

# Groei en productie van gewone esdoorn in Nederland

J.J. Jansen<sup>1</sup>, A. Oosterbaan<sup>2</sup>, G.M.J. Mohren<sup>1</sup> en J. den Ouden<sup>1</sup>

FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 12



---

<sup>1</sup> Forest Ecology and Forest Management group, Wageningen University, Department of Environmental Sciences

<sup>2</sup> Nature and Society, Wageningen Environmental Research (WENR)

Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren en J. den Ouden, 2018. *Groei en productie van gewone esdoorn in Nederland*. FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 12, 41 blz.

**Synopsis:** Van 1976 tot 2001 is in Nederland groei- en productieonderzoek bij de gewone esdoorn uitgevoerd. Dat betreft studies van de Dorschkamp/IBN en van Wageningen Universiteit. Samen met de permanente steekproeven uit de HOSP zijn 32 proefperken met 113 opnamen beschikbaar. Voor de ontwikkeling van de opperhoogte  $h_{top}$  met de leeftijd  $t$  werd het heteromorfe model van Cieszewski gekozen, met asymptoot en 3 andere parameters. Als site index is voor de  $h_{50}$  gekozen. De diameter bij een hoogte van 7 m ( $d_7$ ) werd het best verklaard met een model van Jansen *et al.* een functie in  $h_{top}$  en het beginstamtal ( $N_0$ ), voor de groei tot  $d_7$  werd een powerfunctie gebruikt. Met een model van Jansen *et al.* werd de grondvlakbijgroei  $i_G$  verklaard, een powerfunctie met  $h_{top}$ ,  $t$ , standruimte index van Hart ( $S\%$ ). Voor  $S\% > 16.3$  daalt de grondvlakbijgroei met een niet-lineaire functie in  $S\%$ . Het model bevat ook de factor opnamejaar ( $yor$ ) deze was niet significant. Het effect van de dunning op de diameter na dunning is gemodelleerd met het La Bastide-Faber model. Er is een opbrengsttabel gemaakt met een sterke laagdunning en vijf boniteiten.

**Abstract:** In the Netherlands growth and yield research on sycamore was done from 1976 to 2001. This includes studies by the Dorschkamp/IBN research institute and by Wageningen University. Together with the permanent sample plots from the timber prognosis system HOSP, this comprises a dataset of 32 plots with 113 recordings. For the development of top height  $h_{top}$  with age  $t$  Cieszewski's polymorphic model with site index  $h_{50}$  and three additional parameters fitted best. The diameter development up to stand height of 7 m was described with a model of Jansen *et al.*, a power function in  $h_{top}$  and initial spacing ( $N_0$ ). From a stand height of 7 m upwards, the basal area increment ( $i_G$ ) was described by Jansen's *et al.* model based on a power function with  $h_{top}$ ,  $t$ , year of recording ( $yor$ ), and the stand density of Hart ( $S\%$ ). For  $S\% > 16.3$  the basal area increment decreases non-linearly with increasing  $S\%$ . The model contains a correction factor for  $yor$ , although this was not significant, as the year of recording ( $yor$ ), turned out to be not significant. The effect of thinning on the diameter after thinning was modelled with the La Bastide-Faber model. The models were used to construct a yield table with five site classes and one thinning intensity.

**Keywords:** Sycamore, *Acer pseudoplatanus*, Netherlands, yield table, thinning grade, Becking-Hart spacing index, height growth models, power model for basal area increment, La Bastide-Faber model for thinning effects.

Dit rapport is gratis te downloaden op: <https://doi.org/10.18174/444101>

Dit rapport is gebaseerd op de database: Oldenburger, J.F., J.J. Jansen, A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2016. FEM growth and yield data Monocultures – Sycamore. DANS. <http://dx.doi.org/10.17026/dans-xff-cpsk>

## Voorwoord

In Nederland zijn er waarnemingen verricht in permanente proefperken van de gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*) tussen 1976 en 1992.

Jansen *et al.* (1996) nemen in hun tabellenboek geen tabel op voor de esdoorn (de toevoeging “gewone” wordt verder in dit verhaal weggelaten) en raden aan hiervoor de tabel van de es te gebruiken. 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.

Samen met de permanente steekproefpunten van de HOSP is er de huidige studie de beschikking over de gegevens van 29 plots met 102 opnamen in het tijdvak 1976 tot 1999. Voor de hoogtegroei waren er aanvullende gegevens beschikbaar uit onderzoek naar menging van es met esdoorn tussen 1992 en 2001.

In dit rapport wordt de ontwikkeling van opstanden van esdoorn met verschillende dunninggraden geanalyseerd met het doel een groeiemodel te maken bij een ruim scala aan beheerstrategieën. Deze studie is de dertiende in een serie, waarin de groei en productie van douglas (Jansen *et al.*, 2016), Japanse lariks, fijnspar, zomereik, populier, grove den, beuk, Corsicaanse den, Oostenrijkse den, Amerikaanse eik, es en zwarte els werden bestudeerd. De studie volgt waar mogelijk dezelfde werkwijze als de voorgaande studies en vaak zijn delen van de tekst uit deze rapporten (soms ook zonder bronvermelding) overgenomen. Maar vanaf de Amerikaanse eik en volgende rapporten is er sprake van een vereenvoudigde werkwijze, omdat er beduidend minder gegevens ter beschikking zijn en wordt er ook een opbrengsttabel met één dunninggraad gepresenteerd.

Om de toegankelijkheid voor niet Nederlandse lezer te verhogen zijn alle figuren, en formules en veel tabellen van Engelse tekst voorzien.

Hans Jansen,  
Wageningen, 2018

## Inhoud

Voorwoord .....	1
Inhoud .....	2
1. Inleiding .....	4
2. Basismateriaal .....	5
3. Hoogteontwikkeling .....	7
3.1. Modellen voor hoogtegroeï .....	7
3.2 Analyse .....	7
3.3 Uiteindelijke model .....	10
3.3.1 Analyse van de residuen.....	10
3.3.2 Boniteitindeling .....	11
3.4 Conclusie .....	13
4. Opbrengstniveau .....	14
4.1 Diameter- en grondvlakontwikkeling tot een hoogte van 7 m .....	14
4.2 Grondvlakbijgroei .....	15
5. Dunningsysteem.....	18
6. Constructie Opbrengsttabellen .....	20
6.1 Overige allometrische relaties.....	20
6.2 Opbrengsttabellen.....	21
6.3 Vergelijking met andere opbrengsttabellen .....	22
6.3.1 Hoogteontwikkeling .....	23
6.3.2 Productieniveau .....	25
7. Discussie en conclusies.....	27
7.1 Hoogtegroeï.....	27
7.2 Diameter en grondvlak.....	27
7.2.1 Diameterontwikkeling.....	27
7.2.2 Grondvlakbijgroei .....	28
7.3 Dunning .....	28
7.4 Kwaliteit van het model .....	28
Samenvatting.....	30
Summary .....	31
Literatuur.....	32
Bijlage 1. Opbrengsttabel voor gewone esdoorn Nederland 2018.....	34
Toelichting opbrengsttabellen .....	34

Explanation yield tables .....	35
Boniteringfiguur .....	36
Sterke laagdunning.....	37

## 1. Inleiding

Tussen 1976 en 1999 zijn er gegevens verzameld over de groei van esdoorn. Met deze gegevens is het mogelijk modellen te maken die de ontwikkeling van esdoornopstanden bij een variatie aan beheerstrategieën verklaren en mogelijk voorspellen. Eén van de gebruikelijke modellen is een opbrengsttabel. Jansen *et al.* (1996) hebben geen opbrengsttabel voor de esdoorn opgenomen en raden aan hiervoor de tabel voor de es te gebruiken.

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. De opbrengsttabellen zijn te vinden in Bijlage 1.

## 2. Basismateriaal

Sinds 1976 is er in Nederland onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van esdoornopstanden (*Acer pseudoplatanus*) dit betreft één studie, gedurende een ongeveer overlappende periode zijn ook steekproefpunten van de HOSP gemonitord. Daarnaast waren er gebruik gemaakt van onderzoek naar de menging es-esdoorn:

2. Groei- en productieonderzoek Dorschkamp/IBN 1976 – 1992 ten behoeve van opbrengsttabellen. Er zijn 10 proefperken met 31 opnamen;
4. HOSP 1984-1999, in beheer bij Probos. Dit zijn ca. 3000 permanente steekproefpunten uit de 4e bosstatistiek. Hieruit zijn 10 monocultures met esdoorn en 4 gemengde plots van es en esdoorn geselecteerd met in totaal 46 opnamen. In de HOSP is slechts één code voor alle *Acer* soorten gebruikt, daardoor is het mogelijk dat er een Noorse esdoorn tussen zit of zelfs Spaanse aak tussen zit. In de studie is die mogelijkheid verder genegeerd;
8. Nelderproeven Wageningen Universiteit 1992 – 2001 Plantafstand proef met een menging van es en esdoorn. Er zijn 8 proefperken met 36 opnamen;

In totaal gaat het om 32 proefperken met 113 opnamen.

De proefvelden van studie 1 en 2 betreffen proefvakken met een vaste oppervlakte. Soms wordt die oppervlakte kleiner door stormschade. De gegevens zijn daarna opnieuw berekend over de kleinste oppervlakte. 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 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):

$$S\% = \frac{a_{at}}{h_{top}} \cdot 100 = \frac{100}{h_{top}} \cdot \sqrt{\frac{10000}{N_{at}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}} \approx \frac{10745.7}{h_{top} \cdot \sqrt{N_{at}}} \quad (1)$$

In deze definitie is de gemiddelde boomafstand na dunning ( $a_{at}$ ) bepaald met een regelmatig driehoekverband. Het symbool  $h_{top}$  staat voor de opperhoogte.

Van alle proefperken zijn basisgegevens als oppervlakte, kiemjaar en ligging bekend.

De afzonderlijke metingen en berekeningen aan de bomen in de proefperken vormen de basisgegevens. Deze zijn daarna geaggregeerd tot kenmerken per ha per proefperk van voor, na, en van de dunning. De boomgegevens spelen in deze studie alleen een rol om de opstandkenmerken te genereren.

Per proefperk en opname zijn de gegevens beschikbaar, zoals vermeld in Tabel 1. Maar voor de gemengde bossen betreft dit van de meetgegevens alleen de opperhoogte.

Voor een volledige beschrijving van gemeten en berekende gegevens zie de file "Read me - FEM growth and yield data Monocultures – sycamore.pdf" in de database [FEM growth and](#)

[yield data Monocultures – sycamore](#) (Oldenburger *et al.*, 2016). Voor de plots in de gemengde bossen zie de database [FEM growth and yield data Mixed species forest](#) (Bartelink *et al.*, 2016).

De gemengde plots worden alleen in Hoofdstuk 3 gebruikt.

**Tabel 1. Basisgegevens per plot en opname.**

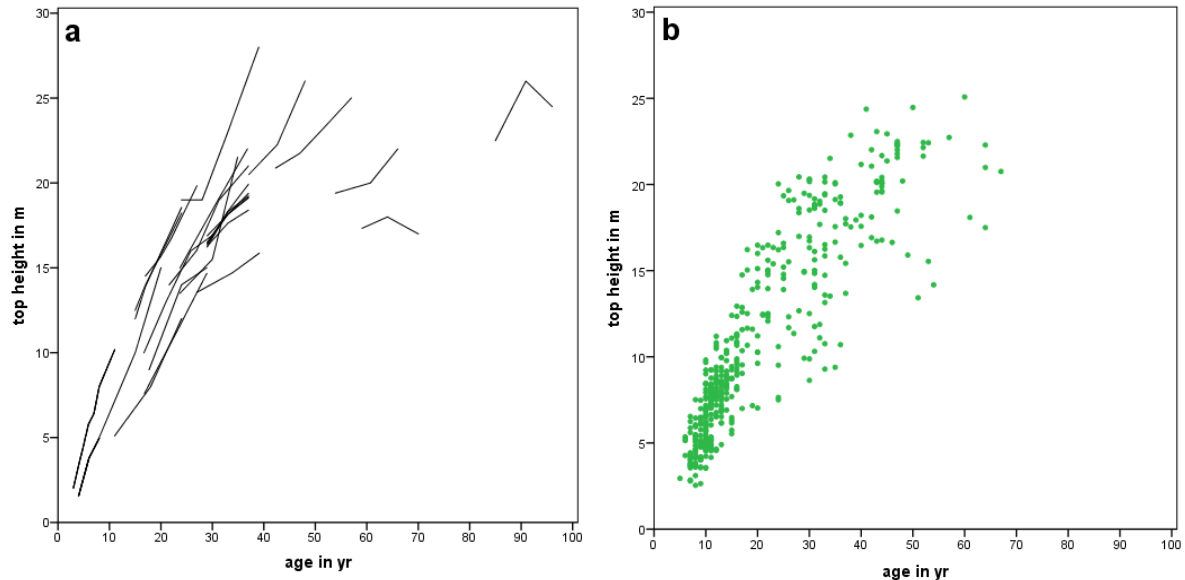
Table 1. Base information per plot and recording

Naam	Symbol	Betekenis
plotnr		Plotnummer
study		Studienummer
region		Regio
area		Plotoppervlakte in ha
yog		Kiemjaar
N0	$N_0$	Beginstamtal
sperc	$S\%$	gemiddelde Hart–Becking Spacing Index in plot
sperc0	$S_0\%$	Actuele Hart–Becking Spacing Index in de opname
nrec		Aantal opnamen
rec		Opname nummer
DOR		Datum van de opname
age	$t$	Leeftijd in jr
htop	$h_{top}$	Opperhoogte in m
hdom	$h_{dom}$	Dominante hoogte in m
ddom	$d_{dom}$	Diameter van de dominante hoogte boom in cm
N_bt	$N_{bt}$	Stamtal per ha voor dunning
G_bt	$G_{bt}$	Grondvlak voor dunning in $m^2/ha$
h_bt	$h_{bt}$	Hoogte van de grondvlak-middenstam in m voor dunning
dg_bt	$d_{bt}$	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm voor dunning
V_bt	$V_{bt}$	Volume voor dunning in $m^3/ha$
N_th	$N_{th}$	Stamtal per ha van de dunning
G_th	$G_{th}$	Grondvlak van de dunning in $m^2/ha$
h_th	$h_{th}$	Hoogte van de grondvlak-middenstam in m van de dunning
dg_th	$d_{th}$	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm van de dunning
V_th	$V_{th}$	Volume van de dunning in $m^3/ha$
N_at	$N_{at}$	Stamtal per ha na dunning
G_at	$G_{at}$	Grondvlak na dunning in $m^2/ha$
h_at	$h_{at}$	Hoogte van de grondvlak-middenstam in m na dunning
dg_at	$d_{at}$	Diameter van de grondvlak-middenstam in cm na dunning
V_at	$V_{at}$	Volume na dunning in $m^3/ha$



### 3. Hoogteontwikkeling

Voor de hoogteontwikkeling zijn er 32 proefperken met 113 opnamen beschikbaar voor analyse. Het merendeel is jonger dan 60 jaar, zie Figuur 1a. Daarnaast is er beschikking over de hoogtegegevens van 461 opstanden uit de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek, zie Figuur 1b.



**Figuur 1. Hoogteontwikkeling in de proefperken in Nederland (a) en hoogte en leeftijd bij waarnemingen in 4<sup>e</sup> Bosstatistiek (b).**

Figure 1. Development of tree height in plots in the Netherlands (a) and height and age at data from Fourth Dutch Forest Inventory (b).

#### 3.1. Modellen voor hoogtegroe

In de opbrengsttabellen tot ongeveer 1970 is de hoogteontwikkeling meestal handmatig gefit. Vanaf 1970 worden over het algemeen niet-lineaire groeifuncties gebruikt om de hoogteontwikkeling te fitten. In de huidige Nederlandse opbrengsttabellen is meestal het Chapman-Richards model gebruikt:

$$h_{top} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^b \quad (2)$$

In Formule (2) is  $S$  de zogenaamde “site index” de proefperkspecifieke constante en de asymptoot in het model. Deze  $S$  kan gezien worden als de afplattingshoogte en het is tevens een maat voor de boniteit, in dit geval een absolute hoogteboniteit. Daarnaast wordt ook de hoogte bij een vaste leeftijd als maat voor de boniteit gebruikt. Voor de esdoorn zal de  $h_{50}$  worden gebruikt

De te onderzoeken modellen zijn Chapman-Richards, Burkhardt-Tennent, Jansen-Hildebrand, Cieszewski, zie Paragraaf 3.2 voor formules en referenties.

#### 3.2 Analyse

De volgende vier modellen zijn onderzocht.

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

$$h_{top} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^b \quad (3)$$

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:

$$h_{top} = S \cdot (1 - e^{-(a_0 + a_1 \cdot S) \cdot t})^b \quad (4)$$

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

$$h_{top} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^{(b_0 - b_1 \cdot S)} \quad (5)$$

4. Het Cieszewski model (2001) gebruikt een referentieleeftijd  $t_{ref}$ , het luidt:

$$h_{top} = h_{ref} \cdot \frac{t^a \cdot (t_{ref}^a \cdot R + b)}{t_{ref}^a \cdot (t^a \cdot R + b)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot b \cdot h_{ref}}{t_{ref}^a}} \text{ and } Z = h_{ref} - c \quad (6)$$

Dit heteromorfe model heeft wel een asymptoot, maar de oplossing moet gevonden worden met formule (6).

#### Stap 1. Keuze voor model met data permanente plots.

De parameters van de heteromorfe modellen van Jansen & Hildebrand, van Burkhart & Tennent en van Cieszewski bleken niet alle significant. Het Chapman-Richards model, verklaarde het meest van de variantie ( $R^2_{adj} = 0.989$ ).

Deze analyse is uitgevoerd op de data zoals te zien in Figuur 1a en een homomorf model lijkt dan de beste oplossing. Als de data van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek (CBS, 1985) in beschouwing worden genomen (zie figuur 1b) dan lijkt een heteromorf model meer geëigend.

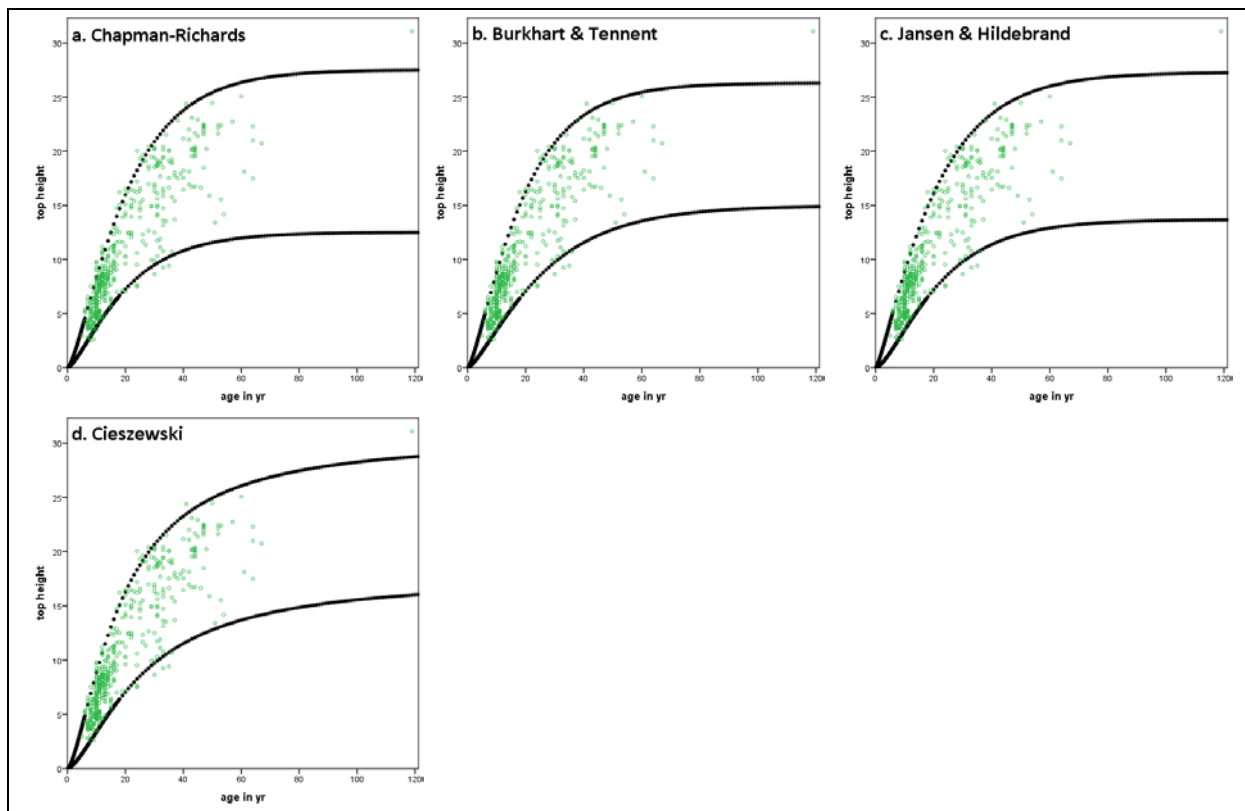
#### Stap 2. Keuze voor model met data 4<sup>e</sup> Bosstatistiek.

Jansen et al. (2018b) gebruikten voor de beuk een methode waarbij de data van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek op basis van voortschrijdende gemiddelden in 4 deelverzamelingen werden ingedeeld. Ze berekenen uiteindelijk een boven- en ondergrens voor de data. Met de gevonden parameters zijn de schattingen van de hoogten voor deze beide grenslijnen berekend en tezamen met de data uit de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek gepresenteerd in Figuur 2.

De vier modellen zijn voor deze vier groepen opgelost en met de methode van Jansen *et al.* (2018a) voor de Japanse Lariks zijn enige eigenschappen van de oplossingen per model weergegeven in een Multi criteria analyse (MCA) weergegeven in Tabel 2. De eigenschappen betreffen:

1. De algemene maat voor de verklaring, hiervoor is  $R^2_{adj}$  gebruikt;
2. De kwaliteit van de schatter van boniteit-parameters door naar de variatiecoëfficiënt  $CV$  ervan te kijken, hoe kleiner deze is hoe nauwkeuriger de boniteit bepaling is;

3. De  $h_{50}$  met de gemiddelde waarde en interval, volgens Figuur 2 moet dat gemiddelde ongeveer 19 m zijn en tussen de 12 en 25 m liggen, maar erg nauwkeurig is dit niet vast te stellen;
  4. De model-parameter  $S$  en een 95% betrouwbaarheidsinterval ervan, en getoetst of deze overeenkomt met de te verwachten maximale afplattingshoogte. De hoogst gemeten op-perhoogte in de permanente plots bleek 28 m bij een leeftijd van 39 jr. en in de 4e bosstatistiek (CBS, 1985) was dat 31 m bij 119 jr. De maximale  $S$ -waarde voor de beste boniteit voor de esdoorn in Nederland zal daarom ruim 31 m moeten bedragen;
  5. De leeftijd waarop de borsthoogte wordt bereikt. Op het tijdstip 0 moet de hoogte ook 0 m zijn, daarna moet de groei in het eerste jaar langzaam op gang komen om vervolgens zeer snel te groeien en meestal zal  $t_{130}$  tussen het 2<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> jaar worden bereikt;
  6. Het al dan significant en relevant zijn van alle parameterschattingen;
  7. Het percentage punten (*out%*) wat buiten de grenzen Figuur 2 valt.
- Normaliter hebben alle groeicurven een buigpunt, hier is geen verdere informatie over beschikbaar om te toetsen;



**Figuur 2. Hoogtewaarnemingen in 4<sup>e</sup> Bosstatistiek en curven van de laagste en hoogste boniteit per model.**

Figure 2. Top height observations in Fourth Dutch Forest Inventory with lowest and highest site curves per model.

In een Multi Criteria Analyse met gelijk gewicht zijn de modellen op basis van deze 7 eigenschappen vergeleken. Daarmee is de keuze gevallen op het model van Cieszewski.

**Tabel 2. Resultaten van niet-lineaire regressie met de geselecteerde modellen in MCA.**

Table 2. Results of nonlinear regression for the selected models in MCA.

	model	$n_{par}$	$R^2_{adj}$	CV	$h_{50}$	S	$t_{130}$	s/ns	out %	result
values	Chapman-Richards	2	0.982	1.3	18 {12;25}	20 {13;28}	3 {2;4}	s	10.2	3.5
	Burkhardt & Tennent	3	0.983	1.6	19 {13;25}	21 {15;26}	3 {2;4}	s	6.7	3.5
	Jansen & Hildebrand	3	0.982	1.4	19 {12;25}	20 {14;27}	3 {2;5}	s	6.7	2
	Cieszewski	3	0.983	0.8	19 {13;25}	24 {18;30}	4 {2;5}	ns	6.7	1
ranking	Chapman-Richards	2	4	2	2.5	2	3	2	4	20
	Burkhardt & Tennent	3	2	4	2.5	4	3	2	2	20
	Jansen & Hildebrand	3	3	3	2.5	3	1	2	2	17
	Cieszewski	3	1	1	2.5	1	3	4	2	15
	best score		max	min	19 {12;25}	> 31	3 {2;5}	s	min	

### 3.3 Uiteindelijke model

In formule (7) en alle volgende vergelijkingen die een onderdeel van het opbrengstmodel vormen worden de parameters genummerd als  $c_1$ ,  $c_2$  enzovoorts. Voor de referentieleeftijd is 50 jaar gekozen. Het model van Cieszewski luidt:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \frac{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)}{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50}}{50^{c_1}}} \text{ and } Z = h_{50} - c_3 \quad (7)$$

Model (7) is daarna opnieuw gefit met de gezamenlijke 113 waarnemingen van de 32 permanente plots van Figuur 1a en de 4 kunstmatige plots met ieder 16 paren ( $h_{top}, t$ ) voor de leeftijden 5, 10, 15 .... 80 jaar, behorend bij de 4 groepen uit de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek en het model van Cieszewski. Met een  $R^2_{adj}$  van 0.989 werden de parameters van Tabel 3 gevonden.

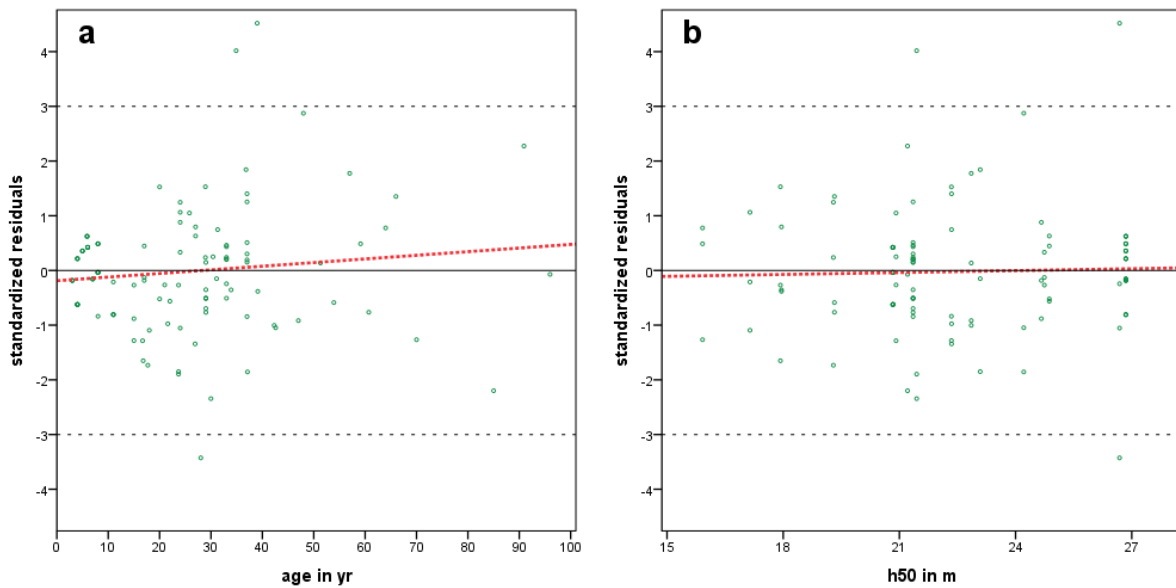
**Tabel 3. Parameters voor Model (7).**

Table 3. Parameters for Model (7).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
$c_1$	1.4881	0.055	1.380	1.596
$c_2$	3236.6528	978.373	1303.375	5169.931
$c_3$	10.0831	4.629	0.937	19.229

#### 3.3.1 Analyse van de residuen

In Figuur 3 zijn de residuen van de CNLR met Formule (7) uitgezet tegen de systeemvariabele leeftijd en de afgeleide systeemvariabele  $h_{50}$ . Er is onzuiverheid is ten opzichte van de leeftijd te zien, deze is echter niet significant en er zijn drie uitbijters aanwezig zijn, die niet verklaard kon worden.

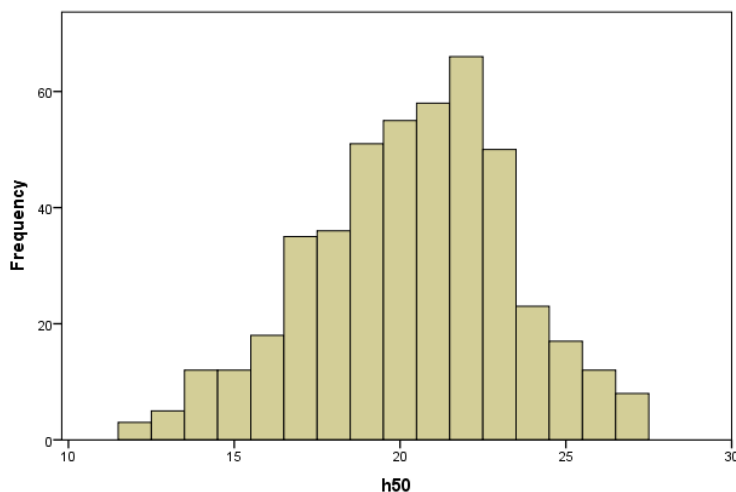


**Figuur 3. Gestandaardiseerde residuen in relatie tot leeftijd (a) en  $h_{50}$  (b), de rode lijn geeft de lineaire fit weer.**

Figure 3. Standardized residuals in relation to top height (a) and  $h_{70}$  (b), the red line is the linear fit.

### 3.3.2 Boniteitindeling

Met de gegevens van de 4<sup>e</sup> bosstatistiek (CBS, 1985) is van 461 monocultures met esdoorn de  $h_{50}$  bepaald volgens de methode van Jansen *et al.* (2016). Dit leidt tot de verdeling over de  $h_{50}$  zoals weergegeven in Figuur 4.



**Figuur 4. Frequentiehistogram van  $h_{50}$  in 4e bosstatistiek.**

Figure 4. Frequency histogram of  $h_{50}$  per forest region in the Fourth Dutch Forest Inventory.

Het frequentiehistogram van Figuur 4 heeft een scheve verdeling. Er is gekozen om het deel tussen 12.8 en 26.8 m in 5 boniteiten in te delen. Zie Tabel 4 voor het resultaat. Met deze indeling heeft 0.9 % van alle opstanden van de esdoorn een betere boniteit dan de I<sup>e</sup> en 1.1 % heeft een slechtere boniteit dan de V<sup>e</sup>.

De beste boniteiten blijken oververtegenwoordigd in de dataset.

**Tabel 4. Indeling in boniteiten gebaseerd op de  $h_{50}$ .**

Table 4. Classification in site classes based on the  $h_{50}$ .

Boniteit site class	$h_{50}$ $h_{50}$	Bereik $h_{50}$ range $h_{50}$	% in dataset % in data set	% in 4 <sup>e</sup> Bosstatistiek % in 4th forest inventory
< I		> 26.8	21.2	0.9
I	25.4	(24.0 – 26.8)	13.1	9.5
II	22.6	(21.2 – 24.0)	28.3	32.1
III	19.8	(18.4 – 21.2)	25.3	31.7
IV	17.0	(15.6 – 18.4)	12.1	18.9
V	14.2	(12.8 – 15.6)		5.9
> V		< 12.8		1.1

De verdeling over de leeftijdsklassen binnen de boniteiten is redelijk homogeen, zie Tabel 5.

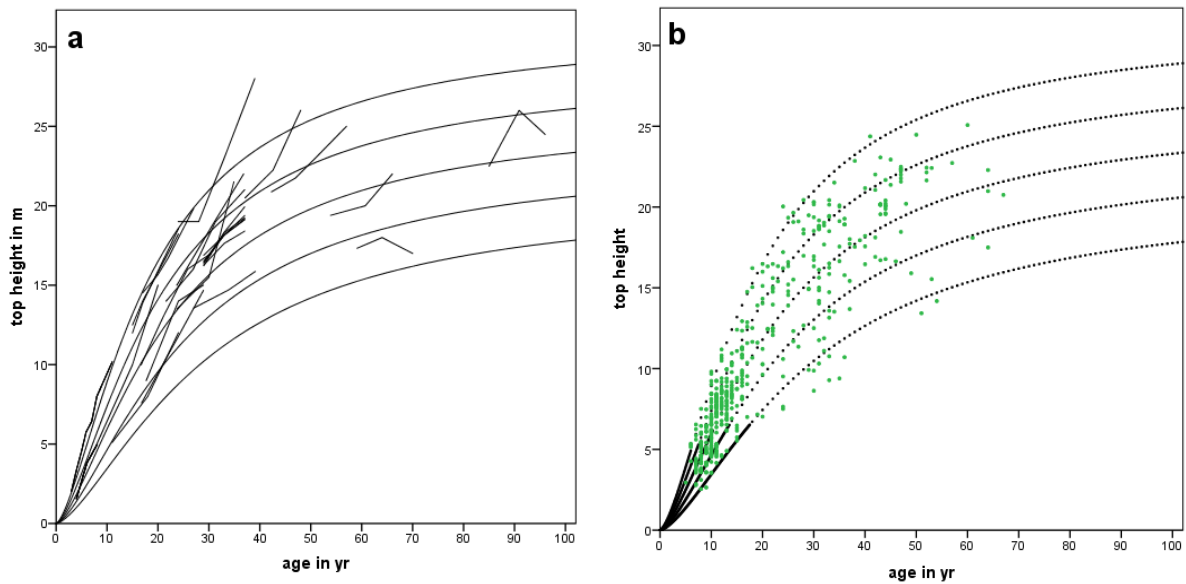
**Tabel 5. Aantal opstanden per leeftijdsklassen en boniteit in 4<sup>e</sup> Bosstatistiek.**

Table 5. Age classes per site class in Fourth National Forest Inventory (number of stands).

leeftijdsklasse	≤ I	II	III	IV	≥ V	totaal
0 - 10	17	29	42	36	4	128
10 - 20	13	58	61	28	11	171
20 - 30	12	17	15	6	6	56
30 - 40	2	20	15	10	8	55
40 - 50	3	18	10	5		36
50 - 60		6			3	9
60 - 70			3	2		5
70 - 80						
≥ 80	1					1
Totaal	48	148	146	87	32	461

In Figuur 5 is de hoogteontwikkeling per boniteit samen met die van de proefperken en met die van de gegevens van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek weergegeven.

Er was bij de opnamen voor de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek maar 1 opstand met esdoorn ouder dan 100 jaar (zie Tabel 4). Deze opstand is in Figuur 5b weggelaten.



**Figuur 5. Boniteitcurven voor de esdoorn in Nederland met de hoogteontwikkeling van de proefperken(a) en met de waarnemingen van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek (b).**

Figure 5. Top height development with site curves for sycamore at experimental plots (a) and at data Fourth National Forest inventory (b).

### 3.4 Conclusie

De hoogtegroeï van de esdoorn is onderzocht en het model van Jansen & Hildebrand is gekozen omdat het model het best voldeed aan een zevental criteria. Hiermee is een indeling in 5 boniteiten gemaakt. Ruim 1 % van de esdoornbossen in Nederland heeft een betere boniteit dan de hier gepresenteerde boniteit I en eveneens ruim 1 % heeft een lagere boniteit dan boniteit V.

## 4. Opbrengstniveau

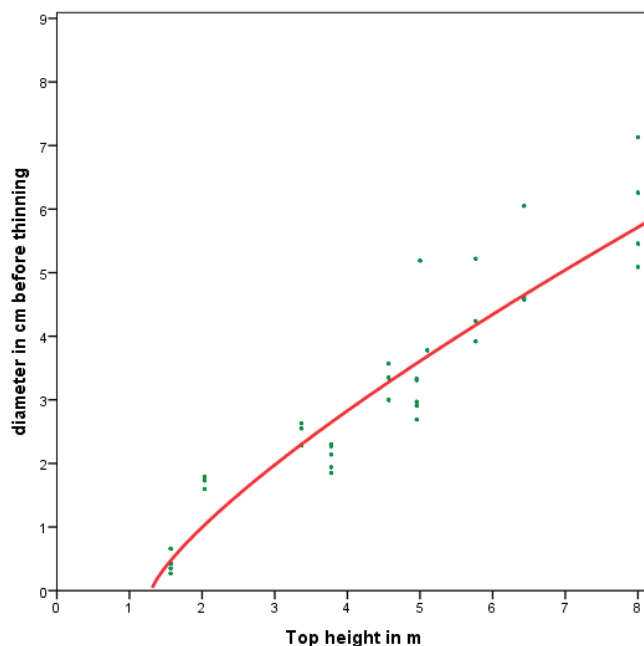
Naast de hoogtegroei vindt ook diktegroei plaats. Dit resulteert in diameterbijgroei  $i_d = (d_2 - d_1)/(t_2 - t_1)$  en grondvlakbijgroei  $i_g = (G_2 - G_1)/(t_2 - t_1)$ . Hoogtegroei en diktegroei samen resulteren in een volumebijgroei. In opbrengsttabellen is een belangrijk doel juist de volumebijgroei te bepalen. Aangezien het boomvolume in de dataset een afgeleide, berekende variabele is en niet berust op een primaire waarneming, zal ook de volumebijgroei indirect worden berekend. Diameter en het totale grondvlak zullen in de loop van de tijd toenemen, maar gelijktijdig neemt ook de hoogte toe.

Jansen et al. (2016) onderzochten voor douglas een aantal groeimodellen. Ze vonden dat tot een opperhoogte van 7 m de opstandontwikkeling het best kan worden verklaard met een voorspelling van de diameter voor dunning. Vanaf een opperhoogte 7 m werd de opstandontwikkeling beter verklaard door de grondvlakbijgroei. In Paragraaf 4.1 zal de diameterontwikkeling en daaraan gekoppeld de grondvlakontwikkeling worden geanalyseerd en gemodelleerd. In Paragraaf 4.2 zal de grondvlakbijgroei vanaf een hoogte van 7 m worden geanalyseerd en gemodelleerd.

### 4.1 Diameter- en grondvlakontwikkeling 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) gebruikten voor de diameterontwikkeling van douglas tot een hoogte van 7 m model (8) zie Figuur 6 voor de data tot een hoogte van 8 m.



**Figuur 6.** Verloop diameterontwikkeling tot een hoogte van 8 meter als functie van opperhoogte met in rood de beste fit met een powerfunctie.

Figure 6. Course of the diameter development up to a height of 8 meter as a function of top height. The red lines represent the best fit with a power function.



Voor de ontwikkeling tot een hoogte van 7 m gebruiken ze het volgende model:

$$g_{bt} = \pi \cdot \left( \frac{d_{bt}}{200} \right)^2 = \pi \cdot \left( \frac{d_7}{200} \right)^2 \cdot \left\{ \left( \frac{h_{top} - 1.30}{7 - 1.30} \right)^{c_4} \right\}^2 \quad \text{for } h_{top} \leq 7 \text{ m} \quad \text{where } d_7 = c_6 + \frac{c_7}{\sqrt{N_0}} \quad (8)$$

Met  $R^2_{adj} = 0.838$  is model (8) opgelost met de parameterschattingen van Tabel 6

**Tabel 6. Parameters voor Model (8)**

Table 6. Parameters for Model (8)

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
$c_4$	0.9560	0.096	0.762	1.150
$c_6$	4.1478	0.530	3.070	5.226
$c_7$	118.6568	50.393	16.132	221.182

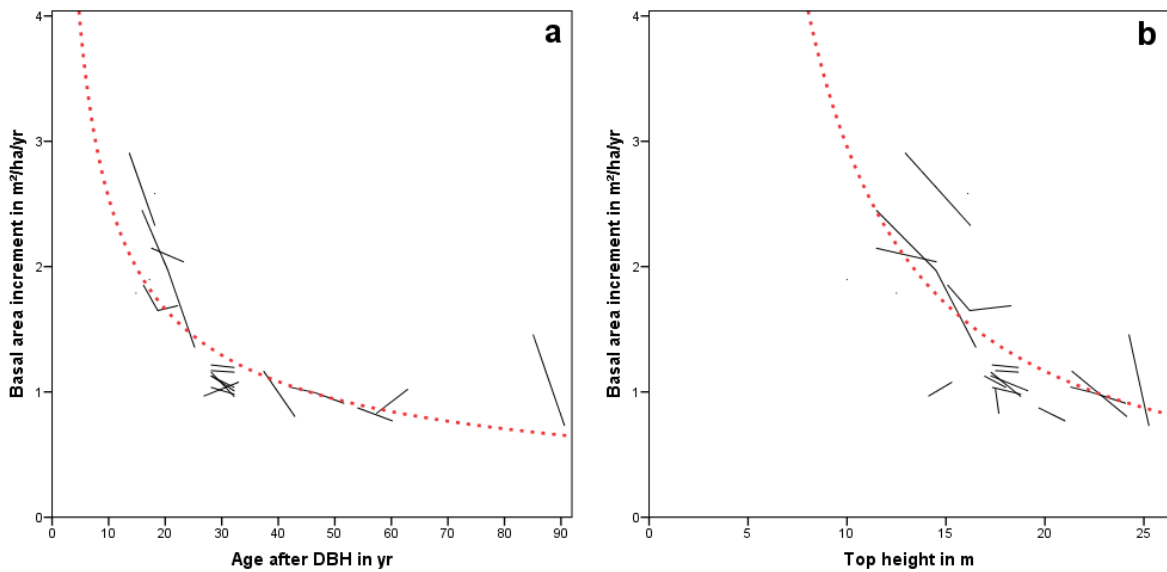
Voor een beginstamtal van 5000 volgt  $d_7 = 5.8$ . Bij de regressiediagnose werden geen punten van aandacht gevonden. Het model van Jansen *et al* (2016) bleek dus ook voor de esdoorn toepasbaar.

#### 4.2 Grondvlakbijgroei

Bij de analyse van de grondvlakbijgroei is als grens is een opperhoogte van 7 m aangehouden, ontwikkeling van het grondvlak tot die hoogte is in Paragraaf 4.1 al besproken. Hier wordt de groei vanaf een opperhoogte van 7 m behandeld.

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

Totaal zijn er 38 opnamen beschikbaar voor de analyse.



**Figuur 7. Grondvlakbijgroei als functie van de leeftijd (a) en opperhoogte (b). De zwarte lijnen geven het verloop binnen één plot aan, de rode lijn de beste fit voor een power-functie over alle opnamen.**

Figure 7. The basal area increment as a function of age (a) and top height (b). The black line represents the course within one plot, the red line represents the best fit with a power function.

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

$$i_{G,jjk} = YI_j \cdot PL_k \cdot f_1(S\%) \cdot f_2(h_{ref}) \cdot \left\{ \frac{F_3(h_{i+1}, t_{i+1}) - F_3(h_i, t_i)}{\Delta t} \right\} \quad (9)$$

where  $YI_j$  = year index and  $PL_k$  = plot level for record  $i$  in year  $j$  of plot  $k$

Voor de douglas bleek  $f_2$  geen significante bijdrage te leveren.

Hierin is  $F_3$  een power-functie. In de Figures 8a en 8b zijn de afgeleiden van  $F_3$  naar  $t$  en  $h_{top}$ , in beide gevallen dus weer een powerfunctie, getekend. Op grond daarvan mag geconstateerd worden dat een powermodel zoals Jansen *et al.* (2016) gebruiken geschikt is om de grondvlakbijgroei te verklaren. Het uitgewerkte model zonder jaarindex  $YI$  of de correctiefactoren  $cf_{80}$  voor de periode voor en na 1980 en zonder plotniveau luidt:

$$i_G = cor_{S\%} \cdot c_8 \cdot \{c_{12} \cdot Term_h/dt + (1 - c_{12}) \cdot Term_t/dt\}$$

$$\text{where } Term_h = (h_{2c} - 1.30)^{c_{11}} - (h_1 - 1.30)^{c_{11}} \text{ and } Term_t = (t_2 - t_{130})^{c_{11}} - (t_1 - t_{130})^{c_{11}}$$

$$t_1 = t_{i,j} \text{ and } t_2 = t_{i,j+1} \text{ for the } j^{th} \text{ record in the } i^{th} \text{ plot}$$

$$h_{2c} = \begin{cases} h_2 & \text{for } h_2 > h_1 \\ h_1 + \hat{h}_2 - \hat{h}_1 & \text{for } h_2 \leq h_1 \end{cases} \quad (10)$$

$h_1$  and  $h_2$  are the top heights at time  $t_1$  and  $t_2$

$$cor_{S\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S\%_0 \leq c_{10} \\ 1 - c_9 \cdot \sqrt{S\%_0 - c_{10}} & \text{for } S\%_0 > c_{10} \end{cases}$$

$S\%_0$  = Hart-Becking spacing index after thinning at time  $t_1$

Met  $R^2_{adj} = 0.724$  en standaarddeviatie  $0.30 \text{ m}^2\text{jr}^{-1}\text{ha}^{-1}$  werden de parameters van Tabel 7 gevonden. Voor de douglas bleek de toevoeging van de leeftijd geen extra verklaring te geven, voor de esdoorn is die wel van belang en  $f_2$  speelt net als bij de douglas geen rol. In een daarna uitgevoerde regressiediagnose kwamen geen punten van nader onderzoek aan de orde.

**Tabel 7. Parameterschatting met Model (10)**

Table 7. Parameter estimation of Model (10)

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
$c_8$	24.5929	1.509	21.636	27.550
$c_9$	0.0554	0.024	0.007	0.103
$c_{10}$	16.2816	3.327	9.512	23.051
$c_{11}$	0.4491	0.114	0.217	0.681
$c_{12}$	0.3243	0.119	0.082	0.567

## 5. Dunningstelsysteem

In de dunningproeven van studie 2 en 4 zijn verschillende vaste dunninggraden nagestreefd (zie Tabel 8).

**Tabel 8. Dunninggraden**

Table 8. Thinning grades

<i>Tgr</i> <sub>0</sub>	S% bij 50 jr	Omschrijving
1	13	zonder dunning
2	16	zwakke laagdunning
3	19	mate laagdunning
4	22	sterke laagdunning
5	25	zeer sterke laagdunning
6	28	open stand

Er is reden om aan te nemen dat de dunninggraad, zoals hier gedefinieerd via het S %, op latere leeftijd moet stijgen omdat de vorm wijzigt zodra topsterfte optreedt.

Het model luidt dan:

$$S\% = \begin{cases} 13 + 3 \cdot (Tgr_0 - 1) & age \leq 50 \\ 13 + 3 \cdot (Tgr_0 - 1) + c_{13} \cdot (age - 50) & age > 50 \end{cases} \quad (11)$$

Vanaf de eerste dunning of sterfte tot een leeftijd van 50 jaar komt het S %, behorend bij de in te stellen dunninggraad *Tgr*<sub>0</sub>, overeen met die uit de tweede kolom van de tabel, daarna loopt het S % langzaam op.

Een model om *c*<sub>13</sub> te schatten luidt:

$$S\%_{ij} = \begin{cases} S\%_j & age \leq 50 \text{ and } h_{top} > 7 \\ S\%_j + c_{13} \cdot (age_{ij} - 50) & age > 50 \text{ and } h_{top} > 7 \end{cases} \quad \text{for the } i^{th} \text{ record in the } j^{th} \text{ plot} \quad (12)$$

Er waren onvoldoende waarnemingen boven de 50 jaar om *c*<sub>13</sub> te schatten.

Er zijn drie opbrengsttabellen voor esdoorn in West-Europa beschikbaar voor vergelijking. De daar gevonden waarden van *c*<sub>13</sub> verschilden enorm (van 0.0178 tot 0.1020). Gekozen is *c*<sub>13</sub> = 0.0466 de waarde die bij de es (Jansen *et al.*, 2018c) werd gevonden.

Jansen *et al.* (2016) voorspellen de diameter na dunning met een modificatie van het model van La Bastide & Faber (1972):

$$d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ R \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - R \right\} \quad (13)$$

where  $R = c_{14} + c_{15} \cdot h_{50} + c_{16} \cdot \sqrt{Tgr} + c_{17} \cdot t$

Bij de analyse zijn alle opnamen uitgesloten waarbij er minder dan 4 bomen uit het proefperk waren verdwenen, omdat dit meestal geen dunning maar sterfte betreft. Ook opnamen waarbij de diameter voor dunning hoger was dan die na dunning zijn uitgesloten, omdat dit geen normale laagdunning betreft. Door die selectie zijn er 19 waarnemingen beschikbaar. Geen van de factoren  $h_{50}$ ,  $Tgr$  of  $t$  bleek significant. Daarom is het originele model van La Bastide & Faber gefit:

$$d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ c_{18} \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - c_{18} \right\} \quad (14)$$

Met een  $R^2_{adj}$  van 0.987 werd voor de parameter gevonden  $c_{18} = 0.1830$  in een 95% betrouwbaarheidsinterval  $\{0.094; 0.272\}$ .

## 6. Constructie Opbrengsttabellen

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

Al eerder is besloten een indeling in relatieve boniteiten te maken, met daaraan gekoppeld de "hoogte" op 50 jaar. Er is gekozen voor de volgende presentatie van gegevens op dezelfde wijze als voor de douglas door Jansen *et al.* (2016). Er zijn echter geen data beschikbaar om de dominante hoogte en dominante diameter te bepalen, dus deze gegevens komen niet meer voor in deze opbrengsttabellen.

Voor een groot aantal van deze gegevens kunnen de gevonden relaties in de voorafgaande hoofdstukken worden gebruikt. Maar er zullen nog wat allometrische relaties gefit moeten worden, voor variabelen die tot nu toe nog niet voorkwamen.

### 6.1 Overige allometrische relaties

#### Gemiddelde opstandhoogte

Jansen *et al.* (2016) vonden voor de gemiddelde hoogte ( $h_g$ ) na dunning een powerfunctie gevonden met in de loop van de ontwikkeling wijzigende parameters:

$$h_{at} = \begin{cases} h_{at(2)} & \text{for } h_{top} \leq 1.30 \text{ m} \\ h_{at(2)} & \text{for } h_{at(1)} \leq h_{at(2)} \\ h_{at(1)} & \text{else} \end{cases}$$

$$\text{where } h_{at(1)} = (c_{19} + c_{20} \cdot \text{age}) \cdot h_{top}^{(c_{21} - c_{22} \cdot h_{top})} \quad (15)$$

$$h_{at(2)} = c_{23} \cdot h_{top} \quad \text{and } c_{23} = 0.8 \text{ (a set value)}$$

Met een  $R^2$ adj van 0.994 werden de volgende parameters gevonden:  $c_{19} = 0.8198$ ,  $c_{20} = -0.0007878$ ,  $c_{21} = 1.0647$  en  $c_{22} = 0$  (niet significant). De begrenzing met de  $c_{23}$  parameter is achteraf ingesteld omdat de basisformule voor lage leeftijden onrealistische waarden opleverde.

Voor de hoogte voor dunning volgde:

$$h_{bt} = c_{24} \cdot h_{at} \quad \text{with } R^2\text{adj} = 0.999 \text{ and } c_{24} = 0.9961 \quad (16)$$

#### Opstandvolume

In de data zijn de boomvolumes bepaald met de Formule (17) voor esdoorn zijn er geen gegevens bekend en de constanten van de es van Schoonderwoerd *et al.* (1991) zijn gebruikt. Ze gebruikten het Schumacher-Hall-model (1933):

$$v = d^{c_{25}} \cdot h^{c_{26}} \cdot e^{c_{27}} \quad \text{met } d \text{ in cm, } h \text{ in m en } v \text{ in dm}^3 \quad (17)$$

Voor deze soort geldt:  $c_{25} = 1.77681$ ,  $c_{26} = 1.14282$  en  $c_{27} = -3.07536$ .

Formule (17) is niet geschikt om het opstandvolume te bepalen. In het verleden werd gebruik gemaakt van de gemodificeerde opstandvolumefunctie van Heisterkamp (1981), de functie luidt:

$$V = c_{28} \cdot G^{c_{29}} \cdot h_{top}^{(c_{30} + c_{31} \cdot t_0)} \text{ with } G \text{ in m}^2/\text{ha}, h_{top} \text{ in m and } V \text{ in m}^3/\text{ha} \quad (18)$$

where  $t_0 = t - t_{1.30}$

Met een  $R^2$ adj van 0.993 werden de volgende parameters gevonden:  $c_{28} = 0.6842$ ,  $c_{29} = 0.9649$ ,  $c_{30} = 0.9034$  en  $c_{31} = -0.0006260$ .

De formule van Heisterkamp is ontwikkeld voor opbrengsttabellen die een startwaarde hadden voor de opperhoogte, voor esdoorn was die 7 m. Daar beneden moet met de Formule (17) worden gewerkt.

### Beginstamtal

Als beginstamtal is gekozen voor 5000 (=  $c_{32}$ ).

### Grenswaarde

De steeds terugkerende grenswaarde voor de opperhoogte van 7 m is de parameter  $c_{33}$  in de modellen. En geeft daarbij de boven grens aan voor de jeugdgroei.

## 6.2 Opbrengsttabellen

Allereerst is gekozen welke tabellen gepubliceerd zullen worden. Er is gekozen voor een opbrengsttabel voor Nederland met één dunninggraad en vijf boniteiten.

In Tabel 4 is de verdeling over boniteiten en leeftijdsklassen gegeven voor het aantal opstanden in de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek van esdoorn in Nederland. Dit geeft de behoefte aan tabellen weer, terwijl Tabel 9 een indicatie van de mogelijkheden geeft.

**Tabel 9. Leeftijdinterval in dataset per dunninggraad en boniteit.**

Table 9. Age interval in the data set by thinning grade and site class.

Dunninggraad	leeftijdinterval per boniteit				
	I	II	III	IV	V
zonder dunning	3-11	85-96			
zwakke laagdunning	3-24	29-37	4-30		
matige laagdunning	17-27	8-37			
sterke laagdunning	37-48		54-66	11-24	
zeer sterke laagdunning				27-39	
open stand		42-57		17-70	

Extrapolatie buiten het waarnemingsmateriaal moet in principe beperkt worden maar is onvermijdelijk (zie Tabel 9). Ondanks dat er nauwelijks data boven de 50 jaar aanwezig zijn is de maximale leeftijd is op 80 jaar gesteld.

Als dunninggraad is voor esdoorn gekozen voor een sterke laagdunning, omdat deze gemiddeld het vaakst voorkomt in de data.

Jansen *et al.* (2016) geven voor de douglas hoe deze geconstrueerd wordt. Deze werkwijze is gevolgd, uiteraard met aanpassing voor afwijkende onderdelen.

In Tabel 10 is een lijst met de geschatte parameters opgenomen.

**Tabel 10. Lijst met alle parameters.**

Table 10. List with all parameters.

Parameter	Formula number	Value
C <sub>1</sub>	(7)	1.4881430
C <sub>2</sub>	(7)	3236.6527913
C <sub>3</sub>	(7)	10.0831475
C <sub>4</sub>	(8)	0.9559997
C <sub>5</sub>		
C <sub>6</sub>	(8)	4.1477682
C <sub>7</sub>	(8)	118.6568260
C <sub>8</sub>	(10)	24.5929202
C <sub>9</sub>	(10)	0.0553978
C <sub>10</sub>	(10)	16.2815513
C <sub>11</sub>	(10)	0.4490588
C <sub>12</sub>	(10)	0.3243232
C <sub>13</sub>	(11)	0.0466489
C <sub>14</sub>	(13)	0.1829542
C <sub>15</sub>	(13)	0
C <sub>16</sub>	(13)	0
C <sub>17</sub>	(13)	0
C <sub>18</sub>	(14)	0.1829542
C <sub>19</sub>	(15)	0.8197956
C <sub>20</sub>	(15)	-0.0007878
C <sub>21</sub>	(15)	1.0646815
C <sub>22</sub>	(15)	0.0000000
C <sub>23</sub>	(15)	0.8000000
C <sub>24</sub>	(16)	0.9960664
C <sub>25</sub>	(17)	1.7768100
C <sub>26</sub>	(17)	1.1428200
C <sub>27</sub>	(17)	-3.0753600
C <sub>28</sub>	(18)	0.6841748
C <sub>29</sub>	(18)	0.9648502
C <sub>30</sub>	(18)	0.9034014
C <sub>31</sub>	(18)	-0.0006260
C <sub>32</sub>	N <sub>0</sub>	5000
C <sub>33</sub>		7

In Paragraaf 6.3 worden enkele eigenschappen van de uiteindelijk tabellen vergeleken met andere opbrengsttabellen. In Bijlage 1 zijn de geproduceerde opbrengsttabellen weergegeven.

### 6.3 Vergelijking met andere opbrengsttabellen

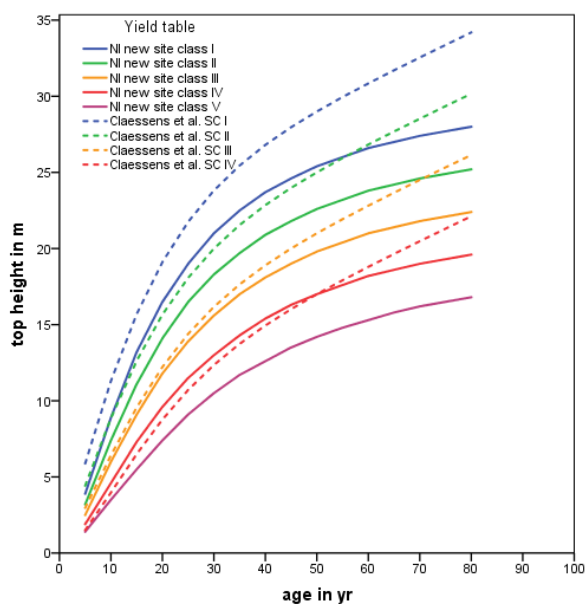
Hierna zijn enkele andere opbrengsttabellen voor de esdoorn in West-Europa vergeleken met het hier gevonden resultaat, dat betreffen de tabel voor Denemarken van Kjølby (1958), de tabel van Nagel (1985) voor Sleeswijk-Holstein, Lockow (2003) geeft een tabel voor het



noordoostduitse laagland en die van Hamilton & Christie (1971) voor UK. De tabel van Kjølby (1958) bestaat alleen uit een aantal grafische weergaven. Voor Nederland is geen tabel beschikbaar. Claessens *et al.* (1999) geven voor België geen volledige opbrengsttabel, maar wel boniteringscurven.

### 6.3.1 Hoogteontwikkeling

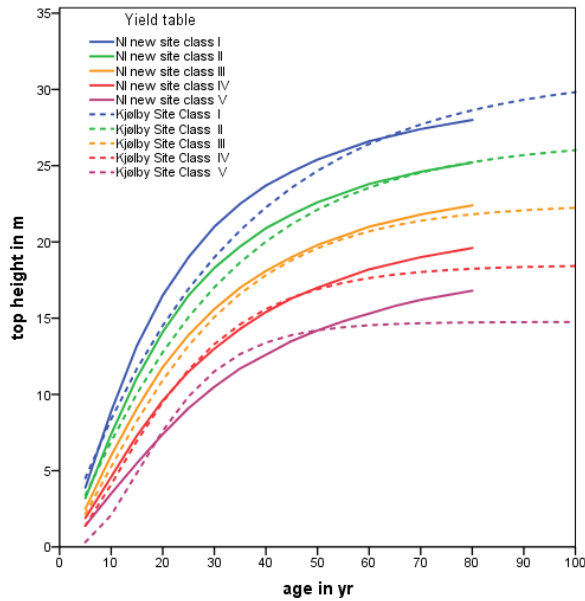
Claessens *et al.* (1999) geven voor Wallonië 4 boniteringscurven met een  $h_{50} = 29, 25, 21$  en  $17\text{m}$ , deze komen tot 40 à 50 jaar zeer goed overeen met respectievelijk een O<sup>e</sup>, I<sup>e</sup>, III<sup>e</sup> en IV<sup>e</sup> boniteit van de nieuwe tabellen voor Nederland (zie Figuur 8). De uiteinden van de curven in de nieuwe tabel van Nederland vlakken echter daarna af. Maar Claessens *et al.* hebben net als wij geen data in dit traject, de verschillen zijn dus model-based.



**Figuur 8. Hoogteontwikkeling bij Claessens *et al.* en het nieuwe model voor Nederland.**

Figure 8. Height development at Claessens's *et al.* site curves and the new model for Netherlands.

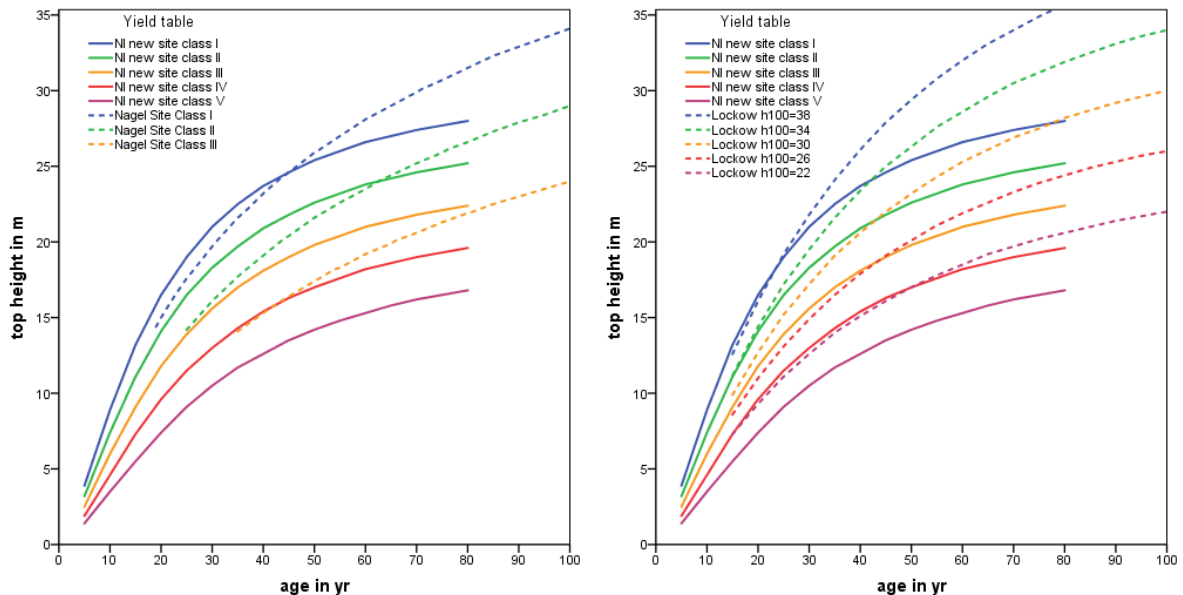
Kjølby (1958) onderscheidt 5 boniteiten, waarvan boniteit III zeer goed overeenkomt met die van de nieuwe tabel voor Nederland liggen, maar voor boniteit V houdt die gelijkenis vanaf 30 jaar al op en vakt de curve erg af (zie Figuur 9), de andere boniteiten liggen daartussenin.



**Figuur 9. Hoogteontwikkeling bij Kjølby en het nieuwe model voor Nederland.**

Figure 9. Height development at Kjølby's site curves and the new model for Netherlands.

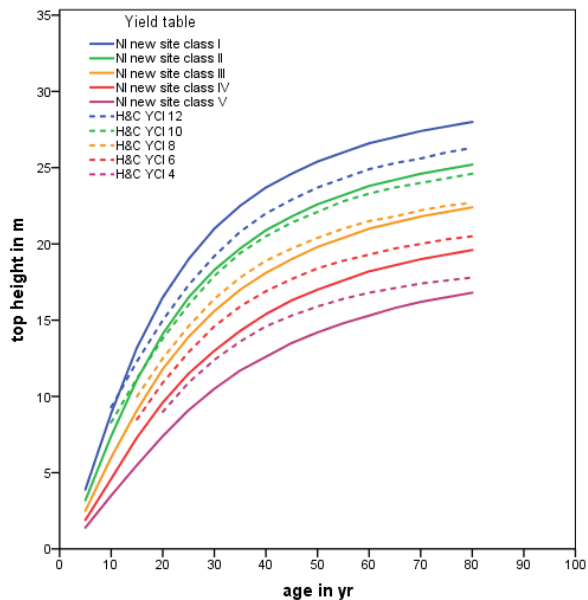
Nagel (1985) onderscheidt 3 boniteiten. De hoogteontwikkeling is er veel steiler dan in de nieuwe tabel voor Nederland, (zie Figuur 10a). De vorm van de curven van Lockow (2003) is nagenoeg gelijk aan die van Nagel, Lockow onderscheidt meer boniteiten en zijn curven gaan door tot 140 jaar.



**Figuur 10. Hoogteontwikkeling Nagel (links) en die van Lockow (rechts) beide in vergelijking met het nieuwe model voor Nederland.**

Figure 10. Height development at Nagel's site curves and the new model for Netherlands (left) and those at Lockow's and the new model for Netherlands (right).

De hoogteontwikkeling bij Hamilton & Christie (1971) vertoont voor de III<sup>e</sup> boniteit zeer grote overeenkomst met dezelfde boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland, maar voor de overige boniteiten is er groter verschil (zie Figuur 11). Deze tabel is gemaakt voor zowel es, esdoorn als berk.



**Figuur 11. Hoogteontwikkeling bij Hamilton & Christie en het nieuwe model voor Nederland.**

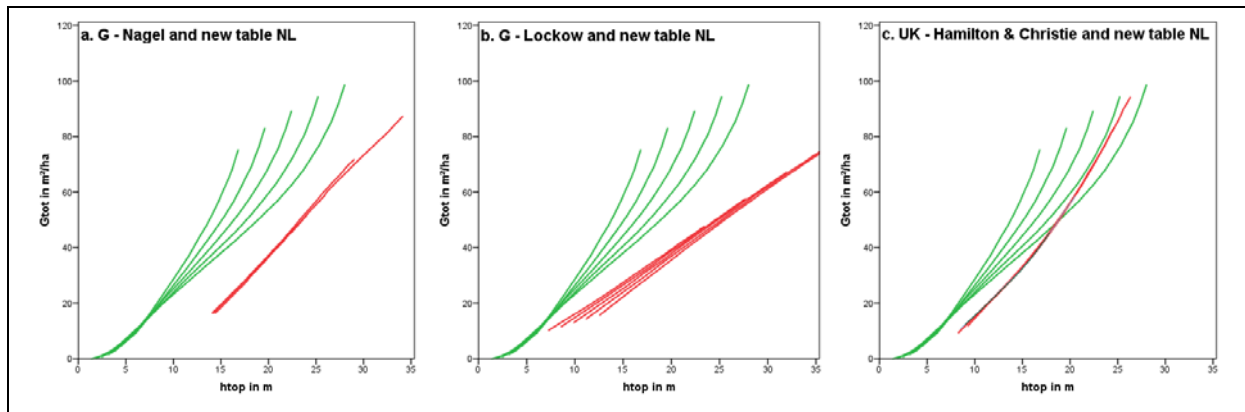
Figure 11. Height development at Hamilton & Christie's site curves and the new model for Netherlands.

Er blijken gemeenschappelijke punten met de nieuwe tabel voor Nederland, vooral Kjølby en Hamilton & Christie met de III<sup>e</sup> boniteit. Bij Claessens *et al.* en Nagel is de hoogteontwikkeling steiler.

### 6.3.2 Productieniveau

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

In Figuur 12 is de totale grondvlakproductie per opbrengsttabel uitgezet tegen de opperhoogte voor alle boniteiten. De meeste opbrengsttabellen hebben als startpunt een hoogte tussen 8 tot 10 m, en de nieuwe tabel vanaf 1.3 m.



**Figuur 12. 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 Nagel (a), Lockow (b) en Hamilton & Christie (c).**

Figure 12. Total basal area production  $G_{tot}$  and top height for the new yield table (in green) in comparison with other yield tables (in red) by Nagel (a), Lockow (b) and Hamilton & Christie (c)

De hellinghoeken bij Nagel en bij Hamilton & Christie komen goed overeen met die van de nieuwe tabel. Bij zowel Nagel als bij Hamilton & Christie is het aanvang-niveau lager om dat daar vroege dunningen niet zijn meegenomen in de tabel. De tabel van Nagel start pas bij een hoogte 15 m, het verschil met de nieuwe Nederlandse tabel bedraagt dan gemiddeld  $30 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ . Een groot deel van dit verschil is te verklaren dat er in de nieuwe tabel voor Nederland dan al  $24 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$  is gedund. Bij Hamilton & Christie is het verschil minder op dunningen terug te voeren. In beide gevallen lijkt het productieniveau van de nieuwe tabel na correctie voor vroege dunningen ongeveer  $6 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$  hoger te liggen. De hellinghoek bij Lockow is veel lager terwijl het aanvang-niveau voor de beste boniteit nagenoeg gelijk is. Lockow (2005) constateert dit verschil met Nagel zelf ook, en verklaart dit door groeiplaatsverschillen. Zowel de modellen van Nagel als dat van Hamilton & Christie voldoen aan de wet van Eichhorn, dat van de nieuwe tabel en van Lockow niet.

## 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. Bij het schatten van de parameters van de verschillende modellen zijn naast de 29 plots van Figuur 1a ook de 461 opstanden van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek (CBS, 1985) uit Figuur 1b gebruikt. Met de analysemethode die Jansen *et al.* (2018b) voor de beuk gebruikten zijn 4 groepen in de data van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek onderscheiden die vervolgens als kunstmatige plots zijn behandeld. Met een MCA zijn de resultaten van de analyses vergeleken en het model van Cieszewski (2001) is gekozen:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \frac{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)}{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50}}{50^{c_1}}} \text{ and } Z = h_{50} - c_3 \quad (19)$$

Voor boniteren geldt dan:

$$\rightarrow h_{50} = h_{top} \cdot \frac{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)} \text{ and } S = h_{50} \cdot \frac{50^{c_1} \cdot R + c_2}{50^{c_1} \cdot R + c} \quad (20)$$

De asymptoot, hier de site index  $S$  genoemd, is een maat voor de geschiktheid van de standplaats (boniteit) voor de esdoorn, in de praktijk wordt echter  $h_{50}$  als maat voor de boniteit gebruikt. Boniteren is met dit model lastig, want vereenvoudigd staat in Formule (20)

$h_{50} = f(h_{top}, t, h_{50})$ , je moet dus met een startwaarde voor  $h_{50}$  werken en iteratief naar een oplossing werken.

De  $R^2$ adj bleek met een waarde van 0.989 ongeveer gelijk aan wat gemiddeld in de eerdere studies werd gevonden.

### 7.2 Diameter en grondvlak

In Paragraaf 4.2 is het model voor de lopende bijgroei van het grondvlak ontwikkeld. Dit model start na het bereiken van een opperhoogte van 7 m. In Paragraaf 7.2.2 wordt hierop ingegaan. Om een startwaarde voor de diameter voor dunning en het grondvlak per ha voor dunning te hebben op het tijdstip  $t_7$  is in Paragraaf 4.1 een model ontwikkeld voor de diameterontwikkeling. In Paragraaf 7.2.1 wordt dit besproken.

#### 7.2.1 Diameterontwikkeling

In Paragraaf 4.1 is het model Jansen *et al.* (2018b) voor de diameterontwikkeling gebruikt, in vereenvoudigde vorm luidt dit:

$$d_{bt} = f_2(h_{top}, d_7) \text{ for } h_{top} \leq 7$$

$$\text{where } d_7 = f_1(h_{50}, N_0) \text{ (the diameter at a height of 7 m)} \quad (21)$$

$$N_0 = \text{Initial number of trees}$$

Voor  $d_7$  werd een waarde van 5.8 cm gevonden voor  $N_0 = 5000$ . Vergelijking met andere opbrengsttabellen is niet mogelijk.

### 7.2.2 Grondvlakbijgroei

In Paragraaf 4.2 werd het model dat Jansen *et al.* (2016) voor de grondvlakbijgroei voor de douglas vonden gebruikt, in vereenvoudigde vorm luidt dit:

$$i_{G,jjk} = f_1(S\%) \cdot f_2(h_{50}) \cdot \left\{ \frac{F_3(h_2, t_2) - F_3(h_1, t_1)}{t_2 - t_1} \right\} \quad (22)$$

for the  $j^{\text{th}}$  plot at age  $i = t_m = (t_1 + t_2) / 2$  in the  $k^{\text{th}}$  year of recording

Een power-functie voor  $F_3$  het meest geschikt. De term voor de hoogte in  $F_3$  bleek niet significant. Net als bij de douglas (Jansen *et al.* 2016) stijgt de grondvlakbijgroei met toenemende boniteit, de stijging is niet alleen een gevolg van  $F_3$ , maar ook  $f_2$  was actief als  $\sqrt{h_{50}}$ . De correctiefactor voor de grondvlakbijgroei  $f_1$  was niet significant. Ook hier is externe controle niet mogelijk, weinig data, maar de  $R^2$ adj is vrij hoog

### 7.3 Dunning

Om de dunning te kwantificeren is een dunninggraad gebruikt. De in Duitsland gebruikelijke indeling met een A- tot en met D-graad gebaseerd op het dunnen van bomen behorend tot een of meerdere Kraftse boomklassen is in Nederland nooit aangeslagen. Becking (1953) vindt deze methode te weinig kwantitatief en kiest voor een 5 % (volgens Hart, 1928) van 16 % voor een zwakke laagdunning, met 3 % erbij is dan sprake van de volgende dunninggraad, namelijk bij 19 % een matige laagdunning. In Tabel 8 is een volledig overzicht van het 5 % en de bijbehorende namen. In andere opbrengsttabellen is een geleidelijk toename een bepaald 5 % te zien vanaf ongeveer 50 jaar. Dit is logisch omdat op latere leeftijd de kroonvorm verandert, waardoor bij gelijkblijvende standruimte een hogere 5 % nodig is. De mate van deze verandering kon niet geschat worden en twee vergeleken opbrengsttabellen leverden geen eenduidig oplossing, gekozen is om dezelfde waarde als bij es is gebruikt in Formule (11) weergegeven. Het ratiomodel (13) van La Bastide en Faber (1972) is gebruikt waarbij de ratio een constante factor is.

### 7.4 Kwaliteit van het model

In Tabel 11 is de groeiklasse per boniteit aangegeven in vergelijking met andere opbrengsttabellen. Deze groeiklasse is het totaal geproduceerde (en deels geoogste) gemiddelde spilhoutvolume in  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$  bij een leeftijd van 70 jaar. De nieuwe tabel past niet binnen de

range van de vergeleken tabellen, maar het verschil met Lockow is gering voor de beste boniteit en met de tabel van Nagel voor de slechtste boniteit.

**Tabel 11. Groeiklasse per dunninggraad en boniteit.**

Table 11. Yield class (mean annual volume increment at 70 yr.) per thinning grade and site class.

Yield table	Thinning grade	Site class				
		I	II	III	IV	V
New table Netherlands	heavy	13.1	11.3	9.5	7.8	5.9
Lockov, 2003	moderate to heavy	12.9	9.7	7.6	5.7	4.1
Nagel, 1985	heavy	10.9		8.3		5.2
Kjølbj, 1958	heavy	10.8	9.0	7.0	5.9	
Hamilton & Christie, 1971	open stand	10.3	8.7	7.0	5.3	3.7

In Tabel 3 blijkt dat het totale bereik voor de  $h_{50}$  12.8 tot 26.8 m bedraagt voor de boniteiten I tot V. De hoogst geschatte  $h_{50}$  bij de data van de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek bedroeg 31 m, de daarbij behorende S-waarde zou dan maximaal 36.6 m bedragen.

Volgens <https://www.monumentaltrees.com/nl/hogtereconds/nld/> (geraadpleegd 10-12-2017) staat de hoogste esdoorn (37.5 m met een leeftijd van ca 150 jaar) van Nederland in Bronbeek te Arnhem. De  $h_{50}$  van een opstand met gelijke hoogte en leeftijd zou dan 31.9 m moet zijn. In de data van het onderzoek komt zo'n hoogte niet voor en ook in de 4<sup>e</sup> bosstatistiek is de maximale opstandhoogte beduidend lager (31 m, maar de beste daaronder is 25 m). De kans dat er standplaatsen in Nederland zijn waar het groeimodel niet toepasbaar is lijkt daarom onwaarschijnlijk, wel zijn er standplaatsen met een betere boniteit dan de I<sup>e</sup>.

## Samenvatting

Dit is een rapport over de groei en productie van de gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*) 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. Met de gevonden relaties en andere allometrische relaties is een opbrengsttabel opgesteld met één dunninggraad.

De gebruikte dataset betreft de gegevens die tussen 1976 en 1992 in Nederland in groei- en productieonderzoek bij de esdoorn in 10 proefperken zijn verzameld door de voormalige Dorschkamp/IBN. Daarnaast zijn 10 plots uit de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek en later de HOSP gebruikt, en de hoogtewaarnemingen in 12 proefperken in gemengde es/esdoorn proefperken. In totaal 113 opnamen in 32 proefperken. Daarnaast zijn de hoogtegegevens in 461 esdoornbossen uit de 4<sup>e</sup> Bosstatistiek gebruikt.

Per opname zijn leeftijd, opnamedatum en opperhoogte bekend en per toestand voor, na en van de dunning stamtaal, grondvlak, diameter, hoogte en volume.

De hoogteontwikkeling is onderzocht met vier bekende groeimodellen en bleek het best te verklaren met het model van Cieszewski (2001), dit heteromorfe model luidt als volgt:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \left\{ t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2) \right\} / \left\{ 50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2) \right\}$$
. Hierin is  $h_{50}$  een proefperkspecifieke parameter en maat voor een absolute hoogteboniteit,  $c_1$ ,  $c_2$  en  $c_3$  soortspecifieke parameters die

de vorm van de curve bepalen, met  $R = Z + \sqrt{Z^2 + 2 \cdot c_2 \cdot h_{50} / 50^{c_1}}$  en  $Z = h_{50} - c_3$ . De  $R^2$ adj bleek 0.989. De hoogteontwikkeling bij Claessens *et al.* (1999) voor België en de hoogteontwikkeling in de opbrengsttabel van Hamilton & Christie (1971) voor Groot-Brittannië vertonen grote overeenkomst. De hoogteontwikkeling bij Kjølby (1958) voor Denemarken komt voor boniteit I en II redelijk overeen, maar voor lagere boniteiten neemt de hoogteontwikkeling bij Kjølby vanaf 35 jaar sterk af. Bij Nagel (1985) en Lockow (2003) voor Duitsland is er overeenkomst tot 40 à 50 jaar daarna zijn de curven in Duitsland steiler.

De diameterontwikkeling tot een hoogte van 7 m. werd het best verklaard met het model van Jansen *et al.* (2016)  $d_{bt} = d_7 \cdot f_1(h_{top})$  met  $d_7 = f_2(N_0)$ . De  $R^2$ adj bleek 0.838 en  $d_7 = 5.8$  cm bij  $N_0 = 5000$ . Voor het traject boven een hoogte van 7 m is de grondvlakbijgroei gemodelleerd met het model van Jansen *et al.* (2016):  $i_G = f(h_{50}, h_{top}, t, S\%, yor)$  waarbij gebruik gemaakt is van een powermodel. Voor  $S\% > 16.3$  daalt de grondvlakbijgroei niet-lineair met gemiddeld 1.6 % per dunninggraad verschil. De  $R^2$ adj is 0.724. Het jaar van opname ( $yor$ ) en  $h_{50}$  bleken niet significant. Het model is in strijd met de wet van Eichhorn. Voor het effect van de dunning op de diameter na dunning ( $d_{at}$ ) is het model van La Bastide & Faber (1972) gebruikt.

Met de geïntegreerde modellen is een opbrengsttabel gemaakt voor een leeftijd tot 80 jaar met 5 boniteiten en een sterke laagdunning. Deze is vergeleken met de tabellen van Nagel (1985) en Lockow (2003) voor Duitsland en die van Hamilton & Christie (1971) voor UK. Bij de vergelijking bleek het productieniveau van alle vergeleken tabellen lager is dan dat van de nieuwe tabel voor Nederland.

Op hoofdlijnen bleek het model van Jansen *et al.* (2016) voor de douglas ook bruikbaar voor de esdoorn.



## Summary

This report describes growth and yield of sycamore (*Acer pseudoplatanus*) in Netherlands. The report describes the development of height, diameter and basal area over time, based on permanent field plots, and the effect of thinning on these characteristics. The regularities and allometric relationships found were used to construct a yield table for even-aged stands of sycamore.

The dataset used in this study is composed of all growth and yield related research on sycamore in the Netherlands, carried out between 1976 and 1992 by the former Dorschkamp/IBN research institute, and includes 10 experimental plots. Furthermore, 10 sample plots from the 4th Dutch National Forest Inventory and from the timber prognosis system HOSP, were used. Beside this, height observations in 12 mixed species plots of sycamore and ash were used. In total, the dataset consists of 32 plots with 113 recordings. Height recordings in 461 sycamore stands from the 4th Dutch National Forest Inventory were also used. Each plot record includes age, recording date and top height, as well as stem density, basal area, diameter, height and volume before and after thinning and of the thinning itself.

Height development was analysed using four well-known equations, and the best fit was found with Cieszewski's model (2001); this polymorphic model is given by:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \left\{ t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2) \right\} / \left\{ 50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2) \right\} \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + 2 \cdot c_2 \cdot h_{50} / 50^{c_1}} \text{ and}$$

$Z = h_{50} - c_3$ . Here,  $h_{50}$  is a plot specific parameter and a measure for site index, and  $c_1$ ,  $c_2$  and  $c_3$  are species-specific parameters that determine the shape of the curve. With conditionally non-linear regression (CNLR) a solution was found with an  $R^2$ adj of 0.989.

The height development was compared with the models of Claessens *et al.* (1999) and with the yield tables by Kjølby (1958), Nagel (1985), Lockow (2003) and Hamilton & Christie (1971). There was a very good match with Claessens' *et al.* and Hamilton & Christie's height development models, for Kjølby a good match was found for the best site classes. For Nagel and Lockow, the height development is similar until 40 to 50 year, but it diverges afterwards.

The diameter development (before thinning:  $d_{bt}$ ) to a height of 7 m was explained by the model of Jansen *et al.* (2016)  $d_{bt} = d_7 \cdot f_1(h_{top})$  where  $d_7 = f_2(N_0)$ .  $R^2$ adj was 0.838 with  $d_7 = 5.8$  cm for  $N_0 = 5000$ . The model was only used for diameter and basal area development up to a height of 7 m. For the development above 7 m height, basal area increment was described using the model of Jansen *et al.* (2016):  $i_G = f(h_{50}, h_{top}, t, S\%, yor)$ , using a power function. For the Becking-Hart spacing index  $S\% > 16.3$  the basal area increment decreased nonlinearly with  $S\%$ , with an average value of 1.6 % per unit. The  $R^2$ adj was 0.724. The year of recording ( $yor$ ) and  $h_{50}$  were not significant. The model does not follow Eichhorn's law. The effect of thinning on diameter after thinning ( $d_{at}$ ) was modelled with La Bastide & Faber's model (1972).

Using the integrated models, a yield table was created for even-aged stands of ages up to 80 years, using five site classes. The yield table was compared with tables from Denmark, Germany and the UK. The production level of all these tables was lower than the new table for the Netherlands. Overall, the model of Jansen *et al.* (2016) for Douglas fir turned out to be suitable also for sycamore.

## 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 & J. den Ouden, 2016. FEM growth and yield data Mixed species forest. DANS: <http://dx.doi.org/10.17026/dans-z5m-kp67>
- Becking, J. H., 1953. Thinning research in forestry. Netherlands Journal of Agricultural Science; 1953. 1(2):122-9.
- Burkhart, 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
- 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 .
- Claessens, H., D. Pauwels, A. Thibaut, J. Rondeux, 1999. Site index curves and autecology of ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium). Forestry 72(3), pp.171-182
- 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.
- Hein, S., C. Collet, C. Ammer, N. le Goff, J.P. Skovsgaard and P. Savill, 2009. A review of growth and stand dynamics of *Acer pseudoplatanus* L. in Europe: implications for silviculture. Forestry, Vol. 82, No. 4, 361-385.
- Heisterkamp, S.H., 1981. Opstandsinhoudsfuncties. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp" 271, Wageningen.
- IUFRO, 1959. The standardization of symbols in forest mensuration. International Union of Forest Research Organizations, Londen.
- Jansen, J.J. & J.W. Hildebrand, 1986. Een nieuwe opbrengsttabel voor de fijnspar (*Picea abies* Karst.) in Nederland. Landbouwhogeschool, Vakgroep Boshuishoudkunde, Wageningen.
- Jansen, J.J., J. Sevenster & P.G. Faber (redactie), 1996. Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. IBN rapport 96/Hinkeloord reports No.17, 202 pag.
- Jansen, J.J., H. Schoonderwoerd, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2016. [Groei en productie van douglas in Nederland. Becking's dunningproeven ontsloten](#). Wageningen Academic Publishers.
- 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, L. Goudzwaard en J. den Ouden, 2018b. [Groei en productie van beuk in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 5](#), Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren en J. den Ouden, 2018c. [Groei en productie van Amerikaanse eik in Nederland. FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 9](#), Wageningen Universiy.

- Jansen, J.J., L. Goudzwaard, A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2018d. [Groei en productie van es in Nederland. FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 11.](#) Wageningen Universiy.
- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2018. Groei en productie van zwarte els in Nederland. Wageningen Universiy, in prep.
- Kjølby, V., 1958. Ær. Naturhistorie, tilvækst og hugst. In: Ær (*Acer pseudoplatanus* L.), Dansk Skovforening. 5 – 126.
- La Bastide, J.G.A. & P.J. Faber, 1972. Revised yield tables for six tree species in the Netherlands. Uitvoerig Verslag Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", band 11, nr. 1.
- Lockow, K.-W., 2003. Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) im nordostdeutschen Tiefland. Landesforstanstalt Eberswalde.
- Lockow, K.-W., 2005. Nordostdeutsches Tiefland. Leistungsbeurteilung des Bergahorns mit moderner Ertragstafel. AFZ – Der Wald Berlin (allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft Umweltvorsorge) 20 1079 - 1082.
- Nagel, J., 1985. Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein. Dissertation. Universität Göttingen.
- Oldenburger, J.F., J.J. Jansen, A. Oosterbaan, G.M. Mohren & J. den Ouden, 2016. FEM growth and yield data Monocultures – Sycamore. DANS: <http://dx.doi.org/10.17026/dans-xff-cpsk>.
- 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.
- Schoonderwoerd, H., J.P.G. de Klein en J.N. van de Schee, 1991. Massatabelen voor berk, beuk, es en inlandse eik (bosbomen). Maatschappij Damen, Schoonderwoerd en de Klein, Rapport nr. 23.
- Schumacher, F.X. & Hall, F.S., 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. Journal of Agricultural Research, v.47, n.9, p.719-734.

## Bijlage 1. Opbrengsttabel voor gewone esdoorn Nederland 2018

### Toelichting opbrengsttabellen

In de kop van de opbrengsttabellen zijn een aantal standaard symbolen (IUFRO, 1959). In onderstaande tabel wordt de SI-eenheid vermeld en de betekenis van het symbool weergegeven.

symbool	eenheid	betekenis
Boniteit		relatieve indeling in groeiklassen
$h_{50}$	m	Site index (opperhoogte op 50 jr.)
$P_{50}$	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	Productieklasse op 50 jr. <sup>1)</sup>
$t$	j	leeftijd vanaf kieming
$h_{top}$	m	opperhoogte
$N$	$ha^{-1}$	stamtal per ha
$S\%$		Hart-Becking dunning-index
$G$	$m^2ha^{-1}$	grondvlak per ha
$d_g$	cm	diameter (1,30 m) van de middenboom <sup>2)</sup>
$h_g$	m	hoogte van de middenboom
$V$	$m^3ha^{-1}$	volume per ha <sup>3)</sup>
$l_{cG}$	$m^2ha^{-1}j^{-1}$	lopende grondvlakbijgroei per ha per jaar op leeftijd $t$ jaar
$l_{cV}$	$m^2ha^{-1}j^{-1}$	lopende volumebijgroei per ha per jaar op leeftijd $t$ jaar
$l_{mG}$	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	gemiddelde grondvlakbijgroei per ha per jaar tot op leeftijd $t$ jaar
$l_{mV}$	$m^3ha^{-1}j^{-1}$	gemiddelde volumebijgroei per ha per jaar tot op leeftijd $t$ jaar

<sup>1)</sup> gemiddelde productie, inclusief dunning maar exclusief sterfte (volumebijgroei) per ha tot op leeftijd 50 jaar

<sup>2)</sup> boom met gemiddeld boomgrondvlak en boomvolume

<sup>3)</sup> Het volume is gedefinieerd als het spilhoutvolume met schors.

## Explanation yield tables

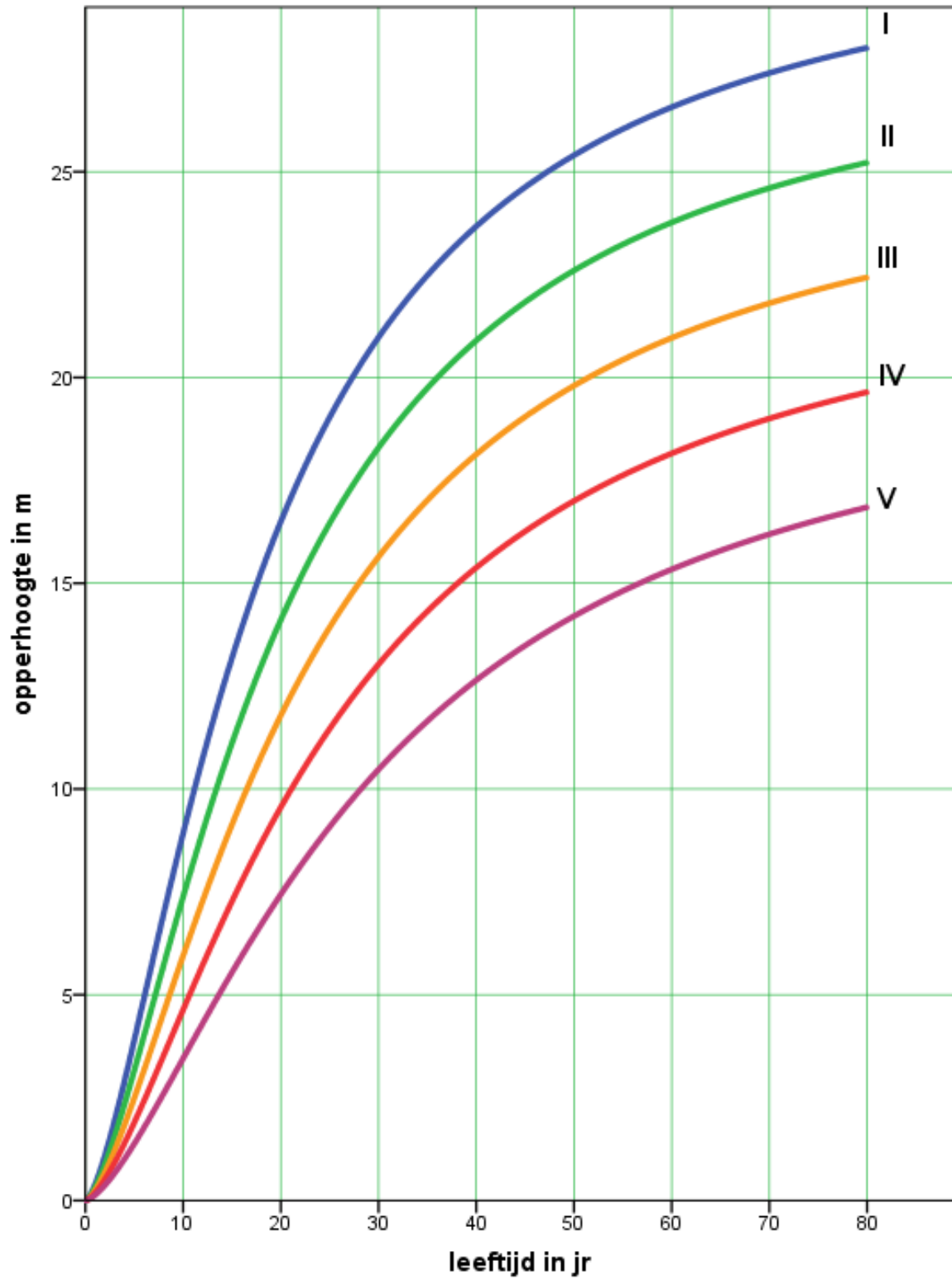
In the header of the yield tables a number of standard symbols (IUFRO, 1959) are used. In the table below the SI units and the meaning of the symbols are given.

symbol	unit	meaning
Site class		relative partition in site classes
$h_{50}$	m	Site index (top height at 50 yr.)
$P_{50}$	$m^3ha^{-1}yr^{-1}$	Production class at 50 yr. <sup>1)</sup>
$t$	j	age since germination
$h_{top}$	m	top height
$N$	$ha^{-1}$	Number of stems per ha
$S\%$		S% (Hart-Becking spacing index)
$G$	$m^2ha^{-1}$	Basal area per ha
$d_g$	cm	diameter (1,30 m) of the basal area mean tree
$h_g$	m	height of the basal area mean tree
$V$	$m^3ha^{-1}$	volume per ha <sup>2)</sup>
$lc_G$	$m^2ha^{-1}yr^{-1}$	current basal area increment per ha per year at age $t$
$lc_V$	$m^2ha^{-1}yr^{-1}$	current volume increment per ha per year at age $t$
$lm_G$	$m^3ha^{-1}yr^{-1}$	mean basal area increment per ha per year until age $t$
$lm_V$	$m^3ha^{-1}yr^{-1}$	mean volume increment per ha per year until age $t$

<sup>1)</sup> Mean production, including thinning but excluding mortality (volume increment) per ha until age 50 yr.

<sup>2)</sup> The volume is defined as the stem volume over bark.

### Gewone esdoorn Nederland 2018



<b>GEWONE ESDOORN</b>		<b>sterke laagduunning</b>												<b>Boniteit I, h50 = 25.4, P50 = 13.1</b>											
SYCAMORE		heavy thinning from below												Site Class I, h50 = 25.4, P50 = 13.1											
<b>t</b>	<b>Opstandkenmerken</b>		<b>Kenmerken voor duunning</b>				<b>Dunning</b>				<b>Kenmerken na duunning</b>				<b>Bijgroei</b>										
	Stand characteristics	S%	Characteristics before thinning		Thinning		Characteristics after thinning		Increment		N		G		V		Ic		Im		Ic		Im		V
$h_{top}$	N	G	$d_g$	$h_g$	V	N	G	$d_g$	V	N	G	$d_g$	$h_g$	V	N	G	$d_g$	$h_g$	V	Ic <sub>G</sub>	Ic <sub>V</sub>	Im <sub>G</sub>	Im <sub>V</sub>	t	
5	3.9	22.0	5000	3.0	2.7	3.5	6	6.7	6.5	28	2004	6.7	6.5	28	5000	3.0	2.7	3.5	6	2.21	0.59	5.9	1.2	5	
10	8.9	22.0	5000	19.9	7.1	8.3	88	12.0	9.7	72	1624	12.0	9.7	72	2996	13.2	7.5	8.3	59	3.06	1.99	21.6	8.8	10	
15	13.2	22.0	2996	26.1	10.5	12.5	160	7.2	13.6	52	496	7.2	13.6	52	1372	14.1	11.4	12.6	89	2.19	2.18	19.3	12.6	15	
20	16.5	22.0	1372	23.8	14.9	15.8	178	5.0	17.2	41	217	5.0	17.2	41	876	16.6	15.6	15.9	126	1.73	2.12	17.0	13.9	20	
25	19.0	22.0	876	24.5	18.9	18.4	206	3.8	20.4	33	116	3.8	20.4	33	658	19.5	19.4	18.4	165	1.44	2.01	15.2	14.3	25	
30	21.0	22.0	658	26.1	22.5	20.3	236	3.0	23.3	28	70	3.0	23.3	28	542	22.3	22.9	20.3	203	1.24	1.90	13.6	14.3	30	
35	22.5	22.0	542	28.2	25.7	21.7	268	2.4	25.9	23	46	2.4	25.9	23	472	25.2	26.1	21.8	240	1.10	1.80	12.3	14.1	35	
40	23.7	22.0	472	30.4	28.6	22.8	299	2.0	28.3	20	32	2.0	28.3	20	426	28.0	28.9	22.9	275	0.99	1.70	11.1	13.8	40	
45	24.6	22.0	426	32.7	31.3	23.7	328	1.7	30.5	17	24	1.7	30.5	17	393	30.7	31.5	23.8	309	0.91	1.62	10.1	13.5	45	
50	25.4	22.0	393	35.1	33.7	24.3	357	2.1	32.5	21	25	2.1	32.5	21	370	33.3	33.9	24.4	340	0.84	1.54	9.3	13.1	50	
55	26.0	22.2	370	37.4	35.9	24.9	385	1.9	34.4	19	20	1.9	34.4	19	345	35.3	36.1	25.0	364	0.79	1.48	8.5	12.7	55	
60	26.6	22.5	345	39.1	38.0	25.3	405	1.8	36.3	18	17	1.8	36.3	18	324	37.2	38.3	25.4	386	0.74	1.42	7.8	12.3	60	
65	27.0	22.7	324	40.8	40.1	25.6	423	1.6	38.0	16	15	1.6	38.0	16	307	39.1	40.3	25.7	406	0.70	1.36	7.2	12.0	65	
70	27.4	22.9	307	42.5	42.0	25.9	441	1.6	39.6	16	13	1.6	39.6	16	292	40.8	42.2	26.0	424	0.66	1.32	6.7	11.6	70	
75	27.7	23.2	292	44.1	43.8	26.0	456	1.5	41.2	15	11	1.5	41.2	15	280	42.5	44.0	26.1	441	0.63	1.27	6.2	11.3	75	
80	28.0	23.4	280	45.6	45.6	26.2	471	1.5	41.2	15	11	1.5	41.2	15	269	44.1	45.7	26.3	456	0.61	1.23	5.8	10.9	80	

<b>GEWONE ESDOORN</b>		<b>sterke laagduunning</b>												<b>Boniteit II, h50 = 22.6, P50 = 11.3</b>							
SYCAMORE		heavy thinning from below												Site Class II, h50 = 22.6, P50 = 11.3							
<b>t</b>	<b>Opstandkenmerken</b>		<b>Kenmerken voor dunning</b>						<b>Dunning</b>			<b>Kenmerken na dunning</b>						<b>Bijgroei</b>			
	Stand characteristics	S%	Characteristics before thinning						Thinning			Characteristics after thinning						Increment			
	$h_{top}$		N	G	$d_g$	$h_g$	V	N	G	$d_g$	V	N	G	$d_g$	$h_g$	V	$lc_g$	$lm_g$	$lc_v$	$lm_v$	t
5	3.2		5000	1.6	2.0	2.8	3					5000	1.6	2.0	2.8	3	1.35	0.31	2.9	0.5	5
10	7.4	20.6	5000	14.8	6.1	6.8	52					5000	14.8	6.1	6.8	52	3.17	1.48	18.4	5.2	10
15	11.1	22.0	5000	27.8	8.4	10.5	146	3069	14.5	7.8	75	1931	13.3	9.3	10.5	72	2.22	1.85	17.2	9.7	15
20	14.1	22.0	1931	23.1	12.3	13.4	150	733	7.3	11.3	46	1198	15.7	12.9	13.5	104	1.75	1.88	15.1	11.2	20
25	16.5	22.0	1198	23.7	15.9	15.7	175	317	5.2	14.4	37	881	18.5	16.4	15.8	138	1.46	1.82	13.7	11.8	25
30	18.3	22.0	881	25.3	19.1	17.5	203	168	4.0	17.4	31	713	21.3	19.5	17.6	172	1.26	1.74	12.4	12.0	30
35	19.7	22.0	713	27.2	22.0	18.9	231	101	3.2	20.0	26	612	24.0	22.4	19.0	205	1.11	1.66	11.2	12.0	35
40	20.9	22.0	612	29.3	24.7	20.0	258	66	2.6	22.4	22	546	26.7	25.0	20.1	236	1.01	1.59	10.3	11.8	40
45	21.8	22.0	546	31.5	27.1	20.8	285	46	2.2	24.6	19	500	29.4	27.3	20.9	266	0.92	1.52	9.4	11.6	45
50	22.6	22.0	500	33.8	29.3	21.5	311	33	1.8	26.5	16	467	31.9	29.5	21.6	295	0.85	1.45	8.6	11.3	50
55	23.2	22.2	467	36.1	31.4	22.0	336	34	2.2	28.4	20	433	33.9	31.6	22.1	317	0.80	1.40	7.9	11.1	55
60	23.8	22.5	433	37.7	33.3	22.4	355	28	2.0	30.2	18	405	35.8	33.5	22.5	337	0.75	1.34	7.3	10.8	60
65	24.2	22.7	405	39.4	35.2	22.8	372	23	1.8	31.9	17	382	37.6	35.4	22.9	356	0.70	1.30	6.8	10.5	65
70	24.6	22.9	382	41.0	37.0	23.1	388	19	1.7	33.4	16	363	39.3	37.1	23.1	373	0.67	1.25	6.3	10.2	70
75	24.9	23.2	363	42.6	38.6	23.3	403	17	1.6	35.0	15	346	41.0	38.8	23.4	388	0.64	1.21	5.9	9.9	75
80	25.2	23.4	346	44.1	40.3	23.4	417	15	1.5	36.4	14	331	42.5	40.4	23.5	403	0.61	1.18	5.5	9.7	80



<b>GEWONE ESDOORN</b>		<b>sterke laagduinning</b>												<b>Boniteit III, h50 = 19.8, P50 = 9.5</b>							
SYCAMORE		heavy thinning from below												Site Class III, h50 = 19.8, P50 = 9.5							
<b>t</b>	<b>Opstandkenmerken</b>		<b>Kenmerken voor dunning</b>						<b>Dunning</b>			<b>Kenmerken na dunning</b>						<b>Bijgroei</b>			
	Stand characteristics	S%	Characteristics before thinning						Thinning			Characteristics after thinning						Increment			
	$h_{top}$		N	G	$d_g$	$h_g$	V	N	G	$d_g$	V	N	G	$d_g$	$h_g$	V	$lc_g$	$lm_g$	$lc_v$	$lm_v$	t
5	2.5		5000	0.7	1.3	2.2	1					5000	0.7	1.3	2.2	1	0.72	0.13	1.2	0.2	5
10	6.0		5000	9.0	4.8	5.4	26					5000	9.0	4.8	5.4	26	2.53	0.90	10.0	2.6	10
15	9.1	22.0	5000	21.9	7.5	8.5	97	2142	7.9	6.8	34	2858	14.0	7.9	8.5	63	2.24	1.46	14.2	6.5	15
20	11.8	22.0	2858	23.9	10.3	11.1	133	1142	8.0	9.4	43	1716	16.0	10.9	11.1	90	1.77	1.59	13.4	8.3	20
25	13.9	22.0	1716	24.0	13.3	13.2	153	487	5.6	12.2	35	1229	18.4	13.8	13.2	118	1.48	1.59	12.2	9.2	25
30	15.6	22.0	1229	25.2	16.2	14.8	176	254	4.3	14.7	29	975	20.9	16.5	14.9	147	1.28	1.56	11.2	9.6	30
35	17.0	22.0	975	26.9	18.7	16.1	201	151	3.4	17.0	25	824	23.5	19.0	16.2	176	1.13	1.51	10.2	9.8	35
40	18.1	22.0	824	28.8	21.1	17.2	225	98	2.8	19.1	21	726	26.0	21.4	17.2	203	1.02	1.45	9.4	9.8	40
45	19.0	22.0	726	30.9	23.3	18.0	248	68	2.4	21.1	18	658	28.5	23.5	18.1	230	0.93	1.40	8.6	9.7	45
50	19.8	22.0	658	33.0	25.3	18.7	271	49	2.0	22.9	16	609	31.0	25.5	18.7	255	0.86	1.35	8.0	9.5	50
55	20.4	22.2	609	35.1	27.1	19.2	294	49	2.3	24.6	19	560	32.8	27.3	19.3	275	0.80	1.30	7.4	9.4	55
60	21.0	22.5	560	36.7	28.9	19.6	310	39	2.1	26.2	17	521	34.6	29.1	19.7	293	0.75	1.26	6.8	9.2	60
65	21.4	22.7	521	38.3	30.6	20.0	326	32	1.9	27.7	16	489	36.3	30.8	20.1	310	0.71	1.22	6.3	9.0	65
70	21.8	22.9	489	39.8	32.2	20.3	340	27	1.8	29.1	15	462	38.0	32.4	20.4	326	0.67	1.18	5.9	8.8	70
75	22.1	23.2	462	41.3	33.7	20.5	354	23	1.7	30.5	14	439	39.6	33.9	20.6	340	0.64	1.15	5.5	8.6	75
80	22.4	23.4	439	42.8	35.2	20.7	367	20	1.6	31.9	13	419	41.2	35.4	20.8	354	0.61	1.11	5.1	8.4	80

<b>GEWONE ESDOORN</b>		<b>sterke laagduinning</b>												<b>Boniteit IV, h50 = 17.0, P50 = 7.8</b>							
SYCAMORE		heavy thinning from below												Site Class IV, h50 = 17.0, P50 = 7.8							
<b>t</b>	<b>Opstandkenmerken</b>		<b>Kenmerken voor dunning</b>						<b>Dunning</b>			<b>Kenmerken na dunning</b>						<b>Bijgroei</b>			
	Stand characteristics	S%	Characteristics before thinning			Characteristics after thinning			Thinning			Characteristics after thinning			Increment						
	$h_{top}$		N	G	$d_g$	$h_g$	V	N	G	$d_g$	V	N	G	$d_g$	$h_g$	V	$lc_g$	$lm_g$	$lc_v$	$lm_v$	t
5	1.9		5000	0.2	0.7	1.6	0					5000	0.2	0.7	1.6	0	0.30	0.04	0.4	0.0	5
10	4.6		5000	4.8	3.5	4.2	11					5000	4.8	3.5	4.2	11	1.51	0.48	4.6	1.1	10
15	7.3	20.9	5000	14.6	6.1	6.7	50					5000	14.6	6.1	6.7	50	2.25	0.97	12.8	3.3	15
20	9.6	22.0	5000	24.7	7.9	8.9	113	2389	9.9	7.3	44	2611	14.8	8.5	8.9	69	1.80	1.24	11.5	5.7	20
25	11.5	22.0	2611	23.0	10.6	10.7	124	796	5.8	9.6	30	1816	17.2	11.0	10.7	93	1.50	1.32	10.6	6.7	25
30	13.0	22.0	1816	24.1	13.0	12.2	144	410	4.5	11.8	26	1405	19.6	13.3	12.2	118	1.30	1.33	9.8	7.3	30
35	14.3	22.0	1405	25.7	15.3	13.4	165	241	3.6	13.9	23	1164	22.1	15.5	13.5	142	1.15	1.31	9.1	7.6	35
40	15.4	22.0	1164	27.5	17.4	14.4	186	155	3.0	15.7	20	1009	24.5	17.6	14.5	166	1.04	1.29	8.4	7.7	40
45	16.3	22.0	1009	29.5	19.3	15.2	207	106	2.6	17.5	17	902	26.9	19.5	15.3	190	0.95	1.25	7.8	7.8	45
50	17.0	22.0	902	31.5	21.1	15.9	227	77	2.2	19.1	15	826	29.3	21.2	15.9	212	0.88	1.22	7.2	7.8	50
55	17.6	22.2	826	33.5	22.7	16.4	247	73	2.4	20.6	17	752	31.1	22.9	16.5	229	0.82	1.18	6.7	7.7	55
60	18.2	22.5	752	35.0	24.3	16.9	262	58	2.2	22.0	16	694	32.8	24.5	16.9	246	0.76	1.15	6.3	7.6	60
65	18.6	22.7	694	36.5	25.9	17.2	276	47	2.0	23.4	15	647	34.5	26.0	17.3	261	0.72	1.12	5.8	7.5	65
70	19.0	22.9	647	38.0	27.3	17.5	289	39	1.9	24.7	14	608	36.1	27.5	17.6	276	0.68	1.09	5.4	7.3	70
75	19.3	23.2	608	39.4	28.7	17.8	302	33	1.8	26.0	13	575	37.7	28.9	17.8	289	0.65	1.06	5.1	7.2	75
80	19.6	23.4	575	40.8	30.1	18.0	313	28	1.7	27.2	12	546	39.2	30.2	18.0	301	0.62	1.04	4.8	7.1	80

<b>GEWONE ESDOORN</b>		<b>sterke laagduinning</b>												<b>Boniteit V, h50 = 14.2, P50 = 5.9</b>								
SYCAMORE		heavy thinning from below												Site Class V, h50 = 14.2, P50 = 5.9								
<b>t</b>	<b>Opstandkenmerken</b>		<b>Kenmerken voor dunning</b>				<b>Dunning</b>			<b>Kenmerken na dunning</b>				<b>Bijgroei</b>		<b>t</b>						
	Stand characteristics	S%	N	G	d <sub>g</sub>	h <sub>g</sub>	V	N	G	d <sub>g</sub>	h <sub>g</sub>	V	N	G	d <sub>g</sub>		h <sub>g</sub>	V	lc <sub>G</sub>	lm <sub>G</sub>	lc <sub>V</sub>	lm <sub>V</sub>
5	1.4		5000	0.0	0.1	1.1	0						5000	0.0	0.1	1.1	0	0.06	0.00	0.1	0.0	5
10	3.5		5000	2.1	2.3	3.0	4						5000	2.1	2.3	3.0	4	0.79	0.21	1.8	0.4	10
15	5.5		5000	7.6	4.4	5.0	20						5000	7.6	4.4	5.0	20	1.37	0.51	5.0	1.3	15
20	7.4	22.0	5000	15.6	6.3	6.8	58	690	1.8	5.7	6	6	4310	13.9	6.4	6.8	52	1.85	0.78	10.7	2.9	20
25	9.1	22.0	4310	22.3	8.1	8.3	98	1417	6.1	7.4	26	26	2893	16.2	8.4	8.4	72	1.54	0.96	8.9	4.2	25
30	10.5	22.0	2893	23.3	10.1	9.7	115	719	4.8	9.2	23	23	2174	18.5	10.4	9.7	92	1.33	1.04	8.4	4.9	30
35	11.7	22.0	2174	24.8	12.0	10.8	133	417	3.9	10.9	20	20	1757	20.9	12.3	10.8	113	1.18	1.07	7.9	5.4	35
40	12.6	22.0	1757	26.4	13.8	11.7	151	265	3.3	12.6	18	18	1492	23.1	14.1	11.7	133	1.06	1.08	7.4	5.7	40
45	13.5	22.0	1492	28.2	15.5	12.5	169	180	2.8	14.1	16	16	1312	25.4	15.7	12.5	152	0.97	1.07	6.9	5.8	45
50	14.2	22.0	1312	30.0	17.1	13.1	186	129	2.4	15.5	14	14	1183	27.6	17.2	13.2	171	0.89	1.05	6.5	5.9	50
55	14.8	22.2	1183	31.9	18.5	13.6	203	118	2.6	16.8	16	16	1065	29.3	18.7	13.7	187	0.83	1.04	6.1	5.9	55
60	15.3	22.5	1065	33.3	20.0	14.1	216	92	2.4	18.1	15	15	972	31.0	20.1	14.1	201	0.78	1.02	5.7	5.9	60
65	15.8	22.7	972	34.7	21.3	14.5	229	74	2.2	19.3	14	14	898	32.6	21.5	14.5	215	0.73	1.00	5.3	5.9	65
70	16.2	22.9	898	36.1	22.6	14.8	241	61	2.0	20.5	13	13	838	34.1	22.8	14.8	228	0.69	0.98	5.0	5.9	70
75	16.5	23.2	838	37.5	23.9	15.0	252	51	1.9	21.6	12	12	787	35.6	24.0	15.1	240	0.66	0.96	4.7	5.8	75
80	16.8	23.4	787	38.8	25.1	15.2	262	43	1.8	22.7	11	11	743	37.1	25.2	15.3	251	0.63	0.94	4.4	5.7	80