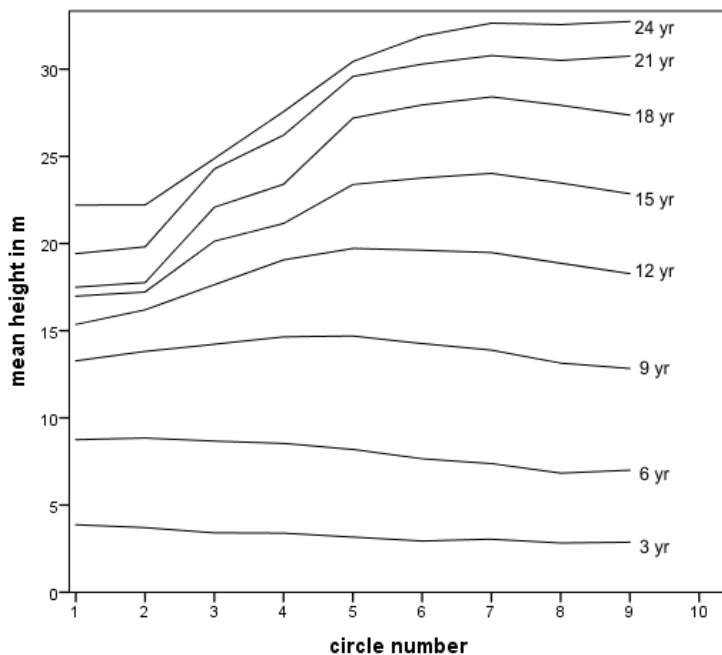
²⁾ Parameter significantie: + : alle significant, 0 : ingestelde parameters, - : één of meer niet significant

³⁾ Parameter relevantie: + : alle relevant, - : één of meer niet relevant (negatieve waarde)

Het Chapman-Richards model komt als beste uit de MCA, gevonden werd $a = 0.0748$ en $b = 1.3921$ met een R^2_{adj} van 0.986 en een standaardafwijking van 96 cm. In alle andere heteromorfe modellen leidde de parameter-combinatie juist tot minder divergentie bij de jeugd-groei, en zijn daarom niet nader onderzocht.

Stap 2. Effect dichtheid of hoogteontwikkeling.

Faber (1985) stelt dat de hoogtegroei van bos ook beïnvloed wordt door de dichtheid, en dat dit in het bijzonder bij klonen van belang is. Faber laat een figuur zien voor het Nelderproefveld 308 met de cultivar Rap met de waarnemingen tot 11 jaar. Deze figuur is nu opnieuw getekend (Figuur 5) tot en met de laatste opname. Tot ongeveer 6 jaar is er voordeel van de beschuttende werking in het zeer dichte plantverband van cirkel 1 ($N_0 = 6441$), bij 24 jaar is er vanaf cirkel 7 ($N_0 = 246$) geen invloed meer van de plantdichtheid.



Figuur 5. Hoogte per leeftijd in de 9 opeenvolgende cirkels van Nelder-plot 308.

Figure 5. Height per age in the nine successive circles in Nelder plot 308.

Het achterblijven van de hoogteontwikkeling in de zeer dichte stand heeft mogelijk ook te maken met de keuze voor de gemiddelde hoogte als maat voor de opstandhoogte. Ter illustratie zijn wat vergelijkbare gegevens gezocht voor de douglas in de dataset "[FEM growth and yield data Monocultures - Douglas fir](#)" (Schoonderwoerd *et al.*, 2016). Omdat in het Nelderproefveld Harderbos alle boomhoogten gemeten zijn kan hier ook de opperhoogte berekend worden. In Tabel 5 is te zien dat deze definitie wel degelijk invloed heeft, maar de verschillen bij de hoogte blijken bij de populier toch aanzienlijk groter.

Een tweede reden voor de verschillen is ongetwijfeld de geringe variatie in afmetingen bij klonen ten opzichte van uit zaad opgegroeid plantsoen. De variatiecoëfficiënt van de gemeten hoogte bij populier in alle opnamen blijkt gemiddeld 0.066, voor de douglas is dat 0.155 dus 2.3 maal zo groot.

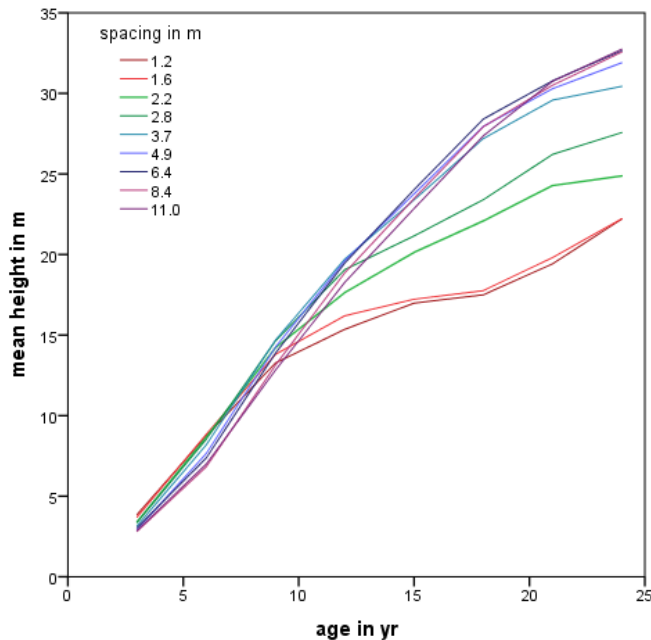
Tabel 5. Vergelijking populier en douglas bij ongeveer gelijke boomafstand (*sp*).

Table 5. Comparison of poplar and Douglas fir at approximately equal spacing (*sp*).

Proefperk	boomsoort	<i>t</i> in jr	<i>sp</i> in m	h_m/h_g in m	h_{top} in m
Harderbos 3	populier	24	3.82	22.21	26.00
Harderbos 6	populier	24	5.37	31.90	32.82
Grevenhout B1	douglas	67	3.44	26.08	32.17
Grevenhout L2	douglas	67	5.37	32.84	34.96

In Figuur 6 is het verloop van de hoogteontwikkeling bij de 9 cirkels van het Nelderproefveld te zien. Iedere cirkel is door Faber (1985) als een afzonderlijk proefperk opgevat en in deze studie is deze werkwijze gevolgd. Statistisch is dit niet verantwoord omdat de proefperken

dan niet meer onderling onafhankelijk zijn. Daarnaast gaat het om maar één rij bomen per proefperk, zodra een boom sterft in een cirkel, verandert niet alleen de gemiddelde boomafstand in het betreffende proefperk, maar ook in die van de ernaast gelegen proefperken. Maar het geeft wel de mogelijkheid de fenomenen te duiden en te kwantificeren, uitspraken over de bijbehorende nauwkeurigheid zijn niet hard te maken.



Figuur 6. Hoogte als functie van de leeftijd per cirkel van Nelder-plot 308, van iedere cirkel is in de legenda de oorspronkelijke plantafstand vermeld.

Figure 6. Height as a function of the age per circle of Nelder plot 308, of each plot circle the original spacing is given in the legend.

De drie buitenste cirkels blijken tot 24 jaar een min of meer gelijke hoogteontwikkeling te hebben. De natuurlijke groeiplaatsomstandigheden zijn in het gehele proefveld bij benadering hetzelfde en er mag dus eenzelfde boniteit worden verondersteld. Modelmatig zal dan de S -waarde voor het hele proefveld hetzelfde zijn. Maar de met model (5) gevonden S -waarden blijken flink te verschillen, namelijk van 29 tot 39 m. Dit kan worden opgelost door dezelfde S -waarde te forceren voor alle 9 cirkels waarbij de beide parameters a en b per cirkel (proefperk) zullen verschillen. Het proefveld P308 omvat de proefperken 108 tot en met 116. Er zijn nog 2 andere Nelder proefvelden en nog 2 andere proefveldcomplexen met plantafstandproeven, in totaal zijn er dan 5 groepen en een restgroep. Hierdoor moet formule (5) als volgt worden aangepast:

$$h_{adj} = \sum_{i \in G_0} cor \cdot S_i \cdot x_i \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b + \sum_{k=1}^5 \left\{ \sum_{i \in G_k} cor \cdot S_k \cdot x_i \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b \right\}$$

where $cor = f_1(\text{spacing})$ and $b = f_2(\text{spacing})$

$G_1 =$ group 1, plots 108 - 116

$G_2 =$ group 2, plots 117 - 119

$G_3 =$ group 3, plots 120 - 122

$G_4 =$ group 4, plots 123 - 128

$G_5 =$ group 5, plots 129 - 134

$G_0 =$ group 0, other plots 1 - 107, 135 - 156 and 199 - 203

(12)

Met een vereenvoudigde weergave van S luidt Formule (12):

$$h_{adj} = cor \cdot S \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b$$

$$\text{where } cor = \begin{cases} 1 & \text{for plots with thinning} \\ 1 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_0 \\ 1 - c_{sp} \cdot (c_0 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_0 \end{cases}$$

(13)

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{for plots with thinning} \\ b_0 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_0 \\ b_0 - b_{sp} \cdot (c_0 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_0 \end{cases}$$

$sp_0 =$ the initial spacing

De R^2 adj stijgt daardoor licht maar blijft afgerond 0.986, alle parameters zijn significant en de gevonden S -waarden zijn gemiddeld 29.8 (tussen 17.5 en 39.3).

Stap 3. Verschillen tussen de cultivars en lijnbeplanting versus bos

Model (13) is te herschrijven tot:

$$h_{adj} = cor \cdot S \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b$$

$$\text{where } cor = \begin{cases} 1 & \text{for plots with thinning} \\ 1 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_0 \\ 1 - c_{sp} \cdot (c_0 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_0 \end{cases}$$

(14)

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{for plots with thinning} \\ b_0 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_0 \\ b_0 - b_{sp} \cdot (c_0 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_0 \end{cases}$$

$$a = a_r \cdot x_r + \sum_{j=1}^k a_j \cdot var_j$$

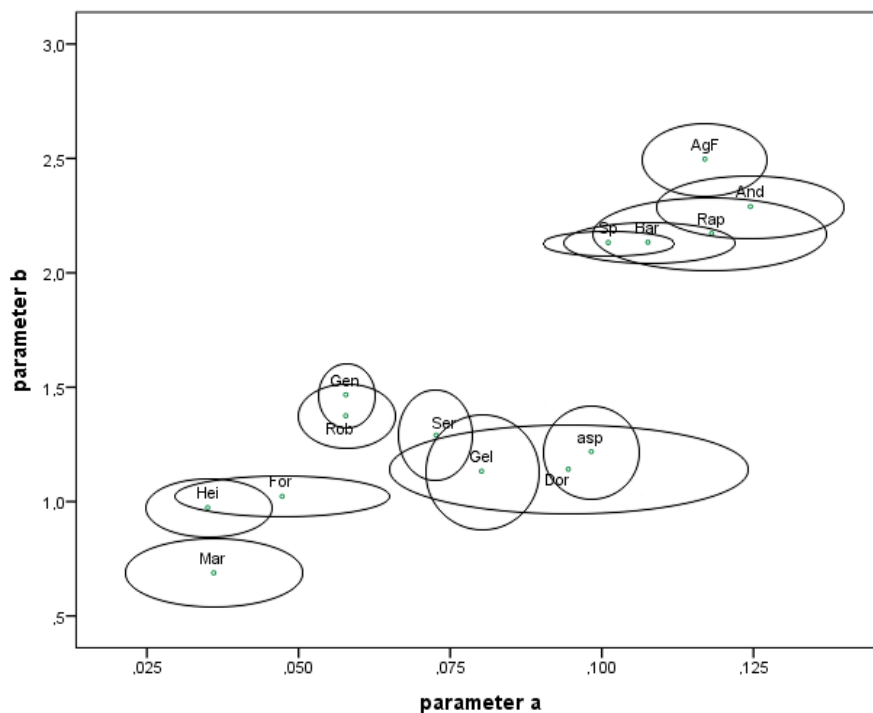
$$b_0 = b_r \cdot x_r + \sum_{j=1}^k b_{0j} \cdot var_j$$

$$var_j = \begin{cases} 1 & \text{for the } j^{\text{th}} \text{ variety} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$x_r = \begin{cases} 1 & \text{for roadside plot} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

sp_0 = the initial spacing

Alle parameters waren significant Maar de (a,b) -parametercombinaties van de verschillende variëteiten sloten elkaar niet alle onderling uit (zie Figuur 7). De R^2 adj van het model steeg naar 0.995 met een standaarddeviatie van 59 cm.



Figuur 7. Betrouwbaarheidsellipsen van parametercombinatie a en b voor de populierenvariëteiten. AgF = 'Agatha F', And = 'Androscoggin', asp = Populus tremula, Bar = 'Barn', Dor = 'Dorskamp', Gel = 'Gelrica', Gen = 'Geneva', Hei = 'Heidemij', For = 'Forndorf', Rob = 'Robusta', Ser = 'Serotina', Mar = 'Marilandica', Rap = 'Rap' en Sp = 'Spijk'.

Figuur 7. Confidence ellipses of parameter combination a and b for the Poplar varieties. Where AgF = 'Agatha F', And = 'Androscoggin', asp = Populus tremula, Bar = 'Barn', Dor = 'Dorskamp', Gel = 'Gelrica', Gen = 'Geneva', Hei = 'Heidemij', For = 'Forndorf', Rob = 'Robusta', Ser = 'Serotina', Mar = 'Marilandica', Rap = 'Rap' en Sp = 'Spijk'.

Met behulp van Figuur 7 bleken er vijf groepen te onderscheiden (zie Tabel 6 voor de groepen).

Door in model (14) de groepen in plaats van de variëteiten in te voeren volgt:

$$h_{adj} = cor \cdot S \cdot (1 - e^{-a \cdot t_{adj}})^b$$

where cor , b and x_r are the same as in Formula 15

$$a = \sum_{j=1}^5 a_j \cdot gr_j + a_r \cdot x_r \text{ and } b_0 = \sum_{j=1}^5 b_j \cdot gr_j + b_r \cdot x_r \quad (15)$$

$$gr_j = \begin{cases} 1 & \text{for the } j^{th} \text{ group} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

De R^2 adj van het model daalt naar 0.994 met een standaarddeviatie van 62 cm.

Alle groepen hebben dus dezelfde parameter a en een verschillende parameter b . De gemiddelde S -waarde blijft nagenoeg gelijk, maar het maximum stijgt met ca. 3 m. Deze waarden liggen alle in de groep Barn voor plots niet ouder zijn dan 12 jaar, dus geen echte onderbouwing voor de S -waarde.

Tabel 6. Groepen met gelijke b_0 parameter in Model (15).

Table 6. Groups with equal b_0 parameter in Model (15).

Groep	Cultivar/Soort naam	a	b_0
1 Marilandica	Marilandica	0.0360	0.6886
2 Forndorf	Forndorf en Heidemij	0.0360	1.0144
3 Robusta	Robusta en Geneva	0.0360	1.4075
4 Serotina	Serotina, Gelrica, Dorskamp en esp	0.0360	1.0092
5 Barn	Barn, Agatha F, Rap, Spijk en Androscoggin	0.0360	2.2833

De groepen onderscheiden zich wat betreft de hoogtegroeï van elkaar gedurende in ieder geval gedurende de eerste 15 jaar en behalve voor groep 5 is er ook voldoende materiaal om tot 50 jaar boniteringscurven te maken.

Het praktisch nut ervan is echter gering omdat bij bosinventarisatie de cultivar meestal onbekend is of indien wel bekend ook vaak tot een cultivar behoort die niet in de lijst staat. Dat geldt echter niet voor de esp (*Populus tremula*). Voor het maken van een algemeen groeimodel worden 2 groepen (esp versus de kloon-variëteiten) onderscheiden. Omdat er maar 8 proefperken met esp zijn, waarvan 4 in één proefveldcomplex, is de onderbouwing van de parameter-waarden is gering. Omdat we met esp met een andere soort te maken is de met Formule (3) geïntroduceerde aangepaste hoogte en leeftijd voor de esp niet zinvol en zijn de waarden van h_0 en t_0 overal op 0 gesteld.

Stap 4. Verschillen tussen regio's

Een hulpvariabele voor de regio West (bij populier voornamelijk Flevoland) in het model leverde significante verschillen op tussen de a en b parameters in de onderscheiden gebieden

De correlatie tussen de 5 groepen uit stap 3 en de regio's bleek te groot, waardoor de mogelijk te groot was dat er geen regionale verschillen maar opnieuw verschillen tussen de variëteiten werden geïntroduceerd (zie Tabel 7). Er is daarom afgezien van het opnemen van regionale verschillen.

Tabel 7. Verdeling variëteit-groepen over de regio's.

Table 7. Distribution variety groups on the regions.

Groep	Regio's					Totaal
	Noord	Midden	Zuid	West	onbekend	
Marilandica		12	248		67	327
Forndorf	105	29	45			179
Robusta	38	66	23	399		526
Serotina		87	90	150	3	330
Barn				301		301
Totaal	143	194	406	850	70	1663

3.3 Het uiteindelijke model voor de hoogtegroei

Het geleidelijk opbouwen van het model heeft geleid tot vergelijking (16). In deze en alle volgende vergelijkingen die onderdeel van het opbrengstmodel vormen worden de parameters genummerd als c_1 , c_2 , c_3 enzovoorts.

$$h_m = h_0 + cor \cdot S \cdot \left\{ 1 - e^{-c_1 \cdot (t-t_0)} \right\}^b$$

where $cor = \begin{cases} 1 & \text{for plots with thinning} \\ 1 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ 1 - c_4 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$

$b = \begin{cases} c_2 & \text{for plots with thinning} \\ c_2 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ c_2 - c_3 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$

sp_0 = the initial spacing; c_1 till c_5 are the estimated model parameters (16)

h_0 and t_0 are respectively the height and age of the cuttings,
if those values are unknown $h_0 = 1.5$ m and $t_0 = 2$ yr
and for Aspen: $h_0 = 0$ m and $t_0 = 0$ yr

De waarden van de parameters staan in tabel 8.

Tabel 8. Parameters voor hoogtegroeimodel (16).

Table 8. Parameters for height growth model (16).

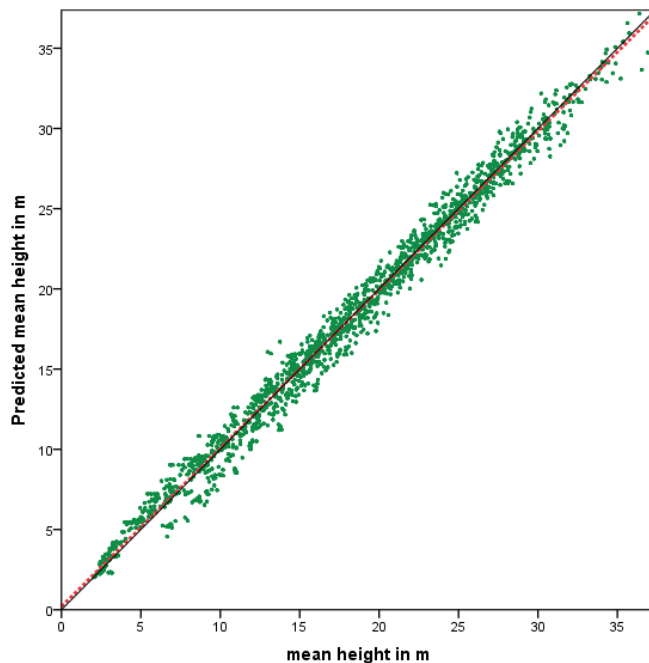
R^2	R^2_{adj}	RMSE	Parameter	Estimate	Standard Error	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
0.988	0.987	0.91	$C_{1forest}$	0.0793	0.002	0.076	0.083
			$C_{1roadside}$	0.0523	0.003	0.046	0.058
			C_{1aspen}	0.1126	0.008	0.096	0.129
			$C_{2forest}$	1.4745	0.025	1.426	1.523
			$C_{2roadside}$	1.0339	0.042	0.951	1.117
			C_3	0.1396	0.021	0.099	0.180
			C_4	0.1474	0.015	0.118	0.176
			C_5	3.3087	0.152	3.011	3.606

Voor het gebruik in de praktijk (zonder de dichte stand en de kennis betreffende steklenkte en stekleeftijd) is het model veel eenvoudiger:

$$h_m = \begin{cases} 1.5 + S \cdot \left\{ 1 - e^{-c_1 \cdot (t-2)} \right\}^{c_2} & \text{for poplar varieties} \\ S \cdot \left\{ 1 - e^{-c_1 \cdot t} \right\}^{c_2} & \text{for aspen} \end{cases} \quad (16a)$$

3.3.1 Analyse van de residuen

In Figuur 8 is de voorspelde hoogte tegen de waargenomen hoogte uitgezet, er is sprake van een zeer geringe doch niet significante onzuiverheid.

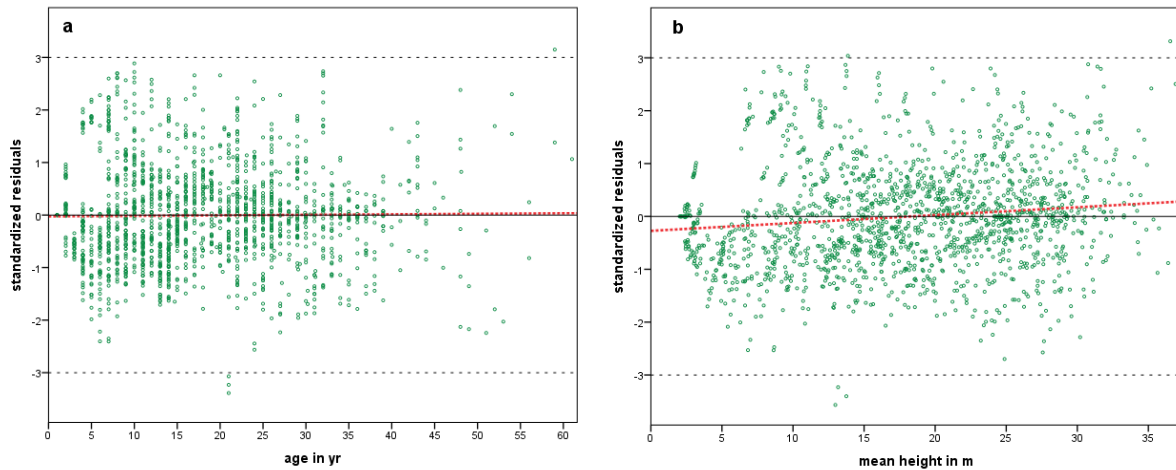


Figuur 8. Voorspelde hoogte met Formule (16) in relatie met gemeten hoogte. De rode lijn geeft lineaire fit weer, de zwarte lijn geeft de perfecte fit weer.

Figure 8. Predicted height with model (16) in relation with observed height at recording time. The red line represents the linear fit, the black line the perfect fit.

De gestandaardiseerde residuen van Model (16) zijn uitgezet tegen de systeemvariabele leeftijd in Figuur 9.

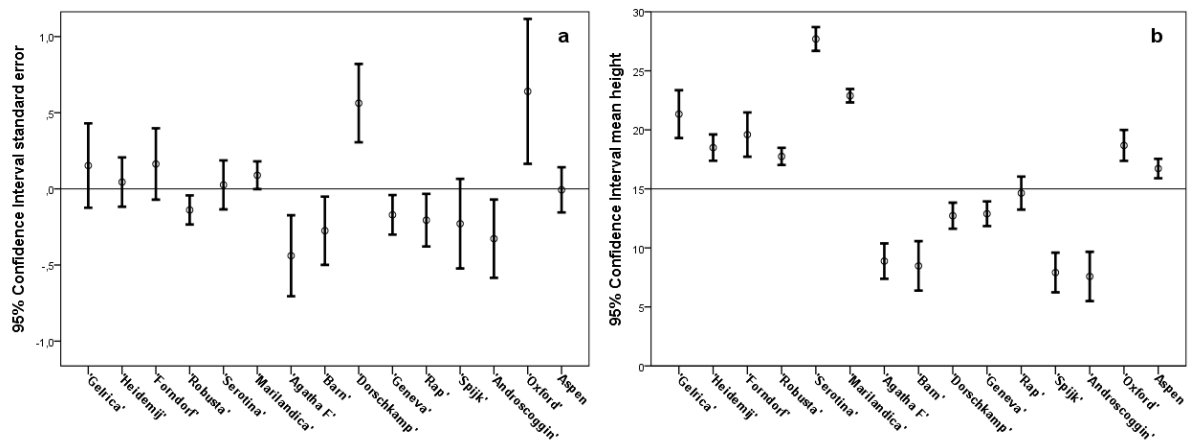
Er zijn 4 uitbijters met een relatieve afwijking van meer dan 3σ ten opzichte van de gemodelleerde hoogte, een verklaring werd niet gevonden.



Figuur 9. Gestandaardiseerde residuen van model 16 en de variabele leeftijd (a) en hoogte (b). De rode lijn is de lineaire fit door de puntenwolk.

Figure 9. Standardized residuals in relation to age (a) and height (b), the red line is the linear fit.

Een bron van de geringe onzuiverheid in relatie tot hoogte zou kunnen liggen in het verschil per kloon, zoals blijkt uit Figuur 10. De “oude” variëteiten hebben gemiddeld een hogere gemiddelde hoogte per opname dan bij de “nieuwe” variëteiten en op twee uitzonderingen (Dorskamp en Oxford) lopen de afwijkingen van de voorspelde hoogte daarmee in de pas.



Figuur 10. Betrouwbaarheidsinterval residuen van Model (16) per variëteit of soort in Figuur 10a en het betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde hoogte per variëteit of soort in Figuur 10b.

Figure 10. Confidence interval of residues of Model (16) per variety or species (a) and the confidence interval of the mean height per variety or species (b).

3.3.2 Boniteitindeling

De met model (16) gevonden waarden van S voor de proefperken in bos liggen tussen 17.4 en 39.1. Met de gegevens van de 4^e Bosstatistiek (CBS, 1985) is van 5385 monocultures met populier de h_{25} bepaald volgens de methode van Jansen *et al.* (2016).

Uit de formules (3) en (16) volgt:

$$h_{25} = h_0 + S \cdot \left\{ 1 - e^{-a(25-t_0)} \right\}^b \quad (17)$$

where a and b are functions of the initial spacing (see Formula 16)

De met het geparametriseerde model (17) berekende h_{25} ligt tussen de 14.9 en 32.3 m, maar 95% ligt tussen 18.4 en 32.3 m. De gemiddelde h_{25} bedraagt 26.1 m. Op basis van dit interval is een boniteitindeling met 5 relatieve boniteiten ontworpen met intervallen van 3.4 m tussen de grenzen 16.5 en 33.5 m (zie tabel 9a).

Tabel 9a. Indeling in boniteiten gebaseerd op de h_{25} (exclusief lijnbeplantingen en esp).

Table 9a. Classification in site classes based on the h_{25} (excluding line plantations and aspen).

Relatieve Boniteit	S-waarde	h_{25}	Bereik h_{25}	% in data set	% in 4e bosstatistiek
< I					2.5
I	39.28	31.8	(30.1 – 33.5)	18.2	8.5
II	34.87	28.4	(26.7 – 30.1)	15.6	21.9
III	30.46	25.0	(23.3 – 26.7)	49.1	33.8
IV	26.06	21.6	(19.9 – 23.3)	13.0	20.0
V	21.65	18.2	(16.5 – 19.9)	3.9	10.9
> V				0.2	2.5

Het bovenstaande leidt tot de procentuele verdeling over de boniteiten voor Nederland zoals weergegeven in de laatste kolom van tabel 9. Daarin heeft 2.5 % van de opstanden een boniteit VI of slechter en 2.5 % een boniteit O of beter. Modelmatig zijn deze boniteiten niet toegevoegd, omdat dit een te sterke extrapolatie buiten het basismateriaal betreft.

In de 4^e bosstatiek is wel een aparte code lijnbeplantingen gebruikt, maar hoogte en kiemjaar zijn meestal onbekend, daarom is de gevolgde procedure niet mogelijk. Op grond van Tabel 9b en de ligging in Figuur 11b, zijn 5 boniteiten onderscheiden.

Tabel 9b. Indeling in boniteiten gebaseerd op de h_{25} voor lijnbeplantingen.

Table 9b. Classification in site classes based on the h_{25} for line plantations.

Relatieve Boniteit	S-waarde	h_{25}	Bereik h_{25}	% in data set
I	39.37	28.7	(27.2 – 30.2)	3.9
II	35.03	25.7	(24.2 – 27.2)	20.2
III	30.68	22.7	(21.2 – 24.2)	42.6
IV	26.34	19.7	(18.2 – 21.2)	28.4
V	22.00	16.7	(15.2 – 18.2)	5.0

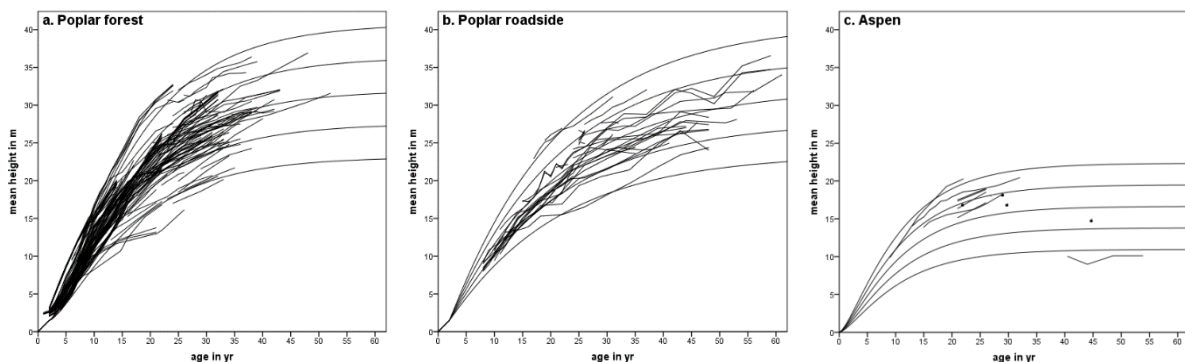
Voor trilpopulier is in Tabel 9c en Figuur 11 rechts tevens het controle plot H0660 en 4 plots uit het MFV (Dirkse, 2007) opgenomen. Dit betreffen de plotnummers 33344, 69457, 69714 en 77854.

Tabel 9c. Indeling in boniteiten gebaseerd op de h_{25} voor trilpopulier.

Table 9c. Classification in site classes based on the h_{25} for aspen.

Relatieve Boniteit	S-waarde	h_{25}	Bereik h_{25}	% in data set	Plots in MFV
I	22.34	20.4	19.1 – 21.7)	13.9	
II	19.50	17.8	(16.5– 19.1)	50.0	2
III	16.65	15.2	(13.9 – 16.5)	25.0	1
IV	13.80	12.6	(11.3 – 13.9)	0.0	1
V	10.95	10.0	(8.7 – 11.3)	11.1	

In Figuur 11a is de hoogteontwikkeling per boniteit samen met die van de proefperken in bos weergegeven, in 11b die van de lijnbepantingen en 11c die van trilpopulier. Let op! Voor de vergelijking is alle figuren dezelfde schaal gebruikt, dat is niet de schaal van de uiteindelijke boniteringsfiguren.



Figuur 11. Hoogteontwikkeling van de proefperken en boniteitcurven voor populieren-klonen in bos (a), in lijnbepantingen (b) en voor trilpopulier (c).

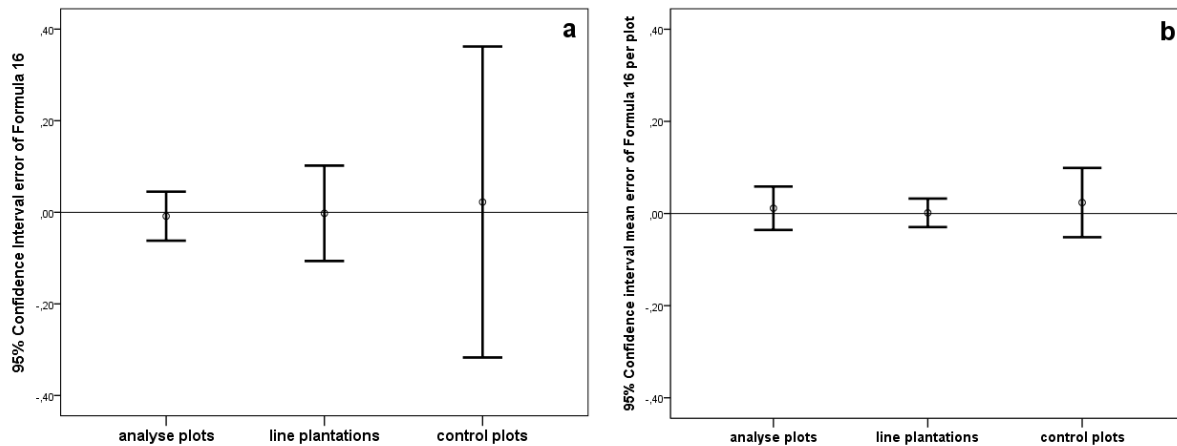
Figure 11. Height development of plots site curves for poplar clones in forest (a), for line plantations (b) and for aspen (c).

3.4 Toetsing model met controle plots

Door de gevonden parameters van tabel 8 te fixeren in model (16) zijn daarna voor de 42 HOSP plots van de controle-set de S-waarden geschat. Daarmee zijn de residuen berekend, in formule:

$$y_{ij} = h_{m_{ij}} - \hat{h}_{16_{ij}} \quad (18)$$

where $\hat{h}_{16_{ij}}$ the predicted h_m with Formula 16 for the j^{th} record in the i^{th} plot



Figuur 12. Betrouwbaarheidsinterval residuen van model (16) voor de analyse plots, plots in lijnbeplantingen en de controle plots op opname-niveau(a) en op gemiddeld plot-niveau (b).

Figure 12. Confidence interval of the residuals from model (16) for the groups analysis plots, line plantations and control plots (a) and the 95% confidence interval of the average of those residuals per plot (b).

In Figuur 12a is te zien dat die residuen niet verschillen per opname tussen de analyse plots, de lijn beplantingen en de controle plots. Wel bleek er geheel volgens de verwachting een HOSP-effect op de standaarddeviatie van die afwijkingen (in Figuur 12a te zien aan het veel ruimere betrouwbaarheidsinterval bij de controle plots). De opnamen van de HOSP plots zijn immers niet meegenomen in de analyse omdat door enerzijds de kleine oppervlakte en anderzijds het meten van de hoogte in meters in plaats van decimeters een grotere variantie werd verondersteld. Ook de gemiddelden van de residuen per plot bleken niet significant te verschillen in een variatieanalyse, zie Figuur 11b en Tabel 10. Dit betekent dat de controleplots goed aansluiten bij het gevonden model. Het niet-significante verschil bedroeg ruim 1 centimeter. De controleplots van de HOSP-studie sluiten dus zeer goed aan bij het gevonden model, dat geldt ook voor de weg- en grensbeplantingen van populier.

Tabel 10. ANOVA van HOSP-effect op de gemiddelde residuen per plot.

Table 10. ANOVA of HOSP effect on the average residuals per plot.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.007	1	0.007	0.090	0.764
Within Groups	17.290	233	0.074		
Total	17.297	234			

3.5 Conclusie model hoogtegroei

Het beste model voor de hoogteontwikkeling dat aan de voorwaarden (zie Pagina 12) voldoet is het model van Chapman-Richards, in de uiteindelijke Formule (16) speelt plantafstand als er niet gedund wordt ook een rol. Voor de lijnbeplantingen en voor trilpopulier werden aparte parameter-sets gevonden. De boniteit wordt als een relatieve boniteit gepre-

senteerd met een daarbij behorende hoogte op 25-jarige leeftijd. Bij 2.5 procent van de populierenopstanden in Nederland is de boniteit beter dan boniteit I, en ook heeft 2.5 % een lagere boniteit dan de hier gepresenteerde slechtste boniteit V (Tabel 9a). Het materiaal leent zich echter niet voor verdere extrapoleren. De groei bij de lijnbeplantingen verschilt van die in bossen en hier zijn aparte boniteringscurven voor gemaakt. Dat was ook mogelijk voor bepaalde groepen van variëteiten, dat is niet uitgevoerd, omdat het nut ervan gering is. Wel zijn aparte boniteringscurven voor de trolpopulier gemaakt.

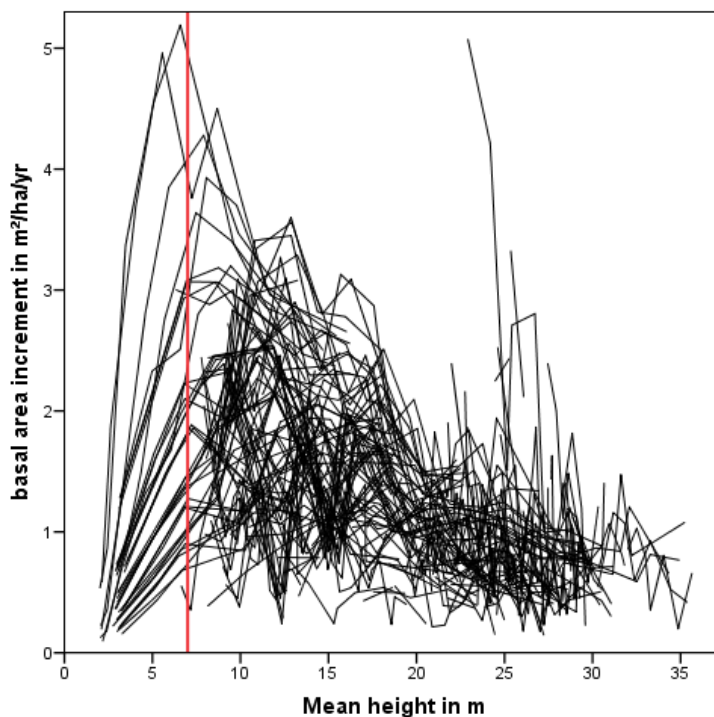
Ongedunde bosopstanden met een plantafstand onder de 3.3 m ondergaan een gereduceerde hoogtegroeï. In lijnbeplantingen komt die reductie niet voor, ongetwijfeld omdat de groeiruimte loodrecht op de rij niet beperkt is.

Het ontwikkelde model blijkt uitstekend te passen bij de controle-set met de HOSP-plots.

4. Opbrengstniveau

Naast de hoogtegroeï (hoofdstuk 3) vindt ook diktegroeï plaats. Dit resulteert in diameterbijgroeï $i_d = (d_2 - d_1)/(t_2 - t_1)$ en een grondvlakbijgroeï $i_G = (G_2 - G_1)/(t_2 - t_1)$. Hoogtegroeï en diktegroeï tezamen resulteren in een volumebijgroeï $i_V = (V_2 - V_1)/(t_2 - t_1)$. In opbrengsttabellen is een belangrijk doel juist deze volumebijgroeï te bepalen. Aangezien het boomvolume in de dataset een afgeleide, berekende variabele is en niet berust op een primaire waarneming, zal ook de bijgroeï van het volume indirect worden berekend.

De diameter en het totale grondvlak zullen in de loop van de tijd toenemen, maar gelijktijdig neemt ook de hoogte toe. Voor de hand liggende variabelen om de diameter en het grondvlak te verklaren zijn dus leeftijd en opperhoogte. Dat geldt ook voor de bijgroeï zelf. Na het bereiken van de borsthoogte vormen bomen zeer brede jaarringen, die daarna geleidelijk in dikte afnemen. Aangezien op goede standplaatsen de omslag van dikke naar smallere jaarringen op jongere leeftijd plaats vindt dan op slechte standplaatsen, speelt ook de boniteit een rol. Maar er is ook veel interactie tussen de drie variabelen boniteit, leeftijd en hoogte. Verder is de standruimte uiteraard van belang voor de diktegroeï. Deze komt tot uitdrukking in het stamtal of gemiddelde boomafstand.



Figuur 13. Grondvlakbijgroeï per proefperk als functie van hoogte.

De grondvlakbijgroeï neemt eerst toe ten opzichte van zowel de hoogte (zie Figuur 13) als de leeftijd, en daarna weer af. Jansen *et al.* (2016) gebruiken die hoogtegrens bij douglas in hun modellen als grens tussen de modellen. In het traject van stijgende groeï (en zonder dunning) tot een hoogte van 7 m wordt de diameterontwikkeling gemodelleerd. In Paragraaf 4.1 komt dit aan de orde. Voor populier lijkt die grens (Figuur 13) per proefperk te variëren tussen een hoogte van 5 en 10 m te liggen en voldoet een grens bij 7 m.

Voor de ontwikkeling boven een hoogte van 7 m kan zowel de diameterbijgroei (Paragraaf 4.2.2) als de grondvlakbijgroei (Paragraaf 4.2.1) worden gebruikt, maar ook met een model voor de diameterbijgroei moet uiteindelijk de grondvlakbijgroei worden geschat.

4.1 Diameterontwikkeling tot een hoogte van 7 m

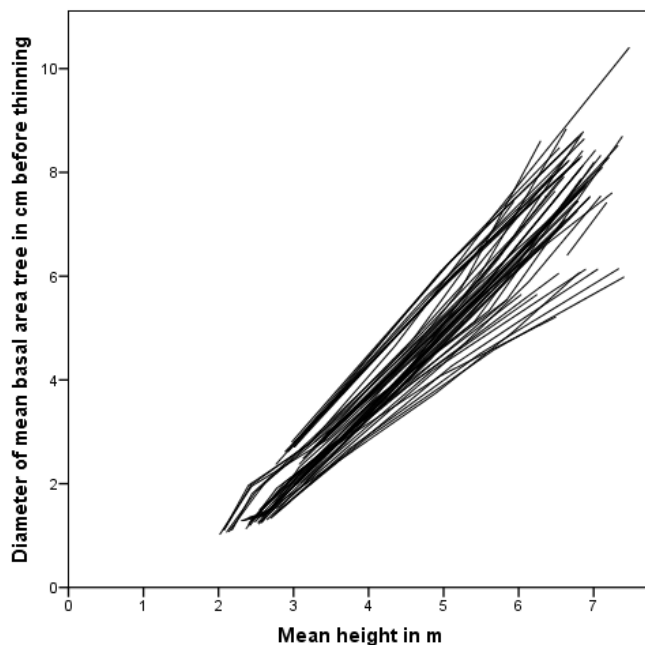
Als maat voor de diameter is gekozen voor de “gemiddelde” diameter van de opstand voor dunning (d_{bt}). Onder “gemiddelde” wordt hier verstaan het kwadratische gemiddelde. Het gaat dus om de d_g , maar de toevoeging g (van gemiddeld grondvlak) is weggelaten.

Jansen *et al.* (2016) vonden voor de diameterontwikkeling tot een opperhoogte van 7 m het volgende Gompertz-model (1832):

$$d_{bt} = d_7 \cdot \left\{ \frac{\exp\left(-b_{11} \cdot e^{-b_{12} \cdot (h_{top} - 1.30)}\right)}{\exp\left(-b_{11} \cdot e^{-b_{12} \cdot (7 - 1.30)}\right)} \right\} \text{ for } h \leq 7 \text{ m} \quad (19)$$

where $d_7 = b_{13} + b_{14} / \sqrt{N_0}$

In de dataset vinden er zelfs geen dunningen plaats bij een hoogte lager dan 9 m. In Figuur 14 het verloop van de diameterontwikkeling als functie van de gemiddelde hoogte weergegeven tot een hoogte van 7.5 m.



Figuur 14. Verloop van de diameterontwikkeling als functie van hoogte.

Figure 14. Course of the diameter development as a function of height.

Toegepast voor de populier is Formule (19) herschreven tot:

$$d_{bt} = d_7 \cdot \left\{ \frac{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (h-1.30)})}{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (7-1.30)})} \right\} \text{ for } h \leq 7 \text{ m}$$

(20)

where $d_7 = c_6 + c_7 \cdot sp_0$

sp_0 (initial spacing) = $10000/\sqrt{N_0}$

De R^2 adj bedroeg 0.952. Na een regressiediagnose op de residuen is het model verder aangepast tot:

$$d_{bt} = d_7 \cdot \left\{ \frac{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (h-1.30)})}{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (7-1.30)})} \right\} \text{ for } h \leq 7 \text{ m}$$

(21)

where $d_7 = c_6 + c_7 \cdot sp_{\max}$

$$sp_{\max} = \begin{cases} sp_0 & \text{for } sp_0 \leq c_8 \\ c_8 & \text{for } sp_0 > c_8 \end{cases}$$

Met 193 waarnemingen, een R^2 adj van 0.961 en met een standaardafwijking van 0.47 cm werd de oplossing van Tabel 11 gevonden. Aangezien er geen lijnbepantingen in het traject liggen in niet na te gaan of er verschil in parameter-waarden op dit punt bestaat.

Tabel 11. Parameters voor Model (21)

Table 11. Parameters for Model (21).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_6	7.2415	0.485	6.286	8.197
c_7	0.9175	0.154	0.614	1.221
c_8	3.8169	0.292	3.241	4.393
c_9	3.1055	0.072	2.963	3.248
c_{10}	0.3524	0.030	0.294	0.411

In Tabel 12 is het effect van het beginstamtal op de ontwikkeling van de diameter gegeven, indien er tot een hoogte van 7 m niet gedund wordt.

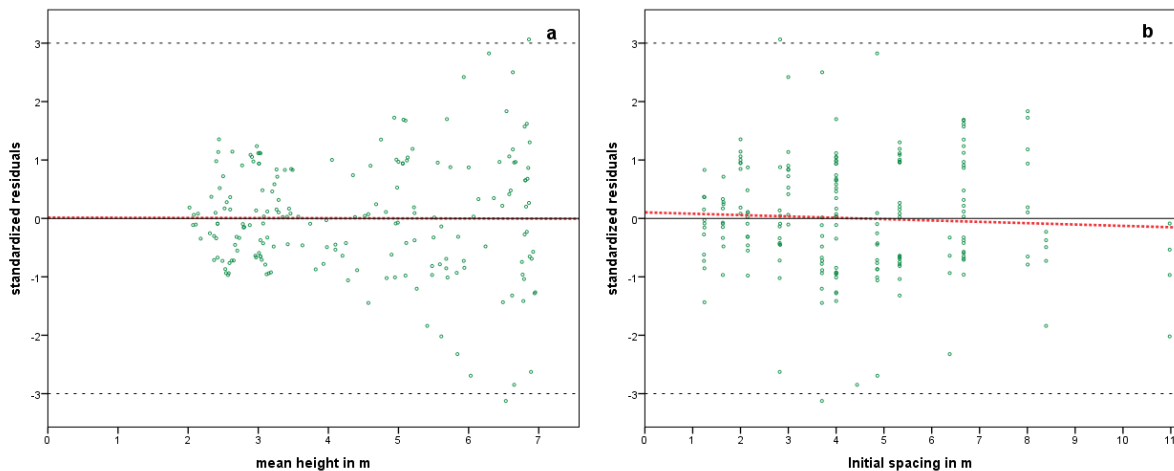
Tabel 12. Diameter bij $h = 7$ m bij verschillende plantafstanden.

Table 12. Diameter at $h = 7$ m for different spacing..

N_0	sp_0	d_7
≤ 686	3.8	10.7
1000	3.2	10.1
2500	2.0	9.1

Regressiediagnose

In Figuur 15 is te zien dat er vier uitbijters aanwezig zijn, met een afwijking van meer dan 3σ , een verklaring werd niet gevonden. De lichte hellinghoek in Figuur 15b is niet significant.



Figuur 15. Gestandaardiseerde residuen van model (21) in relatie tot de modelfactoren hoogte (a) en begin boomafstand (b) met lineaire fit door de residuen.

Figure 15. Standardized residuals of model (21) in relation to height (a) and spacing (b), the red lines represent linear fit.

Conclusie

Het model dat Jansen *et al.* (2016) voor de douglas vonden bleek toepasbaar voor de populier, wel moest het effect van de begin-boomafstand beperkt blijven tot een bovengrens. Er is een nauwkeurige schatter voor de d_7 (de diameter bij een hoogte van 7 m) gevonden. En ook de ontwikkeling van die diameter tot d_7 kan voorspeld worden.

4.2.1 Directe schatting grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m

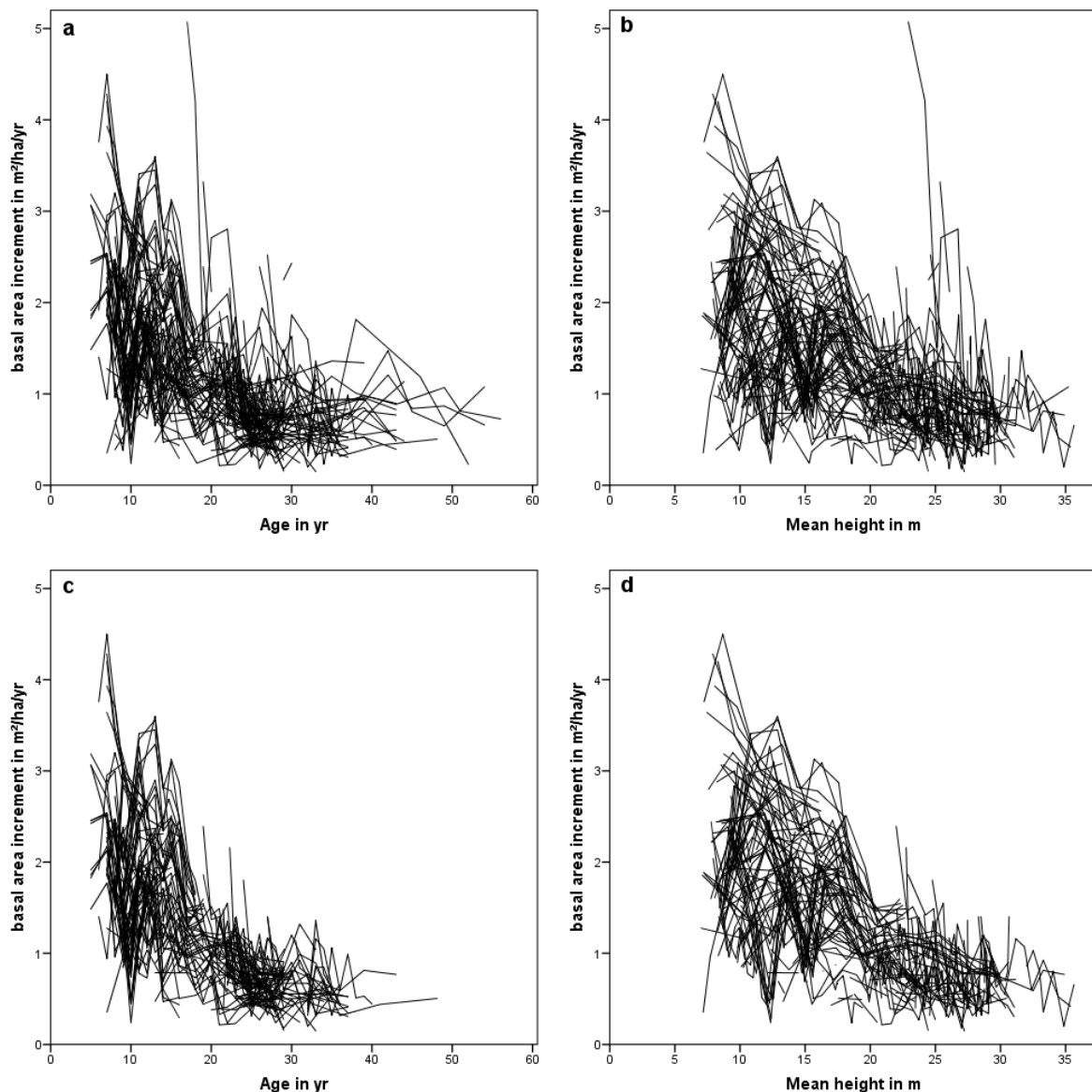
De grondvlakbijgroei betreft een berekende waarneming tussen 2 opnamen, de leeftijd en hoogte betreffen dan het gemiddelde tussen beide opnamen.

Bij de komende analyse zijn de volgende proefperken of opnamen uitgesloten:

- Plotnummer 52, 53 wegens laagduinning in plaats van systematische dunning. De meeste proefperken met trilpopulier hebben ook laagduinning maar worden niet uitgesloten;
- Plotnummer 311 opname 10, wegens negatieve diameterbijgroei, ten gevolge van verschil in meettechniek. Opname 9 met omtrekmeting en opname 10 twee jaar later met overkruis klemming;
- Alle Nelder-proefperken omdat op één na de ontwikkeling in alle cirkels beïnvloed kan zijn door sterfte in de ernaast gelegen cirkel, dat betreffen de plotnummers 108 tot en met 116 en 123 tot en met 134;
- De controle plots van studie 4.

In totaal betreft het 170 proefperken met 1126 opnamen met een hoogte boven 7 m.

In Figuur 16 is te zien dat de grondvlakbijgroei vanaf een hoogte van 7 m een monotoon dalende functie met veel ruis op de lijn betreft. Een groot deel van die ruis wordt veroorzaakt door de lijnbeplantingen, zie Figuur 16c ten opzichte van Figuur 16a en Figuur 16d ten opzichte van Figuur 16b. De achterliggende oorzaak is de vrije groeiruimte die bomen in lijnbeplantingen hebben loodrecht op de rij, zowel bovengronds (denk aan wegen met of zonder een rij bomen aan de andere kant van de weg en de afstand tussen die rijen) als ondergronds (denk aan type wegverharding of sloten). Soms zijn lijnbeplantingen oorspronkelijk aangelegd als een singel met meerdere elzen per populier. Al dit soort informatie is echter onvolledig beschikbaar en daardoor niet bruikbaar.



Figuur 16. Grondvlakbijgroei per proefperk als functie van leeftijd (a) en hoogte (b) met alle geselecteerde opnamen en met uitsluiting van de lijnbeplantingen voor leeftijd (c) en hoogte(d)

Figure 16. The basal area increment per plot as a function of age (a) and height (b) for all selected plots and the same figures without the line plantations for age (c) and height (d).

Jansen *et al.* (2016) ontwikkelden voor de grondvlakbijgroei van douglas het volgende model:

$$i_{G,ijk} = YI_j \cdot PL_k \cdot f_1(S\%) \cdot f_2(site) \cdot \frac{F_3(t_2, h_2) - F_3(t_1, h_1)}{t_2 - t_1} \quad (22)$$

Hierin is F_3 een power-functie, voor de douglas bleek f_2 geen significante bijdrage te leveren.

Om te beoordelen of de variëteit rol van betekenis speelt en of er een effect is van lijnbeplanting versus bos is een variantieanalyse uitgevoerd, zie Tabel 13 ($R^2_{adj} = 0.659$). Voor de populier blijkt dat de boniteit wel van belang is, het effect "lijnbeplanting" is van belang, de variëteit speelt een belangrijke rol van betekenis. Jansen *et al.* (2016) gebruikten in plaats van een jaarindex (YI) een correctiefactor cf_{80} met een waarde voor opname voor en na 1980. In de variantieanalyse speelt het daaraan gekoppelde effect x_{80} eveneens een rol. Naast de relatieve boomafstand $S\%$, speelt ook de echte boomstand na dunning sp een rol. De variëteit heeft ook een grote invloed op de grondvlakbijgroei, maar die wordt voornamelijk door 2 variëteiten ('Geneva' en 'Androscoggin') veroorzaakt. Met gebruik van alleen deze beide variëteiten en een restgroep daalt R^2_{adj} tot 0.625. Zonder een indeling gebaseerd op variëteiten is R^2_{adj} slechts 0.483.

Tabel 13. Variantieanalyse van de grondvlakbijgroei met mogelijk verklarende variabelen.

Table 13. Analysis of variance with the basal area increment i_G explained some variables.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	393.734	19	20.723	115.324	0.000
Intercept	5.964	1	5.964	33.193	0.000
Roadside effect	7.254	1	7.254	40.369	0.000
X_{80}	1.423	1	1.423	7.918	0.005
variety	105.827	12	8.819	49.078	0.000
h_{25}	38.650	1	38.650	215.087	0.000
age	2.197	1	2.197	12.228	0.000
height	29.956	1	29.956	166.707	0.000
spacing	6.371	1	6.371	35.453	0.000
$S\%$	21.577	1	21.577	120.075	0.000
Error	198.740	1106	0.180		
Total	2450.671	1126			
Corrected Total	592.474	1125			

Bij nader onderzoek van model (22) voor de populier bleek dat de vervangende correctiefactor cf_{80} voor de jaarindex YI niet van 1 te verschillen. De functie f_2 bleek voor populier in tegenstelling tot de douglas wel significante. F_3 is de functie voor de totale grondvlakproductie, hier voldeed een powerfunctie die zowel naar de hoogte als de leeftijd kan worden gemodelleerd. Voor de douglas bleek de toevoeging van de leeftijd geen extra verklaring te geven, voor populier bleek dat wel het geval. Voor douglas bleek de parameter c_{17} een functie van de hoogte, voor populier niet. De functie f_1 bestaat bij populier net als bij douglas uit een correctiefactor als functie van het $S\%$.

Het niet-lineaire regressiemodel voor de populier luidt dan:

$$i_G = c_{11} \cdot h_{25}^{c_{12}} \cdot cor_{S\%} \cdot \{c_{16} \cdot T_h + (1 - c_{16}) \cdot T_t\} \cdot cf_{80} / dt \quad \text{for } h_1 > 7$$

$$\text{where } cor_{S\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S\% \leq c_{14} \\ 1 - c_{13} \cdot (S\% - c_{14})^{c_{15}} & \text{for } S\% > c_{14} \end{cases} \quad (23)$$

$$T_h = (h_{2c} - 1.30)^{c_{17}} - (h_1 - 1.30)^{c_{17}} \quad \text{and} \quad T_t = (t_2 - t_{130})^{c_{17}} - (t_1 - t_{130})^{c_{17}}$$

h_1 and h_2 are the mean heights at time t_1 and t_2

$$h_{2c} = \begin{cases} h_2 & \text{for } h_2 > h_1 \\ h_1 + \hat{h}_2 - \hat{h}_1 & \text{for } h_2 \leq h_1 \end{cases}$$

\hat{h}_k = predicted height with Formula 17 at time t_k

S% = Hart Becking spacing index at t_1 , see Formula 1

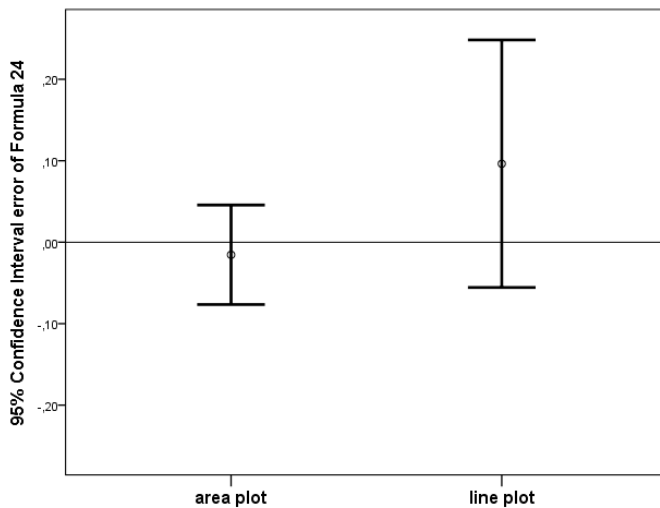
$cf_{80} = 1$

In model (23) is de borsthoogteleeftijd geschat met $t_{130} = 1.30 \cdot t_0 / h_0$.

Met een $R^2_{adj} = 0.748$ en standaarddeviatie $0.36 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ werden aparte waarden voor parameter c_{11} voor 'Geneva', 'Androskoggin' en voor de lijnbeplantingen gevonden, ook de parameters c_{12} en c_{16} verschilden voor de lijnbeplantingen.

Voor trilpopulier werden geen aparte parameters gevonden.

Bij een analyse van de residuen viel het grote verschil tussen de bosplots en de lijnbeplantingen op (zie Figuur 17). Model (23) is daarom ook voor beide groepen apart gedraaid. De R^2_{adj} bleek 0.804 standaarddeviatie $0.33 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in bos en 0.427 standaarddeviatie $0.44 \text{ m}^2 \text{ km}^{-1}\text{jr}^{-1}$ in de lijnbeplantingen. Model (23) bleek dus minder geschikt voor de lijnbeplantingen. In Paragraaf 4.4 zal daarom naar een beter model worden gezocht voor de lijnbeplantingen.



Figuur 17. Betrouwbaarheidsinterval gestandaardiseerde residuen van model (23) voor de plots in bosstanden en in lijnbeplantingen.

Figure 17. Confidence interval of standardized residuals from model (23) for forest plantations and for line plantations.

In Tabel 14 is de oplossing van Model (23) gegeven voor de 138 plot en 877 opnamen in het bos.

Tabel 14. Parameterschatting bij Model (23) in bosopstanden.

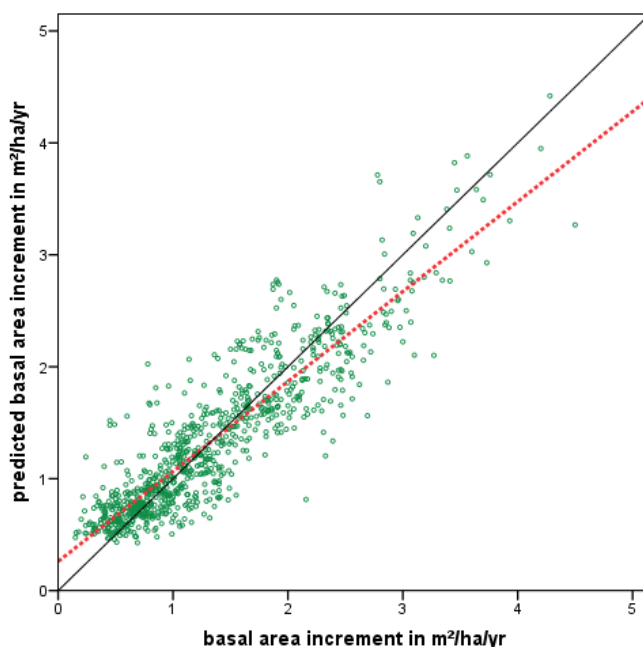
Tabel 14. Parameter estimation for Model (23) in forest plantations.

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C ₁₁	3.8077	1.123	1.604	6.011
C ₁₂	0.5218	0.080	0.365	0.679
C ₁₃	0.0230	0.007	0.010	0.037
C ₁₄	29.1240	1.547	26.088	32.160
C ₁₅	0.8324	0.076	0.683	0.982
C ₁₆	0.5537	0.023	0.509	0.599
C ₁₇	0.4031	0.027	0.350	0.456
C ₁₁ Geneva	6.1361	1.770	2.667	9.605
C ₁₁ Androsoggin	4.7656	1.408	2.007	7.524

Kwaliteit van het model

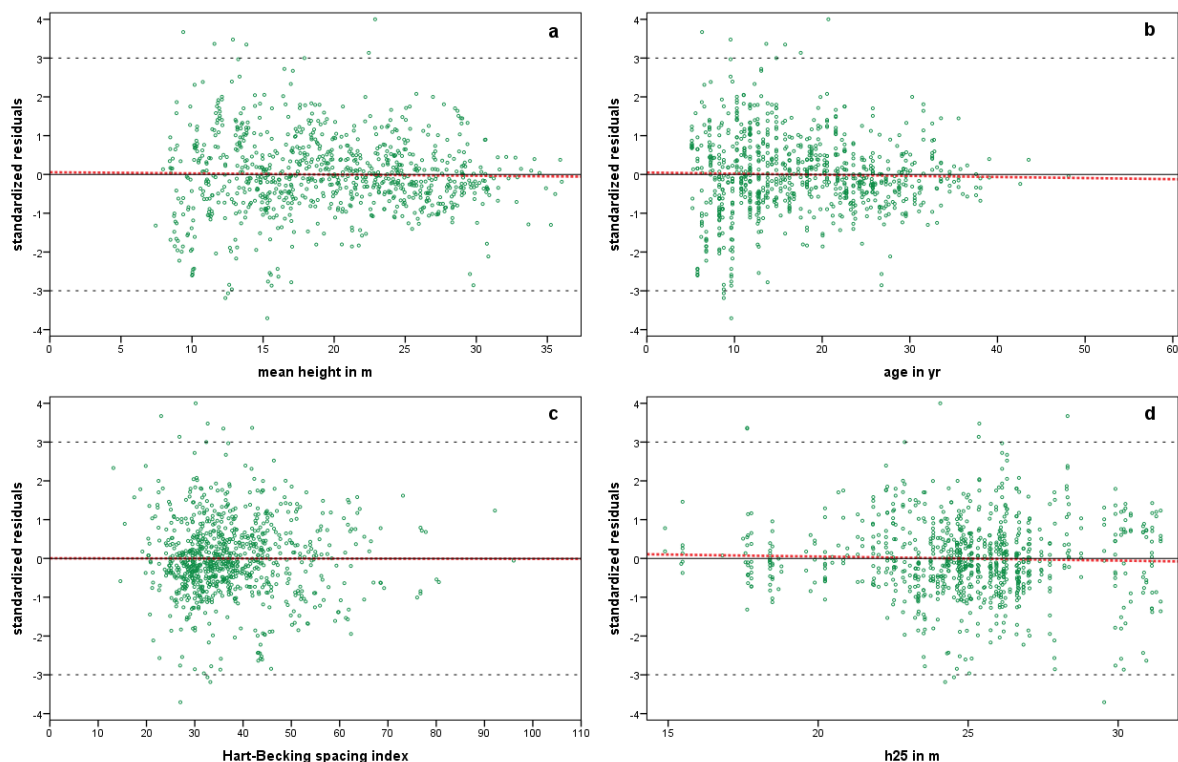
In Figuur 18 is te zien is dat het model lage waarden van de grondvlakbijgroei overschat en de hoge waarden onderschat. Dit heeft te maken met het ontbreken van een verfijnde jaar-index.

In Figuur 19 is te zien dat het model voor de modelvariabelen hoogte (a), leeftijd (b), het S% (c) en boniteit h_{25} (d) een nagenoeg zuivere schatter geeft, want de lichte hellinghoeken van de lineaire fit door de puntenwolk in de figuren blijken nergens significant. Wel zijn er veel uitbijters zijn die meer dan 3σ afwijken. Een algemene verklaring werd niet gevonden.



Figuur 18. Voorspelde grondvlakbijgroei als functie van de gemeten grondvlakbijgroei. De zwarte lijn geeft een 1 op 1 verhouding aan; de rode lijn is de lineaire fit door de puntenwolk.

Figure 18. Predicted basal area increment as a function of the measured basal area increment. The black line represents a 1 to 1 relation; the red line is the linear fit through the point cloud.



Figuur 19. Gestandaardiseerde residuen van model (23) in relatie tot de modelvariabelen hoogte (a), leeftijd (b), S% (c) en h₂₅ (d). De rode lijn geeft de lineaire regressie-lijn weer door de residuen.

Figure 19. Standardized residuals of model (23) in relation to the model variables and other variables. The red line shows the linear regression line through the residuals.

Met de parameters uit tabel 14 en model (23) is nu ook bij de controle plots de verwachting en de afwijking berekend. Hierbij is één plots uitgesloten:

- Plotnummer 161, het enige plot met abeel (*Populus alba*).

De verschillen van de residuen op opnameniveau blijken zijn niet significant (zie tabel 15) tussen beide groepen (analyse en controle plots). Model en parameters blijken toepasbaar voor de controle plots.

Tabel 15. ANOVA van control plot effect op de residuen.

Table 15. ANOVA of control plot effect on the average residuals.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.386	1	1.386	1.420	0.234
Within Groups	886.418	908	0.976		
Total	887.804	909			

Daarna is met Formule (24) het plotniveau geschat:

$$i_G = \hat{i}_G (\text{Formula 24}) \cdot PL_k \text{ for } h > 7 \text{ m} \quad (24)$$

De plotniveaus van de HOSP-controle plots blijken 8.0 % hoger te liggen, dit verschil is niet significant. De plotniveaus liggen tussen 0.25 en 2.81, maar 90% ligt tussen de 0.46 en 1.88, een verklaring voor die extremen werd niet gevonden. De variëteit en regio bleken enige verklaring voor het plotniveau te geven, maar dit bleek geen nuttige informatie om het model te verbeteren.

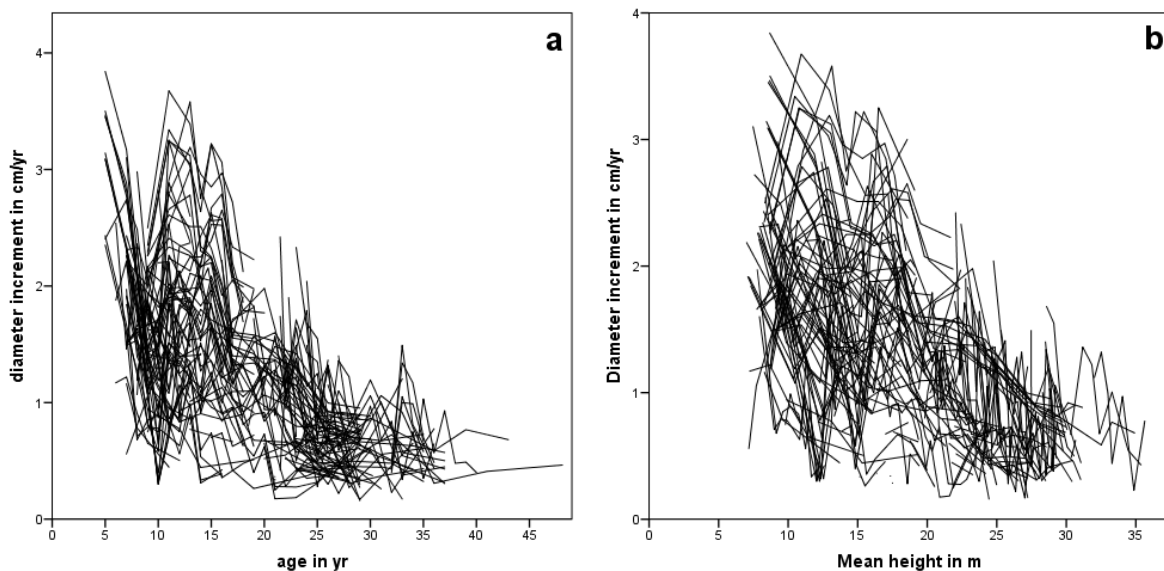
Conclusie

Met het model van Jansen *et al.* (2016) is de grondvlakbijgroei van bossen te voorspellen, niet alle elementen van het model bleken toepasbaar, en de leeftijd speelde een rol. Voor trilpopulier met laagduinning en voor lijnbeplantingen zijn andere modellen nodig.

4.2.2 Indirecte schatting grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m

Met dezelfde uiteindelijke selectie zonder de lijnbeplantingen als in paragraaf 4.2.1 is nu de diameterbijgroei geschat en daaruit vervolgens de grondvlakbijgroei.

In Figuur 20 is te zien dat de diameterbijgroei vanaf een hoogte van 10 m een monotoon dalende functie met veel ruis op de lijn betreft.



Figuur 20. Diameterbijgroei per proefperk als functie van leeftijd (a) en hoogte (b)
 Figure 20. Diameter increment per plot as a function of age (a) and height (b)

Jansen *et al.* (2016) gebruikten voor de diameterbijgroei van douglas hetzelfde model als bij de grondvlakbijgroei:

$$i_{d,ijk} = YI_j \cdot PL_k \cdot f_1(S\%) \cdot f_2(site) \cdot \frac{F_3(t_2, h_2) - F_3(t_1, h_1)}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

Uitgewerkt zonder het plotniveau luidt deze functie voor populier:

$$i_d = b_{11} \cdot h_{25}^{b_{12}} \cdot cor_{S\%} \cdot \{b_{17} \cdot T_h + (1 - b_{17}) \cdot T_t\} \cdot cf_{80} / dt \quad \text{for } h_1 > 7$$

$$\text{where } cor_{S\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S\% \leq b_{14} \\ 1 + b_{13} \cdot (S\% - b_{14})^{b_{15}} & \text{for } b_{14} < S\% \leq b_{16} \\ 1 + b_{13} \cdot (b_{16} - b_{14})^{b_{15}} & \text{for } S\% > b_{16} \end{cases}$$

$$T_h = (h_{2c} - 1.30)^{b_{18}} - (h_1 - 1.30)^{b_{18}} \quad \text{and } T_t = (t_2 - t_{130})^{b_{18}} - (t_1 - t_{130})^{b_{18}}$$

h_1 and h_2 are the top heights at time t_1 and t_2 (26)

$$h_{2c} = \begin{cases} h_2 & \text{for } h_2 > h_1 \\ h_1 + \hat{h}_2 - \hat{h}_1 & \text{for } h_2 \leq h_1 \end{cases}$$

S% = Hart Becking spacing index at t_1 , see Formula 1

$$cf_{80} = 1$$

Met een R^2 adj van 0.801 werd de oplossing van Tabel 16 gevonden. De correctiefactor cf_{80} (de vervangende factor voor de niet schatbare jaarindex YI) met een waarde voor opname voor en na 1980 bleek voor beide groepen significant niet van 1 te verschillen. De parameter b_{16} is een soort bovengrens aan de standruimte, een nog grotere standruimte levert geen extra diameteraanwas op. Deze komt in het oorspronkelijke model van Jansen *et al.* (2106) niet voor, omdat een dergelijke ruime stand (meestal aangeduid als boomweide) bij de douglas niet voorkomt. De onderscheiden subgroep ‘Androskoggin’ uit Paragraaf 4.2.1 was niet van belang, wel de andere subgroep ‘Geneva’.

Tabel 16. Parameterschatting bij Model (26) en Model (28)

Table 16. Parameter estimation for Model (26) and Model (28)

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
b_{11}	0.0522	0.015	0.022	0.082
b_{12}	0.6243	0.084	0.460	0.788
b_{13}	0.1738	0.040	0.095	0.252
b_{14}	24.7802	0.619	23.566	25.995
b_{15}	0.6963	0.051	0.597	0.795
b_{16}	63.6559	2.588	58.576	68.736
b_{17}	0.5737	0.023	0.529	0.618
b_{18}	1.1621	0.030	1.104	1.220
b_{19}	0.9871	0.008	0.971	1.003
$b_{11Geneva}$	0.0706	0.020	0.031	0.110

4.2.3 Keuze voor directe of indirecte schatter van grondvlakbijgroei

In een te maken opbrengstmodel zal de diameterbijgroei van Paragraaf 4.2.2 als volgt moeten worden getransformeerd tot grondvlakbijgroei:

$$\begin{aligned} \hat{d}_{bt}(t_2) &= d_{at}(t_1) + dt \cdot \hat{i}_d \\ \rightarrow \hat{G}_{bt}(t_2) &= N_{bt}(t_2) \cdot \left\{ \frac{\hat{d}_{bt}(t_2)}{200} \right\}^2 \cdot \pi \\ \rightarrow \hat{i}_G &= \frac{\hat{G}_{bt}(t_2) - G_{at}(t_1)}{dt} \end{aligned} \quad (27)$$

Schatter (27) is echter niet zuiver en een biascorrectie is nodig met het volgende model:

$$\hat{i}_G = b_{19} \cdot \hat{i}_G \quad (28)$$

De R^2 adj van de laatste stap bedraagt 0.768 met een standaardafwijking van $0.37 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. De R^2 adj van de indirecte schatter (0.768) is dus beduidend lager die van de directe schatter (0.804).

De directe schatter voor de grondvlakbijgroei van Paragraaf 4.2.1 zal daarom in het totale opbrengstmodel worden opgenomen. De ontwikkeling van de diameter zal dan indirect berekend worden via de grondvlakbijgroei (zie Paragraaf 6.2.2).

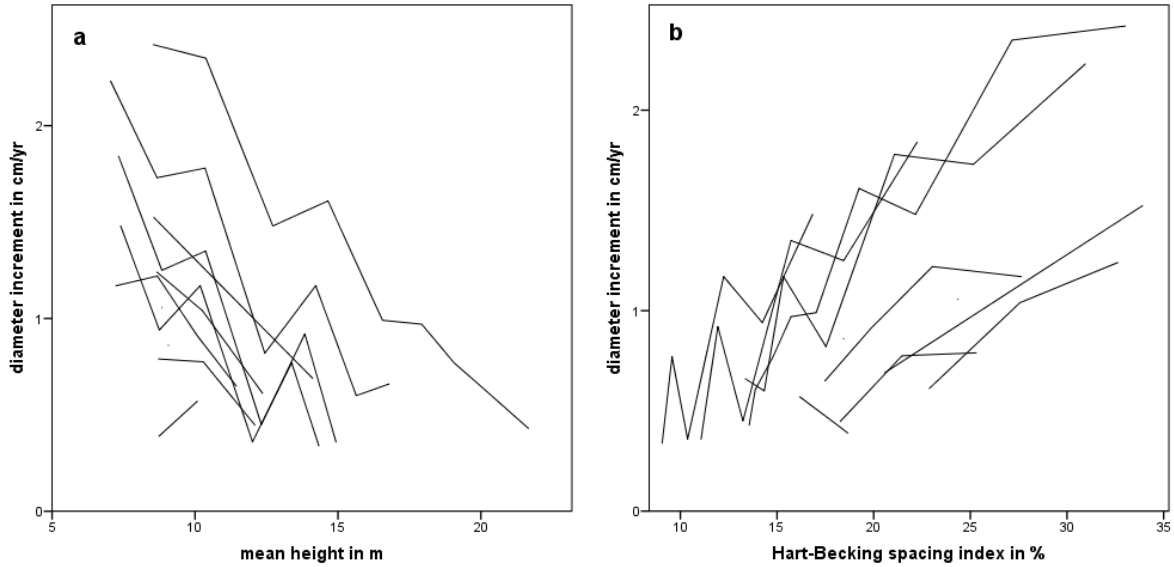
4.3 Grondvlakbijgroei voor hoogte boven de 7 m bij dichte stand

Bij het bepalen van de grondvlakbijgroei boven 7 meter in dichte stand zijn de experimentele proefperken geselecteerd met een begin-afstand $sp_0 \leq 3 \text{ m}$, waarin niet gedund is en waar eventueel wel sterfte voorkwam, dat betreffen de proefperken 108 - 111, 119, 122 - 126, 129 - 132 uit de studie 3 en 8. In totaal betreft het 77 opnamen. Beide methoden van Paragraaf 4.2.1 en Paragraaf 4.2.2 zijn getest en de indirecte schatting van de grondvlakbijgroei met behulp van de diameterbijgroei voldeed het best en alleen daarvan volgt verslag.

Bij beide methoden speelt het 5 % een rol, in 40 % van de opname is sterfte aan de orde, die zelfs tot 95 % kan oplopen, hierdoor verliest het 5 % zijn waarde als maat voor de dichtheid. Om dit op te lossen is gekozen voor een aangepaste definitie:

$$S_0\% = \frac{sp_0}{h_{at}} \cdot 100 = \frac{100}{h_{at}} \cdot \sqrt{\frac{10000}{N_0}} \quad (29)$$

In Figuur 21 is diameterbijgroei per proefperk weergegeven zowel als functie van hoogte als van het aangepaste $S_0\%$. De hier niet getekende relatie met de leeftijd vertoont eenzelfde beeld als Figuur 21a.



Figuur 21. Diameterbijgroei per proefperk als functie van hoogte (a) en S_0 % (b).
 Figure 21. Diameter increment as a function of height (a) and S % (b).

Het eerder gebruikte model (26) is opnieuw geparametriseerd en luidt nu met weglating van de niet-significante onderdelen, een aanpassing van de correctieterm voor het S_0 % en een schaling van h_{25} als volgt:

$$i_d = c_{18} \cdot (h_{25}/25)^{c_{19}} \cdot cor_{S_0\%} \cdot \{c_{22} \cdot T_h + (1 - c_{22}) \cdot T_t\} / dt \quad \text{for } h > 7 \text{ m}$$

$$\text{where } cor_{S_0\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S_0\% > c_{21} \\ 1 - c_{20} \cdot (c_{21} - S_0\%) & \text{for } S_0\% \leq c_{21} \end{cases}$$

$$T_h = (h_{2c} - 1.30)^{c_{23}} - (h_1 - 1.30)^{c_{23}} \quad \text{and} \quad T_t = (t_2 - t_{130})^{c_{23}} - (t_1 - t_{130})^{c_{23}} \quad (30)$$

$$\hat{h}_2 = h_1 + dh_{pred} = h_1 + (h_{2pred} - h_{1pred}) = h_1 + f_{17}(t_2) - f_{17}(t_1)$$

f_{17} means Formula 17
 $S_0\%$ = adjusted Hart Becking spacing index at t_1 , see Formula 30

De oplossing had met 77 waarnemingen een R^2 adj van 0.901 en een standaarddeviatie van 1.8 mm/jr, zie Tabel 17 (NB de parameter c_{24} komt later aan de orde).

Tabel 17. Parameters bij model (30) en (32).

Table 17. Parameters for model (30) and (32).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C_{18}	1.9824	d0.675	0.636	3.329
C_{19}	2.6989	0.305	2.091	3.307
C_{20}	0.0371	0.003	0.030	0.044
C_{21}	29.2340	1.575	26.094	32.374
C_{22}	0.3617	0.115	0.132	0.591
C_{23}	0.7464	0.100	0.547	0.946
C_{24}	1.0176	0.030	0.957	1.078

Voor het maken van een opbrengstmodel zal die diameterbijgroei als volgt moeten worden getransformeerd tot grondvlakbijgroei:

$$\begin{aligned} \hat{d}_{bt}(t_2) &= d_{ot}(t_1) + dt \cdot \hat{i}_d \\ \rightarrow \hat{G}_{bt}(t_2) &= N_{bt}(t_2) \cdot \left\{ \frac{\hat{d}_{bt}(t_2)}{400} \right\}^2 \cdot \pi \\ \rightarrow \hat{i}_G &= \frac{\hat{G}_{bt}(t_2) - G_{ot}(t_1)}{dt} \end{aligned} \quad (31)$$

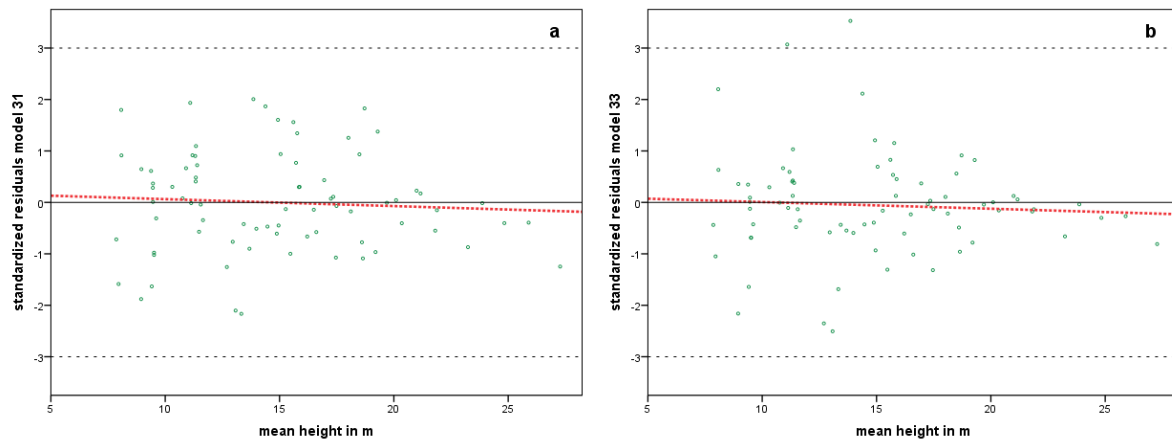
Schatter (31) is echter niet zuiver en een biascorrectie is nodig met het volgende model:

$$\hat{i}_G = c_{24} \cdot \hat{i}_G \quad (32)$$

R^2 adj van deze laatste stap bedraagt 0.797 met een standaardafwijking van $0.99 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

Kwaliteit van het model

In Figuur 22a zijn de gestandaardiseerde residuen van model (30) uitgezet tegen de modelvariabele hoogte. Een vergelijkbaar beeld (hier niet getekend) ontstaat als de gestandaardiseerde residuen van model (30) tegen de leeftijd h_{40} of sp_0 worden uitgezet. In Figuur 22b zijn de gestandaardiseerde residuen van model (32) uitgezet tegen de hoogte. Er zijn twee uitbijters waar geen verklaring voor is gevonden. De lichte hellingshoeken van beide lijnen met de beste lineaire fit zijn niet significant.



Figuur 22. Gestandaardiseerde residuen van model (30) in relatie tot hoogte (a) en de gestandaardiseerde residuen van model (32) in relatie tot hoogte (b). De rode lijn is de lineaire regressielijn door de residuen.

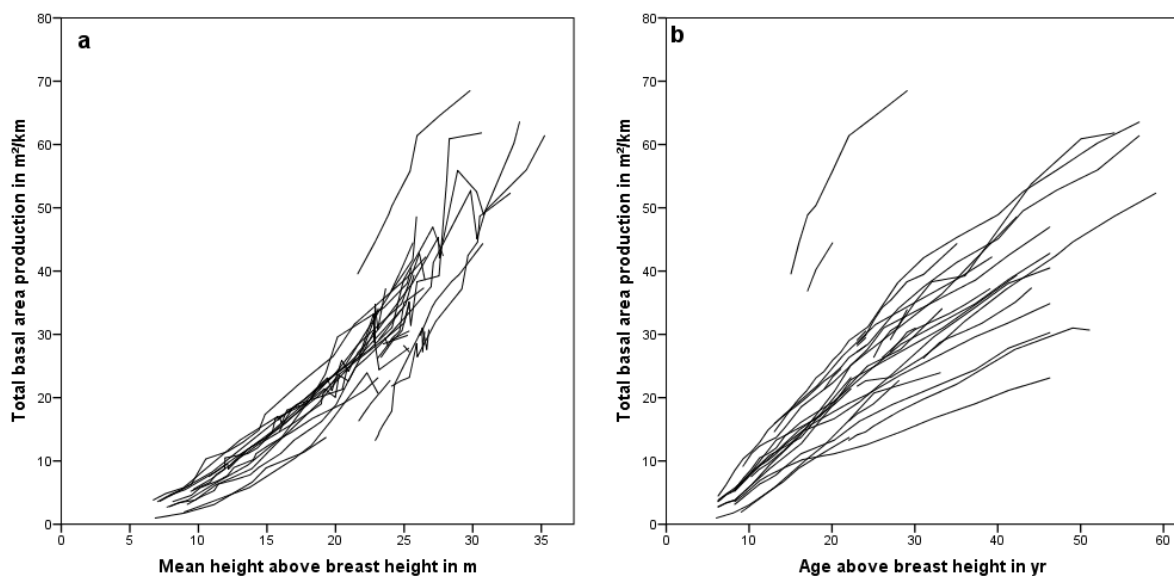
Figure 22. Standardized residuals of model (30) in relation to height (a) and standardized residuals of model (32) in relation to height (b), the red lines represent the linear fit.

4.4 Grondvlakbijgroei in lijnbeplantingen

In Paragraaf 4.2.1 is besloten om de analyse van grondvlakbijgroei van de lijnbeplantingen te splitsen van die in bossen.

Er zijn 32 proefperken met 282 opnamen beschikbaar voor de analyse van de opstandontwikkeling bij lijnbeplantingen. Er is met vier methoden geanalyseerd:

1. Directe schatting van de grondvlakbijgroei met de methode van Paragraaf 4.2.1 met $R^2_{adj} = 0.428$;
2. Indirecte schatting van de grondvlakbijgroei met de methode van Paragraaf 4.2.2 met $R^2_{adj} = 0.468$;
3. Directe schatting van het grondvlak met G_{tot} met $R^2_{adj} = 0.879$.
4. Indirecte schatting van het grondvlak G_{bt} met de diameterontwikkeling met $R^2_{adj} = 0.944$.



Figuur 23. Totale grondvlakproductie per proefperk (G_{tot}) als functie van hoogte (a) en leeftijd (b).

Figure 23. The total basal area per plot (G_{tot}) as a function of height (a) and age (b).

De vierde methode is gekozen, zowel de 3^e als de 4^e methode worden nu besproken.

Directe schatting van de totale grondvlakproductie

In Figuur 23 is de ontwikkeling van de totale grondvlakproductie weergegeven als functie van de hoogte (a) en de leeftijd (b). Jansen *et al.* (2016) geven in Paragraaf 4.2.1 een oplossing om de grondvlakbijgroei te schatten via de ontwikkeling van het totale grondvlak (de som van het huidig grondvlak na dunning en het gecumuleerde gedunde grondvlak tot dat moment). Maar aangezien dat in de meeste gevallen onbekend is, zien ze er verder vanaf. Als functie vonden zij een powerfunctie naar de hoogte die voor een referentieleeftijd van 25 jaar is herschreven als:

$$G_{tot} = G_{25} \cdot f_a(h) \quad (33)$$

where $G_{25} = f_b(S\%, h)$

Voor de lijnbepantingen van populier bleek met een R^2 adj van voor f_a een Chapman-Richards-functie naar leeftijd een betere keus:

$$G_{tot} = G_{25j} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-b_{25} \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-b_{25} \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^{b_{26}} \quad \text{for the } j^{th} \text{ plot} \quad (34)$$

In Formule (34) zijn naast de 2 modelparameters de plotparameters (G_{25j}) geschat die het productieniveau representeren. Met een variantieanalyse en een R^2 adj van 0.923 is vervolgens gezocht naar verklarende variabelen voor dit productieniveau. Dit bleken de variëteit, de plantafstand, de boniteit en de regio. De regio en variëteit zijn weggelaten en het model luidt dan:

$$G_{tot} = G_{25} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-b_{25} \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-b_{25} \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^{b_{26}} \quad (35)$$

where $G_{25} = b_{27} \cdot sp_0 + b_{28} \cdot h_{25}^{b_{29}}$

Aangezien de grondvlakbijgroei en daardoor ook G_{tot} wordt beïnvloed door dunningen kunnen alleen data worden gebruikt tot en met de eerste dunning. Dat betreft 28 proefperken met 157 opnamen met een goede spreiding over de leeftijden en boniteiten. Naast dunningen verdwijnen er wegens andere redenen af en toe bomen, hier is niet voor gecorrigeerd.

Met een R^2 adj van 0.879 en een standaarddeviatie van $4.6 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ volgt een oplossing. Hierna is het productieniveau per variëteit (VL) berekend:

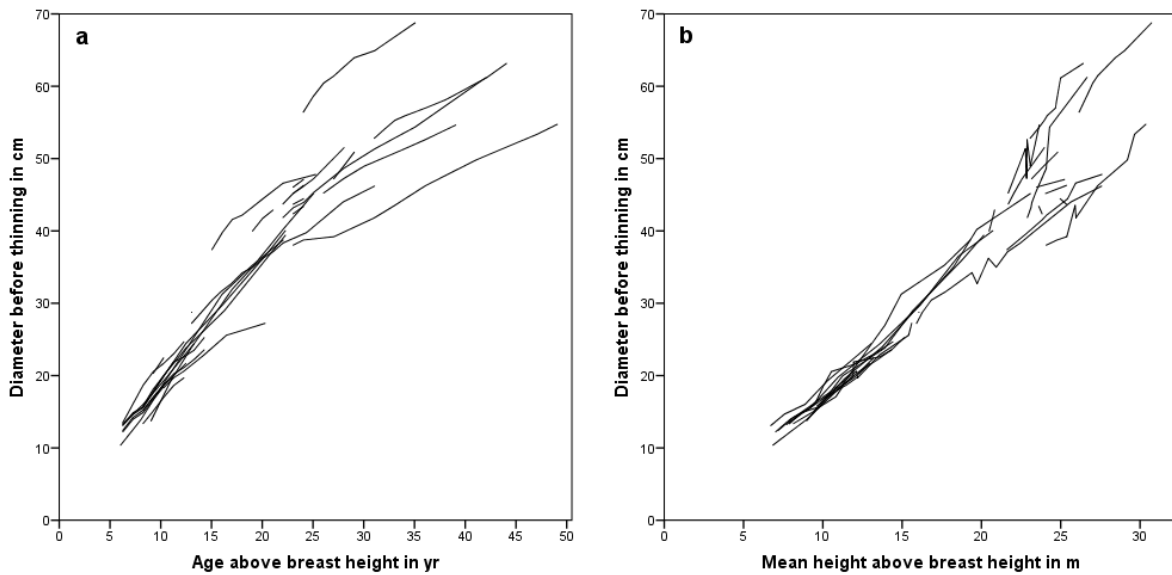
$$G_{tot} = \hat{G}_{tot}(f_{35}) \cdot \sum_{j=1}^5 VL_j \cdot x_j \quad (36)$$

where $x_j = \begin{cases} 1 & \text{if the } j^{th} \text{ variety is in the plot} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

Het R^2 adj stijgt naar 0.956 en een standaarddeviatie daalt naar $2.8 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Het productieniveau van 'Robusta' en 'Forrndorf' is gelijk en bedraagt 94%, voor is het 'Gelrica' 130%, voor 'Heidemij' 83% en voor 'Serotina' is het 110%.

Formule (35) blijkt dus geschikt om het totale grondvlak per variëteit te verklaren en minder geschikt om voor alle variëteiten samen te gebruiken.

Indirecte schatting van het grondvlak met de diameterontwikkeling



Figuur 24. Diameter na dunning per proefperk als functie van leeftijd (a) en hoogte (b).

Figure 24. Diameter after thinning per plot as a function of age (a) and height (b).

In Figuur 24 is de ontwikkeling van de diameter voor dunning gegeven als functie van de leeftijd (a) en de hoogte (b). Anders dan bij Figuur 23 zijn nu net als hiervoor alleen de opnamen gebruikt tot en met de eerste dunning.

Jansen (1990) geeft een voorlopige opbrengsttabel voor lijnbeplantingen van populier, hij gebruikt hiervoor dezelfde data als in onze studie. Maar op dat moment was slechts 40% van de data ontsloten. Jansen (1990) en De Vries (1962) rapporteerden een verschil tussen de diameter in de rij (d_{ir}) en die daar loodrecht op (d_{or}). Jansen (1990) geeft een aantal mogelijke verklaringen, die alle te maken hebben met het kroonoppervlak. Maar geen van de mogelijke verklarende factoren is gemeten en daardoor niet bruikbaar. Jansen (1990) modelleert de ontwikkeling van d_{or} met een Schnute-variant (1981) van een Chapman-Richards-functie als volgt:

$$d_{or} = D_{30} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-a_1 \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-a_1 \cdot (30 - t_{1.30}))} \right\}^{a_2} \quad (37)$$

where $D_{30} = a_3 + a_4 \cdot h_{30}$

Op basis van de Figuren 24a en 24b is de leeftijd als verklarende variabele een goede keus, maar een eventueel ander groeimodel is een optie.

Het Chapman-Richards model bleek de beste keus en functie (37) is in onze studie opnieuw geformuleerd voor de d_{bt} :

$$d_{bt} = D_{25} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-c_{25} \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-c_{25} \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^{c_{26}} \quad (38)$$

where $D_{25} = c_{27} \cdot sp_0 + c_{28} \cdot h_{25}^{c_{29}}$

Maar aangezien een schatting van de grondvlakontwikkeling nodig is, is Formule (38) uitgebreid tot:

$$G_{bt} = N_{bt} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{bt}}{200} \right)^2$$

$$\text{where } d_{bt} = D_{25} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-c_{25} \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-c_{25} \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^{c_{26}} \quad (39)$$

$$D_{25} = c_{27} \cdot sp_0 + c_{28} \cdot h_{25}^{c_{29}}$$

Met een R^2 adj van 0.944 en een standaarddeviatie van $3.1 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ geeft Tabel 18 geeft de oplossing.

Tabel 18. Parameters bij Model (39)

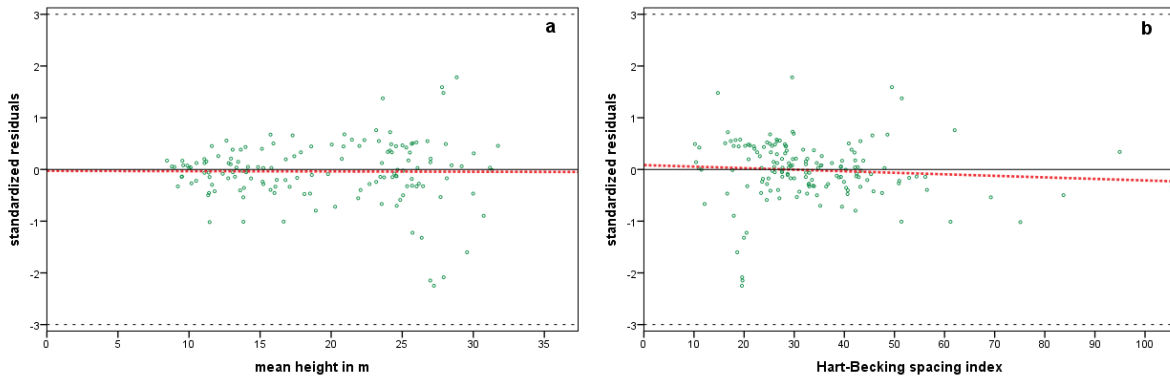
Table 18. Parameters for Model (39)

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C25	0.0449	0.009	0.028	0.062
C26	0.9192	0.111	0.699	1.139
C27	2.1834	0.151	1.886	2.481
C28	0.2148	0.079	0.058	0.372
C29	1.5631	0.109	1.348	1.778

Kwaliteit van het model

In Figuur 25 is te zien dat het model voor de modelvariabele S% (b) en de niet-modelvariabele hoogte (a) een nagenoeg zuivere schatter geeft, want de lichte hellinghoeken van de lineaire fit door de puntenwolk in de figuren blijken nergens significant. Dat geldt ook voor de (hier niet getoonde) leeftijd.

In Figuur 25b is te zien dat er ook bij zeer lage waarden van het S % geen bijzondere afwijkingen zijn. Normaliter zou in bossen een dergelijk laag S % (ca. 10) niet bereikt kunnen worden omdat er dan sterfte optreedt, maar in lijnbepantingen kan dat wel. Deze lage waarden van het S % liggen alle in het proefperk P032 Zelhem 1, waar de volumebijgroei fluctueert tussen de 18 en $62 \text{ m}^3\text{km}^{-1}\text{jr}^{-1}$.



Figuur 25. Gestandaardiseerde residuen van model (39) in relatie tot de modelvariabelen hoogte (a) en S% (b). De rode lijn geeft de lineaire regressielijn weer door de residuen.

Figure 25. Standardized residuals of model (39) in relation to height (a) and S % (b). The red lines represent the linear fit.

Net als bij de vorige methode is nagegaan of er verschil is in het productieniveau per variëteit (VL):

$$G_{bt} = \hat{G}_{bt}(f_{39}) \cdot \sum_{j=1}^5 VL_j \cdot x_j \quad (40)$$

where $x_j = \begin{cases} 1 & \text{if the } j^{th} \text{ variety is in the plot} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$

Het R^2 adj stijgt naar 0.978 en een standaarddeviatie daalt naar $1.9 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Het productieniveau van 'Robusta' bedraagt 92%, voor 'Forndorf' is het 88% en voor 'Heidemij' en 'Gelrica' is het 105%, voor en voor 'Serotina' is het 115%.

In Paragraaf 6.6 wordt verder ingegaan op de schatting van d_{or} en d_{ir} .

Conclusie

De methode gebaseerd op de diameterontwikkeling geeft aanvaardbare uitkomsten zelfs zonder uitsplitsing per variëteit.

4.5 Conclusie

De grondvlakbijgroei blijkt in Paragraaf 4.2 goed te voorspellen (R^2 adj 0.804) voor de bij populier gebruikelijke ruime plantverbanden. Het model en de parameters bleken ook te voldoen voor trilpopulier met laagdunning. In Paragraaf 4.3 is voor de dichte plantverbanden een indirecte schatter van de grondvlakbijgroei gevonden van vergelijkbare relatieve kwaliteit (R^2 adj 0.797).

In absolute zin is deze onnauwkeuriger (standaarddeviatie 0.99 tegenover $0.37 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$). Voor lijnbeplantingen zonder dunning en moest in Paragraaf 4.4 een afzonderlijk model worden ontwikkeld.

5. Dunningsysteem

Bij populieren worden veelal in een ruim plantverband aangelegd, bij gebruik van een korte omloop wordt er nooit gedund tot aan de eindkap. Met een wat langere omloop of een iets minder ruime stand vinden er systematische dunningen plaats. In de data komen beide beheersystemen het meest voor (zie Tabel 19). Bij 2 proefperken met een cultivar en 6 met trilpopulier was sprake van een laagdunning. Daarnaast is er sprake van nietsdoen en de daarbij behorende sterfte in de Nelderproeven.

Tabel 19. Proefperken en opnamen per beheersystemen.

Table 19. Number of plots and recordings per management system.

beheersysteem	aantal proefperken	aantal opnamen
zonder dunning en ruime stand	77	493
systematische dunning	81	834
laagdunning	8	35
geen dunning en sterfte	27	301
Totaal	193	1663

5.1 Systematische dunning.

De vraag is hoe deze systematische dunning is uitgevoerd in de dataset en hoe die in bestaande opbrengsttabellen is gemodelleerd.

Er zijn 109 dunningen uitgevoerd, waarbij in 84 gevallen 50% van het stamtal werd gedund, in 11 gevallen werd 33% gedund en in 14 gevallen 25%. Daarnaast vond er in 27 gevallen kap van nog geringer omvang plaats. Het gemiddelde grondvlak voor dunning bedroeg in bos $15.8 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, met een standaarddeviatie van $6.0 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. In de lijnbeplantingen was het gemiddelde grondvlak $20.0 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, met een standaarddeviatie van $11.7 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Het gemiddeld 5% bedroeg 42.7 % met een standaarddeviatie van 9.9 %. In de lijnbeplantingen was het gemiddelde 5% 52.0 %, met een standaarddeviatie van 16.0 %. Het gemiddeld grondvlak bij eindkap bedroeg $26.6 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$.

Er is daarom geen éénduidige dunningstrategie te duiden in de data.

In tabel 20 zijn enige karakteristieken gegeven van de eerste stamtal-afname ten gevolge dunning of sterfte. De sterfte in de Nelder-plots vindt alleen plaats in de cirkels met plantafstand kleiner dan 3 m.

Tabel 20. Karakteristieken van eerste stamtalreductie door dunning of sterfte.

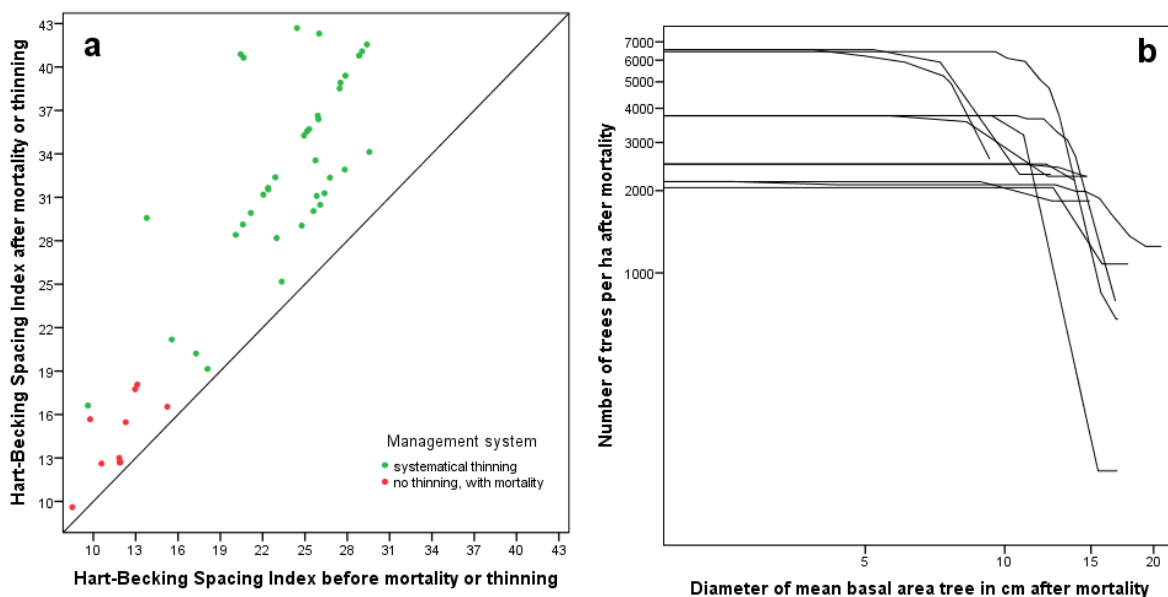
Table 20. Characteristics of first reduction of number of trees by thinning or mortality.

beheersysteem	<i>n</i>	S% voor 1 st afname van <i>N</i> /ha	S% na 1 st afname van <i>N</i> /ha	afname % van <i>N</i> _bt
systematische dunning	44	23.7	35.1	42.2
geen dunning en sterfte	11	11.7	17.2	35.8

Er is besloten een plantafstand van 5 x 5 m te gebruiken en een dunning uit te voeren van 50% zodra het 5% onder de grens van 20.5 % daalt. In de variant waarin er niet gedund volgt

eindkap zodra het 5% onder de grens van 17.5 % daalt. Daarnaast zijn er tabellen berekend bij de plantafstanden 4, 6, 7, 8, 9 en 10 m, deze zijn niet alle opgenomen in Bijlage 1, maar wel gebruikt in Paragraaf 6.5. Er is ook een tabel opgenomen in Bijlage 1 met een zeer wijd plantverband van 10.2 x 10.2 m en een “free growth” dunning, er wordt hier gedund zodra het 5% onder de grens van de waarde van b_{16} uit Formule (26) daalt. In het overall opbrengsttabelmodel is deze grenswaarde verder aangeduid als c_{30} ($\approx 64\%$). Dit beheersysteem wordt toegepast bij het agroforestry-beheer “Boomweide”.

Daarnaast is er een model gemaakt waarbij in een zeer korte omloop een plantverband van 2 x 2 is gebruikt, met eindkap zodra het 5% onder de grens van 14.5 % daalt, onder die grens treedt er namelijk sterfte op. Daarnaast zijn er tabellen berekend bij de plantafstanden 1, 1.5 en 2 m. Dit beheersysteem wordt aangeduid als Biomassa-beplantingen.



Figuur 26. Relatie S% voor en na eerste stamtalreductie door dunning of sterfte (a) en logaritmische Reineke-relatie tussen stamtal en diameter na dunning voor de plots met sterfte (b).

Figure 26. Relationship between S% before and after reduction of number of trees by thinning or mortality (a) and logarithmic Reineke-relationship between stem density and diameter after mortality (b).

In Figuur 26a is de verschuiving in S % aangegeven ten gevolge van dunning of sterfte er is nauwelijks sprake van enig verband. De logaritmische relatie tussen het stamtal en de diameter na (zelf)dunning blijkt voor de klonen op geen enkele manier te voldoen aan het Reineke-model (Reineke, 1933). De hellingshoek heeft een tangens van ongeveer -2.1, dus veel steiler dan de -1.6 van Reineke (zie Figuur 26b).

5.2 Laagdunning bij trilpopulier

La Bastide en Faber (1972) voorspellen de diameter na dunning met:

$$d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ R \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - R \right\} \text{ where } a_{at}, a_{bt} \text{ are mean tree distances before and after thinning} \quad (41)$$

Jansen *et al.* (2016) gebruiken een modificatie ervan met $R = f(h_{25}, S\%, t)$. Er zijn 8 proefperken met trilpopulier waarvan 6 met laagduinning met maar 16 opnamen, waarbij gedund werd. Dat is veel te weinig om modificatie toe te passen. Besloten is daarom het originele model van La Bastide en Faber te draaien met $R = c_{31}$.

Met een R^2_{adj} van 0.984 werd de oplossing van Tabel 21 gevonden. Het gemiddelde $S\%$ in de opnamen bedroeg 23%, waarmee er sprake is van een zware laagduinning.

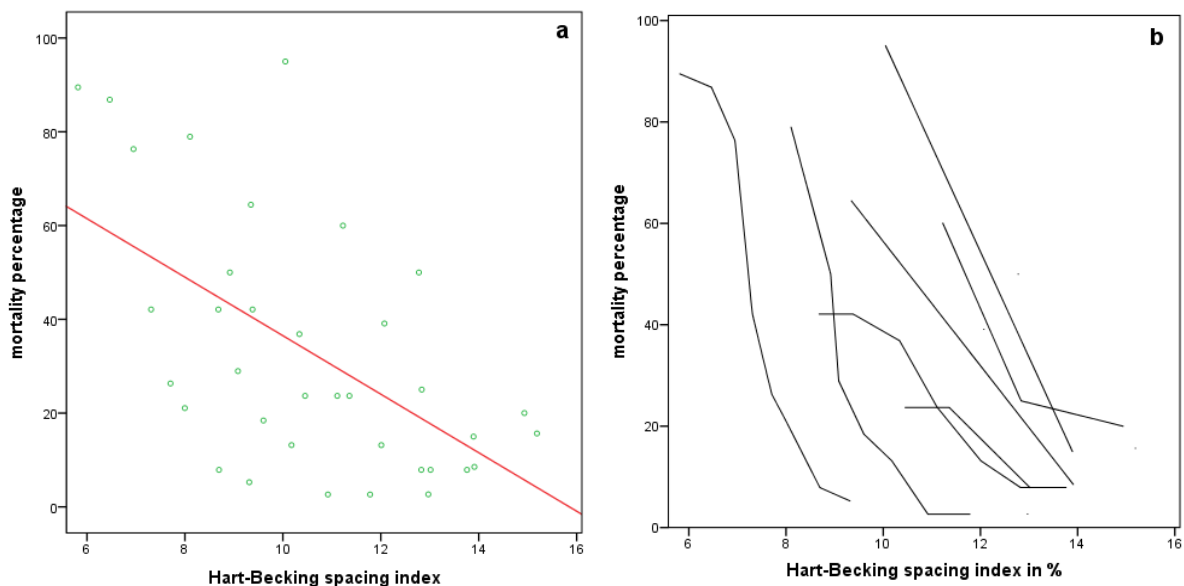
Tabel 21. Parameterschatting met het model van La Bastide & Faber.

Table 21. Parameter estimation with La Bastide & Faber's model

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_{31}	0.3287	0.025	0.275	0.382

5.3 Sterfte bij dichte stand

In Paragraaf 4.3 is de grondvlakbijgroei besproken van 14 proefperken met dichte stand met in totaal 77 opname. In 33 daarvan trad door de groei sterfte op ten gevolge van die dichte stand. In Figuur 27 is het cumulatieve sterftepercentage weergegeven ten opzichte van het $S\%$. Het $S\%$ is hier steeds berekend ten opzichte van het beginstamtal en zal daarom verder als $S_0\%$ worden aangeduid.



Figuur 27. Diameterbijgroei als functie van $S\%$ met de afzonderlijke waarnemingen en in rood de lineaire fit (a) en zelfde data maar dan met de ontwikkeling per proefperk (b).

Figure 27. Diameter increment per as a function of $S\%$ with the individual observations and in red the linear fit (a) and same data but with the development per plot (b).

Bij het vinden van relatie tussen het sterftepercentage en $S_0\%$ blijkt de werkwijze van Figuur 27a een verkeerd beeld te geven. Want bekijken we het proces per proefperk, zoals in Figuur

27b dan blijkt de sterfte veel sneller te gaan, dit is als volgt gemodelleerd met één intercept per proefperk en een constante hellinghoek voor alle proefperken:

$$Mort\% = a_i - c_{35} \cdot S_0\% \quad (42)$$

where a_i have different values for every i^{th} plot

De R^2 adj bleek 0.668. Vervolgens is geprobeerd a_i te verklaren met de kenmerken beginstamafstand, h_{25} en variëteit. De variëteit bleek niet significant, wat tot het volgende model leidde:

$$Mort\% = \begin{cases} 0 & \text{for } u \leq 0 \\ u & \text{for } u > 0 \end{cases} \quad (43)$$

where $u = c_{32} + c_{33} \cdot sp_0 + c_{34} \cdot h_{25} - c_{35} \cdot S_0\%$

Met een R^2 adj van 0.690 en 37 opnamen zijn de constanten van Tabel 22 gevonden.

Tabel 22. Parameterschatting met Model (43).

Table 22. Parameter estimation with Model (43).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_{32}	405.9037	48.693	306.838	504.970
c_{33}	18.7183	6.432	5.631	31.805
c_{34}	-8.6137	1.338	-11.337	-5.891
c_{35}	13.4782	1.599	10.226	16.731

Er resteert de vraag of de diameter van de gestorven bomen afwijkt van die van de blijvers, in bossen met natuurlijke sterfte en voldoende genetische variatie is dat wel het geval. Of dat bij klonen een rol speelt is niet bekend. Met een variatie op model (41) is dit onderzocht, na weglating van de niet significante onderdelen luidt dit:

$$d_{am} = d_{bm} \cdot \left\{ c_{36} \cdot \frac{a_{am}}{a_{bm}} + 1 - c_{36} \right\} \quad \text{where } am \text{ and } bm \text{ means after and before mortality} \quad (44)$$

Met een R^2 adj van 0.989 en 37 opnamen werd de volgende constante gevonden $c_{36} = 0.1094$ in het betrouwbaarheidsinterval {0.089; 0.130}.

6. Constructie Opbrengstabellen

Met de in deze studie gevonden relaties zullen nu nieuwe opbrengstabellen worden gemaakt met verschillende dunninggraden.

Al eerder is besloten een indeling in relatieve boniteiten te maken, met daaraan gekoppeld de "hoogte" op 25 jaar. Er is gekozen voor een presentatie van gegevens op ongeveer dezelfde wijze als voor de douglas door Jansen *et al.* (2016). In plaats van de opperhoogte is de gemiddelde hoogte opgenomen, en de dominante hoogte en dominante diameter ontbreken. De tabellen zonder dunning missen uiteraard dunning-gegevens.

Lijnbeplantingen

Bij de analyses zijn alle lijnbeplantingen voorzien van hypothetische areïeke kenmerken maar in de tabellen worden lineïeke kenmerken gepresenteerd, dus bij voorbeeld lopende volumebijgroei in $\text{m}^3\text{km}^{-1}\text{jr}^{-1}$.

Voor een groot aantal van deze gegevens kunnen de gevonden relaties in de voorafgaande hoofdstukken worden gebruikt. Maar er zullen nog wat andere kenmerken worden gebruikt.

6.1 Overige kenmerken

6.1.1 Opstandvolume

In de data zijn de boomvolumes bepaald met het Schumacher-Hall-model (1933):

$$v = d^{c_{37}} \cdot h^{c_{38}} \cdot e^{c_{39}} \quad \text{met } d \text{ in cm, } h \text{ in m en } v \text{ in dm}^3 \quad (45)$$

Voor populier (Faber & Tiemens, 1975) geldt $c_{37} = 1.7886$, $c_{38} = 1.1060$ en $c_{39} = -3.0719$. In de basisgegevens is het opstandvolume bepaald door de afzonderlijke boomvolumes op te tellen.

Formule (45) is niet geschikt om het opstandvolume te bepalen. In het verleden werd gebruik gemaakt van de gemodificeerde opstandvolumefunctie van Heisterkamp (1981), de functie luidt:

$$V = c_{40} \cdot G^{c_{41}} \cdot h_{top}^{(c_{42} + c_{43} \cdot t_0)} \quad \text{met } G \text{ in m}^2/\text{ha, } h_{top} \text{ in m en } V \text{ in m}^3/\text{ha} \\ \text{met } t_0 = t - t_{1.30} \quad (46)$$

Voor populier is deze functie gefit met h_m in plaats van h_{top} :

$$y = V_{bt} + V_{at} = c_{40} \cdot h_m^{c_{42}} \cdot (G_{bt}^{c_{41}} + G_{at}^{c_{41}}) \quad (47)$$

Met een R^2 van 0.991 is gevonden: $c_{40} = 0.8606$, $c_{41} = 1.0123$ en $c_{42} = 0.4701$.

De formule van Heisterkamp is ontwikkeld voor opbrengsttabellen die een startwaarde hadden voor de hoogte. Voor populier is die $c_{52} = 7$ m. Daar beneden moet met de Formule (45) worden gewerkt.

In de opbrengsttabellen wordt het opstandvolume dus bepaald met:

$$V = \begin{cases} N \cdot v_g \approx N \cdot d_g^{c_{33}} \cdot h_m^{c_{34}} \cdot e^{c_{35}} & \text{for } h_m \leq c_{39} \\ c_{40} \cdot G^{c_{41}} \cdot h_m^{c_{42}} & \text{for } h_m > c_{39} \end{cases} \quad (48)$$

6.1.2 Hoogte bij Laagdunning voor Trilpopulier.

Voor trilpopulier worden er opbrengsttabellen gemaakt met laagdunning. In alle voorgaande modellen betreft de hoogte steeds de gemiddelde hoogte, die door een systematische dunning niet wordt beïnvloed. Nu moet de hoogte voor dunning en na dunning worden geschat. Daarnaast is de opperhoogte geschat met:

$$h_{top} = c_{43} \cdot h_m^{c_{44}} \quad (49)$$

Met een R^2 van 0.971 is gevonden: $c_{43} = 1.5329$ en $c_{44} = 0.8878$.

$$\begin{aligned} h_{bt} &= c_{45} \cdot h_m \\ h_{at} &= c_{46} \cdot h_m \end{aligned} \quad (50)$$

Er waren slechts 16 waarnemingen met dunning aanwezig en de parameters zijn met een gewogen gemiddelde als volgt geschat:

$$\begin{aligned} \hat{c}_{45} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} n_{bti} \cdot h_{bti}}{\sum_{i=1}^{16} n_{mi} \cdot h_{mi}} = \frac{\sum_{i=1}^{16} n_{bti} \cdot h_{bti}}{\sum_{i=1}^{16} \left\{ \frac{n_{bti} + n_{ati}}{2} \cdot \frac{h_{bti} + h_{ati}}{2} \right\}} \\ \hat{c}_{46} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} n_{ati} \cdot h_{ati}}{\sum_{i=1}^{16} n_{mi} \cdot h_{mi}} = \frac{\sum_{i=1}^{16} n_{ati} \cdot h_{ati}}{\sum_{i=1}^{16} \left\{ \frac{n_{bti} + n_{ati}}{2} \cdot \frac{h_{bti} + h_{ati}}{2} \right\}} \end{aligned} \quad (51)$$

where n_{bt} and n_{at} are the real number of trees before and after thinning

Gevonden werd $c_{45} = 0.9878$ en $c_{46} = 1.0087$.

6.1.3 Diameter van dunning.

De diameter voor, na en van de dunning zijn bij een systematische dunning aan elkaar gelijk. Voor de laagdunning bij de trilpopulier wordt de diameter van de dunning indirect bepaald, doordat zowel het grondvlak als stamtal voor en na dunning bepaald worden.

6.1.4 Beginstamtaf

Voor de bospercelen is een plantverband van 5 x 5 m aangehouden, dus $N_0 = 400 \text{ ha}^{-1}$.

Voor de korte omloop plantages is een plantverband van 2 x 2 m aangehouden, dus $N_0 = 2500 \text{ ha}^{-1}$.

In de lijnbeplantingen is een boomaafstand van 3.2 m aangehouden, dus $N_0 = 312 \text{ km}^{-1}$.

In het opbrengsttabelmodel is N_0 voor tabellen met dunning weergegeven door de parameter c_{50} en voor tabellen zonder dunning als c_{51} .

6.2 Opbrengsttabellen

6.2.1 Keuze voor berekende opbrengsttabellen

Allereerst is gekozen welke tabellen gepubliceerd zullen worden. Er is gekozen voor drie opbrengsttabel voor Nederland:

1. Voor populieren cultivars in lijnbeplantingen met plantafstand 3.2 m, vijf boniteiten zonder dunning;
2. Voor populieren cultivars in bosbeplantingen met plantafstanden 4, 5, 6, 8 en 10 m, vijf boniteiten met en zonder systematische dunning;
3. Voor populieren cultivars in bosbeplantingen met plantafstand 10.2 x 10.2 m, vijf boniteiten met systematische dunning
4. Voor populieren cultivars in biomassaplantages met plantafstand 2 x 2 m, boniteiten I tot en met III zonder dunning;
5. Voor trilpopulier met plantafstand 2 x 2 m, met vijf boniteiten en met matige laagdunning.

Tabel 23. Leeftijdinterval in dataset per type, soort, dunningmethode en boniteit.

Table 23. Age interval in the data set per type, species, thinning method and site class

Type	Soort	Beheersysteem	Boniteit				
			I	II	III	IV	V
weg	cultivars	zonder dunning	19-22	25-37	21-56	8-24	
		systematische dunning	17-31	15-59	8-61	8-48	10-48
bos	cultivars	zonder dunning	2-38	2-48	4-52	4-40	6-35
		systematische dunning	6-35	2-39	4-42	4-33	7-21
		laagdunning	6-37				
		met sterfte	2-24	2-15	1-17		
	esp	matige laagdunning	9-22	13-32	15-30	45	41-54

In Tabel 24 is de verdeling over boniteiten en leeftijdsklassen gegeven voor het aantal opstanden in de 4^e Bosstatistiek met een hoogte ≥ 10 m. Dit geeft de behoefte aan tabellen weer, terwijl Tabel 23 een indicatie van de mogelijkheden geeft.

Tabel 24. Leeftijdsklassen per boniteit in 4^e Bosstatistiek (aantal opstanden met $h_m \geq 10$).

Table 24. Age classes per site class in Fourth National Forest Inventory (number of stands with $h_m > 10$ m).

leeftijdsklasse	Boniteit					Totaal
	$\leq I$	II	III	IV	$\geq V$	
15 – 20	374	433	668	350	174	1999
20 – 25	169	417	637	338	253	1814
25 – 30	40	202	281	198	181	902
30 – 35	7	88	158	129	74	456
35 – 40	1	19	47	35	21	123
40 – 45		12	14	13	12	51
45 – 50		4	4	7	4	19
50 – 45		3	7	7		17
55 – 60		2	2			4
Totaal	591	1180	1818	1077	719	5385

Extrapolatie buiten het waarnemingsmateriaal moet in principe beperkt worden maar is onvermijdelijk (zie Tabel 23). Per opbrengsttabel is in Tabel 25 de maximale leeftijd per boniteiten weergegeven. Voor populier in bos en in lijnbepantingen is alleen de versie met systematische dunning weergegeven, voor de versies zonder dunning kan de tabel eerder stoppen in verband met noodzakelijke eindkap bij verwachte sterfte.

Tabel 25. Maximale leeftijd per opbrengsttabel en boniteit.

Table 25. Maximum age per yield table and site class.

Opbrengsttabel	Boniteit				
	I	II	III	IV	V
Populier, lijnbepanting met systematische dunning	40	50	60	60	60
Populier, bos met systematische dunning	40	45	50	50	50
Populier, biomassa plantage met sterfte	13	13	13		
Trilpopulier met matige laagdunning	35	35	35	45	55

6.2.2 Constructie van de opbrengsttabel

Voor de constructie van een opbrengsttabel worden eerst bij een gekozen waarde voor h_{25} (zie Tabel 9a, b en c in Hoofdstuk 3) de S -waarde berekend met de reciproke van Formule (16a) en het bij de dunninggraad behorende $S\%$ van Hart met Formule (1) vastgesteld. Verder is het beginstamtal N_0 afgeleid van het plantverband, dus 400 voor populierenbos, 2500 voor de korte omloop variant en voor de trilpopulier, 312 voor lijnbepantingen. Daarna zijn per leeftijd t op het interval $\{1, t_{max} + 1\}$ een aantal variabelen berekend. Allereerst wordt h_m berekend met Formule (16).

Er worden drie situaties onderscheiden:

- I. $h_m < 7$ m. Geen dunning.

Het stamtal is gelijk aan N_0 (in het model is deze c_{50}). De d_g wordt met Formule (21) berekend. Voor het grondvlak volgt $G_{bt} = N_0 \cdot \frac{\pi}{40000} \cdot d_g^2$. Het volume wordt met Formule (48) berekend. Voor de grondvlak- en volume bijgroei is de berekening hetzelfde als bij situatie III.

Tot een hoogte van 1.30 m worden alleen het stamtal en de gemiddelde hoogte vermeld;

II. $h_{m(t)} \leq 7$ m en $h_{m(t+1)} > 7$ m

Allereerst wordt de t_7 bepaald (de exacte leeftijd waarop een gemiddelde hoogte van 7m wordt bereikt met de inverse van Formule (16)). Het deel van de grondvlakbijgroei tot t_7 wordt berekend met een aangepast versie van Formule (21):

$$i_G(t, t_7) = N_0 \cdot (g_7 - g_t) = N_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_7^2 \cdot \left[1 - \left\{ \frac{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (h-1.30)})}{\exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (7-1.30)})} \right\}^2 \right] \quad (52)$$

where $d_7 = c_6 + c_7 \cdot sp_{\max}$

$$sp_{\max} = \begin{cases} sp_0 & \text{for } sp_0 \leq c_8 \\ c_8 & \text{for } sp_0 > c_8 \end{cases}$$

Voor het tweede deel van de grondvlakbijgroei, moet eerst het S% worden bepaald met $N=N_{at}(t-1)$ en $h_{top}=7$ met Formule (1) berekend, daaruit volgt de dunninggraad voor dunning volgt $Tgr = (S\% - 10)/3$. De grondvlakbijgroei wordt nu met een aangepaste versie van Formule (23) berekend:

$$i_G(t_7, t+1) = c_{11} \cdot h_{25}^{c_{12}} \cdot cor_{S\%} \cdot \{c_{16} \cdot T_h + (1 - c_{16}) \cdot T_t\} / dt \quad \text{for } h_1 > 7$$

$$\text{where } cor_{S\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S\% \leq c_{14} \\ 1 - c_{13} \cdot (S\% - c_{14})^{c_{15}} & \text{for } S\% > c_{14} \end{cases}$$

$$T_h = (h_{t+1} - 1.30)^{c_{17}} - (7 - 1.30)^{c_{17}} \quad \text{and} \quad T_t = (t_2 - t_{130})^{c_{17}} - (t_7 - t_{130})^{c_{17}}$$

$$dt = t + 1 - t_7$$

(53)

S% = Hart Becking spacing index at t_1 , see Formula 1

$$t_{130} = \begin{cases} 1.30 \cdot t_0 / h_0 & \text{for poplar} \\ \frac{\ln\{1 - (1.3/S)^{1/c_2}\}}{-c_1} & \text{for aspen} \end{cases}$$

Na het bepalen van beide delen I_G wordt het grondvlak voor dunning op het tijdstip $t+1$ bepaald:

$$G_{bt(t+1)} = G_{bt(t)} + i_G(t, t_7) \cdot (t_7 - t) + i_G(t_7, t+1) \cdot (t+1 - t_7) \quad (54)$$

De berekening gaat nu verder als bij situatie III

III. $h_{top} > 7$ m. Dit is de situatie waarin gedund kan worden.

Het stamtal voor dunning op tijdstip $t=t$ is gelijk aan het stamtal na dunning op het tijdstip $t=t-1$. Het grondvlak voor dunning is ook bekend, omdat dit op ieder tijdstip een jaar vooruit wordt berekend – de eerste keer met Formule (53) en (54), en later met (56) en (57).

Met de gemiddelde hoogte op $t=t$ en N_{bt} wordt actuele dunninggraad ($S\%$) met formule (1) berekend.

Met de reciproke van de grondvlakdefinitie wordt de diameter voor dunning berekend:

$$d_{bt} = 200 \cdot \sqrt{\frac{G_{bt}}{\pi \cdot N_{bt}}} \quad (55)$$

Op ieder tijdstip wordt verder het volume voor dunning V_{bt} berekend met Formule (48). Alleen bij veelvouden van 5 jaar mag er gedund worden, daartussendoor vindt er wel bij-groei plaats, maar wordt er niet gedund en geldt “de situatie na dunning is gelijk aan die voor dunning”.

Er zijn nu zes keuzeregels voor dunning/eindkap:

1. Voor de tabel Populier bos met systematische dunning
Indien $S\%$ voor dunning < 20.5 wordt 50% van stamtal gedund, $d_{at} = d_{th} = d_{bt}$, $h_{at} = h_{th} = h_{bt}$, $N_{at} = N_{th} = \frac{1}{2}N_{bt}$, $G_{at} = G_{th} = \frac{1}{2}G_{bt}$ en $V_{at} = V_{th} = \frac{1}{2}V_{bt}$. En $S\%$ na dunning wordt berekend.
2. Voor de tabel Populier bos zonder systematische dunning
Indien $S\%$ voor dunning < 17.5 wordt de tabel na deze regel niet langer voortgezet, expliciet betreft dit dus de eindkap.
3. Voor de tabel Populier biomassa-plantage met systematische dunning
Indien $S\%$ voor dunning < 20.5 wordt 50% van stamtal gedund, $d_{at} = d_{th} = d_{bt}$, $h_{at} = h_{th} = h_{bt}$, $N_{at} = N_{th} = \frac{1}{2}N_{bt}$, $G_{at} = G_{th} = \frac{1}{2}G_{bt}$ en $V_{at} = V_{th} = \frac{1}{2}V_{bt}$. En $S\%$ na dunning wordt berekend.
4. Voor de tabel Populier lijnbeplanting met systematische dunning
Indien $S\%$ voor dunning < 14.5 wordt 50% van stamtal gedund, $d_{at} = d_{th} = d_{bt}$, $h_{at} = h_{th} = h_{bt}$, $N_{at} = N_{th} = \frac{1}{2}N_{bt}$, $G_{at} = G_{th} = \frac{1}{2}G_{bt}$ en $V_{at} = V_{th} = \frac{1}{2}V_{bt}$. En $S\%$ na dunning wordt berekend.
5. Voor de tabel Populier lijnbeplanting zonder dunning
Indien $S\%$ voor dunning < 11.5 wordt de tabel na deze regel niet langer voortgezet, expliciet betreft dit dus de eindkap.
6. Voor de tabel Trilpopulier met zeer sterke laagdunning
Het gewenste $S\%$ bedraagt 25% het daarbij gewenste stamtal na dunning wordt bere-

kend met $N_{at} = \left(\frac{10000}{25 \cdot h_m} \right)^2$. Indien het gewenste stamtal N_{at} kleiner is dan N_{bt} wordt er

gedund. De diameter na dunning dat wordt berekend met Formule (41), dus

$$d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ R \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - R \right\} \text{ waarbij geldt } R = c_{31}.$$

Voor het grondvlak na dunning volgt $G_{at} = N_{at} \cdot \pi \cdot (d_{at}/200)^2$, voor dat van de dunning geldt $G_{th} = G_{bt} - G_{at}$, evenzo $N_{th} = N_{bt} - N_{at}$ en $d_{th} = 200 \cdot \sqrt{G_{th}/(\pi \cdot N_{th})}$. De gemiddelde hoogte voor, na en van dunning zijn hetzelfde. Het volume voor en na dunning wordt berekend met Formule (48) en het verschil tussen beide waarden is het volume van de dunning

Alle relevante informatie van de situatie met en zonder dunning is nu bekend en alvorens naar een volgend jaar te gaan wordt de grondvlakbijgroei tot het volgende jaar $t=t+1$ met de uit Formule (23) afgeleide volgende formule berekend:

$$I_G(t, t+1) = c_{11} \cdot h_{40}^{c_{12}} \cdot cor_{5\%} \cdot \{c_{16} \cdot T_h + (1 - c_{16}) \cdot T_t\}$$

where $T_h = (h_{t+1} - 1.30)^{c_{17}} - (h_t - 1.30)^{c_{17}}$ and $T_t = (t + 1 - t_{130})^{c_{17}} - (t - t_{130})^{c_{17}}$ (56)
 $cor_{5\%}$ and t_{130} as in Formula 54

Het 5% in Formule (56) is het actuele 5% na eventuele dunning. Na het bepalen van I_G wordt het grondvlak voor dunning op $t=t+1$ bepaald:

$$G_{bt(t+1)} = G_{at(t)} + I_G(t, t+1) \quad (57)$$

Verder wordt er een telwerk bijgehouden van het grondvlak en volume van de uitgevoerde dunningen en wordt het totaal geproduceerde volume berekend met $V_{tot} = V_{at} + \Sigma V_{th}$, evenzo $G_{tot} = G_{at} + \Sigma G_{th}$. Alle resultaten worden per leeftijd opgeslagen, daarna worden de gemiddelde en lopende volumebijgroei berekend met

$$ImV = \frac{V_{tot(t)}}{t} \quad (58)$$

$$IcV = \frac{V_{tot(t+1)} - V_{tot(t-1)}}{2}$$

Op vergelijkbare wijze worden de gemiddelde en lopende bijgroei van het grondvlak berekend.

In Paragraaf 6.3 wordt de kwaliteit van het ontwikkelde model beoordeeld. In Paragraaf 6.4 worden enkele eigenschappen van de uiteindelijk tabellen vergeleken met andere opbrengsttabellen. In Bijlage 1 zijn de geproduceerde opbrengsttabellen weergegeven. Hierna volgt nog een tabel met alle parameters.

In deze Tabel 26 komen de parameters c_{47} , c_{48} en c_{49} pas in Paragraaf 6.6 aan de orde in Formule (61).

Tabel 26. Lijst met parameters.

Table 26. List with parameters.

para- meter	formule	bos	boom- weide	biomassa	lijn- beplanting	tril- populier	opmerking
C1	(16/16a)	0.0792991	0.0792991	0.0792991	0.0522527	0.1126169	
C2	(16/16a)	1.4744760	1.4744760	1.4744760	1.0339029	1.4744760	
C3	(16)			0.1395504			
C4	(16)			0.1473802			
C5	(16)			3.3086647			
C6	(21)	7.2415115	7.2415115	7.2415115	7.2415115	7.2415115	
C7	(21)	0.9174946	0.9174946	0.9174946	0.9174946	0.9174946	
C8	(21)	3.8168994	3.8168994	3.8168994	3.8168994	3.8168994	
C9	(21)	3.1055377	3.1055377	3.1055377	3.1055377	3.1055377	
C10	(21)	0.3523936	0.3523936	0.3523936	0.3523936	0.3523936	
C11	(23)	3.8076667	3.8076667			3.8076667	
C12	(23)	0.5217543	0.5217543			0.5217543	
C13	(23)	0.0230233	0.0230233			0.0230233	
C14	(23)	29.1239557	29.1239557			29.1239557	
C15	(23)	0.8324239	0.8324239			0.8324239	
C16	(23)	0.5537234	0.5537234			0.5537234	
C17	(23)	0.4030508	0.4030508			0.4030508	
C18	(30)			1.9824409			
C19	(30)			2.6989237			
C20	(30)			0.0370773			
C21	(30)			29.2339698			
C22	(30)			0.3617466			
C23	(30)			0.7463977			
C24	(30)			1.0175848			
C25	(39)				0.0448713		
C26	(39)				0.9192197		
C27	(39)				2.1833959		
C28	(39)				0.2148350		
C29	(39)				1.5630644		
C30			63.6558950				$\equiv b_{16}$ in (26)
C31	(41)					0.3287095	
C32	(43)			405.9037125			
C33	(43)			18.7182591			
C34	(43)			-8.6136930			
C35	(43)			13.4781667			
C36	(44)			0.1094051			
C37	(48)	1.7886490	1.7886490	1.7886490	1.7886490	1.7886490	
C38	(48)	1.1059700	1.1059700	1.1059700	1.1059700	1.1059700	
C39	(48)	-3.0719171	-3.0719171	-3.0719171	-3.0719171	-3.0719171	
C40	(48)	0.8606480	0.8606480	0.8606480	0.8606480	0.8606480	
C41	(48)	1.0123272	1.0123272	1.0123272	1.0123272	1.0123272	
C42	(48)	0.7400628	0.7400628	0.7400628	0.7400628	0.7400628	
C43	(49)					1.5327788	
C44	(49)					0.8877815	
C45	(50)					0.9876775	
C46	(50)					1.0087018	
C47	(61)				0.9215519		
C48	(61)				0.1891690		
C49	(61)				0.2125694		
C50		400	96	2500	312.5	2500 instelbaar	
C51		400	96	2500	312.5	2500 instelbaar	
C52		7	7	7	7	7 grenswaarde h	

6.3 Kwaliteit van de voorspelling

Om de kwaliteit van het opbrengsttabelmodel te beoordelen moet de ontwikkeling van bestaande opstanden worden voorspeld en vergeleken met de gemeten verandering. Het ontwikkelde groeimodel van Paragraaf 6.2 om opbrengsttabellen te maken moet daartoe gemodificeerd worden tot een “stand projection model”.

Van een bepaalde opstand moet de leeftijd, de opperhoogte, het stamtal en het grondvlak bekend zijn, waarmee alle andere toestandvariabelen kunnen worden berekend. Daarna kan de situatie over een aantal jaren voorspeld worden en een dunning worden gesimuleerd, en de veranderingen in de opstandkenmerken worden voorspeld. Door dit voor de proefperken (zowel van die van de dataset als die van de controle-set) te doen kan de modelvoorspelling worden vergeleken met de gemeten kenmerken. Het “stand projection model” werkt als volgt:

Stap 1. Boniteit bepalen

Allereerst moet met de reciproke van Formule (16), de leeftijd, h_m , t_0 en h_0 de site index S worden bepaald:

$$S = \frac{h_m - h_0}{cor \cdot \left\{1 - e^{-c_1 \cdot (t - t_0)}\right\}^b} \quad (59)$$

$$\text{where } cor = \begin{cases} 1 & \text{for roadside plots and other plots with thinning} \\ 1 & \text{for other plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ 1 - c_4 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for other plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} c_2 & \text{for roadside plots and other plots with thinning} \\ c_2 & \text{for other plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ c_2 - c_3 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for other plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$$

sp_0 = the initial spacing

h_0 and t_0 are respectively the height and age of the cuttings,

if those values are unknown $h_0 = 1.5$ m and $t_0 = 2$ yr

and for Aspen: $h_0 = 0$ m and $t_0 = 0$ yr

Stap 2.

Met de definitie van de Formules (1) wordt vervolgens het 5% voor en na dunning bepaald. De grondvlakbijgroei per jaar worden berekend met de waarden voor Tgr , h_{top} , h_{50} en t over het interval $\{t_1; t_2\}$. In Paragraaf 6.2 is beschreven welke formules daartoe gebruikt worden. Hieruit volgt het grondvlak voor dunning op tijdstip t_2 en hieruit weer de diameter voor dunning (\hat{d}_{bt_2}).

Stap 3.

Hierna wordt de gemiddelde hoogte berekend op het 2^e tijdstip met Formule (16). De voorspelde diameterbijgroei op het interval $\{t_1, t_2\}$ bedraagt:

$$\Delta_d = \hat{d}_{bt2} - d_{at1} \quad (60)$$

Er worden evenveel bomen gedund als in werkelijkheid maar $d_{at} = d_{th} = d_{bt}$, behalve voor trilpopulier, daar wordt de diameter na dunning (\hat{d}_{at2}) berekend met Formule (41).

Vervolg

Stap 2 en 3 kunnen nu herhaald worden voor een 3^e tijdstip en eventuele vervolgtijdstippen. De stamtallen van de dunning en die voor en na dunning zijn bekend, hiermee en met de formules uit het opbrengsttabel model kunnen alle andere opstandkenmerken worden berekend.

Om de kwaliteit van het model te meten is deze procedure voor series van 4 opnamen doorerekend (veel perken hebben echter maar 3 opnamen, daar is met 3 opnamen gewerkt, enkele perken hebben maar 2 opnamen en zijn niet meegenomen in de berekening). Voor bijvoorbeeld een perk met 6 opnamen ontstaan zo drie voorspellingseries op de intervallen $\{t_1, t_4\}$, $\{t_2, t_5\}$ en $\{t_3, t_6\}$. Vervolgens is de zuiverheid en nauwkeurigheid van de voorspellingen van de bereikte opperhoogte, de diameter na dunning en het opstandgrondvlak na dunning in de laatste (dus de 3^e of 4^e) opname bekeken. Het gemiddelde tijdvak bedroeg 6.1 jaar. Daarnaast werd de grondvlakbijgroei over 10 jaar bekeken (zie Tabel 27 voor de resultaten).

De onzuiverheid van alle berekende voorspellingen blijkt gering tot matig, variërend van 0.1 % onderschatting tot 2.8 % overschatting. De nauwkeurigheid van de schatting van de grondvlakbijgroei is gering. Bij de berekening zijn alleen opnamen geselecteerd met aangepaste leeftijd van 4 jaar en ouder, omdat jongere opnamen bij de snelgroeiende variëteiten een te grote afwijkende boniteit voorspelde, indien deze opnamen wel werden meegenomen was er sprake van 9.1 % overschatting van de grondvlakbijgroei en een variatiecoëfficiënt van 44.6 %.

Tabel 27. Eigenschappen van enige schatters.

Table 27. Properties of some predictions.

	resultaten bij laatste opname					
	gemeten	geschat	bias	bias%	st.dev	VC
h_m	22.30	22.43	-0.130	-0.58%	1.749	7.8%
d_{at}	33.67	33.72	-0.050	-0.15%	1.995	5.9%
G_{at}	18.00	17.99	0.016	0.09%	2.480	13.8%
iG_{10}	12.79	13.14	-0.354	-2.77%	4.048	31.7%

6.4 Vergelijking met andere opbrengsttabellen

In deze paragraaf worden enkele andere opbrengsttabellen voor de populier in Europa vergeleken met het hier gevonden resultaat.

Van de landen waarvoor opbrengsttabellen voor populierenvariëteiten beschikbaar zijn, zijn er 5 geschikt om te vergelijken: die van Crocoll (1954) voor 'Marilandica' en Rätzel (1969) voor 'Robusta', beide voor Zuid-Duitsland, in de door Schober (1987) bewerkte versie, die van Hamilton en Christie (1971) voor Groot-Brittannië en die van Van Laar (1957) en Faber en Tiemens (1975) voor Nederland.

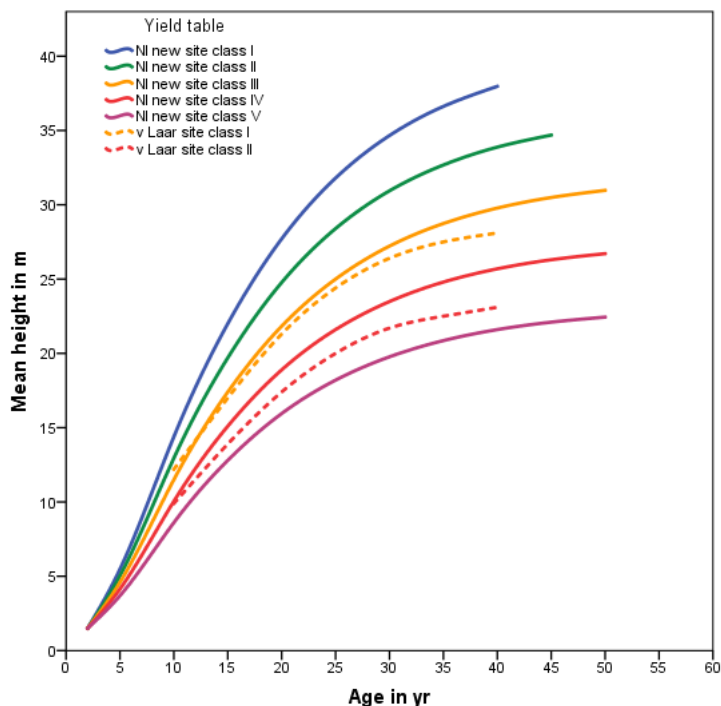
Er is één tabel voor trilpopulier gevonden (zie Paragraaf 6.7) en ook één voor lijnbeplantingen van populier (zie Paragraaf 6.6).

6.4.1 Hoogteontwikkeling

De diverse auteurs van de te vergelijken opbrengsttabellen hanteren niet allen dezelfde maat voor de hoogte: meestal wordt de gemiddelde hoogte gebruikt, soms de opperhoogte.

Hiervoor is niet gecorrigeerd in de figuren 28 tot en met 31.

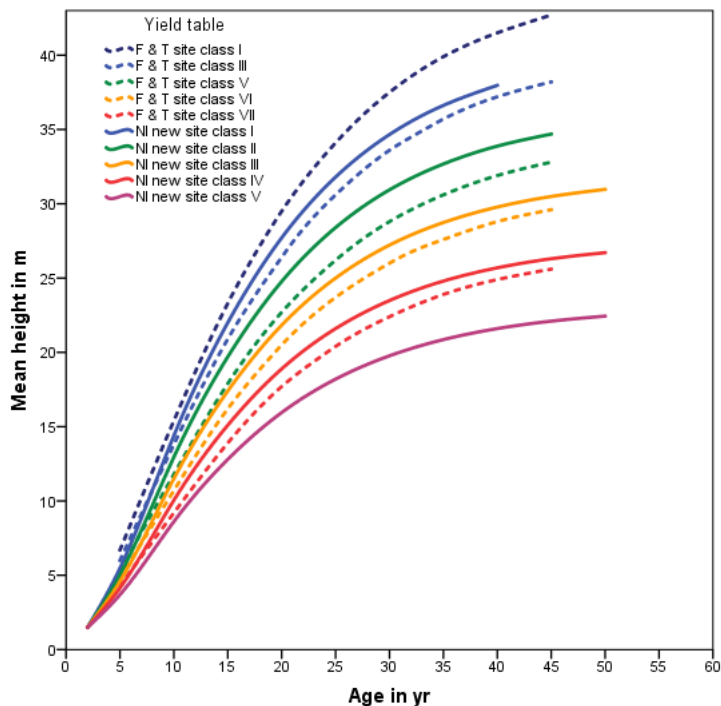
De vorm van de hoogtecurven bij de tabel van Van Laar (1957) komen zeer goed overeen met die van de nieuwe tabel voor Nederland. Van Laar heeft maar 2 boniteiten, waarvan de 1^e boniteit overeenkomt met de 3^e van de nieuwe tabel en de 2^e met de 4^e van de nieuwe tabel (zie figuur 28).



Figuur 28. Hoogteontwikkeling bij van Laar en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 28. Height development at van Laar's yield table and the new model for Netherlands.

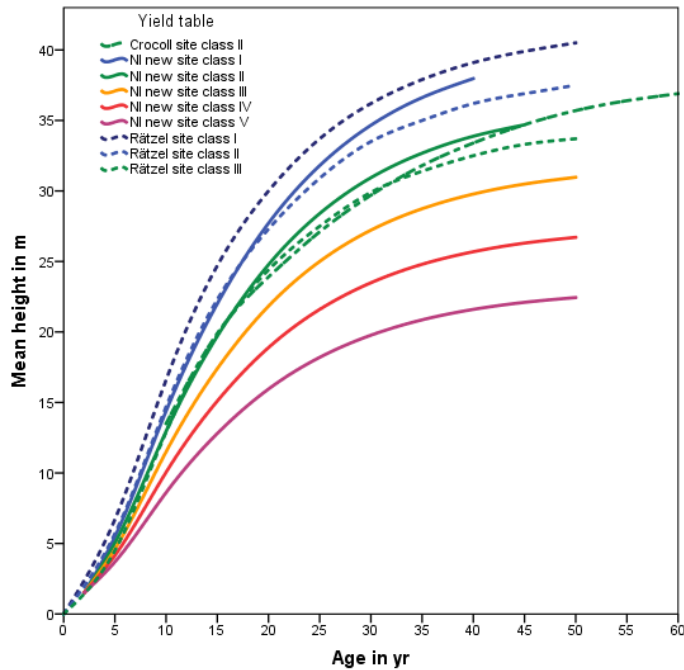
De vorm van de hoogtecurven komen bij Faber en Tiemens (1975) tot 25 jaar zeer goed overeen met die van de nieuwe tabel, daarna vlakken die van de nieuwe tabel eerder af. De nieuwe tabel heeft nog een lagere boniteit dan Faber en Tiemens (zie Figuur 29).



Figuur 29. Hoogteontwikkeling bij Faber & Tiemens en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 29. Height development at Faber & Tiemens' yield table and the new model for Netherlands.

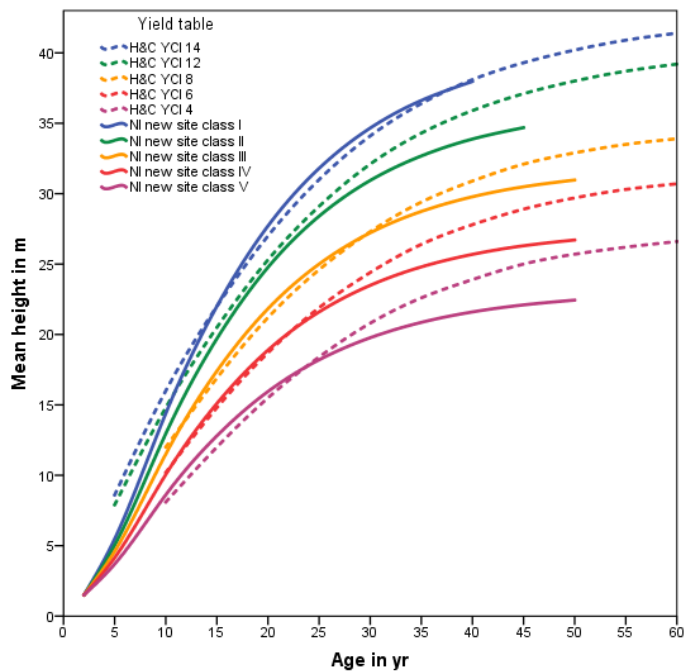
Voor Duitsland komt de vorm van de enige hoogtecurve bij de tabel van Crocoll (1954) slecht overeen met die van curven in de nieuwe tabel voor Nederland. De vorm van de hoogtecurven komen echter bij Rätzel (1969) zeer goed overeen met die van de nieuwe tabel. De nieuwe tabel heeft nog drie lagere boniteit dan Rätzel (zie Figuur 30).



Figuur 30. Hoogteontwikkeling bij Crocoll en Rätzel en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 30. Height development at Crocoll's and at Rätzel's yield table and the new model for Netherlands.

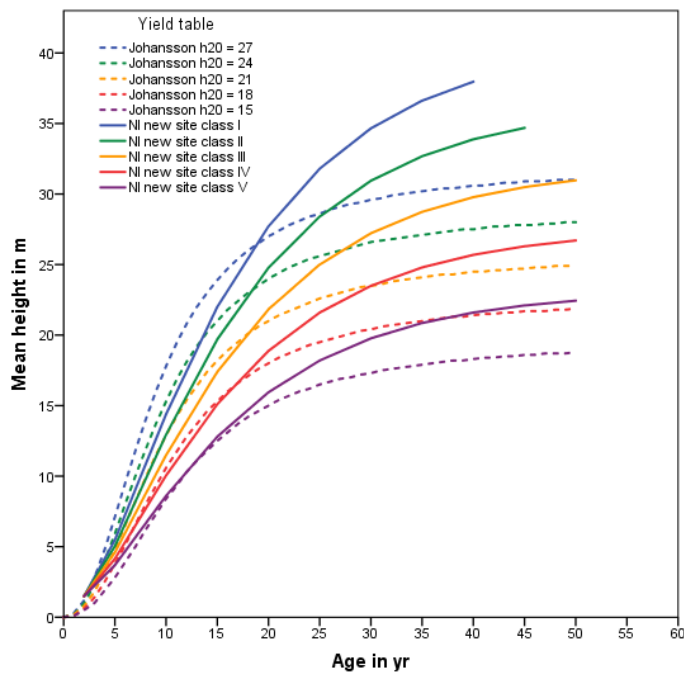
Bij de vergelijking met de tabel van Hamilton & Christie (1971) voor Groot-Brittannië blijkt de vorm van de curven slecht overeen te komen met die van de nieuwe tabel voor Nederland. De curven zijn er steiler en van afplatting is nog geen sprake, wel komt het totale bereik redelijk overeen (zie Figuur 31).



Figuur 31. Hoogteontwikkeling bij Hamilton & Christie en het nieuwe model voor Nederland

Figure 31. Height development at Hamilton & Christie's yield table and the new model for Netherlands.

Voor Zweden zijn geen opbrengsttabellen gevonden, maar wel een model voor de hoogteontwikkeling van Johansson (2013).



Figuur 32. Hoogteontwikkeling bij Johansson en het nieuwe model voor Nederland

Figure 32. Height development at Johansson's yield table and the new model for Netherlands.

Bij de vergelijking met model van Johansson (2013) voor Zweden blijkt de vorm van de curven zeer slecht overeen te komen met die van de nieuwe tabel voor Nederland. Het traject tot borsthoogte duurt veel langer, daarna zijn de curven er steiler tot 20 jaar, waarna de afplattung snel inzet (zie Figuur 32) en er sprake van een heteromorf model.

De hoogteontwikkeling bij de vergeleken tabellen lijkt, behoudens bij Hamilton & Christie en de curven van Johansson redelijk overeen te komen met het in deze studie gevonden model.

6.4.2 Productieniveau

Het productieniveau wordt bij voorkeur gemeten op basis van de gemiddelde volumebijgroei bij zekere leeftijd. Hier is echter naar de totale grondvlakproductie gekeken.

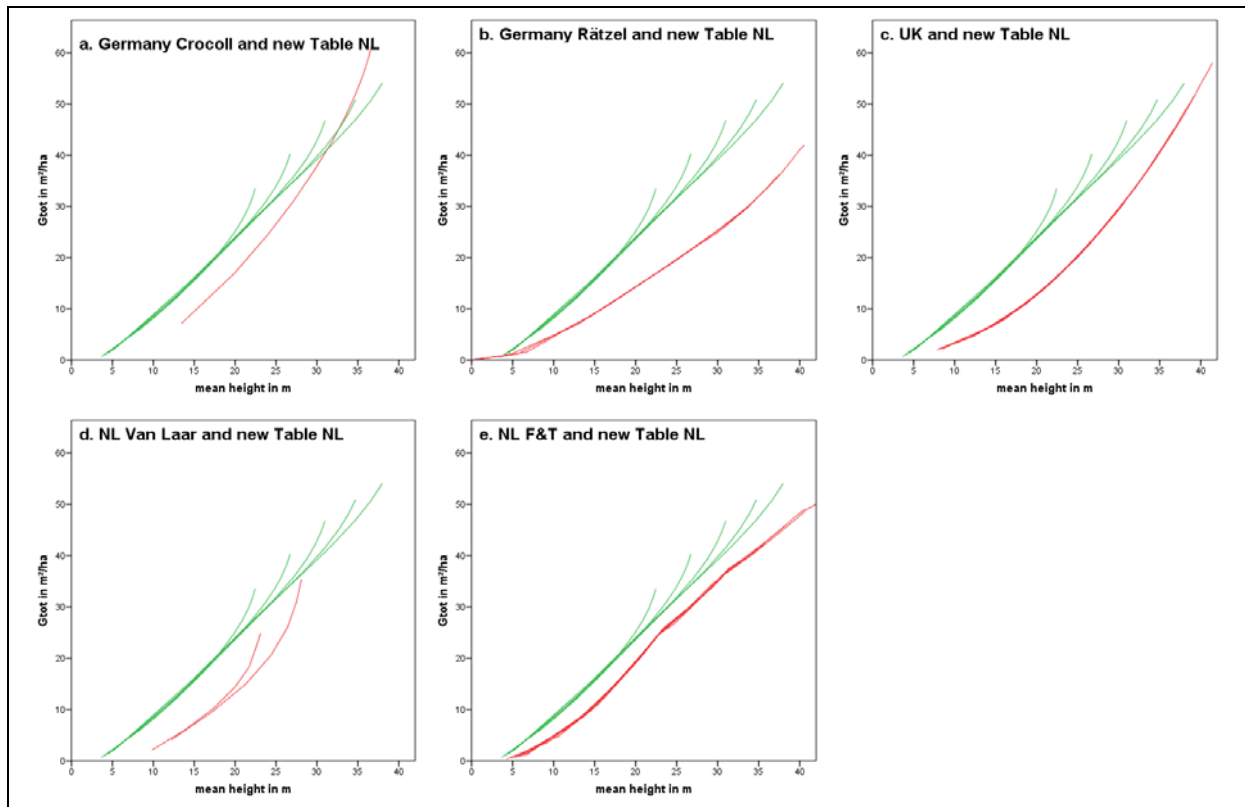
Een probleem bij de vergelijking is verschil in het plantverband en in de wijze van dunning.

Crocoll (1954) gaat uit laagdunning en een beginstamtal van 400.

Rätzel (1969) gaat uit laagdunning en een beginstamtal van 400.

Hamilton & Christie (1971) geven een tabel zonder dunning met een beginstamtal van 185.

Van Laar (1957) geeft een tabel zonder dunning met een beginstamtal van 160.



Figuur 33. De totale grondvlakproductie G_{tot} in relatie tot de opperhoogte bij de nieuwe tabel voor Nederland (in groen) in vergelijking met andere opbrengsttabellen (in rood) voor a. Crocoll, b. Rätzel, c. Hamilton & Christie, d. van Laar en e. Faber & Tiemens.

Figure 33. Total basal area production G_{tot} in relation to top height for the new table for the Netherlands (in green) in comparison with other yield tables (in red) from a. Crocoll, b. Rätzel, c. Hamilton & Christie, d. van Laar and e. Faber & Tiemens.

Faber & Tiemens (1975) geven tabellen met en zonder systematische dunning met een beginstamtal van 625, 278, 156 en 100. Maar ze geven formules om bij andere beginstamtallen een tabel te berekenen, hier is gekozen voor de tabel met systematische dunning en een plantverband van 5 x 5 meter ($N_0 = 400$)

De nieuwe tabel gaat uit van systematische dunning en beginstamtal van 400.

In Figuur 33 is de totale grondvlakproductie per opbrengsttabel uitgezet tegen de gemiddelde hoogte voor alle boniteit. De meeste opbrengsttabellen hebben als startpunt een hoogte van ongeveer 5 à 8 m, en de nieuwe tabel vanaf een leeftijd 5 jaar.

Volgens de “uitgebreide wet van Eichhorn” (Gehrhardt, 1909) zouden bij een presentatie van V_{tot} in relatie tot h_{top} alle boniteitlijnen over elkaar moeten vallen, dat geldt dan ook min of meer voor G_{tot} . Alle modellen behalve Van Laar en het nieuwe model voldoet hieraan.

De overeenkomst met de beide Duitse tabellen is ondanks hetzelfde beginstamtal zeer gering. Het productieniveau bij Van Laar en Hamilton & Christie is uiteraard lager door de wijde stand maar de vorm komt redelijk overeen.

De curves bij Faber & Tiemens komen wat betreft de vorm goed overeen met die van de nieuwe tabel, het niveau ligt gemiddeld $5.7 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ lager dan in de nieuwe tabel.

6.4.3 Dunningsysteem

Jansen *et al.* (1996) dunnen in hun bewerking van de 'Robusta'-tabel van Faber en Tiemens (1975) 50% van de bomen zodra het grondvlak boven $24 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ komt, en in hun tabellen zonder dunning vindt eindkap plaats na het bereiken van een grondvlak van $36 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Van Laar (1957) en Hamilton & Christie (1971) passen geen dunning toe en bij Van Laar (1957) vindt de eindkap plaats bij 40 jaar en bij Hamilton & Christie (1971) bij 60 jaar. In de opbrengsttabel van Crocoll (1954) voor 'Marilandica' vindt laagdunning plaats met een dunninggraad "open stand", in de tabel van Rätzel (1969) voor 'Robusta' wordt een zeer zware laagdunning gebruikt.

Het in de nieuwe tabel voor Nederland gebruikte dunningsysteem komt dus het meest overeen met dat van Faber en Tiemens, maar het beslissingscriterium is niet het grondvlak, maar het 5 %.

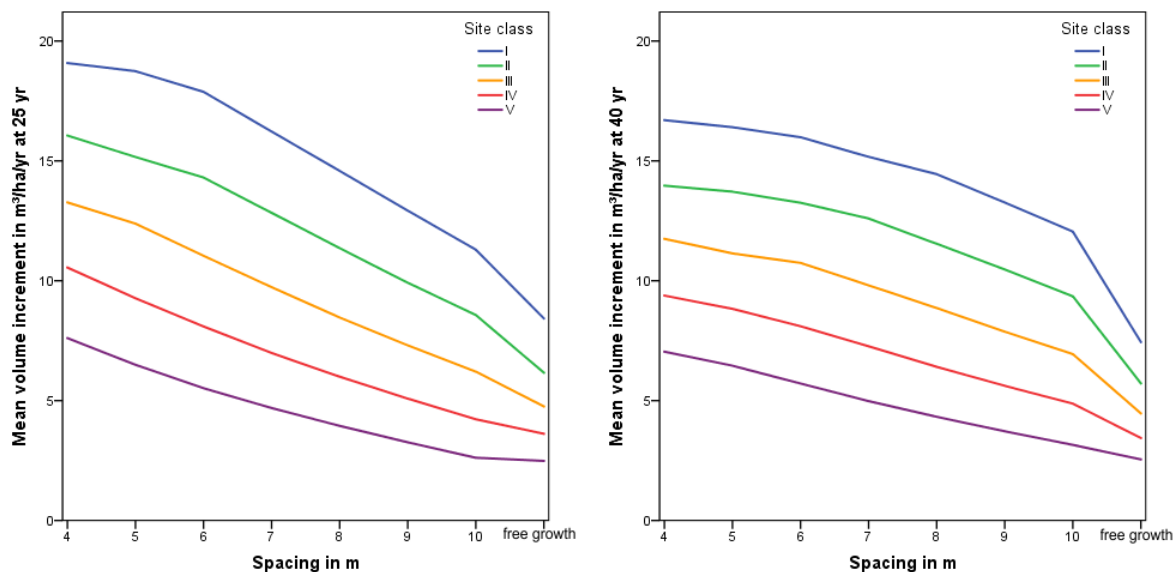
6.5 Effecten plantverband op productie

Volgens de gangbare opvatting in het bosbeheer zullen opstanden met een ruimer plantverband ten opzichte van opstanden met een dichter plantverband onder overige gelijke omstandigheden:

1. Een geringere volume- en grondvlakbijgroei hebben;
2. Een grotere diameter hebben.

In Figuur 34 wordt het eerste punt gedemonstreerd met de gemiddelde volumebijgroei. Te zien is voor een eerste boniteit bij een plantverband van $5 \times 5 \text{ m}$ in gedunde opstanden een gemiddelde volumebijgroei hebben van $16.4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ bij 40 jr. Het stamtal bedraagt dan na 2 dunningen 100 stuks per ha. Maar als de opstand met een plantverband van $10 \times 10 \text{ m}$ was aangelegd hadden die 100 bomen per ha na 40 jaar een gemiddelde volumebijgroei hebben bereikt van $12.1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$. Met een kwart van het aantal bomen wordt dus 73 % van de volumeproductie bereikt, daarmee wordt uiteraard aan het tweede punt voldaan. In Figuur 35 wordt dat verder verduidelijkt. Met het plantverband van $5 \times 5 \text{ m}$ bedraagt na 2 dunningen de diameter van de overgebleven 100 bomen na 2 dunningen bij een leeftijd van 40 jaar 52.6 cm, maar indien met een plantverband van $10 \times 10 \text{ m}$ 100 bomen worden aangelegd dan zijn deze na 40 jaar 68.0 cm dik.

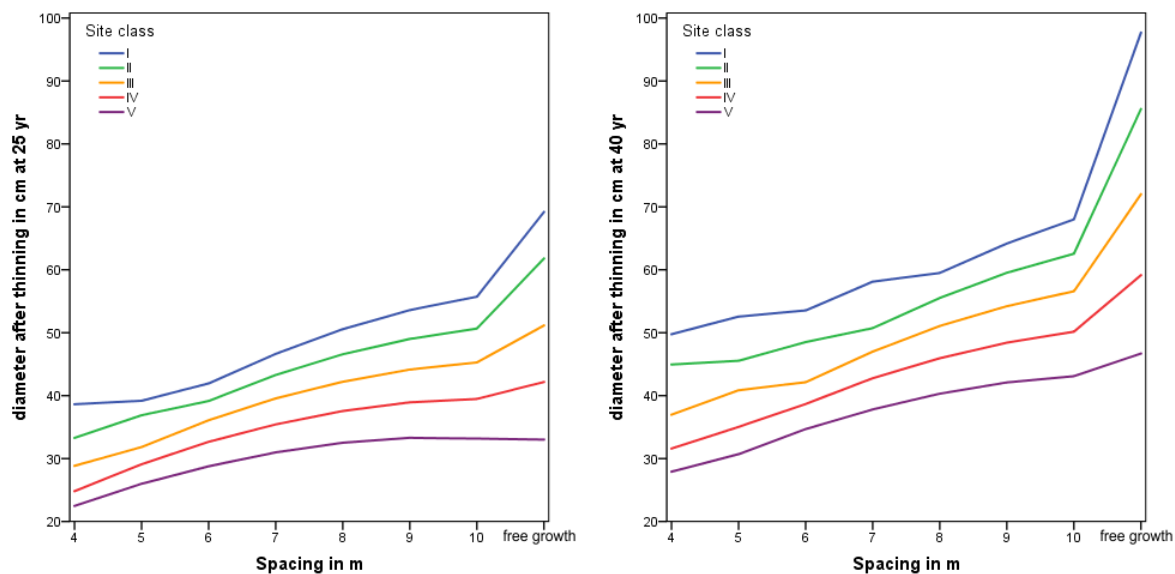
Doordat er sparake is vrij grote dunningingrepen zijn de lijnen in Figuur 35 niet vloeiend.



Figuur 34. Relatie tussen gemiddelde volumebijgroei in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$ op 25 jaar (links) en 40 jaar (rechts) met boniteit en plantverband in m en voor boomweiden.

Figure 34. Relationship between mean volume increment in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$ at 25 year (left) and 40 year (right) for spacing and free growth boniteit per site class.

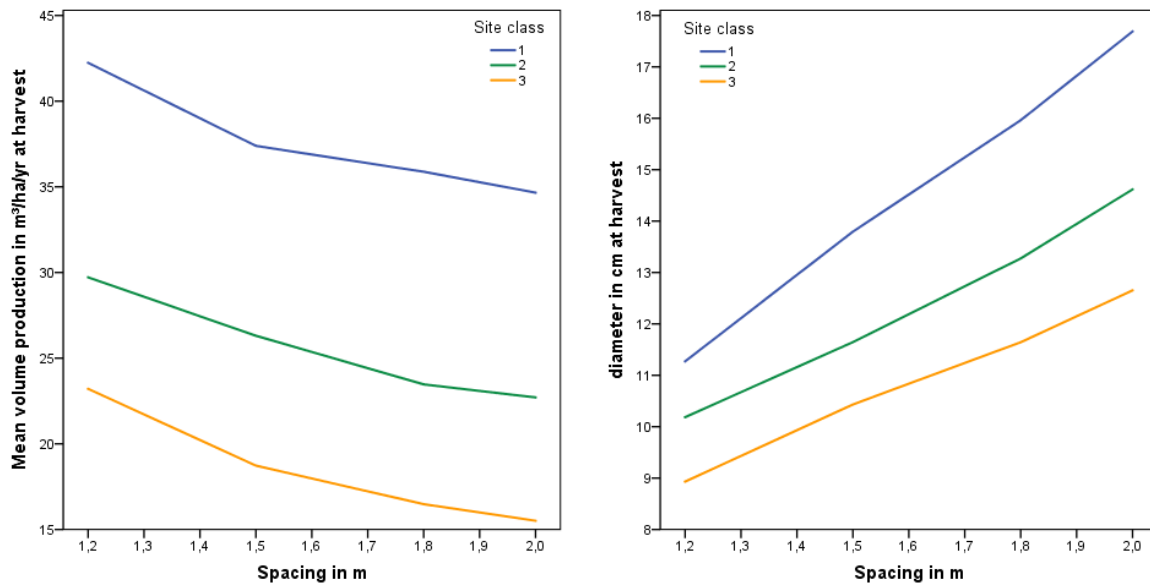
Voor de boomweiden ($N_0 = 96$ met een plantverband van 10.2×10.2 m), waarbij de groei van de individuele bomen die van solitaire bomen benadert (free growth) zijn de 12 blijvende bomen bij de 1^e boniteit na 4 dunningen gemiddeld 61.8 cm dik op 25-jarige leeftijd en na 40 jaar is dat 97.7 cm. De totale volumebijgroei is uiteraard sterk gereduceerd



Figuur 35. Relatie tussen diameter na dunning in cm op 25 jaar (links) en 40 jaar (rechts) met boniteit en plantverband in m en voor boomweiden (free growth).

Figure 35. Relation between diameter after thinning and thinning grade and for free growth by site class at 25 years (left) and at 40 years(right).

Voor de biomassa-tabellen is alleen de tabel met een plantafstand van 2 meter gegeven. In Figuur 36 zijn wat kencijfers gegeven voor andere plantafstanden.



Figuur 36. Relatie tussen gemiddelde volumeproductie op tijdstip waarop grote sterfte optreedt in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$ (links) en diameter in cm op dat tijdstip (rechts) met boniteit en plantverband in m.

Figure 36. Relationship between mean volume increment in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$ at time mortality start (left) and diameter in cm at time mortality start (right) with site class and spacing in m.

Bij een 1^e Boniteit en een plantafstand van 1.2 m treedt in het 9^e jaar de eerste sterfte op, door daarna te oogsten wordt de grootst mogelijke productie bereikt van $42.2 m^2ha^{-1}jr^{-1}$. Hierbij is er impliciet vanuit gegaan dat het dode hout na één jaar niet meer geschikt is. De maximale lopende bijgroei bedraagt $73.9 m^3ha^{-1}jr^{-1}$ in het 7^e jaar. In de data fluctueert dat met $90 m^3ha^{-1}jr^{-1}$ bij 6 jaar, $32 m^3ha^{-1}jr^{-1}$ bij 7 jaar en $76 m^3ha^{-1}jr^{-1}$ bij 8 jaar.

Bij een 1^e Boniteit en een plantafstand van 2.0 m vindt eerste sterfte plaats in het 12^e jaar, maar die is nog gering en met een omloop van 13 jaar is de MMAI (maximale gemiddelde jaarlijkse bijgroei) $34.7 m^2ha^{-1}jr^{-1}$.

6.6 Lijnbeplantingen

Jansen (1990) geeft een voorlopige opbrengsttabel voor lijnbeplantingen van populier, hij gebruikt hiervoor dezelfde data als in onze studie. Maar op dat moment was slechts 40% van de data ontsloten. Hij presenteert alleen de gegevens voor boniteit V, maar geeft formules en parameters voor andere boniteiten. In Figuur 37 is te zien dat de boniteitlijnen goed met elkaar overeenkomen.

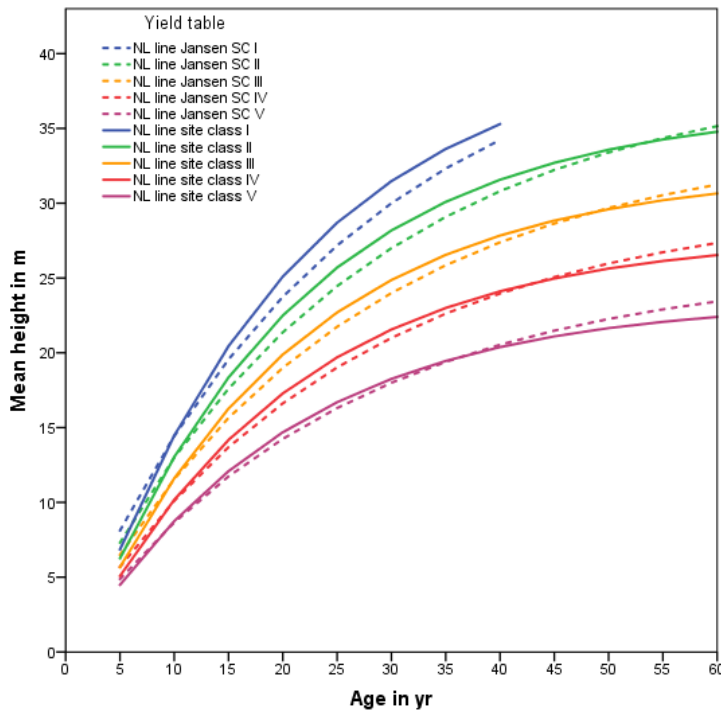
De Vries (1962) en Jansen (1990) rapporteerden een verschil tussen de diameter in de rij (d_{ir}) en die daar loodrecht op (d_{or}). Uit de ratio tussen d_{ir} en d_{bt} kunnen beide diameters als volgt worden geschat:

$$d_{ir} = d_{bt} \cdot Ratio$$

$$\text{where } Ratio = \frac{d_{ir}}{d_{bt}} = c_{47} + c_{48} \cdot S\%/1000 + c_{49} \cdot h_{25}/100 \quad (61)$$

$$d_{or} = \frac{d_g^2}{d_{ir}}$$

Model (61) lijkt met een R^2 van 0.999 een goede verklaring te geven, maar dat is slechts schijn, verklaren we allen de factor *Ratio* uit model (61) dan bedraagt de R^2 slechts 0.159.



Figuur 37. Hoogteontwikkeling in lijnbeplantingen bij Jansen en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 37. Height development in line plantations at Jansen's yield table and the new model for Netherlands.

Tabel 28 geeft de oplossing van model (61).

Tabel 28. Parameterschatting met Model (61)

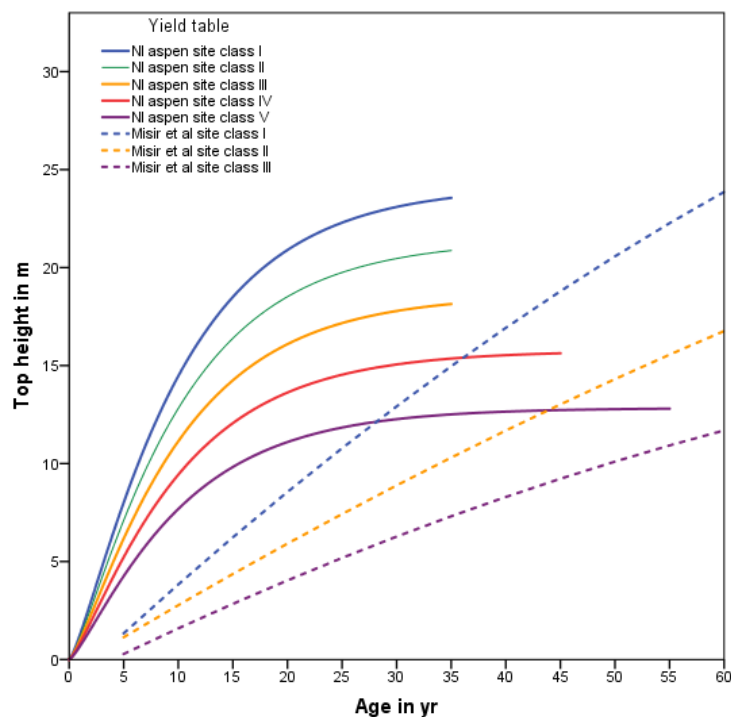
Table 28. Parameter estimation with Model (61)

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C_{47}	0.9216	0.011	0.900	0.943
C_{48}	0.1892	0.071	0.049	0.329
C_{49}	0.2126	0.040	0.135	0.290

6.7 Trilpopulier

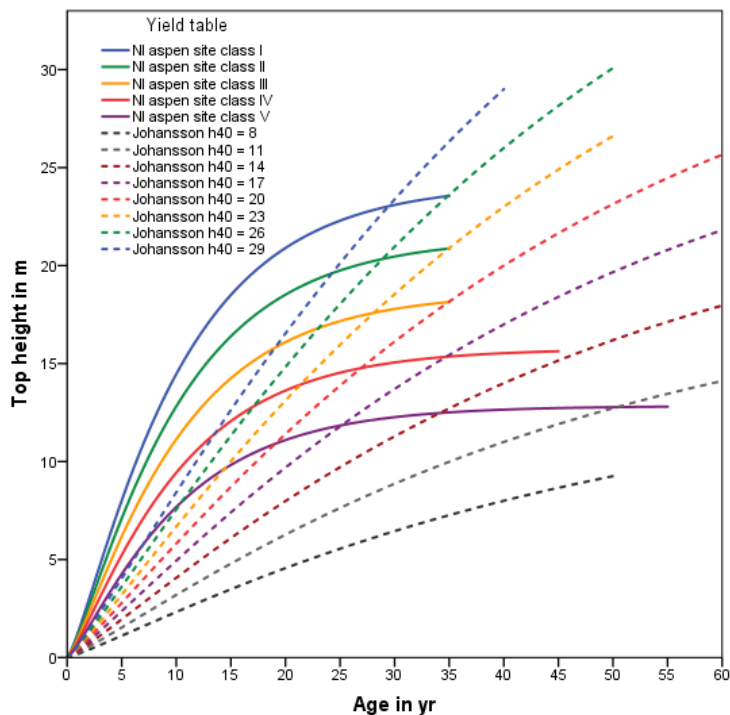
Er is maar één opbrengsttabel voor trilpopulier gevonden, namelijk de tabel van Misir *et al.* (2013) voor natuurlijke bossen in Noord en Oost Anatolië in Turkije. Ondanks dat de omgevingsfactoren niet vergelijkbaar zijn met die in Nederland, is in Figuur 38 een vergelijking gemaakt voor de hoogtegroeï in beide tabellen. Van enige overeenkomst lijkt geen sprake.

Te zien is dat bij ongeveer 55 jaar de hoogte van de III^e boniteit van Misir *et al.* overeenkomt met die van de V^e boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland, evenzo voor de I^e boniteit van beide tabellen.



Figuur 38. Hoogteontwikkeling bij trilpopulier bij Misir *et al.* en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 38. Height development for aspen at yield table by Misir *et al.* and the new model for Netherlands.



Figuur 39. Hoogteontwikkeling voor trilpopulier bij Johansson en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 39. Height development for aspen at Johansson's yield curves and the new model for Netherlands.

Johansson (1996) geeft voor Zweden wel een set boniteringslijnen (zie figuur 39). Ook deze lijnen vertonen weinig overeenkomst met het nieuwe model voor Nederland. Van een pionierskarakter met snelle jeugdgroei en een vroege afvlakking van de groei is geen sprake. Johansson geeft 3 nog lagere boniteiten dan in de nieuwe tabel voor Nederland voorkomen.

7. Discussie en conclusies

7.1 Hoogtegroei

De hoogteontwikkeling van de opstand is een resultante van hoogtegroei en topsterfte. Een biologisch relevant groeimodel moet een buigpunt en een asymptoot hebben. Over dat buigpunt en de asymptoot zijn kwantitatieve gegevens afgeleid daarnaast is bekend wat de leeftijd op borsthoogte moet zijn. Met nog wat aanvullende criteria zijn zes modellen getest, geen voldeed volledig aan alle criteria. Het model van Chapman-Richards (zie Pienaar & Turnbull, 1973) voldeed het best, maar in zeer dichte stand bleek de hoogte beïnvloed door die stand. Het uiteindelijke model luidt:

$$h_m = h_0 + cor \cdot S \cdot \left\{ 1 - e^{-c_1 \cdot (t - t_0)} \right\}^b$$

$$\text{where } cor = \begin{cases} 1 & \text{for plots with thinning} \\ 1 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ 1 - c_4 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} c_2 & \text{for plots with thinning} \\ c_2 & \text{for plots without thinning and } sp_0 \geq c_5 \\ c_2 - c_3 \cdot (c_5 - sp_0) & \text{for plots without thinning and } sp_0 < c_5 \end{cases}$$

sp_0 = the initial spacing; c_1 till c_5 are the estimated model parameters

h_0 and t_0 are respectively the height and age of the cuttings,

if those values are unknown $h_0 = 1.5$ m and $t_0 = 2$ yr

and for Aspen: $h_0 = 0$ m and $t_0 = 0$ yr

De parameters c_1 en c_2 zijn verschillend voor de groepen bos, lijnbeplanting en trilpopulier. De asymptoot, hier de site index S genoemd, is een maat voor de geschiktheid van de standplaats voor de populier. Die R^2 bleek met een waarde van 0.984 lager dan voor de douglas (Jansen *et al.*, 2016), voor de Japanse lariks (Jansen *et al.*, 2017a) en voor de fijnspar (Jansen *et al.*, 2017b) werd gevonden en ongeveer gelijk aan dat bij zomereik (Jansen *et al.*, 2017c). Met een volledig onderscheid naar variëteit is de R^2 echter zeer hoog (0.995). Voor fijnspar, douglas, zomereik en Japanse lariks bleken andere modellen de beste oplossing te leveren.

7.2 Grondvlakontwikkeling

In Hoofdstuk 4 is op verschillende wijze de grondvlakontwikkeling gemodelleerd. Er zijn 4 methoden onderzocht.

Voor situaties zonder dunning zijn er twee werkwijze mogelijk:

1. Door rechtstreeks het grondvlak te verklaren:

$$G_{tot} = f_1(sp_0, h_{25}) \cdot f_2(t, h) \tag{62}$$

Dat bleek nergens succesvol.

2. Door de diameter te verklaren, en daarmee indirect de het grondvlak:

$$d_{bt} = f_1(sp_0, h_{25}) \cdot f_2(t, h) \rightarrow G_{bt} = N_{bt} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\hat{d}_{bt}}{200} \right)^2 \quad (63)$$

Deze werkwijze werd succesvol toegepast voor de jeugdgroei in het traject een hoogte van 7 m, waarbij f_1 de diameter op een hoogte van 7 m voorstelt (d_7) en alleen afhankelijk is van sp_0 . Voor de functie f_2 bleek een Gompertz-functie in h tussen de punten 1.30 en 7 m de beste oplossing. Door eerst het linkerdeel van Formule (63) te schatten en daarna het rechterdeel te berekenen wordt door de niet-lineaire transformatie het Grondvlak niet zuiver geschat, van een correctiefactor voor de zuiverheid werd afgezien. Voor de een plantafstand van 3.8 m en wijder bedraagt d_7 10.7 cm voor een dichtere stand treedt er pas effect op, in de biomassatabel met een plantafstand van 2 m is deze 16 % dunner. De aangepaste variant voor de jeugdgroei luidt:

$$d_{bt} = f_1(sp_0) \cdot f_2(h) \rightarrow G_{bt} = N_{bt} \cdot \pi \cdot \left(\frac{\hat{d}_{bt}}{200} \right)^2$$

Ook voor lijnbeplantingen bleek model (63) bruikbaar. Terwijl er bij dichte stand in bossen met een 5 % beneden 14.5 meestal sterfte optreedt, blijkt een veel lager 5 % in de rijrichting bij lijnbeplantingen geen invloed op de groei te hebben, omdat er voldoende ruimte loodrecht op de rijrichting is om een kroon te vormen (De Vries, 1962, Jansen, 1990). Dunning blijkt daarom bij lijnbeplantingen niet zinvol, maar vond wel plaats. Met de ongedunde opstanden is rechtstreeks de grondvlakontwikkeling geschat met model (39)/(63). Dit model is een verbeterde versie van het model van Jansen (1990) en bevat in f_1 een uitdrukking om de diameter op 25 jaar te schatten uit het beginstamtal en de boniteit. Voor functie f_2 bleek een Chapman-Richards met de alleen de leeftijd geschikter dan een power-functie. Dat is niet logisch omdat hiermee een maximale diameter wordt geïntroduceerd. Bij het oplossen van functie (63) is de werkwijze van Schnute (1981) gevolgd met de referentieleeftijden t_{130} en t_{25} . Maar anders dan bij de jeugdgroei is nu wel gezorgd voor een zuivere schatter van het grondvlak door in Formule (63) de parameters rechtstreeks in het rechterdeel te schatten dus met

$$G_{bt} = N_{bt} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{bt}}{200} \right)^2 \text{ where } d_{bt} = f_1(sp_0, h_{25}) \cdot f_2(t)$$

Voor situaties met dunning zijn er eveneens 2 modellen onderzocht:

3. Door de grondvlakbijgroei te modelleren en daarmee stapsgewijs de ontwikkeling van het totale grondvlak:

$$i_G = f_1(S\%) \cdot f_2(h_{25}) \cdot \left\{ w \cdot \frac{F_3(h_2) - F_3(h_1)}{t_2 - t_1} + (1-w) \cdot \frac{F_3(t_2) - F_3(t_1)}{t_2 - t_1} \right\} \quad (64)$$

where w is a weight

Deze functie is succesvol toegepast in standaard situaties, dat zijn bossen met ruime stand ($sp_0 \geq 3$ m) boven de 7 m zowel met als zonder dunning. Een power-functie bleek voor F_3 het meest geschikt. In Figuur 33 is te zien dat de vorm van de curven van de totale grondvlakproductie van de nieuwe opbrengsttabel met bij Van Laar (1957), bij Hamilton &

Christie (1971) en bij Faber & Tiemens (1975) redelijk overeenkomen. De niveaus verschillen echter onderling ten gevolge van verschillen in plantafstand.

4. De grondvlakbijgroei kon ook indirect worden geschat met behulp van een schatter voor de diameterbijgroei met Formule (26), die in vereenvoudigde vorm luidt:

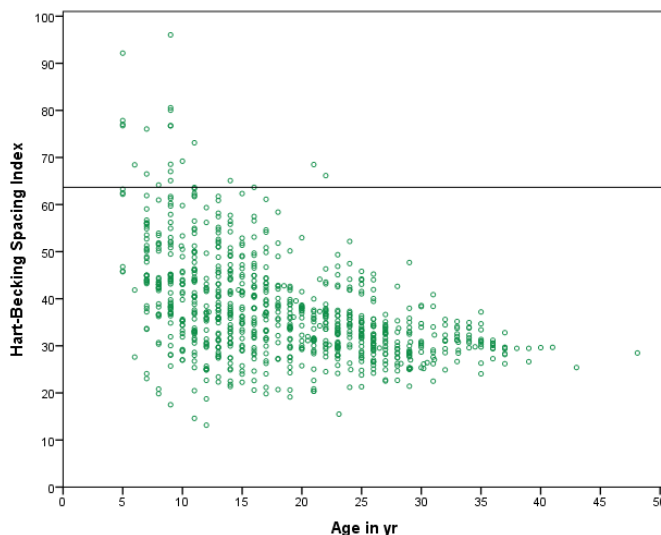
$$i_d = f_1(S\%) \cdot f_2(h_{25}) \cdot \left\{ w \cdot \frac{F_3(h_2) - F_3(h_1)}{t_2 - t_1} + (1-w) \cdot \frac{F_3(t_2) - F_3(t_1)}{t_2 - t_1} \right\} \quad (65)$$

De directe schatter van model (23)/(64) gaf in standaard situaties een beter resultaat dan de indirecte schatter (26)/(65), maar de indirecte schatter bevatte een interessante parameter in f_1 (een correctiefactor afhankelijk van het S %) een rol te spelen. Tot een maximum S % van ongeveer 64% bleek die correctiefactor groter te worden. Deze waarde is gebruikt om aanvullend op de groei in standaard situaties een “free growth” model te ontwikkelen voor boomweiden, in dit model wordt er gedund zodra het S % onder 64% daalt.

Voor het bepalen van de grondvlakbijgroei in dichte stand zijn Nelderplots en plots van studie 3 geselecteerd met een beginplantafstand beneden de 3 m. Het diameterbijgroei-model (65) gaf het beste resultaat, wel moest de f_1 functie worden herschreven tot een functie van S_0 % in plaats van S %, met $S_0\% = sp_0/h$.

Free growth

In Figuur 35 is te zien dat de diameter bij bomen in het “free growth” model extreme toeneemt ten opzichte van het vergelijkbare 10 x 10 plantverband. De vraag is of dit aanvullend te onderbouwen is.



Figuur 40. S % als functie van de leeftijd bij de plots gebruikt voor standaard situaties.

Figure 40. S % as function of age at plots used for standard situations.

Helaas blijkt uit Figuur 39 dat nagenoeg alle situaties met een S % boven de 64 % het relatief jong bos betreft. Overigens zijn op internet beschrijvingen van solitaire populieren met een

diameter van ongeveer 100 cm wel te vinden, maar dan blijkt uit de bijgaande foto's dat de ratio kroondiameter/hoogte ongeveer 1 bedraagt wat te herleiden is voor bomen met dezelfde dimensies in een opstand tot een 5 % van 100. Het gebruik van f_1 in Formule (26) voor oud bos is dus een vergaande modelextrapolatie, maar de gevonden dimensies in de simulatie "free growth" zijn niet onmogelijk.

7.3 Variatie in groei tussen verschillende jaren

Er is onvoldoende materiaal om een jaarindex te bepalen. Bij de douglas (Jansen *et al.*, 2016) bleek de gemiddelde jaarindex vanaf 1981 hoger dan in de jaren ervoor. Omdat de opname-data bij studie 2 verloren waren gegaan, bleek ook deze bevinding voor de populier niet te onderzoeken.

7.4 Plantafstand en dunning

De diameter blijkt per plantafstand met gemiddeld 8.8 % te stijgen ten opzichte van opstanden met een plantafstand van 4 m. Voor overige effecten van de plantafstand, zie Tabel 29.

Tabel 29. Relatieve waarden l_{CG} , l_{mG} , en d_{at} per plantafstand sp_0 en verdwijnend stamtal en grondvlak door dunning bij III^e boniteit en 40 jr.

Table 29. Relative values of l_{CG} , l_{mG} , and d_{at} per initial spacing sp_0 and the changing stem density and basal area and by thinning at III^e site class and age = 40 yr.

sp_0	l_{CG}	l_{mG}	d_{at}	N_{th}	G_{th}
4	100%	100%	100%	75%	63%
5	100%	92%	111%	50%	38%
6	100%	84%	114%	50%	50%
7	100%	77%	127%	0%	0%
8	100%	70%	138%	0%	0%
9	97%	62%	147%	0%	0%
10	92%	55%	153%	0%	0%
Free growth	51%	39%	195%	75%	46%

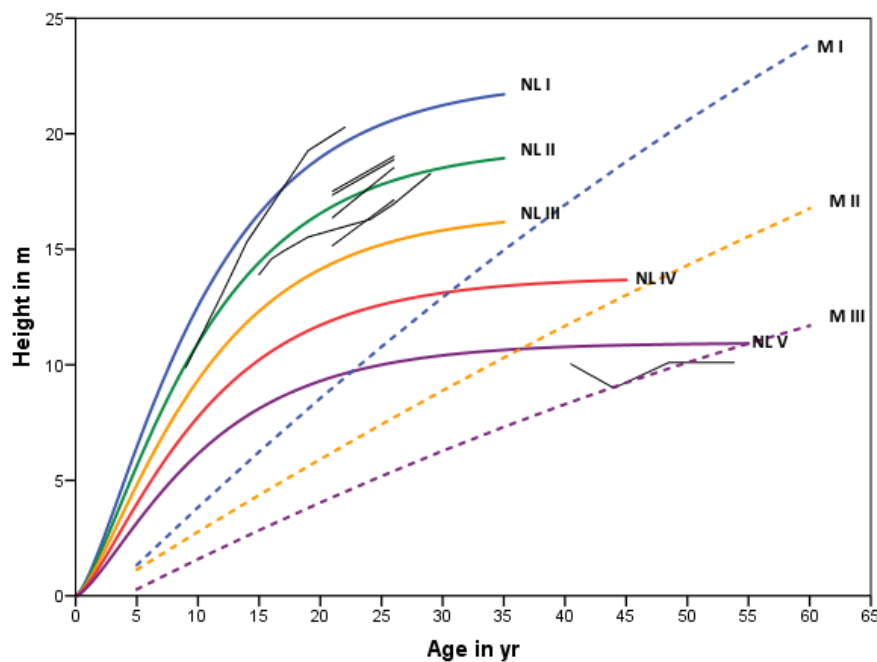
Bij een beginstamtal hoger of gelijk aan 7 m is voor de standaard situatie geen dunning noodzakelijk. Het optimale plantverband is 5 x 5 m met 400 poten per ha. De "free growth" betreft een modelsimulatie die de groei op een boomweide nabootst, waarbij de individuele bomen zoveel ruimte krijgen dat maximale diametergroei wordt bereikt. Uitgaande van plantverband van 10.2 x 10.2 meter blijven er bij de I^e boniteit van de 96 stammen er uiteindelijk 12 over die dan gemiddeld bij 40 jaar bijna 98 cm dik zijn. Controle op de uitkomsten is onmogelijk, omdat in de bestaande 13 boomweiden er nergens zo sterk werd gedund. Ook kan niet gecontroleerd worden of er voldoende groeiruimte is, in het aangehouden dunningschema is er sprake van een kroondiameter-hoogte-ratio van 64 %, maar bij solitaire populieren is dat vaak 100%, die overigens vaker een diameter boven de 1 m bereiken.

Naast de standaard situatie is er ook een tabellen-set ontwikkeld, met zeer dichte stand zonder dunning en wel met drie verschillende plantafstanden te weten 1, 1.5 en 2 m. Deze zijn gebaseerd op de Nelderproeven en andere plantafstandproeven van studie 3. De dichtste

stand die daar voorkwam is 1.2 m. Er is daarbij van uitgegaan van een oogst waarbij sprake is een maximale gemiddelde grondvlakbijgroei en dat alleen hout oogstbaar is wat niet langer dan één jaar dood is. Er treden dan voor Nederland ongekend hoge waarden op in de lopende volumebijgroei. Voor de I^e boniteit met een plantafstand van 1 m bedraagt die ruim $103 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$, in de Nelderproef zelf werd bij een plantafstand van 1.2 m $97 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$ gemeten. We hebben geen studie gevonden, waar vergelijkbare waarden zijn gevonden. Karacic *et al.* (2003) vinden in hun studie met verschillende variëteiten en plantafstanden in een korte omloop experimenten een maximale gemiddelde bijgroei $22 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$ voor één variëteit met een plantafstand van 1 x 2 m en voor de lopende bijgroei werd maximaal $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$ gemeten. In hun uitvoerige literatuurstudie vonden zij geen hogere waarden.

7.5 Trilpopulier

In Paragraaf 6.7 is in Figuur 38 de hoogtegroe van trilpopulier in de tabel van Misir *et al.* (2013) vergeleken met de nieuwe tabel voor Nederland. In Figuur 40 zijn die curven samen met de ontwikkeling van de hoogte van 8 proefperken met trilpopulier weergegeven.



Figuur 41. Hoogteontwikkeling voor trilpopulier bij Misir *et al.* (M I – M II) en het nieuwe model voor Nederland (NL I – NL V) met de plots (zwarte lijnen).

Figure 41. Height development for aspen at Misir *et al.* (M I – M II) and those for the new model for Netherlands (NL I – NL V) with de plots (black lines).

Te zien is dat bij ongeveer 55 jaar de hoogte van de III^e boniteit van Misir *et al.* overeenkomt met die van de V^e boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland, evenzo voor de I^e boniteit van beide tabellen.

Maar eigenlijk past het plot van ca 10 m hoog en 40 jaar en ouder niet alleen goed bij de V^e boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland maar ook bij de III^e boniteit van de Turkse ta-

bel. En indien er nog 2 betere boniteiten boven 1^e boniteit van de Turkse tabel geëxtrapoleerd worden dan is daar de hoogteontwikkeling van de overige plots goed mee te verklaren. De vorm van de curven in de nieuwe tabel leunt dus zwaar op de gezamenlijke afleiding met de overige populieren in Hoofdstuk 3 en volgt overduidelijk het patroon van een pionier soort. Maar volgens Von Wühlisch (2009) kan de soort 200 jaar en 40 m hoog worden en een diameter van meer dan een meter bereiken.

7.6 Kwaliteit van het model

Om de kwaliteit van het model te toetsen zijn de eerste $n-3$ opnamen van ieder proefperk modelmatig drie opnamen “doorgegroeid” waarbij dezelfde dunning van het stamtal als in werkelijkheid werd doorgevoerd (zie Tabel 27). De schattingen voor zowel de hoogte, diameter na dunning, het grondvlak na dunning als de grondvlakbijgroei van de laatste vervolgonname bleken onzuiver, en werden respectievelijk met 0.6 % en 0.1 % overschat, 0.1 % onderschat en 2.8 % overschat. Aangezien de afzonderlijke opnamen een ander gewicht in deze analyse hebben dan in de oplossing van de afzonderlijke regressiemodellen in de Hoofdstukken 3 en 4 kunnen hieraan geen consequentie worden verbonden.

Samenvatting

Dit is een rapport over de groei en productie van de populier (*Populus spec.*) in Nederland. Er is onderzocht hoe de ontwikkeling van de hoogte, diameter en het grondvlak in de tijd is geweest en hoe deze beïnvloed wordt door de dunning en plantafstand. Met de gevonden relaties en andere allometrische relaties is een set opbrengsttabellen opgesteld voor diverse plantafstanden in bos, voor lijnbepantingen en voor trilpopulier met een vaste dunninggraad.

De gebruikte dataset betreft de gegevens die sinds 1947 in Nederland in groei- en productieonderzoek bij de populier zijn verzameld door diverse bosbouwonderzoeksgroepen die nu alle tot de WUR behoren. Het dunningonderzoek van Becking omvat 58 proefperken in bos en 32 in lijnbepantingen, gemeten tussen 1947 en 2000. Daarnaast het groei- en productieonderzoek van de Dorschkamp/IBN, vermoedelijk gemeten tussen 1950 en 1995; dit omvat 76 proefperken met dunningonderzoek en 27 proefperken met plantafstandproeven. Daarnaast zijn 32 plots uit de 4^e bosstatistiek, en later de HOSP, toegevoegd. In totaal betreft het 235 proefperken/plots met in totaal 1808 opnamen.

Per opname zijn leeftijd, hoogte en meestal ook de opnamedatum bekend en per toestand voor, na en van de dunning of sterfte stamtal, grondvlak, diameter, hoogte en volume. Van een groot aantal proefperken zijn ook de basisgegevens per boom bekend, inclusief de stamvoetcoördinaten. In deze studie is hiervan geen gebruik gemaakt.

De hoogteontwikkeling is onderzocht met zes groei modellen en bleek het best te verklaren met het homomorfe model van Chapman-Richards (Pienaar & Turnbull, 1973),

$$h_m = h_0 + f_1(sp_0) \cdot S \cdot \left(1 - \exp(-c_1 \cdot (t - t_0))\right)^{f_2(c_2, sp_0)}$$
 voor $h_m > h_0$. Hierin is S een proefperkspecifieke parameter en maat voor een absolute hoogteboniteit, c_1 en c_2 parameters die de vorm van de curve bepalen en verschillen per groep, h_0 en t_0 hoogte en leeftijd van de poot bij planten, sp_0 is de beginplantafstand. Met NLR en R^2 adj = 0.987 werd een oplossing gevonden voor 3 groepen (trilpopulier, populier in bos en populier in lijnbepanting). Voor $sp_0 < 3.3$ m werden de functies f_1 en f_2 actief. Voor $sp_0 \geq 3.3$ m geldt $f_1 = 1$ en $f_2 = c_2$. Met 5 groepen variëteiten bleek R^2 adj zelfs 0.995.

Naast het R^2 adj werden 5 andere criteria in de keuze meegewogen te weten Covariantie van de S -parameter, en het gemiddelde en intervallen voor de schattingen van S , h_{if} (buigpunt) en h_{25} (hoogte op 25 jaar) en de nauwkeurigheid van de schattingen van de overige parameters per model.

De diameterontwikkeling (voor dunning: d_{bt}) tot een hoogte van 7 m bleek een Gompertz model $d_{bt} = d_7 \cdot \left\{ \exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (h-1.30)}) / \exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10} \cdot (7-1.30)}) \right\}$ met $d_7 = c_6 + c_7 \cdot sp_0$ voor $sp_0 < c_8$.

De diameter bij een hoogte van 7 m (d_7) voor en bleek een functie van het beginstamtal. Met een stamtal N_0 van 2500 bleek d_7 9.1 cm, bij stamtallen lager dan 686 is die 10.7 cm. De R^2 adj bleek 0.961. Het model is alleen gebruikt om de diameter- en grondvlakontwikkeling tot een hoogte van 7 m te voorspellen. Voor het traject boven een hoogte van 7 m is de grondvlakbijgroei gemodelleerd met het model van Jansen *et al.* (2016): $i_G = f(h, t, h_{25}, S\%)$ waarbij gebruik gemaakt is van een powermodel. Voor $S \%^1 > 29.2$ daalt de grondvlakbijgroei

¹ Hart-Becking Spacing Index of $S\%$ van Hart.

niet-lineair in S % met 1.0 tot 2.3 % per eenheid. De R^2 adj is 0.748. In het oorspronkelijke model van Jansen *et al.* speelt ook het jaar van opname een rol omdat deze voor veel opnamen onbekend was kon dit niet worden onderzocht. Het model is in strijd met de wet van Eichhorn. Voor 2 situaties bleek het model niet te voldoen: voor lijnbepantingen en voor dichte stand ($sp_0 \leq 3$ m). Voor dichte stand bleek $i_d = f(h, t, h_{25}, S\%)$ een beter model, na een zuiverheidscorrectie voor i_G bedroeg R^2 adj 0.797. De grondvlakontwikkeling bij lijnbepantingen bleken het best te voorspellen door de diameterontwikkeling te modelleren met $d_{bt} = D_{25} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-a \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-a \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^b$ hierin is D_{25} (de diameter voor dunning op 25 jarige leeftijd) een functie van sp_0 en h_{25} . De R^2 adj is 0.944. Voor trilpopulier voldeed het model wel, maar aangezien er daar sprake is van laagdunning moest het effect van de dunning op de diameter na dunning (d_{at}) gemodelleerd worden met het La Bastide-Faber model (1972). Voor de standaard situatie wordt al dan niet systematisch gedund met ingreep van 50% zodra het S % onder 20.5% daalt. In de situatie zonder dunning vindt eindkap plaatst zodra het S % onder 17.5% daalt. Bij een dichte stand is sterfte met een R^2 adj van 0.690 als volgt gemodelleerd $Mort\% = f(sp_0, h_{25}, S\%)$. De uitkomst voldoet niet aan het model van Reineke (1933).

Met deze modellen is een opstand projectie model gemaakt om de werking van de integratie van de modellen voor hoogtegroeï, grondvlakgroeï en het effect van de dunning te toetsen. Het resultaat van deze test bleek redelijk. Met de geïntegreerde modellen zijn opbrengsttabellen gemaakt voor standaard situaties voor leeftijden tot 40 à 50 jaar met 5 boniteiten en 5 plantafstanden. Deze zijn vergeleken met tabellen in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk en met die van Faber & Tiemens en die van Van Laar voor Nederland. Daarnaast zijn er korte omloop tabellen gemaakt met dichte stand en met sterfte waarbij er eindkap plaatsvindt, zodra er een maximale productie is bereikt, met 3 boniteiten en 3 plantafstanden. Daarnaast is een simulatie gemaakt van de opbrengsttabel bij een boomweide bosbehandeling volgens een Free Growth Model. De tabel met 5 boniteiten en een sterke laagdunning voor de trilpopulier is vergeleken met een Turks en een Zweeds model, van enige overeenkomst lijkt geen sprake,

Op hoofdlijnen bleek het model van Jansen *et al.* (2016) voor de douglas ook bruikbaar voor populier, voor de hoogtegroeï bleek het model van Chapman-Richards beter.

Summary

This report presents the results of a study on growth and yield of poplar (*Populus spec.*) in the Netherlands. The development over time of height, diameter and basal area is examined, combined with the effects of thinning and initial spacing. The relationships found, and additional allometric relationships were used to construct a set of yield tables for plantations with different spacing, for line plantations, and for aspen stands with a fixed thinning grade.

The dataset used in this study includes results of research carried out since 1947 by various forestry research groups, now all part of Wageningen University and Research Centre. The largest data collection concerns the growth and yield research at the former Dorschkamp/IBN institute with 76 experimental thinning plots and 27 experimental spacing trials, measured between 1950 and 1995. In addition a thinning trial initiated by Becking, including 58 experimental plots in forest and 32 plots in line plantations, measured between 1947 and 2000, is included. Moreover, 32 plots from the 4th Dutch National Forest Inventory, and later on the timber prognosis system HOSP, were used as control plots. In total, data from 235 plots with 1808 recordings are available.

For each plot record, age, average height and often also the recording date are known, as well as stem density, basal area, diameter, height and volume before, and after thinning, and of the thinning itself. For the plots without thinning, data are available before mortality, after mortality and of the mortality itself. In many plots also the individual tree characteristics within the plots are known, including the stem coordinates, but these were not used in this study.

The height development was studied using six well-known growth models and the best fit was found with the model of Chapman-Richards:

$$h_m = h_0 + f_1(sp_0) \cdot S \cdot \left(1 - \exp(-c_1 \cdot (t - t_0))\right)^{f_2(c_2, sp_0)} \text{ for } h_m > h_0.$$

Here, S is a plot specific parameter and a measure for site index; c_1 and c_2 are group specific parameters determining the shape of the curve for three groups (poplar, aspen and line plantations); h_0 and t_0 represent height and age of the cuttings at planting time, sp_0 is the initial spacing. The model gives a polymorphic system of height development curves. The solution with nonlinear regression and $R^2\text{adj} = 0.987$ yields separate values for the three groups (aspen, poplar in forest and poplar in line plantations). For $sp_0 < 3.3$ m the functions f_1 and f_2 become active: for $sp_0 \geq 3.3$ m, $f_1 = 1$ and $f_2 = c_2$. With five groups of varieties an $R^2\text{adj}$ of 0.995 was obtained.

In addition to $R^2\text{adj}$, other criteria were used in model selection: covariance of the S parameter, the inflection point h_{if} , h_{25} and the accuracy of the other estimated parameters for all the examined models.

To describe the diameter development (before thinning: d_{bt}) up to a tree height of 7 m the model of Jansen *et al.* (2016) was used. This model contains a Gompertz function:

$d_{bt} = d_7 \cdot \left\{ \exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10}(h-1.30)}) / \exp(-c_9 \cdot e^{-c_{10}(7-1.30)}) \right\}$ where $d_7 = c_6 + c_7 \cdot sp_0$ for $sp_0 < c_8$. With an initial stem density of $N_0 = 2500$, the diameter at height = 7 m (d_7) is 9.1 cm, and with $N_0 < 686$, $d_7 = 10.7$ cm. $R^2\text{adj}$ for the model was 0.961. The model was only used for the basal area growth trajectory towards a tree height of 7 m, since no thinning took place. Above a

height of 7 m, basal area increment was modelled using the model by Jansen *et al.* (2016) $i_G = f(h, t, h_{25}, S\%)$ using a power function. For $S \%^1 > 29.2$, the basal area increment decreased non-linear in $S \%$ with 1.0 to 2.3 % per unit. R^2 adj of the model was 0.748. In the original model by Jansen *et al.* (2016) the year of recording was also a model factor, but this variable could not be examined because it was not known for a number of plots. The model conflicts with Eichorn's law. For two specific situations (line plantations and dense spacing with $sp_0 \leq 3$ m) other models has a better fit. For $sp_0 \leq 3$ m, $i_d = f(h, t, h_{25}, S\%)$ gave a better description; after a bias correction for i_G , an R^2 adj of 0.797 was found.

For line plantations, basal area development was best predicted by using a model for the diameter development $d_{bt} = D_{25} \cdot \left\{ \frac{1 - \exp(-a \cdot (t - t_{1.30}))}{1 - \exp(-a \cdot (25 - t_{1.30}))} \right\}^b$ in which D_{25} is a function of sp_0 and h_{25} , with R^2 adj of 0.944. For aspen, the model fits but because thinning from below was used here also the effect from thinning on the diameter after thinning was modelled using the model from La Bastide & Faber (1972). In standard situations with thinning, a systematic thinning of 50% was modelled as soon as the $S \%$ falls below 20.5%. In a standard situation without thinning, final harvest was modelled as soon as the $S \%$ falls below 17.5%. For dense spacing, mortality was modelled with $Mort\% = f(sp_0, h_{25}, S\%)$. The resulting model had an R^2 adj of 0.690, but the result is in conflict with Reineke's law (1933).

A stand projection model was made using the models described, to test the integration of the sub models for height development, basal area growth and thinning. The results are in reasonable agreement with measured data. The integrated model was used to develop yield tables for standard situations to an age of 40 to 50 year for two geographical regions, for five site classes and five spacing classes. These tables were compared to yield tables from Germany and the United Kingdom, and with those of Faber & Tiemens (1975) and Van Laar (1957) for the Netherlands. Besides these tables, additional tables were developed for short rotation stands with dense spacing, and a final cut at the time of maximal mean annual volume increment, for three site classes and three different spacings. In addition, a simulation for a Free Growth Model was made. The aspen yield table with five site classes and heavy thinning from below was compared to a Turkish and a Swedish model, showing large differences.

In general, the model from Jansen *et al.* (2016) for Douglas fir appears suitable for poplar, but for the height development the model of Chapman-Richards gives a better fit.

¹ Hart-Becking Spacing Index or $S \%$ from Hart.

Literatuur

- Bartelink, H.H., A.F.M. Olsthoorn, A. Oosterbaan & S.M.J. Wijdeven, 2001. Overzicht van een eeuw onderzoek naar groei en opstandsontwikkeling in relatie tot groeiplaats en beheer. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, Alterra-rapport 256.
- Bartelink, H.H., J.J. Jansen, L.G. Goudzwaard, H. Lu, J.F. Oldenburger, A. Oosterbaan, G.M. Mohren and J. den Ouden. 2016. FEM growth and yield data Mixed species forest. Dans DOI: <http://dx.doi.org/10.17026/dans-z5m-kp67>.
- Becking, J.H. & P.G. de Vries, 1959. Richtlijnen voor de bedrijfsregeling van bosbezit in Nederland . Commissie bosbedrijfsregeling van Nederland. 56 p.
- Burkhardt, H.E. & R.B. Tennent, 1977. Site index equations for radiata pine in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 7: 408-416.
- C.B.S. (Centraal Bureau voor de Statistiek), 1985. De Nederlandse Bosstatistiek, deel 1: de oppervlakte bos, 1980-1983. Staatsuitgeverij, s'Gravenhage.
- C.B.S. (Centraal Bureau voor de Statistiek), 1989. De Nederlandse bosstatistiek, deel 2: landschappelijke beplantingen 1983 – 1984. Staatsuitgeverij, s'Gravenhage.
- Crocoll, A., 1954. Der Massenertrag von Pappelbeständen in die nordbadischen Rheinebene, 8. Beiheft zum Forstwiss. Centralblad.
- Cieszewski C.J., 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland Douglas-fir site curves. Can. J. For. Res. 31: 165–173.
- Den Ouden, J., G.M.J. Mohren and J.J. Jansen, 2016. FEM growth and yield data - Poplar roadside plantations (revised version). DANS DOI: <https://doi.org/10.17026/dans-xky-zh99>.
- De Vries, P. G., 1962. Een onderzoek naar de invloed van de boomafstand op de massaproductie en op de vorm van de stamdoorsnede bij eenrijige populierenbeplantingen. Nederlands Bosbouw tijdschrift 34, 238-248.
- Dirkse, G.M., W.P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Japink, M. van Jole, R. van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer, M. Vocks, 2007. Meetnet Functievervulling bos 2001-2005, Vijfde Nederlandse Bosstatistiek. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Rapport DK nr. 2007/065, Ede. 95 pp. (en de daarbij behorende database "NBI-2012-MFV-2006.mdb")
- Faber, P.J. & F. Tiemens, 1975. De opbrengstniveaus van populier Uitvoerig verslag Rijksinstituut voor onderzoek in de bos en landschapsbouw "De Dorschkamp" Band 13(1), Wageningen.
- Faber, P.J., 1985. Groei en plantafstand van 'Rap' populier in een Nelderproef. Nederlands Boschbouw tijdschrift 24: 157-166.
- Gehrhardt, E., 1909. Über Bestandeswachstumsgesetze und ihre Anwendung zur Aufstellung von Ertragstafeln. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 85: 117-128.
- Gompertz, B. 1832. "On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies." Phil. Trans. Roy. Soc. London 123, 513-585
- Hamilton, G.J. and J.M. Christie, 1971. Forest management tables (metric). Forestry Commission Booklet no. 34. HMSO, London.
- Hart, H.M.J., 1928. Stamtal en dunning : een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en dunningswijze voor den djati. Proefschrift Wageningen. Mededeelingen Proefstation voor het Boschwezen (21) 219 p. + 7 bijl. Veenman, Wageningen.

- Heisterkamp, S.H., 1981. Opstandsinhoudsfuncties. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp" 271, Wageningen.
- Houtzagers, M.R. en Schmidt, P. De reactie van populierenklonen op concurrentie in relatie tot groeiruimte. 1994. Department of Forestry, Agricultural University Wageningen, Hinkeloord Reports 12, ISSN 0928-1797
- Jansen, J.J., 1990. Diameterbijgroei en boomafstand bij lijnvormige beplantingen van populier. In: P. Schmidt (red.), De Populier - Verslag Studiekring 1990 Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, Nederlands Bosbouw tijdschrift 62: 231-235.
- Jansen, J.J., H. Schoonderwoerd, G.M.J. Mohren and J. den Ouden, 2016. Groei en productie van douglas in Nederland. Becking's dunningproeven ontsloten. Wageningen Academic Publishers. DOI: <http://dx.doi.org/10.3920/978-90-8686-827-8>
- Jansen, J.J., J. Sevenster & P.G. Faber (ed.), 1996. Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. IBN rapport 96/Hinkeloord reports No.17, Wageningen Universiy, Wageningen.
- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2018a. [Groei en productie van Japanse lariks in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 1](#), Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., G.M.J. Mohren, A. Oosterbaan & J. den Ouden, 2018b. [Groei en productie van fijnspar in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 2](#), Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., G.M.J. Mohren, A. Oosterbaan, L. Goudzwaard en J. den Ouden, 2018c. [Groei en productie van grove den in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 3](#), Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2018d. [Groei en productie van zomereik in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 4](#), Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., G.M.J. Mohren, A. Oosterbaan, L. Goudzwaard en J. den Ouden, 2018e. [Groei en productie van beuk in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 5](#), Wageningen Universiy.
- Johansson, T., 1996. Site index curves for European aspen (*Populus tremula* L.) growing on forest land of different soils in Sweden. *Silva Fennica*, 30(4), 437-458
- Johansson, T., 2011. Site index curves for poplar growing on former farmland in Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26:2, 161-170.
- Karacic, A., T. Verwijst, and M. Weih, 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation populus plantations on agricultural land in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 18: 427/437, 2003.
- Korf, V. (1939): Příspěvek k matematické formulaci vzrůstového zákona lesních porostů. [Contribution to mathematical definition of the law of stand volume growth.] *Lesnická práce*, 18: 339–379.
- La Bastide, J.G.A. & P.J. Faber, 1972. Revised yield tables of six tree species in the Netherlands. Uitvoerig verslag Stichting bosbouwproefstation "De Dorschkamp" Band 11(1), Wageningen.
- Misir, M., N. Misir, Ş. Bayburtlu and F. Bilgili, 2013. The yield of natural trembling aspen (*Populus tremula* L.) stands (Northern and Eastern Anatolia). *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 50(4), 537-547.

- Mohren, G.M.J., L.G. Goudzwaard, J.J. Jansen, A. Oosterbaan, J.F. Oldenburger, & J. den Ouden (revised version), 2017. FEM growth and yield data Monocultures – Poplar. Dans DOI: <https://doi.org/10.17026/dans-zu3-256e>
- Nelder, J.A. 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiment. *Biometrics* 18, 283-307
- Pienaar, L.V., & K.J. Turnbull, 1973. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Science* 19: 2-22.
- Rätzel, K., 1969. Die Ertragsleistung der Robusta-Pappel im geschlossenen Bestand, *Allgem. Forst- u. Jagdzeitg.* S. 239-250
- Reineke, L.H., 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Jour. Agric. Res.* 46, 627-638.
- Schober, R., 1987. Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Dritte Neubearb. Aufl. Sauerländer, Frankfurt a. M.
- Schoonderwoerd, H., J.J. Jansen, G.M.J. Mohren, A. Oosterbaan, J.F. Oldenburger, L. Goudzwaard and J. den Ouden, 2016. FEM growth and yield data Monocultures - Douglas fir. Dans DOI: <http://dx.doi.org/10.17026/dans-x9t-rxd7>.
- Schnute, J., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1128-1140.
- Schumacher, F.X. and F.S. Hall, 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, v.47, n.9, p.719-734
- Van Laar, A., 1957. Opbrengsttabel Populier. In: J.H. Becking, & P.G. de Vries, 1959. Richtlijnen voor de bedrijfsregeling van bosbezit in Nederland . Commissie bosbedrijfsregeling van Nederland. 56 p.
- Von Wühlisch, G. 2009. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of Eurasian aspen (*Populus tremula*) Bioversity International, Rome, Italy. 6 pages.

Bijlage 1. Opbrengsttabellen voor populier

Toelichting opbrengsttabellen

In de kop van de opbrengsttabellen zijn een aantal standaard symbolen (IUFRO, 1959) en daarvan afgeleide varianten gebruikt, in onderstaande tabel wordt de SI-eenheid vermeld en de betekenis van het symbool weergegeven. Voor definities van deze begrippen en een nadere toelichting erop zie in voorafgaande tekst.

symbool	eenheid	betekenis
Boniteit		relatieve indeling in groeiklassen
h_{25}	m	site index (gemiddelde hoogte op 25 jr)
P_{25}	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	productieklasse op 25 jr ¹⁾
$MMAI$	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	maximale gemiddelde jaarlijkse bijgroei
t	j	leeftijd vanaf stek
h_m	m	gemiddelde hoogte
h_{top}	m	opperhoogte ²⁾
d_{dom}	cm	gemiddelde diameter van dominante hoogte boom
N	ha^{-1}	stamtal per ha
$S\%$		$S\%$ (Hart-Becking spacing index)
G	m^2ha^{-1}	grondvlak per ha
d_g	cm	diameter (1,30 m) van de grondvlakmiddenboom ³⁾
d_{or}	cm	diameter loodrecht op rij ⁴⁾
d_{ir}	cm	diameter in de rij ⁴⁾
h_g	m	hoogte middenboom ²⁾
V	m^3ha^{-1}	volume per ha ⁴⁾
l_{cG}	m^3ha^{-1}	lopende grondvlakbijgroei per ha op leeftijd t jaar
l_{cV}	$m^2ha^{-1}j^{-1}$	lopende volumebijgroei oer ha op leeftijd t jaar
l_{mG}	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	gemiddelde grondvlakbijgroei per ha tot op leeftijd t jaar
l_{mV}	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	gemiddelde volumebijgroei per ha tot op leeftijd t jaar

¹⁾ gemiddelde productie, inclusief dunning maar exclusief sterfte (volumebijgroei) per ha tot op leeftijd 25 jaar

²⁾ alleen bij trilpopulier

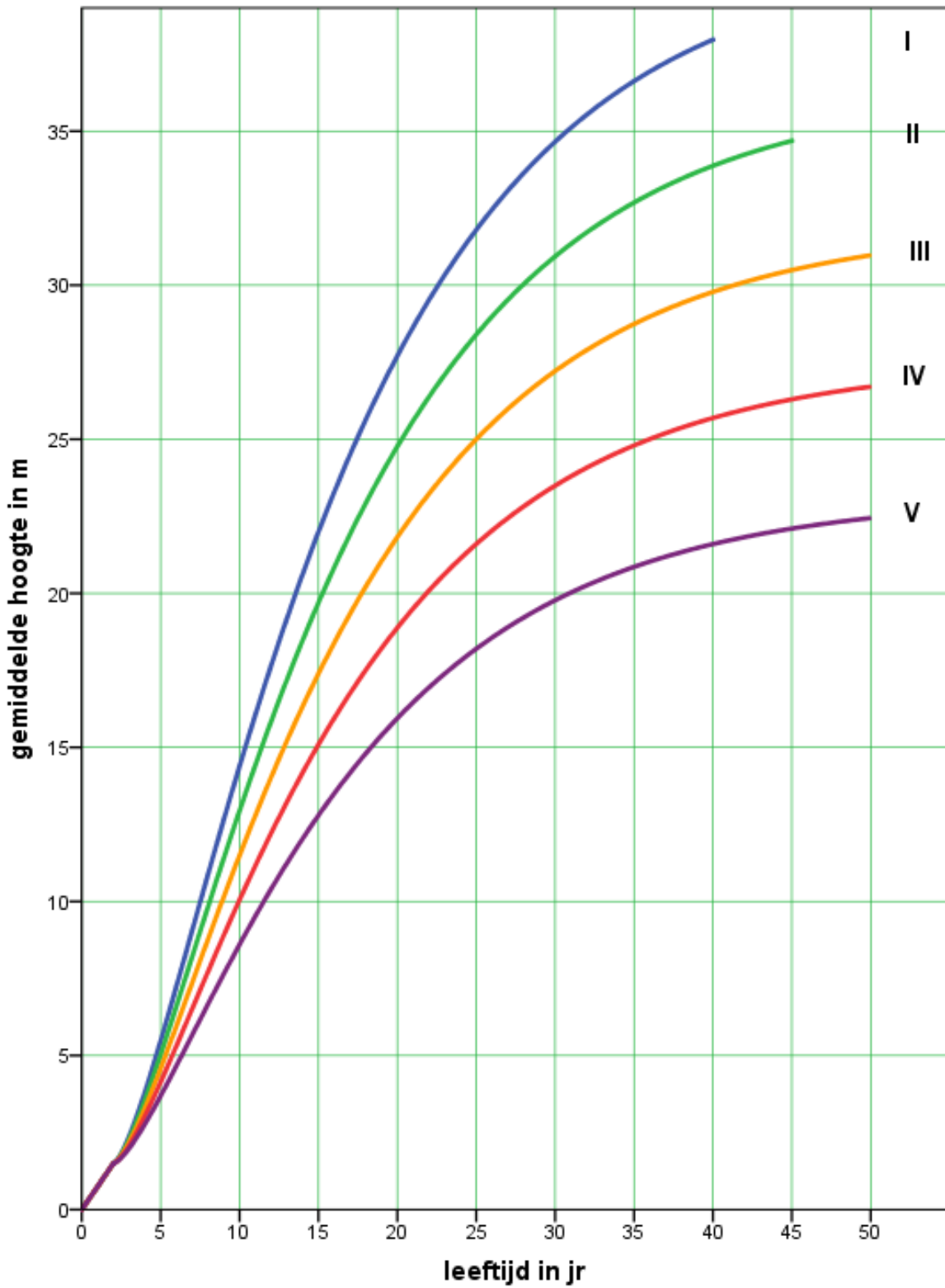
³⁾ boom met gemiddeld boomgrondvlak en boomvolume

⁴⁾ bij lijnbeplantingen

⁵⁾ het volume is gedefinieerd als het spilhoutvolume met schors.

NB bij lijnbeplanting geldt voor stamtal, grondvlak, volume en bijgroei per km i.p.v. per ha

Populier Nederland 2018



Populier, plantverband 4 x 4 m		met en zonder systematische dunning										Boniteit I, h25 = 31.8, P25 = 19.1			
Poplar, spacing 4 x 4 m		with and without systematically thinning										Site Class I, h25 = 31.8, P25 = 19.1			
		Kenmerken blijvende opstand					met dunning					Bijgroei			
Characteristics remaining stand		with thinning					without thinning			Increment					
t	h_m	5%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	Ic_G	Ic_G	Ic_V	Ic_V	t
5	5.5		625	3.2	8.1	8					2.18	0.65	10.6	1.6	5
10	14.4	27.8	625	18.7	19.5	120					2.93	1.87	28.9	12.0	10
15	22.0	25.7	313	15.6	25.2	136	313	15.6	25.2	139	2.03	2.07	27.3	18.3	15
20	27.7	28.9	156	12.0	31.3	125	156	12.0	31.3	127	1.45	1.98	20.2	19.5	20
25	31.8	25.2	156	18.3	38.6	211					1.10	1.84	16.1	19.1	25
30	34.7	23.1	156	23.2	43.5	286					0.87	1.69	13.7	18.4	30
35	36.6	21.8	156	27.1	47.0	349					0.72	1.56	11.6	17.6	35
40	38.0	21.1	156	30.4	49.8	402					0.61	1.45	9.9	16.7	40
5	5.5		625	3.2	8.1	8					2.18	0.65	10.6	1.6	5
10	14.4	27.8	625	18.7	19.5	120					2.93	1.87	28.9	12.0	10
15	22.0	18.2	625	31.1	25.2	275					2.03	2.07	30.2	18.3	15
16	23.3	17.2	625	33.0	25.9	305					1.89	2.07	29.5	19.1	16

Populier, plantverband 4 x 4 m				met en zonder systematische dunning				Boniteit II, h25 = 28.4, P25 = 16.1							
Poplar, spacing 4 x 4 m				with and without systematically thinning				Site Class II, h25 = 28.4, P25 = 16.1							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v	t
5	5.0		625	2.5	7.2	6					1.83	0.51	8.3	1.2	5
10	12.9	30.9	625	15.9	18.0	94					2.58	1.59	23.2	9.4	10
15	19.7	28.7	313	13.6	23.5	109	313	13.6	23.5	111	1.87	1.81	22.6	14.7	15
20	24.8	22.8	313	21.4	29.5	206					1.34	1.75	18.2	15.9	20
25	28.4	28.2	156	13.6	33.3	144	156	13.6	33.3	146	1.02	1.63	14.4	16.1	25
30	30.9	25.9	156	18.1	38.4	205					0.81	1.51	11.3	15.4	30
35	32.7	24.5	156	21.7	42.1	257					0.67	1.40	9.6	14.7	35
40	33.9	23.6	156	24.8	45.0	301					0.57	1.30	8.2	14.0	40
45	34.7	23.1	156	27.4	47.3	339					0.49	1.21	7.2	13.3	45
5	5.0		625	2.5	7.2	6					1.83	0.51	8.3	1.2	5
10	12.9	30.9	625	15.9	18.0	94					2.58	1.59	23.2	9.4	10
15	19.7	20.3	625	27.1	23.5	221					1.87	1.81	24.9	14.7	15
18	22.9	17.4	625	32.1	25.6	293					1.52	1.79	23.1	16.3	18
											zonder dunning				
											without thinning				

Populier, plantverband 4 x 4 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit III, h25 = 25.0, P25 = 13.3									
Poplar, spacing 4 x 4 m										with and without systematically thinning										Site Class III, h25 = 25.0, P25 = 13.3									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t										
5	4.6		625	1.9	6.2	4									1.51	0.38	6.3	0.8	5										
10	11.5	34.8	625	13.2	16.4	71									2.19	1.32	17.8	7.1	10										
15	17.4	23.0	625	23.1	21.7	171									1.69	1.54	20.0	11.4	15										
20	21.8	25.9	313	15.1	24.8	132	313	15.1	24.8	134					1.22	1.51	15.9	13.3	20										
25	25.0	22.6	313	20.4	28.8	198									0.93	1.42	12.2	13.3	25										
30	27.2	20.8	313	24.6	31.6	253	156	14.0	33.7	149	156	14.0	33.7	151	0.74	1.32	10.3	12.9	30										
35	28.7	27.8	156	14.0	33.7	149									0.61	1.23	8.2	12.4	35										
40	29.8	26.9	156	16.8	37.0	184	156	16.8	37.0	184					0.52	1.15	6.6	11.7	40										
45	30.5	26.2	156	19.2	39.6	215	156	19.2	39.6	215					0.46	1.07	5.8	11.1	45										
50	31.0	25.8	156	21.4	41.7	243	156	21.4	41.7	243					0.41	1.01	5.2	10.6	50										
5	4.6		625	1.9	6.2	4									1.51	0.38	6.3	0.8	5										
10	11.5	34.8	625	13.2	16.4	71									2.19	1.32	17.8	7.1	10										
15	17.4	23.0	625	23.1	21.7	171									1.69	1.54	20.0	11.4	15										
20	21.8	18.3	625	30.3	24.8	266									1.22	1.51	17.5	13.3	20										
22	23.2	17.2	625	32.6	25.8	300									1.09	1.48	16.3	13.6	22										
															zonder dunning														
															without thinning														

Populier, plantverband 4 x 4 m					met en zonder systematische dunning					Boniteit IV, h25 = 21.6, P25 = 10.6						
Poplar, spacing 4 x 4 m					with and without systematically thinning					Site Class IV, h25 = 21.6, P25 = 10.6						
Kenmerken blijvende opstand					met dunning					Bijgroei						
Characteristics remaining stand					with thinning					Increment						
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v	t	
5	4.1		625	1.4	5.3	3					1.19	0.27	4.1	0.5	5	
10	10.1	39.8	625	10.6	14.7	52					1.81	1.06	13.3	5.2	10	
15	15.1	26.5	625	19.1	19.7	127					1.50	1.27	15.4	8.5	15	
20	18.9	21.2	625	25.5	22.8	201					1.10	1.27	13.7	10.0	20	
25	21.6	26.2	313	15.1	24.8	131	313	15.1	24.8	133	0.84	1.21	10.5	10.6	25	
30	23.5	24.1	313	18.9	27.7	174					0.67	1.13	8.0	10.2	30	
35	24.8	22.8	313	21.9	29.9	211					0.56	1.06	6.8	9.8	35	
40	25.7	22.0	313	24.5	31.6	242					0.48	0.99	5.8	9.4	40	
45	26.3	21.5	313	26.7	33.0	269					0.42	0.93	5.0	8.9	45	
50	26.7	21.2	313	28.7	34.2	293					0.38	0.88	4.4	8.5	50	
5	4.1		625	1.4	5.3	3	zonder dunning					1.19	0.27	4.1	0.5	5
10	10.1	39.8	625	10.6	14.7	52	without thinning					1.81	1.06	13.3	5.2	10
15	15.1	26.5	625	19.1	19.7	127						1.50	1.27	15.4	8.5	15
20	18.9	21.2	625	25.5	22.8	201						1.10	1.27	13.7	10.0	20
25	21.6	18.5	625	30.2	24.8	264						0.84	1.21	11.5	10.6	25
29	23.2	17.3	625	33.3	26.0	306						0.70	1.15	9.8	10.6	29

Populier, plantverband 4 x 4 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit V, h25 = 18.2, P25 = 7.6									
Poplar, spacing 4 x 4 m										with and without systematically thinning										Site Class V, h25 = 18.2, P25 = 7.6									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _e	lm _e	lc _v	lm _v	t										
5	3.7		625	0.9	4.4	2									0.87	0.19	2.4	0.3	5										
10	8.6	46.5	625	8.2	12.9	36									1.46	0.82	9.8	3.6	10										
15	12.8	31.3	625	15.0	17.5	88									1.25	1.00	11.0	5.9	15										
20	15.9	25.1	625	20.6	20.5	143									0.97	1.03	10.3	7.1	20										
25	18.2	22.0	625	24.8	22.5	190									0.75	0.99	8.7	7.6	25										
30	19.8	28.6	313	14.1	23.9	114	313	14.1	23.9	116					0.60	0.94	6.7	7.7	30										
35	20.9	27.1	313	16.8	26.2	142									0.50	0.88	5.2	7.4	35										
40	21.6	26.2	313	19.1	27.9	166									0.43	0.83	4.5	7.0	40										
45	22.1	25.6	313	21.1	29.4	187									0.38	0.78	3.9	6.7	45										
50	22.4	25.2	313	23.0	30.6	205									0.34	0.74	3.5	6.4	50										
5	3.7		625	0.9	4.4	2									0.87	0.19	2.4	0.3	5										
10	8.6	46.5	625	8.2	12.9	36									1.46	0.82	9.8	3.6	10										
15	12.8	31.3	625	15.0	17.5	88									1.25	1.00	11.0	5.9	15										
20	15.9	25.1	625	20.6	20.5	143									0.97	1.03	10.3	7.1	20										
25	18.2	22.0	625	24.8	22.5	190									0.75	0.99	8.7	7.6	25										
30	19.8	20.2	625	28.1	23.9	230									0.60	0.94	7.2	7.7	30										
35	20.9	19.2	625	30.9	25.1	263									0.50	0.88	6.0	7.5	35										
40	21.6	18.5	625	33.2	26.0	290									0.43	0.83	5.0	7.2	40										
45	22.1	18.1	625	35.2	26.8	313									0.38	0.78	4.3	7.0	45										
50	22.4	17.8	625	37.0	27.5	333									0.34	0.74	3.7	6.7	50										
										zonder dunning																			
										without thinning																			

Populier, plantverband 5 x 5 m					met en zonder systematische dunning					Boniteit I, h25 = 31.8, P25 = 18.7					
Poplar, spacing 5 x 5 m					with and without systematically thinning					Site Class I, h25 = 31.8, P25 = 18.7					
Kenmerken blijvende opstand					met dunning					Bijgroei					
Characteristics remaining stand					with thinning					Increment					
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t
5	5.5		400	2.4	8.8	6					1.67	0.49	8.2	1.2	5
10	14.4	34.7	400	15.2	22.0	97					2.64	1.52	25.2	9.7	10
15	22.0	22.7	400	27.2	29.4	240					2.03	1.81	28.6	16.0	15
20	27.7	25.5	200	17.8	33.7	186	200	17.8	33.7	189	1.45	1.78	22.7	18.8	20
25	31.8	22.2	200	24.1	39.2	279					1.10	1.68	17.3	18.7	25
30	34.7	28.9	100	14.5	43.0	178	100	14.5	43.0	181	0.87	1.56	13.6	18.3	30
35	36.6	27.3	100	18.4	48.4	236					0.72	1.45	10.8	17.3	35
40	38.0	26.3	100	21.7	52.6	286					0.61	1.35	9.3	16.4	40
5	5.5		400	2.4	8.8	6					1.67	0.49	8.2	1.2	5
10	14.4	34.7	400	15.2	22.0	97					2.64	1.52	25.2	9.7	10
15	22.0	22.7	400	27.2	29.4	240					2.03	1.81	28.6	16.0	15
20	27.7	18.0	400	35.7	33.7	375					1.45	1.78	25.0	18.8	20
21	28.6	17.5	400	37.1	34.4	400					1.37	1.77	24.2	19.0	21
									zonder dunning						
									without thinning						

Populier, plantverband 5 x 5 m				met en zonder systematische dunning				Boniteit II, h25 = 28.4, P25 = 15.2							
Poplar, spacing 5 x 5 m				with and without systematically thinning				Site Class II, h25 = 28.4, P25 = 15.2							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t
5	5.0		400	1.9	7.8	4					1.39	0.38	6.3	0.9	5
10	12.9	38.6	400	12.7	20.1	75					2.26	1.27	19.7	7.5	10
15	19.7	25.4	400	23.3	27.3	190					1.86	1.56	23.4	12.6	15
20	24.8	28.5	200	15.6	31.5	149	200	15.6	31.5	152	1.34	1.56	18.9	15.0	20
25	28.4	24.9	200	21.4	36.9	227					1.02	1.48	14.5	15.2	25
30	30.9	22.9	200	25.9	40.6	294					0.81	1.38	12.2	14.9	30
35	32.7	21.6	200	29.5	43.4	350					0.67	1.29	10.2	14.3	35
40	33.9	20.9	200	32.6	45.5	397					0.57	1.20	8.7	13.7	40
45	34.7	28.8	100	17.6	47.3	217	100	17.6	47.3	220	0.49	1.13	7.1	13.1	45
5	5.0		400	1.9	7.8	4					1.39	0.38	6.3	0.9	5
10	12.9	38.6	400	12.7	20.1	75					2.26	1.27	19.7	7.5	10
15	19.7	25.4	400	23.3	27.3	190					1.86	1.56	23.4	12.6	15
20	24.8	20.2	400	31.2	31.5	301					1.34	1.56	20.7	15.0	20
25	28.4	17.6	400	37.0	34.3	396					1.02	1.48	17.2	15.8	25
26	29.0	17.3	400	37.9	34.8	413					0.97	1.46	16.5	15.9	26

Populier, plantverband 5 x 5 m				met en zonder systematische dunning				Boniteit IV, h25 = 21.6, P25 = 9.3							
Poplar, spacing 5 x 5 m				with and without systematically thinning				Site Class IV, h25 = 21.6, P25 = 9.3							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v	t
5	4.1		400	1.0	5.7	2					0.89	0.21	3.1	0.4	5
10	10.1	49.7	400	8.2	16.2	40					1.51	0.82	10.9	4.0	10
15	15.1	33.1	400	15.6	22.3	104					1.37	1.04	13.6	6.9	15
20	18.9	26.5	400	21.8	26.4	172					1.10	1.09	13.0	8.6	20
25	21.6	23.1	400	26.6	29.1	232					0.84	1.06	11.0	9.3	25
30	23.5	21.3	400	30.4	31.1	282					0.67	1.01	9.1	9.4	30
35	24.8	28.5	200	16.7	32.6	160	200	16.7	32.6	163	0.56	0.95	7.1	9.2	35
40	25.7	27.5	200	19.3	35.0	190					0.48	0.90	5.6	8.8	40
45	26.3	26.9	200	21.5	37.0	216					0.42	0.85	4.9	8.4	45
50	26.7	26.5	200	23.5	38.7	239					0.38	0.80	4.3	8.0	50
5	4.1		400	1.0	5.7	2					0.89	0.21	3.1	0.4	5
10	10.1	49.7	400	8.2	16.2	40					1.51	0.82	10.9	4.0	10
15	15.1	33.1	400	15.6	22.3	104					1.37	1.04	13.6	6.9	15
20	18.9	26.5	400	21.8	26.4	172					1.10	1.09	13.0	8.6	20
25	21.6	23.1	400	26.6	29.1	232					0.84	1.06	11.0	9.3	25
30	23.5	21.3	400	30.4	31.1	282					0.67	1.01	9.1	9.4	30
35	24.8	20.2	400	33.4	32.6	323					0.56	0.95	7.5	9.2	35
40	25.7	19.5	400	36.0	33.8	358					0.48	0.90	6.3	8.9	40
45	26.3	19.0	400	38.2	34.9	387					0.42	0.85	5.4	8.6	45
50	26.7	18.7	400	40.2	35.8	412					0.38	0.80	4.7	8.2	50

Populier, plantverband 5 x 5 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit V, h25 = 18.2, P25 = 6.5									
Poplar, spacing 5 x 5 m										with and without systematically thinning										Site Class V, h25 = 18.2, P25 = 6.5									
Kenmerken blijvende opstand Characteristics remaining stand										met dunning *) with thinning **)										Bijgroei Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _G	lc _V	lc _V	lm _G	lm _V	t													
5	3.7		400	0.7	4.7	1					0.65		1.8	0.14	0.3	5													
10	8.6	58.1	400	6.3	14.1	27					1.17		7.7	0.63	2.7	10													
15	12.8	39.1	400	12.1	19.6	71					1.09		9.4	0.80	4.7	15													
20	15.9	31.4	400	17.1	23.3	118					0.91		9.3	0.85	5.9	20													
25	18.2	27.5	400	21.2	26.0	162					0.75		8.2	0.85	6.5	25													
30	19.8	25.3	400	24.6	28.0	200					0.60		6.9	0.82	6.7	30													
35	20.9	24.0	400	27.3	29.5	232					0.50		5.8	0.78	6.6	35													
40	21.6	23.1	400	29.6	30.7	258					0.43		4.9	0.74	6.5	40													
45	22.1	22.6	400	31.6	31.7	281					0.38		4.2	0.70	6.2	45													
50	22.4	22.3	400	33.4	32.6	300					0.34		3.7	0.67	6.0	50													

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

**) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 6 x 6 m		met en zonder systematische dunning						Boniteit I, h25 = 31.8, P25 = 17.9							
Poplar, spacing 6 x 6 m		with and without systematically thinning						Site Class I, h25 = 31.8, P25 = 17.9							
t	Kenmerken blijvende opstand						met dunning			Bijgroei			t		
	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_e	lm_e		lc_v	lm_v
Characteristics remaining stand															
5	5.5		278	2.0	9.5	5					1.30	0.39	6.3	0.9	5
10	14.4	41.7	278	12.4	23.8	79					2.33	1.24	21.7	7.9	10
15	22.0	27.3	278	23.6	32.9	208					2.00	1.57	26.8	13.9	15
20	27.7	21.7	278	32.1	38.4	337					1.45	1.60	24.0	16.8	20
25	31.8	26.7	139	19.2	41.9	222	139	19.2	41.9	225	1.10	1.54	18.3	17.9	25
30	34.7	24.5	139	24.1	47.0	297					0.87	1.44	13.8	17.4	30
35	36.6	23.2	139	28.0	50.6	360					0.72	1.35	11.7	16.7	35
40	38.0	22.3	139	31.3	53.5	414					0.61	1.26	9.9	16.0	40
5	5.5		278	2.0	9.5	5					1.30	0.39	6.3	0.9	5
10	14.4	41.7	278	12.4	23.8	79					2.33	1.24	21.7	7.9	10
15	22.0	27.3	278	23.6	32.9	208					2.00	1.57	26.8	13.9	15
20	27.7	21.7	278	32.1	38.4	337					1.45	1.60	24.0	16.8	20
25	31.8	18.9	278	38.4	41.9	447					1.10	1.54	20.0	17.9	25
30	34.7	17.3	278	43.2	44.5	538					0.87	1.44	16.4	17.9	30
zonder dunning															
without thinning															

Populier, plantverband 6 x 6 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit II, h25 = 28.4, P25 = 14.3									
Poplar, spacing 6 x 6 m										with and without systematically thinning										Site Class II, h25 = 28.4, P25 = 14.3									
Kenmerken blijvende opstand					met dunning					Bijgroei																			
<i>t</i>	<i>h_m</i>	<i>S%</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>lc_G</i>	<i>lc_v</i>	<i>lm_G</i>	<i>lm_v</i>	<i>t</i>														
Characteristics remaining stand										with thinning					Increment														
5	5.0		278	1.5	8.4	3					1.09	0.31	4.9	0.7	5														
10	12.9	46.3	278	10.3	21.7	61					1.96	1.03	16.8	6.1	10														
15	19.7	30.5	278	19.9	30.2	161					1.76	1.33	21.4	10.7	15														
20	24.8	24.2	278	27.7	35.6	267					1.34	1.38	19.8	13.3	20														
25	28.4	21.1	278	33.4	39.2	358					1.02	1.34	16.6	14.3	25														
30	30.9	27.4	139	19.0	41.7	215	139	19.0	41.7	218	0.81	1.27	12.6	14.4	30														
35	32.7	26.0	139	22.6	45.5	267					0.67	1.19	9.7	13.9	35														
40	33.9	25.0	139	25.7	48.5	312					0.57	1.12	8.3	13.3	40														
45	34.7	24.5	139	28.3	50.9	350					0.49	1.05	7.2	12.6	45														
5	5.0		278	1.5	8.4	3					1.09	0.31	4.9	0.7	5														
10	12.9	46.3	278	10.3	21.7	61					1.96	1.03	16.8	6.1	10														
15	19.7	30.5	278	19.9	30.2	161					1.76	1.33	21.4	10.7	15														
20	24.8	24.2	278	27.7	35.6	267					1.34	1.38	19.8	13.3	20														
25	28.4	21.1	278	33.4	39.2	358					1.02	1.34	16.6	14.3	25														
30	30.9	19.4	278	37.9	41.7	433					0.81	1.27	13.7	14.4	30														
35	32.7	18.4	278	41.6	43.7	495					0.67	1.19	11.2	14.1	35														
40	33.9	17.7	278	44.7	45.2	546					0.57	1.12	9.3	13.7	40														
43	34.4	17.4	278	46.3	46.1	573					0.52	1.08	8.4	13.3	43														

Populier, plantverband 6 x 6 m				met en zonder systematische dunning				Boniteit III, h25 = 25.0, P25 = 11.0							
Poplar, spacing 6 x 6 m				with and without systematically thinning				Site Class III, h25 = 25.0, P25 = 11.0							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_e	lm_e	lc_v	lm_v	t
5	4.6		278	1.2	7.3	2					0.90	0.23	3.7	0.5	5
10	11.5	52.2	278	8.3	19.5	45					1.59	0.83	12.4	4.5	10
15	17.4	34.5	278	16.3	27.4	120					1.50	1.09	16.3	8.0	15
20	21.8	27.5	278	23.1	32.6	203					1.21	1.16	15.8	10.1	20
25	25.0	24.0	278	28.4	36.1	276					0.93	1.14	13.4	11.0	25
30	27.2	22.0	278	32.6	38.6	337					0.74	1.09	11.1	11.2	30
35	28.7	20.9	278	35.9	40.6	388					0.61	1.03	9.2	11.1	35
40	29.8	28.5	139	19.4	42.1	213	139	19.4	42.1	217	0.52	0.97	7.3	10.7	40
45	30.5	27.8	139	21.8	44.7	245					0.46	0.92	5.9	10.3	45
50	31.0	27.4	139	24.0	46.9	272					0.41	0.87	5.2	9.8	50
5	4.6		278	1.2	7.3	2					0.90	0.23	3.7	0.5	5
10	11.5	52.2	278	8.3	19.5	45					1.59	0.83	12.4	4.5	10
15	17.4	34.5	278	16.3	27.4	120					1.50	1.09	16.3	8.0	15
20	21.8	27.5	278	23.1	32.6	203					1.21	1.16	15.8	10.1	20
25	25.0	24.0	278	28.4	36.1	276					0.93	1.14	13.4	11.0	25
30	27.2	22.0	278	32.6	38.6	337					0.74	1.09	11.1	11.2	30
35	28.7	20.9	278	35.9	40.6	388					0.61	1.03	9.2	11.1	35
40	29.8	20.1	278	38.7	42.1	430					0.52	0.97	7.7	10.7	40
45	30.5	19.7	278	41.2	43.4	465					0.46	0.92	6.6	10.3	45
50	31.0	19.4	278	43.3	44.6	496					0.41	0.87	5.7	9.9	50
									zonder dunning						
									without thinning						

Populier, plantverband 6 x 6 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit IV, h25 = 21.6, P25 = 8.1									
Poplar, spacing 6 x 6 m										with and without systematically thinning										Site Class IV, h25 = 21.6, P25 = 8.1									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _{cG}	l _{mG}	l _{cV}	l _{mV}	t										
5	4.1		278	0.8	6.2	2									0.71	0.17	2.4	0.3	5										
10	10.1	59.7	278	6.5	17.2	32									1.24	0.65	8.9	3.2	10										
15	15.1	39.7	278	13.0	24.4	86									1.23	0.86	11.9	5.7	15										
20	18.9	31.8	278	18.6	29.2	146									1.03	0.93	11.8	7.3	20										
25	21.6	27.8	278	23.3	32.7	202									0.84	0.93	10.5	8.1	25										
30	23.5	25.5	278	27.0	35.2	250									0.67	0.90	8.8	8.3	30										
35	24.8	24.2	278	30.1	37.1	291									0.56	0.86	7.3	8.3	35										
40	25.7	23.4	278	32.6	38.7	324									0.48	0.82	6.2	8.1	40										
45	26.3	22.8	278	34.9	40.0	353									0.42	0.78	5.3	7.8	45										
50	26.7	22.5	278	36.9	41.1	377									0.38	0.74	4.6	7.5	50										

Populier, plantverband 6 x 6 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit V, h25 = 18.2, P25 = 5.5									
Poplar, spacing 6 x 6 m										with and without systematically thinning										Site Class V, h25 = 18.2, P25 = 5.5									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _{cG}	l _{mG}	l _{cV}	l _{mV}	t										
5	3.7		278	0.6	5.1	1									0.53	0.11	1.4	0.2	5										
10	8.6	69.7	278	4.9	15.0	21									0.93	0.49	6.1	2.1	10										
15	12.8	46.9	278	9.8	21.2	57									0.96	0.65	8.0	3.8	15										
20	15.9	37.6	278	14.3	25.6	99									0.82	0.72	8.2	4.9	20										
25	18.2	33.0	278	18.1	28.8	138									0.69	0.72	7.4	5.5	25										
30	19.8	30.3	278	21.2	31.2	173									0.58	0.71	6.5	5.8	30										
35	20.9	28.8	278	23.9	33.1	203									0.50	0.68	5.6	5.8	35										
40	21.6	27.8	278	26.3	34.7	229									0.43	0.66	4.8	5.7	40										
45	22.1	27.1	278	28.3	36.0	251									0.38	0.63	4.1	5.6	45										
50	22.4	26.7	278	30.1	37.1	270									0.34	0.60	3.6	5.4	50										

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

***) In the management system "with systematic thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 8 x 8 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit I, h25 = 31.8, P25 = 14.6									
Poplar, spacing 8 x 8 m										with and without systematically thinning										Site Class I, h25 = 31.8, P25 = 14.6									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t									
5	5.5		156	1.4	10.9	3					0.75	0.29	3.6	0.7	5	0.75	0.29	3.6	0.7	5									
10	14.4	55.6	156	7.9	25.4	50					1.78	0.79	15.8	5.0	10	1.78	0.79	15.8	5.0	10									
15	22.0	36.4	156	17.2	37.4	151					1.74	1.15	22.0	10.1	15	1.74	1.15	22.0	10.1	15									
20	27.7	28.9	156	25.1	45.2	263					1.42	1.26	21.7	13.1	20	1.42	1.26	21.7	13.1	20									
25	31.8	25.2	156	31.4	50.6	365					1.10	1.26	18.7	14.6	25	1.10	1.26	18.7	14.6	25									
30	34.7	23.1	156	36.2	54.3	450					0.87	1.21	15.4	15.0	30	0.87	1.21	15.4	15.0	30									
35	36.6	21.8	156	40.2	57.2	520					0.72	1.15	12.8	14.8	35	0.72	1.15	12.8	14.8	35									
40	38.0	21.1	156	43.5	59.5	578					0.61	1.09	10.7	14.4	40	0.61	1.09	10.7	14.4	40									

Populier, plantverband 8 x 8 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit II, h25 = 28.4, P25 = 11.4									
Poplar, spacing 8 x 8 m										with and without systematically thinning										Site Class II, h25 = 28.4, P25 = 11.4									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t									
5	5.0		156	1.1	9.6	2					0.65	0.23	2.9	0.5	5	0.65	0.23	2.9	0.5	5									
10	12.9	61.8	156	6.4	22.8	37					1.42	0.64	11.7	3.7	10	1.42	0.64	11.7	3.7	10									
15	19.7	40.6	156	14.2	34.0	114					1.49	0.95	17.1	7.6	15	1.49	0.95	17.1	7.6	15									
20	24.8	32.3	156	21.0	41.4	202					1.24	1.05	17.2	10.1	20	1.24	1.05	17.2	10.1	20									
25	28.4	28.2	156	26.6	46.6	284					1.01	1.07	15.4	11.4	25	1.01	1.07	15.4	11.4	25									
30	30.9	25.9	156	31.1	50.4	354					0.81	1.04	12.8	11.8	30	0.81	1.04	12.8	11.8	30									
35	32.7	24.5	156	34.8	53.2	413					0.67	0.99	10.7	11.8	35	0.67	0.99	10.7	11.8	35									
40	33.9	23.6	156	37.8	55.5	462					0.57	0.95	9.0	11.5	40	0.57	0.95	9.0	11.5	40									
45	34.7	23.1	156	40.5	57.4	503					0.49	0.90	7.6	11.2	45	0.49	0.90	7.6	11.2	45									

*) In het beheersysteem "met systematische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

**) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 8 x 8 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit III, h25 = 25.0, P25 = 8.5									
Poplar, spacing 8 x 8 m										with and without systematically thinning										Site Class III, h25 = 25.0, P25 = 8.5									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _{cG}	l _{mG}	l _{cV}	l _{mV}	t														
5	4.6		156	0.9	8.3	2					0.58	0.17	2.4	0.3	5														
10	11.5	69.6	156	5.0	20.2	27					1.06	0.50	8.2	2.7	10														
15	17.4	46.0	156	11.3	30.4	83					1.24	0.76	12.7	5.5	15														
20	21.8	36.6	156	17.1	37.3	149					1.05	0.85	13.0	7.5	20														
25	25.0	32.0	156	21.9	42.2	212					0.87	0.87	11.8	8.5	25														
30	27.2	29.4	156	25.8	45.9	267					0.73	0.86	10.3	8.9	30														
35	28.7	27.8	156	29.2	48.8	314					0.61	0.83	8.7	9.0	35														
40	29.8	26.9	156	32.0	51.1	354					0.52	0.80	7.4	8.9	40														
45	30.5	26.2	156	34.5	53.0	389					0.46	0.77	6.3	8.6	45														
50	31.0	25.8	156	36.6	54.6	418					0.41	0.73	5.5	8.4	50														

Populier, plantverband 8 x 8 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit IV, h25 = 21.6, P25 = 6.0									
Poplar, spacing 8 x 8 m										with and without systematically thinning										Site Class IV, h25 = 21.6, P25 = 6.0									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _{cG}	l _{mG}	l _{cV}	l _{mV}	t														
5	4.1		156	0.6	7.1	1					0.50	0.12	1.6	0.2	5														
10	10.1	79.6	156	3.9	17.8	19					0.74	0.39	5.4	1.9	10														
15	15.1	53.0	156	8.7	26.6	57					0.98	0.58	9.0	3.8	15														
20	18.9	42.4	156	13.3	33.0	104					0.86	0.67	9.4	5.2	20														
25	21.6	37.0	156	17.3	37.6	150					0.73	0.69	8.7	6.0	25														
30	23.5	34.1	156	20.6	41.0	191					0.61	0.69	7.6	6.4	30														
35	24.8	32.3	156	23.5	43.7	226					0.52	0.67	6.6	6.5	35														
40	25.7	31.1	156	25.9	45.9	256					0.46	0.65	5.7	6.4	40														
45	26.3	30.4	156	28.1	47.8	283					0.41	0.62	5.0	6.3	45														
50	26.7	30.0	156	30.0	49.4	306					0.37	0.60	4.4	6.1	50														

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

***) In the management system "with systematic thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 8 x 8 m				met en zonder systematische dunning				Boniteit V, h25 = 18.2, P25 = 3.9							
Poplar, spacing 8 x 8 m				with and without systematically thinning				Site Class V, h25 = 18.2, P25 = 3.9							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning *)				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning **)				Increment							
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t
5	3.7		156	0.4	5.8	1					0.39	0.08	1.0	0.1	5
10	8.6	93.0	156	3.0	15.8	13					0.50	0.30	3.6	1.3	10
15	12.8	62.5	156	6.3	22.6	37					0.72	0.42	5.8	2.4	15
20	15.9	50.2	156	9.8	28.3	68					0.67	0.49	6.3	3.4	20
25	18.2	44.0	156	13.0	32.5	99					0.58	0.52	5.9	3.9	25
30	19.8	40.5	156	15.7	35.7	127					0.49	0.52	5.3	4.2	30
35	20.9	38.4	156	17.9	38.2	152					0.43	0.51	4.6	4.3	35
40	21.6	37.0	156	19.9	40.3	173					0.38	0.50	4.0	4.3	40
45	22.1	36.2	156	21.7	42.1	192					0.34	0.48	3.5	4.3	45
50	22.4	35.6	156	23.3	43.6	208					0.30	0.47	3.1	4.2	50

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

**) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 10 x 10 m										met en zonder systematische dunning					Boniteit I, h25 = 31.8, P25 = 11.3				
Poplar, spacing 10 x 10 m										with and without systematically thinning					Site Class I, h25 = 31.8, P25 = 11.3				
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)					Bijgroei				
Characteristics remaining stand										with thinning **)					Increment				
t	h _m	5%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t				
5	5.5		100	1.2	12.2	3					0.30	0.23	1.5	0.5	5				
10	14.4	69.5	100	4.1	22.8	26					1.27	0.41	10.6	2.6	10				
15	22.0	45.5	100	11.7	38.6	102					1.50	0.78	17.6	6.8	15				
20	27.7	36.1	100	18.7	48.7	194					1.26	0.93	18.3	9.7	20				
25	31.8	31.4	100	24.4	55.7	282					1.04	0.98	16.6	11.3	25				
30	34.7	28.9	100	29.1	60.9	360					0.86	0.97	14.4	12.0	30				
35	36.6	27.3	100	33.0	64.9	427					0.72	0.94	12.1	12.2	35				
40	38.0	26.3	100	36.3	68.0	482					0.61	0.91	10.2	12.1	40				

Populier, plantverband 10 x 10 m										met en zonder systematische dunning					Boniteit II, h25 = 28.4, P25 = 8.6				
Poplar, spacing 10 x 10 m										with and without systematically thinning					Site Class II, h25 = 28.4, P25 = 8.6				
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)					Bijgroei				
Characteristics remaining stand										with thinning **)					Increment				
t	h _m	5%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t				
5	5.0		100	0.9	10.8	2					0.31	0.18	1.4	0.4	5				
10	12.9	77.2	100	3.1	19.9	18					0.92	0.31	7.3	1.8	10				
15	19.7	50.8	100	9.3	34.4	75					1.25	0.62	13.4	5.0	15				
20	24.8	40.4	100	15.2	44.0	146					1.09	0.76	14.2	7.3	20				
25	28.4	35.2	100	20.2	50.7	214					0.90	0.81	13.1	8.6	25				
30	30.9	32.3	100	24.3	55.6	276					0.75	0.81	11.4	9.2	30				
35	32.7	30.6	100	27.7	59.4	329					0.64	0.79	9.8	9.4	35				
40	33.9	29.5	100	30.7	62.6	374					0.56	0.77	8.5	9.4	40				
45	34.7	28.8	100	33.4	65.2	414					0.49	0.74	7.4	9.2	45				

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

**) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 10 x 10 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit III, h25 = 25.0, P25 = 6.2									
Poplar, spacing 10 x 10 m										with and without systematically thinning										Site Class III, h25 = 25.0, P25 = 6.2									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	5%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _c _g	l _m _g	l _c _v	l _m _v	t														
5	4.6		100	0.7	9.4	1					0.36	0.14	1.5	0.3	5														
10	11.5	87.0	100	2.3	17.2	12					0.57	0.23	4.4	1.2	10														
15	17.4	57.5	100	7.0	30.0	51					1.01	0.47	9.6	3.4	15														
20	21.8	45.8	100	11.9	39.0	104					0.91	0.60	10.6	5.2	20														
25	25.0	40.0	100	16.1	45.3	155					0.77	0.64	9.9	6.2	25														
30	27.2	36.7	100	19.6	50.0	202					0.65	0.65	8.7	6.7	30														
35	28.7	34.8	100	22.6	53.6	242					0.55	0.65	7.6	6.9	35														
40	29.8	33.6	100	25.2	56.6	278					0.48	0.63	6.6	6.9	40														
45	30.5	32.8	100	27.4	59.1	308					0.43	0.61	5.7	6.8	45														
50	31.0	32.3	100	29.4	61.2	335					0.39	0.59	5.1	6.7	50														

Populier, plantverband 10 x 10 m										met en zonder systematische dunning										Boniteit IV, h25 = 21.6, P25 = 4.2									
Poplar, spacing 10 x 10 m										with and without systematically thinning										Site Class IV, h25 = 21.6, P25 = 4.2									
Kenmerken blijvende opstand										met dunning *)										Bijgroei									
Characteristics remaining stand										with thinning **)										Increment									
t	h _m	5%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _c _g	l _m _g	l _c _v	l _m _v	t														
5	4.1		100	0.5	8.0	1					0.37	0.10	1.2	0.2	5														
10	10.1	99.5	100	1.8	15.2	9					0.28	0.18	2.5	0.9	10														
15	15.1	66.2	100	5.0	25.4	33					0.76	0.34	6.4	2.2	15														
20	18.9	52.9	100	8.9	33.6	69					0.73	0.44	7.4	3.4	20														
25	21.6	46.3	100	12.2	39.5	106					0.63	0.49	7.1	4.2	25														
30	23.5	42.6	100	15.1	43.9	139					0.54	0.50	6.4	4.6	30														
35	24.8	40.3	100	17.6	47.4	169					0.46	0.50	5.6	4.8	35														
40	25.7	38.9	100	19.8	50.2	195					0.40	0.49	4.9	4.9	40														
45	26.3	38.0	100	21.7	52.5	218					0.36	0.48	4.3	4.8	45														
50	26.7	37.4	100	23.4	54.6	238					0.33	0.47	3.8	4.8	50														

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

**) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 10 x 10 m		met en zonder systematische dunning					Boniteit V, h25 = 18.2, P25 = 2.6								
Poplar, spacing 10 x 10 m		with and without systematically thinning					Site Class V, h25 = 18.2, P25 = 2.6								
Kenmerken blijvende opstand		met dunning *)					Bijgroei								
Characteristics remaining stand		with thinning **)					Increment								
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v	t
5	3.7		100	0.3	6.5	1					0.31	0.07	0.8	0.1	5
10	8.6	116.2	100	1.7	14.6	7					0.11	0.17	1.4	0.7	10
15	12.8	78.1	100	3.4	20.7	19					0.50	0.22	3.7	1.3	15
20	15.9	62.7	100	6.1	27.8	42					0.54	0.30	4.7	2.1	20
25	18.2	54.9	100	8.6	33.2	65					0.48	0.35	4.7	2.6	25
30	19.8	50.6	100	10.9	37.3	88					0.42	0.36	4.3	2.9	30
35	20.9	47.9	100	12.9	40.5	108					0.37	0.37	3.8	3.1	35
40	21.6	46.3	100	14.6	43.1	126					0.33	0.36	3.4	3.2	40
45	22.1	45.2	100	16.1	45.3	142					0.29	0.36	3.0	3.2	45
50	22.4	44.6	100	17.5	47.2	156					0.27	0.35	2.7	3.1	50

*) In het beheersysteem "met systemische dunning" is geen dunning noodzakelijk. Dus identiek aan het systeem "zonder dunning"

***) In the management system "with systematically thinning" a thinning is not necessary. So identical to the system without thinning

Populier, plantverband 10.2 x 10.2 m		boomweide met systematische dunning				Boniteit I, h25 = 31.8, MMAI = 8.4									
Poplar, spacing 10.2 x 10.2 m		free growth with systematically thinning				Site Class I, h25 = 31.8, MMAI = 8.4									
Kenmerken blijvende opstand		met dunning				Bijgroei									
Characteristics remaining stand		with thinning				Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _c _g	l _m _g	l _c _v	l _m _v	t
5	5.5		96	1.2	12.4	3					0.26	0.23	1.3	0.5	5
10	14.4	70.9	96	3.7	22.1	23					1.22	0.37	10.1	2.3	10
15	22.0	65.6	48	5.6	38.5	48	48	5.6	38.5	49	1.37	0.75	15.1	6.5	15
20	27.7	73.7	24	5.6	54.4	57	24	5.6	54.4	58	0.89	0.84	11.5	8.2	20
25	31.8	64.2	24	9.0	69.2	103	12	5.9	79.3	73	0.60	0.81	8.5	8.4	25
30	34.7	83.3	12	5.9	79.3	72	12	5.9	79.3	73	0.47	0.77	6.9	8.4	30
35	36.6	78.8	12	7.6	89.9	97	12	7.6	89.9	97	0.29	0.71	4.3	7.9	35
40	38.0	76.0	12	9.0	97.7	117					0.26	0.65	3.9	7.4	40

Populier, plantverband 10.2 x 10.2 m		boomweide met systematische dunning				Boniteit II, h25 = 28.4, MMAI = 6.2									
Poplar, spacing 10.2 x 10.2 m		free growth with systematically thinning				Site Class II, h25 = 28.4, MMAI = 6.2									
Kenmerken blijvende opstand		met dunning				Bijgroei									
Characteristics remaining stand		with thinning				Increment									
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	l _c _g	l _m _g	l _c _v	l _m _v	t
5	5.0		96	0.9	11.0	2					0.28	0.18	1.2	0.4	5
10	12.9	78.8	96	2.8	19.2	16					0.87	0.28	6.8	1.6	10
15	19.7	73.3	48	4.4	34.2	35	48	4.4	34.2	36	1.13	0.59	11.3	4.7	15
20	24.8	82.4	24	4.5	48.7	42	24	4.5	48.7	43	0.72	0.67	8.5	6.0	20
25	28.4	71.9	24	7.2	61.8	76	12	7.2	61.8	76	0.47	0.64	6.2	6.2	25
30	30.9	66.0	24	9.5	70.8	106	12	9.5	70.8	106	0.43	0.61	5.9	6.2	30
35	32.7	88.3	12	5.7	78.0	67	12	5.7	78.0	67	0.33	0.58	4.6	6.1	35
40	33.9	85.2	12	6.9	85.5	82	12	6.9	85.5	82	0.19	0.54	2.7	5.7	40
45	34.7	83.2	12	7.8	91.1	95					0.18	0.50	2.5	5.4	45

Populier, plantverband 10.2 x 10.2 m				boomweide met systematische dunning				Boniteit III, h25 = 25.0, MMAI = 4.8							
Poplar, spacing 10.2 x 10.2 m				free growth with systematically thinning				Site Class III, h25 = 25.0, MMAI = 4.8							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t
5	4.6		96	0.7	9.5	1					0.34	0.14	1.4	0.3	5
10	11.5	88.8	96	2.1	16.6	11					0.52	0.21	4.0	1.1	10
15	17.4	83.0	48	3.3	29.7	24	48	3.3	29.7	24	0.88	0.44	8.0	3.2	15
20	21.8	66.1	48	6.8	42.6	59					0.63	0.51	7.0	4.2	20
25	25.0	81.6	24	4.9	51.2	47	24	4.9	51.2	48	0.51	0.53	6.0	4.8	25
30	27.2	75.0	24	6.8	60.2	69					0.32	0.50	4.0	4.7	30
35	28.7	71.0	24	8.4	66.7	89					0.29	0.47	3.7	4.6	35
40	29.8	68.5	24	9.8	72.0	107					0.27	0.45	3.4	4.5	40
45	30.5	66.9	24	11.0	76.5	123					0.24	0.43	3.1	4.3	45
50	31.0	65.9	24	12.2	80.4	137					0.22	0.41	2.8	4.2	50

Populier, plantverband 10.2 x 10.2 m				boomweide met systematische dunning				Boniteit IV, h25 = 21.6, MMAI = 3.8							
Poplar, spacing 10.2 x 10.2 m				free growth with systematically thinning				Site Class IV, h25 = 21.6, MMAI = 3.8							
Kenmerken blijvende opstand				met dunning				Bijgroei							
Characteristics remaining stand				with thinning				Increment							
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t
5	4.1		96	0.5	8.0	1					0.36	0.10	1.1	0.2	5
10	10.1	101.5	96	1.6	14.7	8					0.23	0.16	2.2	0.8	10
15	15.1	67.6	96	4.7	25.0	31					0.73	0.31	6.2	2.0	15
20	18.9	76.4	48	4.2	33.4	32	48	4.2	33.4	33	0.65	0.42	6.3	3.3	20
25	21.6	66.8	48	6.7	42.2	57					0.43	0.44	4.6	3.6	25
30	23.5	86.9	24	4.4	48.2	40	24	4.4	48.2	40	0.34	0.43	3.8	3.8	30
35	24.8	82.3	24	5.6	54.5	53					0.20	0.41	2.3	3.6	35
40	25.7	79.5	24	6.6	59.1	64					0.19	0.38	2.1	3.4	40
45	26.3	77.6	24	7.5	63.1	74					0.17	0.36	2.0	3.3	45
50	26.7	76.4	24	8.3	66.5	84					0.16	0.34	1.8	3.1	50

Populier, plantverband 10.2 x 10.2 m		boomweide met systematische dunning				Boniteit V, h25 = 18.2, MMAI = 2.6									
Poplar, spacing 10.2 x 10.2 m		free growth with systematically thinning				Site Class V, h25 = 18.2, MMAI = 2.6									
Kenmerken blijvende opstand		met dunning				Bijgroei									
Characteristics remaining stand		with thinning				Increment									
t	h_m	S%	N	G	d_g	V	N	G	d_g	V	lc_G	lm_G	lc_V	lm_V	t
5	3.7		96	0.3	6.6	1					0.31	0.07	0.8	0.1	5
10	8.6	118.6	96	1.5	14.3	7					0.07	0.15	1.2	0.7	10
15	12.8	79.8	96	3.1	20.2	18					0.48	0.21	3.5	1.2	15
20	15.9	64.0	96	5.7	27.5	39					0.52	0.29	4.6	2.0	20
25	18.2	79.3	48	4.1	33.0	31	48	4.1	33.0	31	0.43	0.33	4.0	2.5	25
30	19.8	73.0	48	5.7	38.9	46					0.28	0.33	2.7	2.6	30
35	20.9	69.2	48	7.0	43.2	59					0.25	0.32	2.5	2.6	35
40	21.6	66.8	48	8.2	46.7	71					0.23	0.31	2.3	2.5	40
45	22.1	65.3	48	9.3	49.7	81					0.21	0.30	2.1	2.5	45
50	22.4	64.3	48	10.3	52.2	91					0.19	0.29	1.9	2.4	50

Populier, plantverband 1 x 1 m												maximale biomassa zonder dunning						Boniteit I, MMAI = 48.3											
Poplar, spacing 1 x 1 m												maximal biomass without thinning						Site Class I, MMAI = 48.3											
Opstandkenmerken voor sterfte												Sterfte						Kenmerken na sterfte						Bijgroei					
Stand characteristics before mortality												Mortality						Characteristics after mortality						Increment					
<i>t</i>	<i>h_m</i>	<i>S%</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>h_m</i>	<i>V</i>	<i>lc_G</i>	<i>lc_v</i>	<i>lm_G</i>	<i>lm_v</i>	<i>t</i>									
2	1.5		10000	0.4	0.7	0					10000	0.4	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	2								
3	2.8		10000	3.2	2.0	5					10000	3.2	2.0	2.8	5	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	3								
4	4.3		10000	14.3	4.3	31					10000	14.3	4.3	4.3	31	15.48	3.57	45.0	7.9	7.9	4								
5	5.8		10000	34.2	6.6	95					10000	34.2	6.6	5.8	95	20.24	6.84	91.9	19.0	19.0	5								
6	7.3	13.7	10000	54.8	8.4	215					10000	54.8	8.4	7.3	215	16.56	9.13	103.1	35.9	35.9	6								
7	8.7	11.6	10000	67.3	9.3	301					10000	67.3	9.3	8.7	301	11.41	9.62	85.5	43.1	43.1	7								
8	10.0	10.0	10000	77.6	9.9	386	1541	12.0	9.9	60	8459	65.6	9.9	10.0	326	8.79	9.70	77.1	48.3	48.3	8								

Populier, plantverband 1 x 1 m												maximale biomassa zonder dunning						Boniteit II, MMAI = 34.9											
Poplar, spacing 1 x 1 m												maximal biomass without thinning						Site Class II, MMAI = 34.9											
Opstandkenmerken voor sterfte												Sterfte						Kenmerken na sterfte						Bijgroei					
Stand characteristics before mortality												Mortality						Characteristics after mortality						Increment					
<i>t</i>	<i>h_m</i>	<i>S%</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>h_m</i>	<i>V</i>	<i>lc_G</i>	<i>lc_v</i>	<i>lm_G</i>	<i>lm_v</i>	<i>t</i>									
2	1.5		10000	0.4	0.7	0					10000	0.4	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	2								
3	2.7		10000	2.7	1.8	4					10000	2.7	1.8	2.7	4	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	3								
4	4.0		10000	11.1	3.8	23					10000	11.1	3.8	4.0	23	12.19	2.78	33.0	5.8	5.8	4								
5	5.3		10000	27.0	5.9	70					10000	27.0	5.9	5.3	70	17.71	5.41	60.7	14.0	14.0	5								
6	6.6		10000	46.5	7.7	144					10000	46.5	7.7	6.6	144	15.71	7.75	86.5	24.1	24.1	6								
7	7.9	12.7	10000	58.4	8.6	243	836	4.9	8.6	21	9164	53.6	8.6	7.9	223	9.47	8.35	77.6	34.7	34.7	7								
8	9.0	11.1	9164	60.6	9.2	279	2790	18.4	9.2	86	6374	42.1	9.2	9.0	193	5.55	7.57	47.2	34.9	34.9	8								

Populier, plantverband 1 x 1 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit III, MMAI = 28.8									
Poplar, spacing 1 x 1 m										maximal biomass without thinning										Site Class III, MMAI = 28.8									
Opstandkenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijgroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
<i>t</i>	<i>h_m</i>	<i>S%</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>h_m</i>	<i>V</i>	<i>Ic_G</i>	<i>Ic_V</i>	<i>Ic_V</i>	<i>I_{mV}</i>	<i>t</i>									
2	1.5		10000	0.4	0.7	0					10000	0.4	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.0	0.0	2									
3	2.5		10000	2.2	1.7	3					10000	2.2	1.7	2.5	3	0.00	0.00	0.0	0.0	3									
4	3.7		10000	8.4	3.3	16					10000	8.4	3.3	3.7	16	9.14	2.09	23.0	4.1	4									
5	4.9		10000	20.5	5.1	49					10000	20.5	5.1	4.9	49	14.05	4.09	43.6	9.8	5									
6	6.0		10000	36.5	6.8	104					10000	36.5	6.8	6.0	104	16.05	6.08	76.2	17.3	6									
7	7.0	14.2	10000	52.6	8.2	202	1809	9.5	8.2	37	8191	43.0	8.2	7.0	165	10.35	7.51	67.4	28.8	7									

Populier, plantverband 1.5 x 1.5 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit I, MMAI = 37.4									
Poplar, spacing 1.5 x 1.5 m										maximal biomass without thinning										Site Class I, MMAI = 37.4									
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijsroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	h _m	V	lc _G	lc _V	lm _G	lm _V	t									
2	1.5		4444	0.2	0.7	0					4444	0.2	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.0	0.0	2									
3	2.7		4444	1.4	2.0	2					4444	1.4	2.0	2.7	2	0.00	0.00	0.0	0.0	3									
4	4.3		4444	6.7	4.4	14					4444	6.7	4.4	4.3	14	7.73	1.67	22.1	3.6	4									
5	5.8		4444	16.9	7.0	46					4444	16.9	7.0	5.8	46	10.82	3.37	48.5	9.3	5									
6	7.4	20.4	4444	28.3	9.0	111					4444	28.3	9.0	7.4	111	10.73	4.72	63.5	18.5	6									
7	8.9	16.9	4444	38.3	10.5	173					4444	38.3	10.5	8.9	173	9.31	5.48	63.3	24.8	7									
8	10.3	14.6	4444	46.9	11.6	238					4444	46.9	11.6	10.3	238	8.01	5.87	64.5	29.7	8									
9	11.7	12.9	4444	54.3	12.5	302					4444	54.3	12.5	11.7	302	6.92	6.04	64.1	33.6	9									
10	12.9	11.6	4444	60.8	13.2	366	171	2.3	13.2	14	4273	58.4	13.2	12.9	352	5.93	6.08	61.5	36.6	10									
11	14.2	10.6	4273	63.9	13.8	411	737	11.0	13.8	72	3536	52.8	13.8	14.2	340	4.70	5.81	53.5	37.4	11									

Populier, plantverband 1.5 x 1.5 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit II, MMAI = 26.3									
Poplar, spacing 1.5 x 1.5 m										maximal biomass without thinning										Site Class II, MMAI = 26.3									
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijsroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	h _m	V	lc _G	lc _V	lm _G	lm _V	t									
2	1.5		4444	0.2	0.7	0					4444	0.2	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.0	0.0	2									
3	2.6		4444	1.2	1.8	2					4444	1.2	1.8	2.6	2	0.00	0.00	0.0	0.0	3									
4	3.9		4444	5.2	3.9	11					4444	5.2	3.9	3.9	11	6.08	1.30	16.2	2.6	4									
5	5.3		4444	13.3	6.2	34					4444	13.3	6.2	5.3	34	9.24	2.67	31.4	6.8	5									
6	6.7		4444	23.7	8.2	73					4444	23.7	8.2	6.7	73	9.00	3.94	48.7	12.2	6									
7	8.0	18.7	4444	31.3	9.5	132					4444	31.3	9.5	8.0	132	6.91	4.48	51.2	18.8	7									
8	9.3	16.1	4444	37.5	10.4	176					4444	37.5	10.4	9.3	176	5.71	4.69	44.2	22.0	8									
9	10.5	14.3	4444	42.8	11.1	220					4444	42.8	11.1	10.5	220	4.93	4.75	43.7	24.4	9									
10	11.7	12.9	4444	47.3	11.6	263	708	7.5	11.6	42	3736	39.8	11.6	11.7	221	3.98	4.73	39.2	26.3	10									

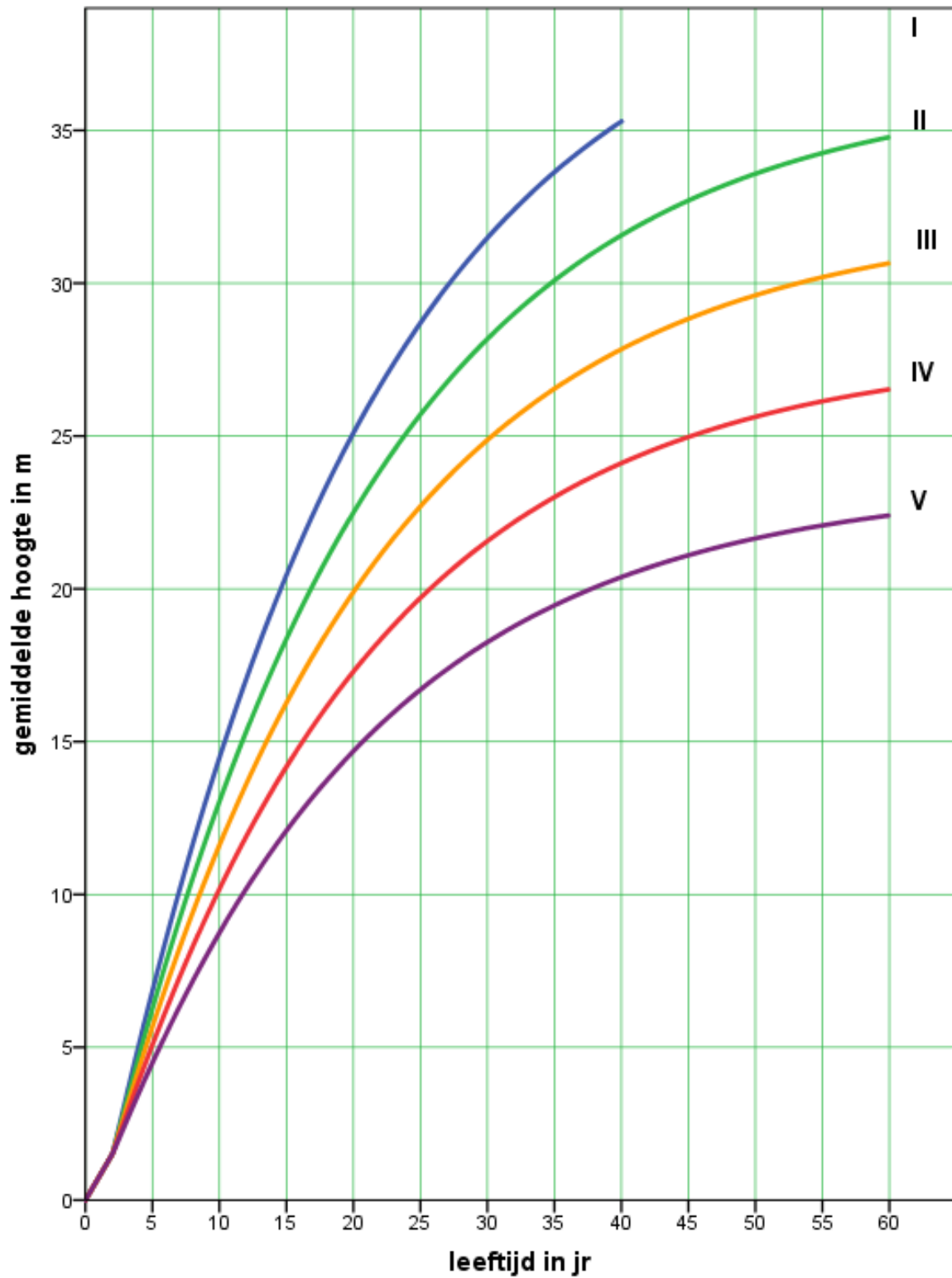
Populier, plantverband 1.5 x 1.5 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit III, MMAI = 18.7									
Poplar, spacing 1.5 x 1.5 m										maximal biomass without thinning										Site Class III, MMAI = 18.7									
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijgroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	h _m	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t									
2	1.5		4444	0.2	0.7	0					4444	0.2	0.7	1.5	0	0.00	0.00	0.0	0.0	2									
3	2.5		4444	1.0	1.7	1					4444	1.0	1.7	2.5	1	0.00	0.00	0.0	0.0	3									
4	3.6		4444	3.9	3.3	7					4444	3.9	3.3	3.6	7	4.56	0.98	11.3	1.9	4									
5	4.9		4444	10.1	5.4	24					4444	10.1	5.4	4.9	24	7.34	2.02	22.6	4.8	5									
6	6.0		4444	18.6	7.3	53					4444	18.6	7.3	6.0	53	8.32	3.10	39.7	8.8	6									
7	7.2	20.8	4444	26.7	8.8	103					4444	26.7	8.8	7.2	103	6.24	3.82	40.5	14.8	7									
8	8.3	18.0	4444	31.1	9.4	134					4444	31.1	9.4	8.3	134	4.02	3.88	30.3	16.7	8									
9	9.4	16.0	4444	34.8	10.0	164	133	1.0	10.0	5	4312	33.7	10.0	9.4	159	3.42	3.86	29.2	18.2	9									
10	10.4	14.5	4312	36.9	10.4	187	1025	8.8	10.4	45	3287	28.1	10.4	10.4	142	2.61	3.69	24.7	18.7	10									

Populier, plantverband 2 x 2 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit I, MMAI = 34.7									
Poplar, spacing 2 x 2 m										maximal biomass without thinning										Site Class I, MMAI = 34.7									
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijgroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	h _m	V	lc _G	lc _V	lm _G	lm _V	t									
2	1.5		2500	0.1	0.8	0					2500	0.1	0.8	1.5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2									
3	2.6		2500	0.8	2.0	1					2500	0.8	2.0	2.6	1	0.00	0.00	0.00	0.00	3									
4	4.2		2500	3.8	4.4	8					2500	3.8	4.4	4.2	8	4.75	0.96	13.3	2.0	4									
5	5.8		2500	10.3	7.2	28					2500	10.3	7.2	5.8	28	7.19	2.06	31.7	5.5	5									
6	7.4	27.1	2500	18.2	9.6	71					2500	18.2	9.6	7.4	71	8.32	3.04	47.4	11.9	6									
7	9.0	22.2	2500	26.9	11.7	123					2500	26.9	11.7	9.0	123	8.20	3.85	53.2	17.5	7									
8	10.5	19.0	2500	34.6	13.3	178					2500	34.6	13.3	10.5	178	7.23	4.33	56.2	22.2	8									
9	12.0	16.6	2500	41.4	14.5	235					2500	41.4	14.5	12.0	235	6.34	4.60	57.1	26.1	9									
10	13.4	14.9	2500	47.3	15.5	292					2500	47.3	15.5	13.4	292	5.59	4.73	56.9	29.2	10									
11	14.8	13.5	2500	52.6	16.4	349					2500	52.6	16.4	14.8	349	4.97	4.78	56.0	31.7	11									
12	16.1	12.5	2500	57.2	17.1	404	39	0.9	17.1	6	2461	56.3	17.1	16.1	398	4.41	4.77	54.1	33.7	12									
13	17.3	11.6	2461	60.5	17.7	451	325	8.0	17.7	60	2136	52.5	17.7	17.3	390	3.69	4.65	48.6	34.7	13									

Populier, plantverband 2 x 2 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit II, MMAI = 22.7									
Poplar, spacing 2 x 2 m										maximal biomass without thinning										Site Class II, MMAI = 22.7									
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijgroei														
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment														
t	h _m	S%	N	G	d _g	V	N	G	d _g	V	N	G	d _g	h _m	V	lc _G	lc _V	lm _G	lm _V	t									
2	1.5		2500	0.1	0.8	0					2500	0.1	0.8	1.5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	2									
3	2.5		2500	0.6	1.8	1					2500	0.6	1.8	2.5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	3									
4	3.9		2500	3.0	3.9	6					2500	3.0	3.9	3.9	6	3.59	0.75	13.0	1.5	4									
5	5.3		2500	8.1	6.4	20					2500	8.1	6.4	5.3	20	4.72	1.62	21.4	4.1	5									
6	6.7		2500	14.9	8.7	46					2500	14.9	8.7	6.7	46	5.44	2.48	28.3	7.6	6									
7	8.2	24.5	2500	21.0	10.3	89					2500	21.0	10.3	8.2	89	5.53	3.00	33.9	12.7	7									
8	9.5	21.0	2500	26.3	11.6	125					2500	26.3	11.6	9.5	125	5.07	3.29	37.3	15.6	8									
9	10.8	18.4	2500	31.0	12.6	162					2500	31.0	12.6	10.8	162	4.47	3.44	37.4	18.0	9									
10	12.1	16.5	2500	35.1	13.4	200					2500	35.1	13.4	12.1	200	3.92	3.51	36.3	20.0	10									
11	13.3	15.0	2500	38.7	14.0	237					2500	38.7	14.0	13.3	237	3.36	3.52	34.3	21.5	11									
12	14.4	13.9	2500	42.0	14.6	273	296	5.0	14.6	33	2204	37.0	14.6	14.4	240	2.76	3.50	30.5	22.7	12									

Populier, plantverband 2 x 2 m										maximale biomassa zonder dunning										Boniteit III, MMAI = 15.5			
Poplar, spacing 2 x 2 m										maximal biomass without thinning										Site Class III, MMAI = 15.5			
Opstandenmerken voor sterfte					Sterfte					Kenmerken na sterfte					Bijgroei								
Stand characteristics before mortality					Mortality					Characteristics after mortality					Increment								
<i>t</i>	<i>h_m</i>	<i>S%</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>V</i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d_g</i>	<i>h_m</i>	<i>V</i>	<i>ic_G</i>	<i>im_G</i>	<i>ic_V</i>	<i>im_V</i>	<i>t</i>			
2	1.5		2500	0.1	0.8	0					2500	0.1	0.8	1.5	0	0.00	0.00	0.0	0.0	2			
3	2.4		2500	0.5	1.7	1					2500	0.5	1.7	2.4	1	0.00	0.00	0.0	0.0	3			
4	3.6		2500	2.3	3.4	4					2500	2.3	3.4	3.6	4	2.88	0.57	9.6	1.0	4			
5	4.8		2500	6.1	5.6	14					2500	6.1	5.6	4.8	14	3.80	1.23	15.8	2.9	5			
6	6.1		2500	11.7	7.7	33					2500	11.7	7.7	6.1	33	4.27	1.95	20.3	5.5	6			
7	7.3	27.4	2500	17.1	9.3	67					2500	17.1	9.3	7.3	67	4.27	2.45	23.8	9.5	7			
8	8.5	23.5	2500	20.8	10.3	91					2500	20.8	10.3	8.5	91	3.81	2.60	25.7	11.3	8			
9	9.7	20.7	2500	24.0	11.0	115					2500	24.0	11.0	9.7	115	3.16	2.66	24.8	12.8	9			
10	10.8	18.6	2500	26.8	11.7	139					2500	26.8	11.7	10.8	139	2.66	2.68	23.5	13.9	10			
11	11.8	16.9	2500	29.2	12.2	163					2500	29.2	12.2	11.8	163	2.25	2.66	21.7	14.8	11			
12	12.8	15.6	2500	31.4	12.7	186	432	5.4	12.7	33	2068	26.0	12.7	12.8	154	1.81	2.62	18.8	15.5	12			

Populier Lijnbeplanting Nederland 2018



Populier, lijnbepanting met plantafstand 3.2 m zonder dunning												
Boniteit I, h25 = 28.7, MMAI = 27.5												
Site Class I, h25 = 28.7, MMAI = 27.5												
Kenmerken blijvende opstand						Bijgroei						
Characteristics remaining stand												
t	h_m	S%	N	G	d_g	d_{or}	d_{ir}	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v
5	6.9	46.7	313	3.6	12.2	12.3	12.0	11	1.64	0.73	8.8	2.1
10	14.5	22.1	313	14.5	24.3	24.6	23.9	93	2.65	1.45	23.6	9.3
15	20.4	15.6	313	28.5	34.1	34.6	33.6	239	2.89	1.90	33.6	15.9
20	25.1	12.7	313	42.8	41.8	42.4	41.1	419	2.78	2.14	37.6	21.0
25	28.7	11.1	313	56.1	47.8	48.6	47.1	608	2.51	2.24	37.5	24.3
30	31.5	10.2	313	67.9	52.6	53.4	51.8	790	2.19	2.26	34.9	26.3
35	33.6	9.5	313	78.0	56.4	57.3	55.5	955	1.87	2.23	31.0	27.3
40	35.3	9.1	313	86.6	59.4	60.3	58.5	1100	1.56	2.16	26.8	27.5

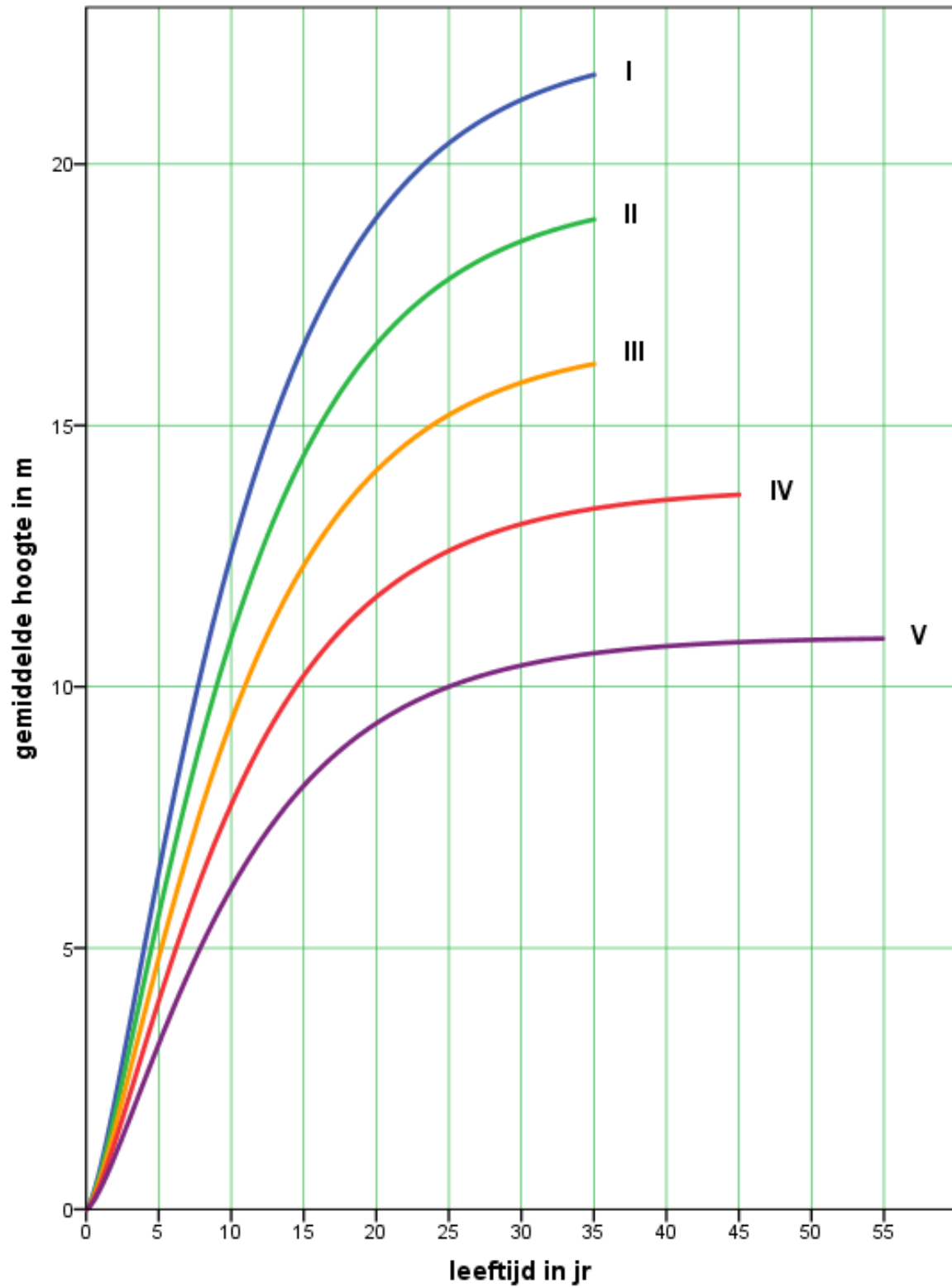
Populier, lijnbeplanting met plantafstand 3.2 m zonder dunning													Boniteit II, h25 = 25.7, MMAI = 18.9			
Poplar, line plantation with tree distance 3.2 m, without thinning													Site Class II, h25 = 25.7, MMAI = 18.9			
Kenmerken blijvende opstand													Bijgroei			
Characteristics remaining stand													Increment			
t	h _m	S%	N	G	d _g	d _{or}	d _{ir}	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t			
5	6.3	51.1	313	3.0	11.0	11.1	10.8	8	1.20	0.59	6.0	1.6	5			
10	13.0	24.5	313	10.8	21.0	21.4	20.6	64	1.98	1.08	16.3	6.4	10			
15	18.4	17.4	313	21.3	29.5	30.1	28.9	164	2.16	1.42	23.0	11.0	15			
20	22.5	14.2	313	32.0	36.1	36.9	35.4	288	2.08	1.60	25.8	14.4	20			
25	25.7	12.5	313	41.9	41.3	42.2	40.4	418	1.88	1.68	25.7	16.7	25			
30	28.2	11.4	313	50.7	45.5	46.5	44.5	542	1.64	1.69	23.9	18.1	30			
35	30.1	10.6	313	58.3	48.7	49.8	47.7	655	1.39	1.67	21.3	18.7	35			
40	31.6	10.1	313	64.7	51.3	52.5	50.2	755	1.17	1.62	18.4	18.9	40			
45	32.7	9.8	313	70.0	53.4	54.6	52.2	839	0.97	1.56	15.5	18.6	45			
50	33.6	9.5	313	74.4	55.1	56.3	53.9	910	0.80	1.49	12.9	18.2	50			
55	34.3	9.3	313	78.0	56.4	57.7	55.1	969	0.65	1.42	10.6	17.6	55			
60	34.8	9.2	313	81.0	57.4	58.7	56.2	1017	0.53	1.35	8.7	17.0	60			

Populier, lijnbeplanting met plantafstand 3.2 m zonder dunning													Boniteit III, h25 = 22.7, MMAI = 12.5				
Poplar, line plantation with tree distance 3.2 m, without thinning													Site Class III, h25 = 22.7, MMAI = 12.5				
Kenmerken blijvende opstand													Bijgroei				
Characteristics remaining stand													Increment				
t	h _m	S%	N	G	d _g	d _{or}	d _{ir}	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t				
5	5.7	56.4	313	2.3	9.7	9.9	9.5	6	1.37	0.46	4.6	1.1	5				
10	11.6	27.6	313	7.9	17.9	18.4	17.5	43	1.44	0.79	10.8	4.3	10				
15	16.3	19.7	313	15.5	25.2	25.8	24.5	109	1.57	1.04	15.2	7.3	15				
20	19.9	16.1	313	23.3	30.8	31.7	30.0	191	1.51	1.17	17.0	9.5	20				
25	22.7	14.1	313	30.5	35.3	36.3	34.3	276	1.37	1.22	17.0	11.1	25				
30	24.9	12.9	313	37.0	38.8	39.9	37.7	359	1.19	1.23	15.8	12.0	30				
35	26.5	12.1	313	42.5	41.6	42.8	40.4	433	1.02	1.21	14.0	12.4	35				
40	27.8	11.5	313	47.1	43.8	45.1	42.6	499	0.85	1.18	12.1	12.5	40				
45	28.8	11.1	313	51.0	45.6	46.9	44.3	555	0.71	1.13	10.2	12.3	45				
50	29.6	10.8	313	54.2	47.0	48.4	45.7	602	0.58	1.08	8.5	12.0	50				
55	30.2	10.6	313	56.8	48.1	49.5	46.8	640	0.47	1.03	7.0	11.6	55				
60	30.7	10.4	313	59.0	49.0	50.4	47.6	672	0.38	0.98	5.7	11.2	60				

Populier, lijnbepanting met plantafstand 3.2 m zonder dunning													Boniteit IV, h25 = 19.7, MMAI = 7.9			
Poplar, line plantation with tree distance 3.2 m, without thinning													Site Class IV, h25 = 19.7, MMAI = 7.9			
Kenmerken blijvende opstand													Bijgroei			
Characteristics remaining stand													Increment			
t	h _m	S%	N	G	d _g	d _{or}	d _{ir}	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t			
5	5.1	63.0	313	1.7	8.3	8.5	8.1	4	1.07	0.34	3.2	0.8	5			
10	10.2	31.4	313	5.6	15.1	15.5	14.6	27	1.02	0.56	6.8	2.7	10			
15	14.2	22.6	313	11.0	21.2	21.9	20.5	69	1.11	0.73	9.6	4.6	15			
20	17.3	18.5	313	16.5	25.9	26.8	25.1	121	1.07	0.82	10.8	6.0	20			
25	19.7	16.2	313	21.6	29.7	30.7	28.7	175	0.97	0.86	10.7	7.0	25			
30	21.6	14.8	313	26.1	32.6	33.8	31.5	227	0.84	0.87	10.0	7.6	30			
35	23.0	13.9	313	30.0	35.0	36.2	33.8	274	0.72	0.86	8.9	7.8	35			
40	24.1	13.3	313	33.3	36.8	38.1	35.6	316	0.60	0.83	7.7	7.9	40			
45	25.0	12.8	313	36.1	38.3	39.7	37.0	351	0.50	0.80	6.5	7.8	45			
50	25.6	12.5	313	38.3	39.5	40.9	38.2	380	0.41	0.77	5.4	7.6	50			
55	26.1	12.2	313	40.2	40.5	41.9	39.1	405	0.33	0.73	4.4	7.4	55			
60	26.5	12.1	313	41.7	41.2	42.7	39.8	425	0.27	0.69	3.6	7.1	60			

Populier, lijnbeplanting met plantafstand 3.2 m zonder dunning													Boniteit V, h25 = 16.7, MMAI = 4.7			
Poplar, line plantation with tree distance 3.2 m, without thinning													Site Class V, h25 = 16.7, MMAI = 4.7			
Kenmerken blijvende opstand													Bijgroei			
Characteristics remaining stand													Increment			
t	h _m	S%	N	G	d _g	d _{or}	d _{ir}	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t			
5	4.5	71.3	313	1.2	6.9	7.1	6.7	2	0.77	0.23	2.0	0.5	5			
10	8.7	36.6	313	3.8	12.4	12.9	12.0	17	0.70	0.38	4.1	1.7	10			
15	12.1	26.5	313	7.5	17.5	18.2	16.8	42	0.76	0.50	5.8	2.8	15			
20	14.7	21.8	313	11.2	21.4	22.3	20.6	73	0.73	0.56	6.5	3.6	20			
25	16.7	19.2	313	14.7	24.5	25.5	23.5	105	0.66	0.59	6.4	4.2	25			
30	18.3	17.5	313	17.8	26.9	28.1	25.9	136	0.58	0.59	6.0	4.5	30			
35	19.5	16.4	313	20.5	28.9	30.1	27.7	165	0.49	0.59	5.3	4.7	35			
40	20.4	15.7	313	22.7	30.4	31.7	29.2	189	0.41	0.57	4.6	4.7	40			
45	21.1	15.2	313	24.6	31.7	33.0	30.4	210	0.34	0.55	3.9	4.7	45			
50	21.7	14.8	313	26.1	32.6	34.0	31.3	228	0.28	0.52	3.2	4.6	50			
55	22.1	14.5	313	27.4	33.4	34.8	32.1	243	0.23	0.50	2.6	4.4	55			
60	22.4	14.3	313	28.4	34.0	35.5	32.7	255	0.19	0.47	2.2	4.2	60			

Trilpopulier Nederland 2018



TRILPOPULIER ASPEN		sterke laagduunning heavy thinning from below												Boniteit I h25 = 20.4, P25 = 13.4 Site Class I, h25 = 20.4, P25 = 13.4								
		Opstandenmerke Stand characteristics			Kenmerken voor duunning Characteristics before thinning			Dunning Thinning			Kenmerken na duunning Characteristics after thinning			Bijgroei Increment								
t	h _m	h _{top}	5%	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	Ic _G	Ic _V	Ic _V	t					
5	6.4	8.0		2500	13.5	8.3	6.4	40	1185	9.3	10.0	55	2500	13.5	8.3	6.4	40	4.29	2.71	21.5	8.0	5
10	12.5	14.5	22.0	2500	27.8	11.9	12.4	162	559	7.7	13.3	56	1315	18.5	13.4	12.6	107	1.92	2.78	19.1	16.2	10
15	16.5	18.5	22.0	1315	26.0	15.9	16.3	185	181	3.8	16.4	31	756	18.2	17.5	16.7	130	1.21	2.35	13.1	16.0	15
20	19.0	20.9	22.0	756	23.2	19.8	18.7	183	78	2.1	18.7	18	574	19.4	20.7	19.1	153	0.85	2.01	9.3	14.7	20
25	20.4	22.3	22.0	574	23.1	22.6	20.1	193	38	1.2	20.4	11	496	21.0	23.2	20.6	175	0.65	1.76	7.0	13.4	25
30	21.2	23.1	22.0	496	23.9	24.8	21.0	205	20	0.7	21.7	7	458	22.7	25.1	21.4	195	0.53	1.56	5.5	12.1	30
35	21.7	23.6	22.0	458	25.1	26.4	21.4	219	20	0.7	21.7	7	438	24.4	26.6	21.9	213	0.45	1.41	4.5	11.1	35

TRILPOPULIER ASPEN		sterke laagduunning heavy thinning from below												Boniteit II, h25 = 17.8, P25 = 11.1 Site Class II, h25 = 17.8, P25 = 11.1								
		Opstandenmerke Stand characteristics			Kenmerken voor duunning Characteristics before thinning			Dunning Thinning			Kenmerken na duunning Characteristics after thinning			Bijgroei Increment								
t	h _m	h _{top}	5%	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	Ic _G	Ic _V	Ic _V	t					
5	5.6	7.1		2500	9.6	7.0	5.6	25	773	5.3	9.3	28	2500	9.6	7.0	5.6	25	3.84	1.93	17.1	5.1	5
10	10.9	12.8	22.0	2500	24.6	11.2	10.8	129	734	7.8	11.6	51	1727	19.3	11.9	11.0	101	1.76	2.46	15.9	12.9	10
15	14.4	16.4	22.0	1727	26.2	13.9	14.3	169	238	3.8	14.2	27	992	18.4	15.3	14.6	118	1.11	2.10	11.2	13.1	15
20	16.6	18.5	22.0	992	23.0	17.2	16.3	164	102	2.1	16.1	16	754	19.2	18.0	16.7	137	0.79	1.80	7.9	12.1	20
25	17.8	19.8	22.0	754	22.6	19.5	17.6	170	50	1.2	17.5	9	652	20.5	20.0	18.0	154	0.60	1.58	5.9	11.1	25
30	18.5	20.5	22.0	652	23.2	21.3	18.3	180	26	0.7	18.6	6	602	22.0	21.6	18.7	171	0.49	1.41	4.6	10.1	30
35	18.9	20.9	22.0	602	24.3	22.7	18.7	192	26	0.7	18.6	6	576	23.6	22.8	19.1	186	0.42	1.27	3.8	9.2	35

TRILPOPULIER ASPEN		sterke laagduunning heavy thinning from below												Boniteit III, h25 = 15.2, P25 = 8.9 Site Class III, h25 = 15.2, P25 = 8.9				
		Opstandkenmerke Stand characteristics			Kenmerken voor dunning Characteristics before thinning			Dunning Thinning			Kenmerken na dunning Characteristics after thinning			Bijgroei Increment				
t	h _m	h _{top}	5%	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	lc _G	lc _v	lm _G	lm _v	t
5	4.8	6.2	22.0	2500	6.1	5.6	4.8	14						3.29	1.22	11.8	2.8	5
10	9.3	11.1	22.0	2500	21.3	10.4	9.2	100	132	0.8	8.6	4	4	1.63	2.13	13.9	10.0	10
15	12.3	14.2	22.0	2368	26.7	12.0	12.2	154	1007	8.0	10.0	46	107	1.00	1.83	9.5	10.5	15
20	14.1	16.1	22.0	1361	22.9	14.7	14.0	146	327	3.8	12.1	24	121	0.71	1.58	6.5	9.8	20
25	15.2	17.2	22.0	1034	22.3	16.6	15.0	149	140	2.0	13.6	14	135	0.55	1.39	4.9	8.9	25
30	15.8	17.8	22.0	894	22.7	18.0	15.6	157	69	1.2	14.8	8	148	0.45	1.24	3.8	8.2	30
35	16.2	18.1	22.0	826	23.6	19.1	16.0	166	36	0.7	15.7	5	161	0.39	1.12	3.1	7.5	35

TRILPOPULIER ASPEN		sterke laagduunning heavy thinning from below												Boniteit IV, h25 = 12.6, P25 = 6.8 Site Class IV, h25 = 12.6, P25 = 6.8				
		Opstandkenmerke Stand characteristics			Kenmerken voor dunning Characteristics before thinning			Dunning Thinning			Kenmerken na dunning Characteristics after thinning			Bijgroei Increment				
t	h _m	h _{top}	5%	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	lc _G	lc _v	lm _G	lm _v	t
5	4.0	5.2	22.0	2500	3.3	4.1	4.0	7						2.27	0.67	6.4	1.3	5
10	7.7	9.4	25.8	2500	17.9	9.5	7.7	72						1.87	1.79	12.8	7.2	10
15	10.2	12.1	22.0	2500	23.4	10.9	10.1	117	519	3.3	9.0	17	72	0.90	1.56	7.5	7.8	15
20	11.7	13.6	22.0	1981	23.8	12.4	11.6	132	475	3.9	10.2	22	100	0.64	1.36	5.3	7.4	20
25	12.6	14.5	22.0	1505	22.7	13.8	12.4	132	204	2.1	11.4	12	110	0.50	1.20	3.9	6.8	25
30	13.1	15.1	22.0	1301	22.8	14.9	13.0	137	100	1.2	12.3	7	130	0.41	1.07	3.1	6.3	30
35	13.4	15.4	22.0	1202	23.5	15.8	13.2	144	52	0.7	13.0	4	139	0.35	0.97	2.5	5.8	35
40	13.6	15.5	22.0	1149	24.5	16.5	13.4	151	28	0.4	13.5	3	148	0.31	0.89	2.1	5.3	40
45	13.7	15.6	22.0	1121	25.5	17.0	13.5	158	16	0.2	14.0	2	157	0.28	0.83	1.9	5.0	45

TRILPOPULIER		sterke laagduunning												Boniteit V, h25 = 10.0, P25 = 4.8										
ASPEN		heavy thinning from below												Site Class V, h25 = 10.0, P25 = 4.8										
t	Opstandkenmerke		Kenmerken voor dunning				Dunning				Kenmerken na dunning				Bijgroei									
	Stand characteristics	h _m	h _{top}	S%	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	N	G	d _g	h _g	V	lc _G	lm _G	lc _V	lm _V	t
5	3.2	4.3	2500	1.5	2.7	3.2	3.2	3							2500	1.5	2.7	3.2	3	1.19	0.30	2.8	0.5	5
10	6.1	7.7	2500	12.1	7.8	6.1	6.1	34							2500	12.1	7.8	6.1	34	2.16	1.21	10.2	3.4	10
15	8.1	9.8	2500	18.9	9.8	8.1	8.1	79							2500	18.9	9.8	8.1	79	0.78	1.26	5.5	5.3	15
20	9.3	11.1	2500	22.2	10.6	9.2	9.2	103	110	0.7	8.7			3	2390	21.5	10.7	9.4	100	0.56	1.11	4.1	5.2	20
25	10.0	11.8	2390	24.0	11.3	9.9	9.9	118	324	2.2	9.3	11		11	2066	21.8	11.6	10.1	107	0.44	0.99	3.1	4.8	25
30	10.4	12.3	2066	23.7	12.1	10.3	10.3	120	158	1.2	9.9	6		6	1908	22.5	12.3	10.5	114	0.36	0.89	2.4	4.5	30
35	10.6	12.5	1908	24.2	12.7	10.5	10.5	124	83	0.7	10.4	4		4	1825	23.5	12.8	10.7	121	0.31	0.81	1.9	4.1	35
40	10.8	12.6	1825	24.9	13.2	10.6	10.6	130	45	0.4	10.8	2		2	1780	24.5	13.2	10.9	127	0.28	0.74	1.6	3.8	40
45	10.9	12.7	1780	25.8	13.6	10.7	10.7	135	25	0.2	11.1	1		1	1755	25.6	13.6	10.9	134	0.25	0.69	1.4	3.6	45
50	10.9	12.8	1755	26.8	13.9	10.8	10.8	140	14	0.1	11.4	1		1	1741	26.6	14.0	11.0	140	0.23	0.64	1.3	3.4	50
55	10.9	12.8	1741	27.7	14.2	10.8	10.8	146	8	0.1	11.7	0		0	1733	27.6	14.3	11.0	145	0.22	0.61	1.2	3.2	55