

Groei en productie van fijnspar in Nederland

J.J. Jansen¹, G.M.J. Mohren¹, A. Oosterbaan² en J. den Ouden¹

FEM Groei en Productie Rapport 2018 - 2



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, A. Oosterbaan en J. den Ouden, 2018. *Groei en productie van fijnspar in Nederland*. FEM Groei en Productie Rapport 2018 – 2, 88 blz.

Synopsis: Van 1951 tot 1989 is in Nederland groei- en productieonderzoek bij de fijnspar uitgevoerd. Dat betreft de studies van Becking en de Dorschkamp/IBN. Tezamen met de permanente steekproeven uit de HOSP zijn 116 proefperken met 388 opnamen beschikbaar. Voor de ontwikkeling van de opperhoogte h_{top} met de leeftijd t werd het model van Cieszewski gevonden, met site index h_{50} en 3 andere parameters. De diameterontwikkeling tot een opstandhoogte van 7 m werd het best verklaard met een Gompertz-functie in h_{top} en het beginstamtal N_0 . Met een powerfunctie werd de grondvlakbijgroei i_G verklaard met h_{top} , leeftijd en $S\%$. Voor $S\% > 14.7$ daalt de grondvlakbijgroei niet-lineair in $S\%$. Het jaar van opname en de site index bleken niet significant.

Het effect van de dunning op de diameter na dunning is gemodelleerd met een gemodificeerd La Bastide-Faber model. Met alle modellen is een stand projection model gemaakt, waarmee de gemeenten opstandontwikkeling redelijk voorspeld werd. Er zijn opbrengsttabellen gemaakt met vijf boniteiten en 5 verschillende dunninggraden.

Abstract: From 1951 to 1989 growth and yield research was done on Norway spruce in the Netherlands. This includes studies by Becking and by the Dorschkamp/IBN research institute. Together with the permanent sample plots from the timber prognosis system HOSP, all this comprises a dataset of 116 plots with 388 recordings. For the development of top height h_{top} with age t Cieszewski's model with site index h_{50} and 3 additional parameters fitted best. The diameter development up to stand height of 7 m was best described with a Gompertz function based on h_{top} and initial density N_0 . The basal area increment i_G was best described by a power function based on h_{top} , age and $S\%$. For $S\% > 14.7$ the basal area increment drops non-linear with $S\%$. Year of recording and site index were not significant. The effect of thinning on the diameter after thinning was modelled with a modified La Bastide-Faber model. With all models together, a stand projection model was constructed, which describes the measured stand development reasonably well. The model was used to construct yield tables with five site classes and five thinning intensities.

Keywords: Norway spruce, *Picea abies*, Netherlands, yield tables, thinning intensity, Becking-Hart spacing index, height growth models, power model, basal area increment, Reineke's law, La Bastide-Faber, stand projection model

Dit rapport is gratis te downloaden op: <https://doi.org/10.18174/444089>

Dit rapport is gebaseerd op de database: Jansen, J.J., A. Oosterbaan, L.G. Goudzwaard, J.F. Oldenburger, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2016. FEM growth and yield data Monocultures – Norway spruce. DANS. <http://dx.doi.org/10.17026/dans-ztn-p5uj>

Voorwoord

Sinds 1951 zijn er in Nederland waarnemingen verricht in permanente proefperken van de fijnspar (*Picea abies* (L.) H. Karst.). 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.

De thans vigerende tabel is die van Jansen en Hildebrand uit 1986. Hierin zijn de data van de Universiteit verwerkt tot ongeveer 1982, dat betreffen maar 8 proefperken met 42 opnamen.

In deze studie is er de beschikking over de gegevens van 128 proefperken en steekproefperken met 439 opnamen, maar niet alle data zijn gebruikt.

In dit rapport wordt de ontwikkeling van opstanden van fijnspar met verschillende dunninggraden geanalyseerd met het doel een groeimodel te maken voor deze ontwikkeling bij een ruim scala aan beheerstrategieën. De studie volgt waar mogelijk dezelfde werkwijze als voor de douglas is gevolgd (Jansen *et al.*, 2016) en in Hoofdstuk 3 wordt de werkwijze zoals gebruik bij de Japanse lariks gevolgd en vaak zijn delen van teksten uit een van beide rapporten gekopieerd en aangepast.

Hans Jansen,
Wageningen, 2018

Inhoud

Voorwoord	1
Inhoud	2
1. Inleiding	4
2. Basismateriaal	5
2.1 Dataselectie	6
3. Hoogteontwikkeling	8
3.1. Modellen voor hoogtegroeï	8
3.2 Analyse	10
3.3 Uiteindelijke model	13
3.3.1 Analyse van de residuen.....	14
3.3.2 Boniteitindeling	15
3.4 Conclusie	17
4. Opbrengstniveau	18
4.1 Diameter- en grondvlakontwikkeling tot een hoogte van 7 m	18
4.2 Grondvlakbijgroei	20
5. Dunningsysteem	25
5.1 Reineke's stamtal-diameter-relatie.....	26
5.2 Model van La Bastide-Faber voor voorspelling diameter na dunning	27
5.3 Conclusie	28
6. Constructie Opbrengsttabellen	29
6.1 Overige allometrische relaties.....	29
6.2 Opbrengsttabellen.....	31
6.2.1 Keuze voor berekende opbrengsttabellen.....	31
6.2.2 Constructie van de opbrengsttabel	32
6.3 Kwaliteit van de voorspelling	36
6.4 Vergelijking met andere opbrengsttabellen	37
6.4.1 Hoogteontwikkeling	37
6.4.2 Productieniveau	43
6.4.3 Dunningsysteem.....	45
6.5 Effecten dunning op productie.....	46
7. Discussie en conclusies.....	50
7.1 Hoogtegroeï.....	50
7.2 Diameter en grondvlak.....	50
7.2.1 Diameterontwikkeling.....	51
7.2.2 Grondvlakbijgroei	51
7.3 Variatie in groei tussen verschillende jaren	52

7.4 Dunninggraad	52
7.5 Kwaliteit van het model	53
Samenvatting.....	55
Summary	57
Literatuur.....	59
Bijlage 1. Opbrengstabellen voor fijnspar.....	61
Toelichting opbrengstabellen	61
Explanation yield tables	62
Boniteringfiguur	63
Zwakke laagdunning.....	64
Matige laagdunning.....	69
Sterke laagdunning.....	74
Zeer sterke laagdunning.....	79
Open stand	84

1. Inleiding

Tussen 1951 en 1991 zijn er gegevens verzameld over de groei van fijnspar bij verschillende dunninggraden. Met deze gegevens is het mogelijk modellen te maken die de ontwikkeling van fijnsparopstanden bij een variatie aan beheerstrategieën verklaren en mogelijk voorspellen. Eén van de gebruikelijke modellen is een opbrengsttabel. Jansen & Hildebrand (1986) hebben een opbrengsttabel voor de fijnspar met één dunningregime gemaakt, welk geïntegreerd kan worden als een matige laagdunning. Voor de tabel zelf zie Jansen *et al.* (1996). 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 1951 is in Nederland onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van fijnsparopstanden. In dit onderzoek gaat het om de volgende gebruikte studies:

1. Dunningonderzoek Becking 1951-1982 met 8 fijnspar-proefperken met in totaal 42 opnamen. De behandeling betreft een laagdunning met een vaste dunninggraad, variërend van een zwakke dunning tot een voor die tijd extreem sterke dunning;
2. Groei- en productieonderzoek Dorschkamp/IBN 1959 – 1989 ten behoeve van opbrengsttabellen (La Bastide en Faber, 1972). Er zijn 41 proefperken met 92 opnamen, waarvan 36 met slechts 2 opnamen.
3. Plantafstandproef IBN 1974-1991. Het betreft onderzoek naar groei van bij 3 verschillende plantafstanden 24 proefperken in 3 proefveldcomplexen met in totaal 112 opnamen;
4. HOSP 1984-2000, in beheer bij Probos. Dit zijn ca. 3000 permanente steekproefpunten uit de 4e bosstatistiek. Hieruit zijn 51 monocultures met fijnspar geselecteerd met in totaal 171 opnamen;
7. SBB Drenthe. Series met takkrans posities van geveld dominante bomen uit 1984. Te zien als 4 proefperken met 22 opnamen van de opperhoogte.

In totaal gaat het om 439 opnamen in 128 proefperken.

De proefvelden van studie 1, 2 en 3 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 5-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. Bij de ligging is onderscheid gemaakt tussen de regio's 1. Noord (Drenthe, Friesland en Groningen, kop van Overijssel), 2. Midden (rest Overijssel, Gelderland, Flevoland, Utrecht en het Gooi), 3. Zuid (Noord-Brabant en Limburg) en 4. West (Flevoland en rest Nederland exclusief de duinen) 5. Kustgebied (Waddeneilanden en duinstrook).

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.

Voor een volledige beschrijving van gemeten en berekende gegevens zie de file “Read me - FEM growth and yield data Monocultures – Norway spruce.pdf” in de database [FEM growth and yield data Monocultures - Norway spruce](#) (Jansen *et al.*, 2016).

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		Plot oppervlakte in ha
yog		Kiemjaar
NO	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		Opnamenummer
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

2.1 Dataselectie

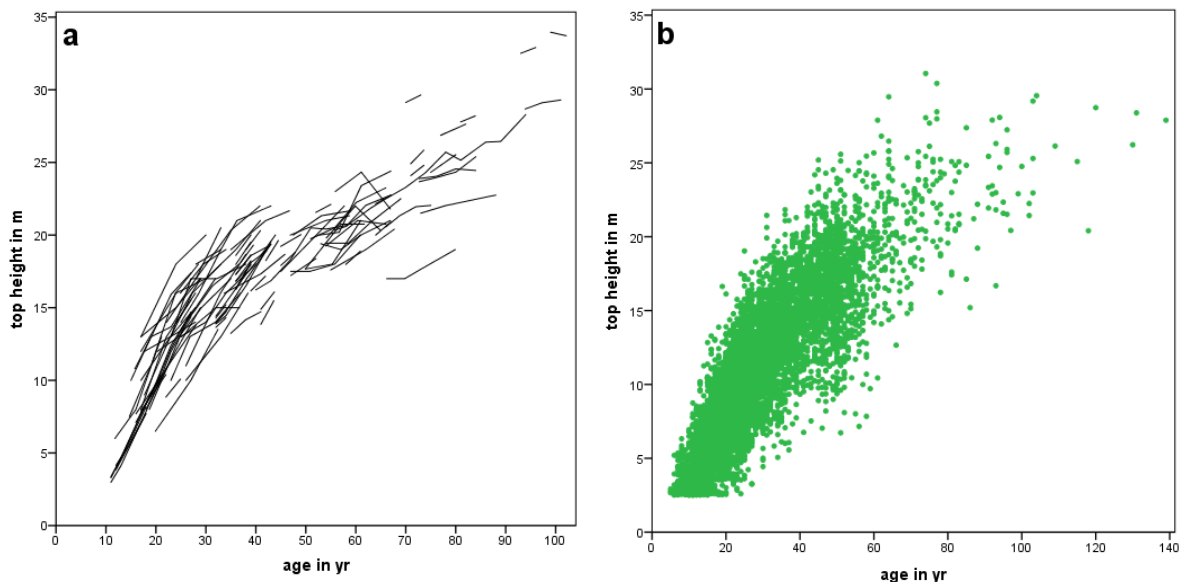
Een aantal proefperken bevat verdachte gegevens zijn daarom uitgesloten van de analyses, dat betreffen:

- Plotnummer 22, F102M – Norg. Dit plot heeft op een leeftijd van 15.7 jaar een opperhoogte van 23.6 m, dit is een onwaarschijnlijke waarneming. Vermoedelijk is het kiemjaar fout.
- Plotnummer 79, H0117 – Beetsterzwaag 5. Dit is een plot van 3 are en er zijn dus maar drie opperhoogte-bomen. Van die drie bomen heeft er één onwaarschijnlijke waarnemingen. Namelijk op 35 jaar is de boom 18 m hoog, bij 40 jaar 15 m, bij 44 jaar 21 m en bij 50 jaar 30 m. Het is onduidelijk wat voor fout er is gemaakt.
- Plotnummer 89, H0337 – Smilde 1. In dit plot daalt de opperhoogte van 15.5 m op 12 jaar naar 13.0 m op 19 jaar ten gevolge van dunning. Onduidelijk is reden hiervan, en past niet in de serie laagdunning. Maar mogelijk gaat het om een twee-etagebos.
- Plotnummer 112, H0799 – Almere 9. In dit plot is de opperhoogte in de 1^e opname bij 8 jaar 6 m, in de 2^e opname bij 15 jaar 8 m en in de 3^e bij 20 jaar 11 m. Vermoedelijk is hier sprake van een foutief kiemjaar en is de leeftijd 4 à 5 jaar ouder.
- Plotnummer 116, H1264 – Soestdijk. Dit plot heeft op een leeftijd van 135 jaar een opperhoogte van 24 m en een diameter van 14 cm, dit zijn onwaarschijnlijke waarnemingen. Vermoedelijk is het kiemjaar fout.
- Plotnummer 122, H2406 – Udenoord. In dit plot is de opperhoogte in de 1^e opname bij 58 jaar 12.3 m, in de 2^e opname bij 65 jaar 13.0 m en in de 3^e bij 70 jaar 16.7 m. Vermoedelijk is er sprake van topsterfte tussen de 1^e en 2^e opname, maar zo'n sterk herstel is uiterst onwaarschijnlijk voor een plot met een V^e of lagere boniteit op die leeftijd.
- Plotnummer 123, H2420 – Groesbeek 1. In dit plot is de opperhoogte in de 1^e opname bij 94 jaar 21.6 m, in de 2^e opname bij 97 jaar 19.9 m en in de 3^e bij 103 jaar 25 m. Vermoedelijk is er sprake van topsterfte tussen de 1^e en 2^e opname, maar zo'n sterk herstel is uiterst onwaarschijnlijk voor een plot met een V^e boniteit op die leeftijd.
- Plotnummer 124, H2920 – Weert 5. In dit plot is de opperhoogte in de 1^e opname bij 19 jaar 17.0 m, in de 2^e opname bij 31 jaar 15.0 m, in de 3^e bij 36 jaar 25 m en in de 4^e opname bij 41 jaar 20.0. Vermoedelijk is er sprake van foutieve waarnemingen.
- Plotnummer 125, FB001 – Smilde 5. Hier is sprake van een plot waar het zeer lang duurde voor een opperhoogte van 7 m werd bereikt onder normale groeiomstandigheden werd die in de Boswachterij Smilde op een leeftijd van ongeveer 15 bereikt, hier is dat 43 jaar. Hier is de boniteitshistorische leeftijd erg afwijkend van de echte leeftijd. Dit is een bekend fenomeen, Jansen *et al.* (1996) geven aan hoe hiermee om te gaan in de praktijk, maar het plot is ongeschikt voor het maken van opbrengsttabellen.
- Plotnummer 126, FB002 – Smilde 6. Hier is sprake van een plot waar het lang duurde voor een opperhoogte van 7 m werd bereikt onder normale groeiomstandigheden werd die in de Boswachterij Smilde op een leeftijd van ongeveer 15 bereikt, hier is dat 24 jaar, met dezelfde conclusie als bij plot 125.
- Plotnummer 127, FB003 – Smilde 7, alleen de hoogte is bekend.
- Plotnummer 128, FB004 – Smilde 8, alleen de hoogte is bekend.

Er resteren 116 plots met 388 waarnemingen. In de plantafstandproef F400 Gieten bestaat uit drie behandelingen met zes herhalingen. Voor de analyse van de hoogteontwikkeling zijn in Hoofdstuk 3 in plaats van de 6 herhalingen de som per behandeling als één 'nieuw' plot gebruikt. Er zijn dan $116 - 18 + 3 = 101$ plots met in totaal 310 opnamen voor de analyses.

3. Hoogteontwikkeling

In de studie voor de Japanse lariks en douglas zijn de HOSP-plots als controle gebruik. Van de 101 proefperken met 310 opnamen zijn er echter 47 % HOSP-plots. Om voldoende dekking te krijgen over het totale spectrum, zijn bij de fijnspar de HOSP-plots ook voor de analyse gebruikt. In Figuur 1a is de hoogte ontwikkeling per plot weergegeven. Daarnaast is er beschikking over de hoogtegegevens van 7760 fijnsparrenopstanden uit de 4^e Bosstatistiek (CBS, 1985), zie Figuur 1b.



Figuur 1 . Hoogteontwikkeling in de geselecteerde fijnsparproefperken (a) en hoogte en leeftijd bij opstanden in 4^e Bosstatistiek (b).

Figure 1. Development of tree height in the selected Norway spruce plots (a) and height and age of stands in Fourth National Forest Inventory (b).

Bij enkele perken is er sprake van een lagere hoogte bij een volgende opname. Dit gaat meestal om echte fenomenen en geen fouten in de waarnemingen. Er is sprake van topsterven door incidentele ziekten of plagen of omdat de opstand een hoogte bereikt heeft waarop er een soort evenwicht ontstaat tussen de groei van nieuwe topscheuten en de afbraak ervan. Er is sprake van een afplattingshoogte. Aangezien er ieder jaar weer een nieuwe topscheut wordt gemaakt, is (zolang de bomen leven) er dus geen maximale “gesommeerde hoogtegroeï” maar wel een maximale opstandhoogte (als resultante van de groei in de top en van het topsterven). Bij de modelvorming moeten we daar dus rekening mee houden.

3.1. Modellen voor hoogtegroeï

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 opbrengsttabel voor de fijnspar is een variant van Chapman-Richards model gebruikt (Jansen & Hildebrand, 1986):

$$h_{top} = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^{(b_0 + b_1 \cdot S)} \quad (2)$$

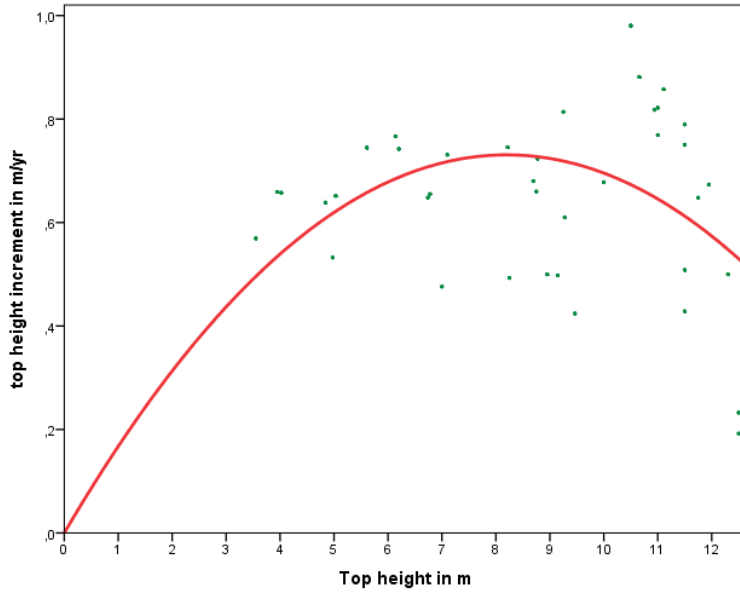
De te onderzoeken modellen hebben dus een asymptoot, waarvoor hier het symbool S wordt gebruikt, dit is een maat voor de boniteit, daarnaast wordt ook de hoogte bij een vaste leeftijd als maat voor de boniteit gebruikt. Voor de fijnspar zal de h_{50} worden gebruikt.

In Formule (2) is S de zogenaamde “ S -waarde” 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.

Jansen *et al.* (2018) testten 8 modellen voor de Japanse lariks, drie daarvan scoorden zo laag dat deze niet meer onderzocht zullen worden. De te onderzoeken modellen zijn naast het model van Formule (2), Chapman-Richards, Burkhardt-Tennent, Jansen *et al.* 2016 en Cieszewski.

Jansen *et al.* (2018) ontwikkelde een selectiemethode voor een model in twee stappen. Als eerste werd een MCA (Multi criteria-analyse) gebruik met 7 criteria. Daarna een visuele test met de data van de 4^e bosstatistiek. De 7 criteria 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. Indien het model voor alle proefperken geschikt is, zal het 95% betrouwbaarheidsinterval van CV klein zijn;
3. De h_{50} met de gemiddelde waarde en een 95% betrouwbaarheidsinterval, volgens Figuur 1a moet dat ongeveer 21 m zijn en tussen de 14 en 27 m liggen, maar volgens Figuur 1b tussen 10 en 25 m, dus erg nauwkeurig is dit niet te bepalen;
4. De model parameter S en een 95% betrouwbaarheidsinterval ervan, en getoetst of deze overeenkomt met de te verwachten maximale afplattingshoogte. De hoogst gemeten opperhoogte bleek 34.0 m bij een leeftijd van 100 jr. Bij de opname voor de 4e bosstatistiek (CBS, 1985) is de opperhoogte per opstand geschat. De hoogste waarde voor fijnspar bedroeg 31 m. De hoogste fijnsparren in opstandverband bevinden zich in een menging met douglas op Het Loo en bedragen bij een leeftijd van ruim 150 jaar tussen 39 tot 43 m, zie <https://www.monumentaltrees.com/nl/hogtorecords/nld/> (geraadpleegd op 11-2-2018). De maximale S -waarde voor de beste boniteit voor monoculturen van fijnspar zal daarom 35 à 37 m mogen bedragen;
5. De leeftijd waarop de borsthoogte wordt bereikt. Op het tijdstip 0 moet de hoogte ook 0 zijn, daarna moet de groei in de jeugd langzaam op gang komen. Een gemiddelde boniteit doet er ongeveer 6 jaar over om borsthoogte te bereiken met een range van 4 tot 10 jaar, maar het kan onder extreme omstandigheden ook veel langer duren. De mate waarin de door het model voorspelde waarde t_{130} en een 95% betrouwbaarheidsinterval ervan, overeenkomt met deze verwachting;
6. De groei versnelt tot de hoogte ongeveer 8 m, dat moet dus het buigpunt van de curve zijn, zie Figuur 2. De mate waarin de door het model voorspelde waarde voor de hoogte van het buigpunt h_f en een 95% betrouwbaarheidsinterval ervan overeenkomt met die uit Figuur 2, dus ongeveer bij 8.2 jaar;
7. Het al dan significant zijn van alle parameterschattingen.



Figuur 2 . Hoogtebijgroei als functie van opperhoogte voor $h_{top} \leq 13m$. Met rode lijn is de kwadratische fit door de puntenwolk en door de oorsprong, een buigpunt bij 8.2 m.

Figure 2. Height increment as a function of the height for $h_{top} \leq 13$ m. The red line shows the quadratic fit through the measured points and through the origin, an inflection point at 8.2 m.

3.2 Analyse

De volgende zes modellen zijn onderzocht.

1. Chapman-Richards (zie Pienaar & Turnbull, 1973):

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

2. Burkhardt & 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) , zie Formule (2)

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

$$h_{top} = \begin{cases} f_1(t) = x \cdot \frac{e^{-a_k \cdot t^{-c}}}{e^{-a_k \cdot t_x^{-c}}} & \text{for } t \leq t_x \\ f_2(t) = S \cdot (1 - e^{-a \cdot t})^{(b_0 - b_1 \cdot S)} & \text{for } t > t_x \end{cases} \quad (5)$$

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

Voor de grenswaarde voor de jeugdgroei gebruikten ze $x = 7$ m.

5. Het Cieszewski model (2001) gebruikt een referentieleeftijd, voor 50 jaar luidt het:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \frac{t^a \cdot (50^a \cdot R + b)}{50^a \cdot (t^a \cdot R + b)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot b \cdot h_{50}}{50^a}} \text{ and } Z = h_{50} - c \quad (6)$$

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

Een probleem bij het schatten van de parameters van de modellen is dat naast de 1, 2 of 3 parameters van het model ook de boniteit (de 101 proefperkparameters S of h_{50}) moeten worden geschat. “Zo wordt bijvoorbeeld het Chapman-Richards model (3) herschreven tot

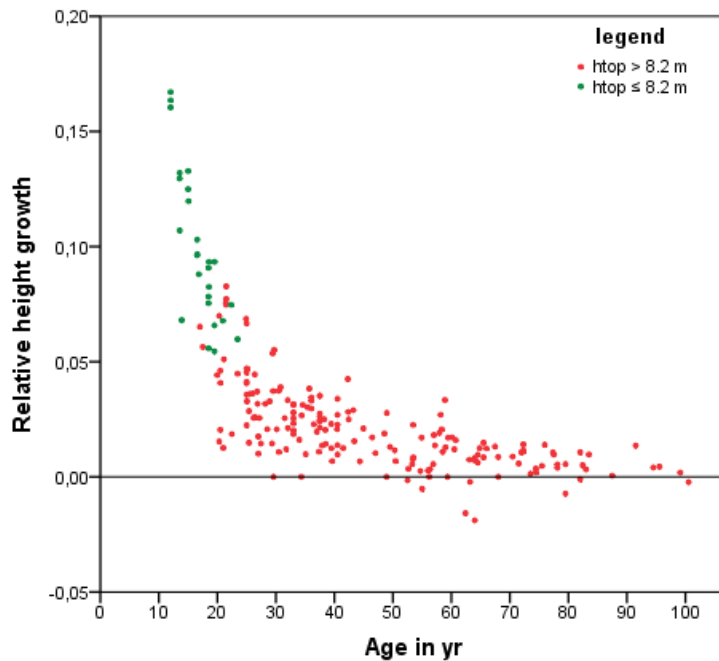
$$h_{top,ij} = \left(\sum_{i=1}^{101} S_i \cdot x_i \right) \cdot (1 - e^{-\alpha t_{ij}})^b \text{ for the } j^{\text{th}} \text{ recording in the } i^{\text{th}} \text{ plot} \quad (7)$$

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:

$$y = \frac{dh_{top}}{dt} \cdot \frac{1}{h_{top}} = \frac{(h_{top2} - h_{top1})}{(t_2 - t_1) \cdot (h_{top1} + h_{top2})/2} \quad (8)$$

Met de huidige reken capaciteit is dat niet meer nodig, maar hiermee kunnen wel goede beginschaters voor de modelparameters worden gevonden. In Figuur 3 is deze relatieve groei tegen de leeftijd uitgezet, met de hier getoonde grote variatie zal een duidelijk beste model niet eenduidig te bepalen zijn. Juist de moeilijk te bepalen jeugdgroei is bepalend.



Figuur 3. Relatieve hoogtegroeï als functie van de leeftijd. Negatieve waarden duiden op topsterfte (uiteraard kan er in een lang meetinterval ook bij een positieve relatieve hoogtegroeï sprake van topsterven zijn geweest).

Figure 3. Relative height increment as a function of age. Negative values indicate dieback (over a long time interval, dieback may have also occurred, despite an overall positive relative height increment).

Met een Multi criteria-analyse (MCA) met de 7 criteria van Pagina 9 met gelijk gewicht zijn de resultaten beoordeeld. In tabel 2 zijn de resultaten weergegeven van de regressieanalyse van de opperhoogte met de besproken modellen. In de bovenste helft van de Tabel 2 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 (2.5 betekent gedeelde 2^e en 3^e plaats). Daarmee is de keuze gevallen op het model van Cieszewski.

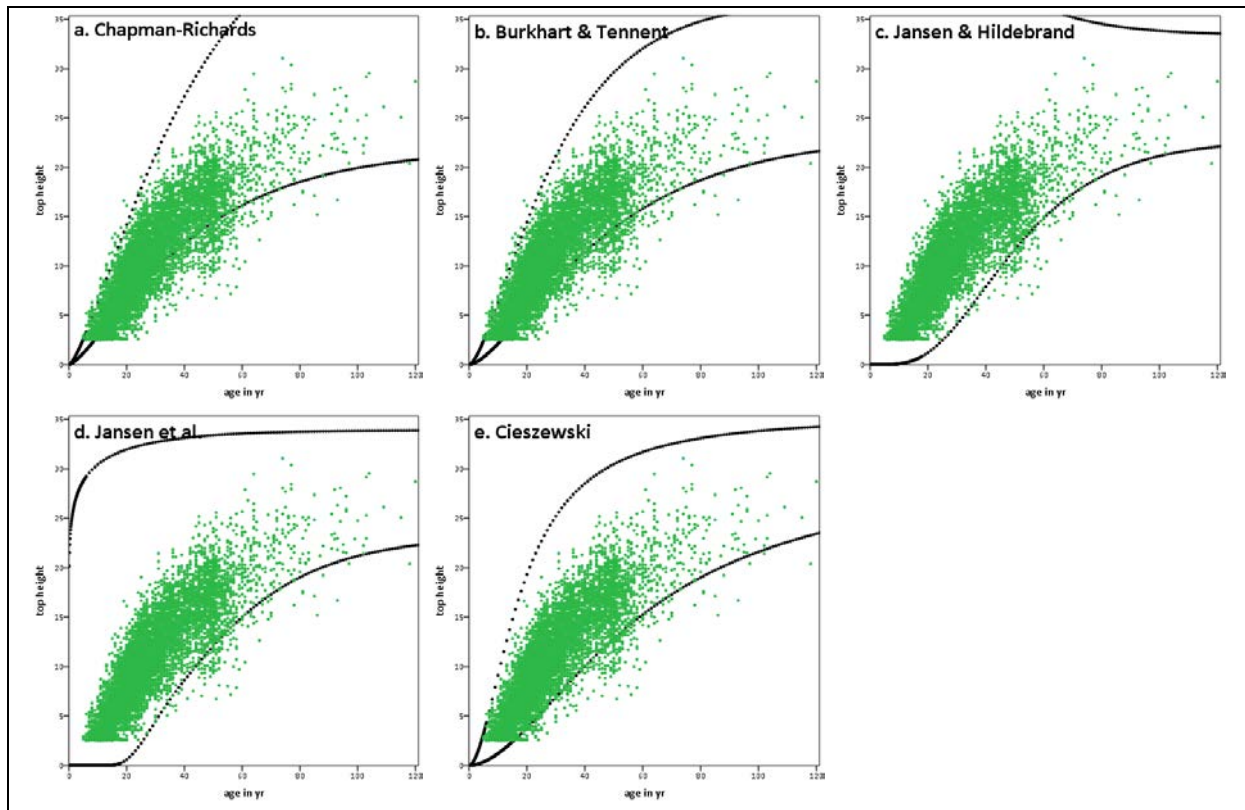
Tabel 2. Resultaten van niet-lineaire regressie met de geselecteerde modellen in MCA.

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

	model	$n_{par}^*)$	R^2_{adj}	CV_S	h_{50}	S	t_{130}	h_{if}	s/ns	result
values	Chapman-Richards	2	0.977	6 {3;9}	21 {14;32}	33 {22;49}	4 {3;5}	6 {4;8}	s	4
	Burkhardt & Tennent	3	0.979	6 {2;10}	21 {14;30}	30 {23;37}	5 {3;6}	6 {5;7}	ns	2
	Jansen & Hildebrand	3	0.982	3 {2;4}	21 {12;38}	28 {23;33}	-	-	ns	5
	Jansen <i>et al.</i>	4	0.982	4 {2;5}	21 {12;33}	29 {23;34}	10 {3;17}	1 {0;11}	ns	3
	Cieszewski	3	0.982	3 {1;5}	21 {13;30}	31 {30;35}	4 {4;8}	9 {8;9}	ns	1
ranking	Chapman-Richards	2	5	4	3	5	3	2	1	23
	Burkhardt & Tennent	3	4	5	1	1	2	3	3.5	19.5
	Jansen & Hildebrand	3	2	1	5	4	5	5	3.5	25.5
	Jansen <i>et al.</i>	4	1	3	4	3	4	4	3.5	22.5
	Cieszewski	3	3	2	2	2	1	1	3.5	14.5
	best score		max	min	21 {14;27}	≤ 37	6 {4;10}	8.2	s	

*) n_{par} = aantal model parameters exclusief de 101 parameters voor de boniteit.

In Figuur 4 zijn de data van de lijnen behorend bij de beste en slechtste boniteit tezamen met de waarnemingen van de 4^e Bosstatistiek getekend.



Figuur 4. Hoogtewaarnemingen 4^e Bosstatistiek en curven van de laagste en hoogste bo-niteit per model.

Figure 4. Top height observations in 4th Dutch Forest Inventory with lowest and highest site curves per model.

In Figuur 4 is te zien dat zowel het model van Jansen & Hildebrand als dat van Jansen *et al.* een onmogelijke combinaties van b_0 en b_1 opleveren voor de extremen. Bij Jansen & Hildebrand ontstond zelfs een negatieve b . De ondergrens van het model van Cieszewski sluit redelijk aan bij de data van de 4^e Bosstatistiek, dat geldt niet voor de bovengrens.

In een voorstudie zijn met gewogen gemiddelden de data van de 4^e Bosstatistiek in 4 groepen ingedeeld en de modellen getest op de wijze zoals dat bij de beuk is gebeurd. Ook hier bleek het model van Cieszewski het best. Er bleek echter een zeer groot verschil tussen de b -parameters uit Formule (6) in beide datasets, voor de proefperken net iets meer als 0 en niet significant en voor de 4^e Bosstatistiek was dat 2181.7777 en wel significant. Er is daarom besloten model (6) te fitten met als voorwaarde $b > 2181.7777$. De R^2 adj bleef afgerond gelijk, namelijk 0.982.

3.3 Uiteindelijke model

In formule (9) en alle volgende vergelijkingen die een onderdeel van het opbrengstmodel vormen worden de parameters genummerd als c_1 , c_2 , c_3 enzovoorts. Het model van Cieszewski (2002) luidt dan:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \frac{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)}{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50}}{50^{c_1}}} \text{ and } Z = h_{50} - c_3 \quad (9)$$

In Tabel 3 zijn de parameters en enige andere modeleigenschappen weergegeven

Tabel 3. Parameters en andere eigenschappen voor hoogteontwikkeling met Model (9)

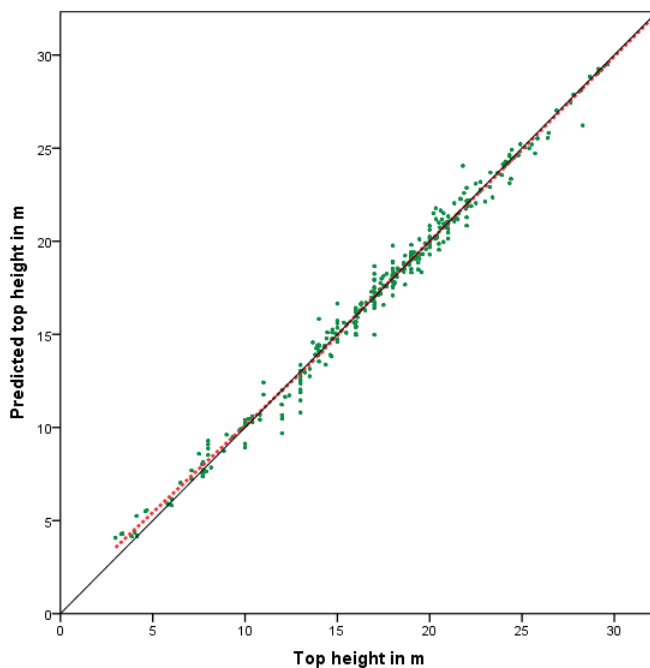
Table 3. Parameters and other characteristics for height development with Model (9).

R^2	R^2_{adj}	RMSE	Parameter Estimates			S	h_{50}	t_{130}	h_{if}
			Parameter	Estimate	Std. Error				
0.988	0.982	0.77	c_1	1.7859	0.089	33.5 {30.0;35.4}	21.2 {12.8;30.5}	5.8 {2.9;10.4}	8.5 {8.1;9.6}
			c_2	2181.7777	2704.007				
			c_3	29.2173	2.631				

In Figuur 5 is de met Formule (9) voorspelde opperhoogte uitgezet tegen de gemeten opperhoogte, er blijkt enige onzuiverheid bij lage waarden tot ongeveer 10 m. Bij bijvoorbeeld 7 m is er een overschatting met 20 cm.

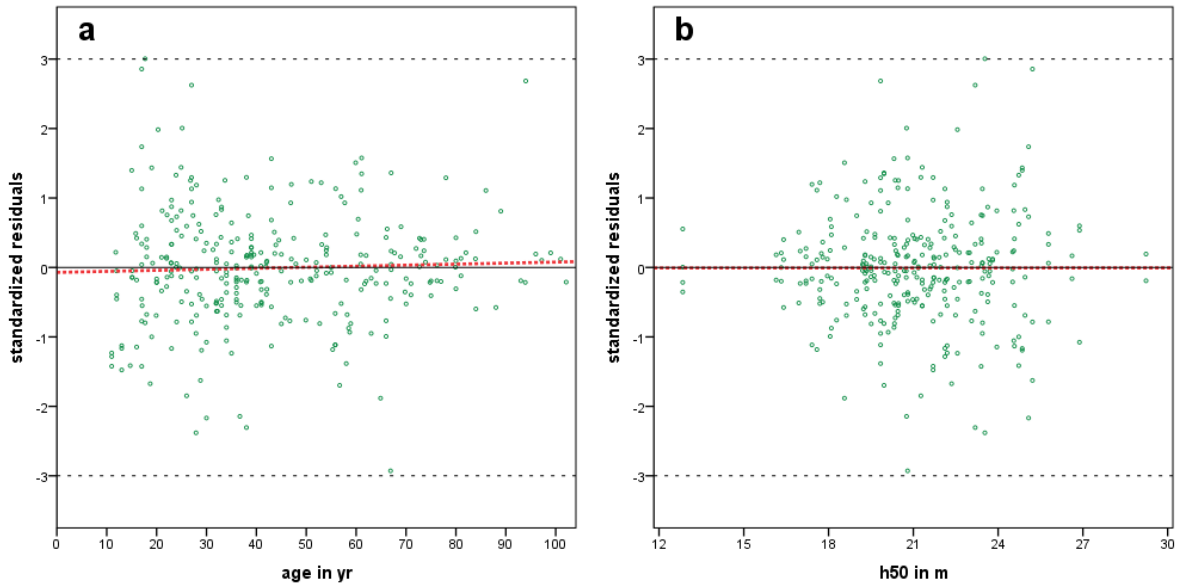
3.3.1 Analyse van de residuen

Bij lineaire regressie is het gebruikelijk naar uitbijters te kijken om fouten op te sporen. De residuen van de CNLR met Formule (9) zijn uitgezet tegen de systeemvariabelen leeftijd en h_{50} (Figuur 6).



Figuur 5. Voorspelde opperhoogte met Formule (9) in relatie met gemeten opperhoogte op tijdstip van de waarneming. De rode lijn geeft het voortschrijdend gemiddelde weer, de zwarte lijn geeft de perfecte fit met een hoek van 45° weer.

Figure 5. Predicted top height with model (13) in relation with observed top height at recording time. The red line represents the moving average, the black line the perfect fit with an angle of 45°.



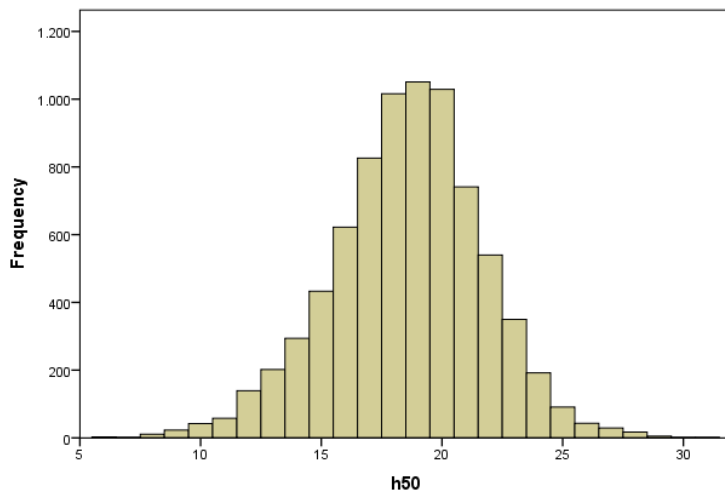
Figuur 6. Residuen in relatie tot leeftijd (a) en h_{50} (b), de rode lijn geeft de lineaire fit weer.

Figure 6. Residuals in relation to top height (a) and h_{50} (b), the red line is the linear fit.

In Figuur 6a is te zien dat er een geringe onzuiverheid is in het model ten opzichte van de leeftijd, deze is echter niet significant. Er zijn ook geen uitbijters aanwezig.

3.3.2 Boniteitindeling

Met de gegevens van de 4^e bosstatistiek (CBS, 1985) is van 7760 monocultures met fijnspaar 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 7.



Figuur 7. Frequentiehistogram van h_{50} in 4^e Bosstatistiek.

Figure 7. Frequency histogram of h_{50} in the 4th National Forest Inventory.

Het frequentiehistogram van Figuur 7 is redelijk normaal verdeeld. De gemiddelde h_{50} bedraagt 19.6 en ligt tussen 6.0 en 31.4 m. In de plotdata was dat 21.2 {12.8; 30.5}, dus vooral

aan de onderkant is de marge veel groter in de data van de 4^e Bosstatistiek. Er is gekozen om het deel tussen 10.7 en 25.7 m in 5 boniteiten in te delen. Zie Tabel 4 voor het resultaat. Met deze indeling heeft 1.0 % van alle opstanden van de fijnspar een betere boniteit dan de I^e en 1.2 % heeft een slechtere boniteit dan de V^e.

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 ^e Bosstatistiek % in 4th forest inventory
< I		> 25.7	4.2	1.0
I	24.2	(22.7 – 25.7)	21.6	7.3
II	21.2	(19.7 – 22.7)	45.2	28.2
III	18.2	(16.7 – 19.7)	25.2	38.1
IV	15.2	(13.7 – 16.7)	2.6	18.5
V	12.2	(10.7 – 13.7)	1.3	5.6
> V		< 10.7		1.2

In de dataset blijken de betere boniteiten oververtegenwoordigd, wat ook bij de eerder geanalyseerde datasets het geval was.

De verdeling over de leeftijdsklassen binnen de boniteiten is niet homogeen, hetgeen ook wel zonder toets van aanpassing te zien is, zie Tabel 5. Er van uitgaande dat in de echte situatie in het Nederlandse bos wel sprake is van een homogene verdeling, dan blijkt jong bos met de nieuwe parametercombinatie te hoog te worden geboniteerd en oud bos te laag. In Figuur 8a is de hoogteontwikkeling per boniteit samen met die van de proefperken en in Figuur 8b samen met de gegevens van de 4^e Bosstatistiek weergegeven. Opstanden met leeftijden boven 120 jaar zijn in Figuur 8b weggelaten.

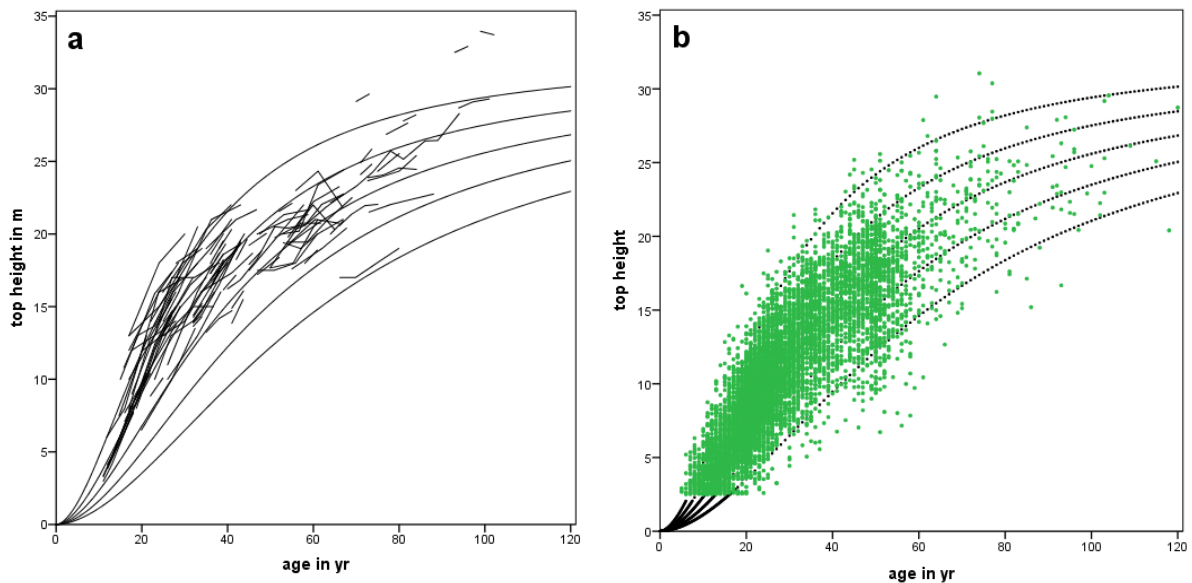
Tabel 5. Aantal opstanden per leeftijdsklassen en boniteit in 4^e Bosstatistiek.

Table 5. Age classes per site class in 4th National Forest Inventory (number of stands).

leeftijdsklasse	≤ I	II	III	IV	≥ V	totaal
0 - 10	128	73	13			214
10 - 20	300	761	771	271	53	2156
20 - 30	147	808	1097	419	102	2573
30 - 40	28	343	487	271	86	1215
40 - 50	21	140	399	267	130	957
50 - 60	7	42	126	138	102	415
60 - 70	6	9	28	39	30	112
70 - 80	6	8	24	15	10	63
80 - 90		1	7	7	6	21
90 - 100		4	4	8	5	21
> 100	2	2	3	3	3	13
Totaal	645	2191	2959	1438	527	7760

In Figuur 8a is juist te zien dat de boniteit van veel jong bos in de loop van de tijd een betere boniteit krijgt. Er is dus een discrepantie tussen de conclusie bij Tabel 5 en Figuur 8. Dit komt omdat de bij Model (9) gevonden parameters van Tabel 3 een compromis betreft tussen

groei in de permanente proefperken en de gemiddelde situatie uit de 4^e Bosstatistiek. Het compromis betrof de voorwaarde voor een zeker minimum voor c_2 bij de oplossing in Formule (9), gebaseerd op de data uit de 4^e Bosstatistiek.



Figuur 8. Boniteitcurven voor de fijnspar in Nederland met de hoogteontwikkeling van de proefperken(a) en met de waarnemingen van de 4^e Bosstatistiek (b).

Figure 8. Top height development of the plots (a) and data 4th National Forest Inventory (b) both with site curves.

3.4 Conclusie

Geen enkel model voldeed voldoende aan de uitgangscriteria. Het model van Cieszewski benaderde dit het best, hiermee is een indeling in 5 boniteiten gemaakt. Ongeveer 1 % van de fijnsparbossen in Nederland heeft een betere boniteit dan de hier gepresenteerde boniteit I, en eveneens 1 % heeft een lagere boniteit dan boniteit V. Een tekortkoming van het model is dat de verklaring van de hoogteontwikkeling tot 10 m tegenstrijdig is tussen die in proefperken en in 4^e Bosstatistiek.

4. Opbrengstniveau

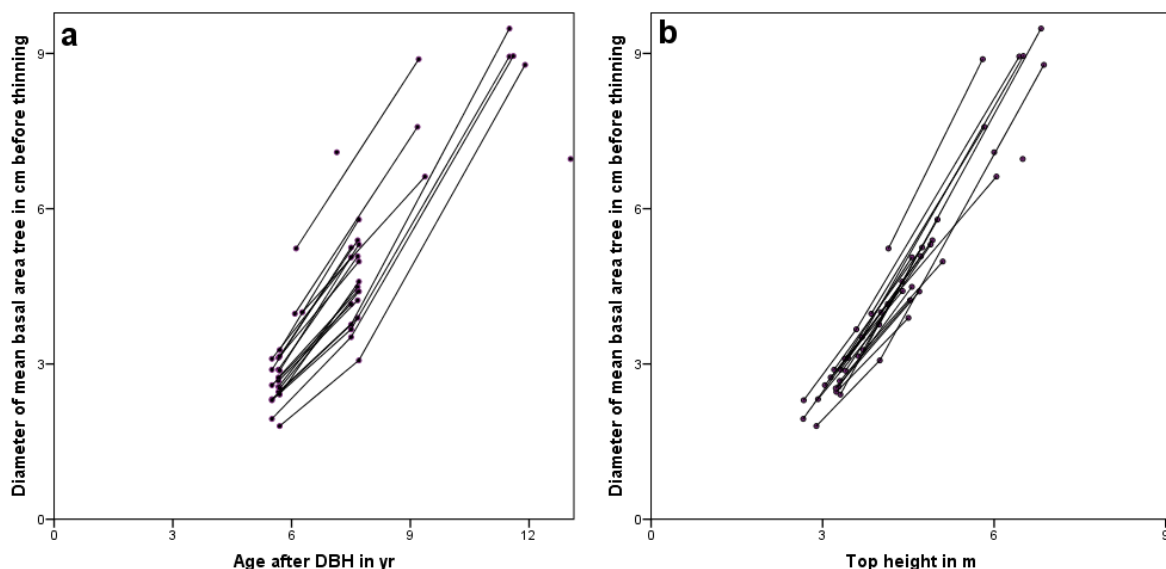
Naast de hoogtegroeï vindt ook diktegroeï plaats. Dit resulteert in diameterbijgroeï $i_d = (d_2 - d_1) / (t_2 - t_1)$ en grondvlakbijgroeï $i_G = (G_2 - G_1) / (t_2 - t_1)$. Hoogtegroeï en diktegroeï tezamen resulteren in een volumebijgroeï. In opbrengsttabellen is een belangrijk doel juist de volumebijgroeï te bepalen. Aangezien het boomvolume in de dataset een afgeleide, berekende variabele is en niet berust op een primaire waarneming, zal ook de volumebijgroeï 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 en vonden dat de opstandontwikkeling tot een opstandhoogte van 7 m het best verklaard werd met een voorstelling van de diameter voor dunning. Vanaf een hoogte van 7 m werd de opstandontwikkeling beter verklaard door de grondvlakbijgroeï. In Paragraaf 4.1 zal de diameterontwikkeling en daaraan gekoppeld de grondvlakontwikkeling worden geanalyseerd en gemodelleerd. In Paragraaf 4.2 zal de grondvlakbijgroeï 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 gemiddelde grondvlak) is weggelaten.

Uit Figuur 9 blijkt dat de diameter voor dunning zowel met behulp van de leeftijd als de opperhoogte is te voorspellen. De eerste stap het selecteren van een goed groeimodel.



Figuur 9. Verloop diameterontwikkeling als functie van leeftijd (a) en opperhoogte (b).

Figure 9. Course of the diameter development as a function of age (a) and top height (b).

Stap 1. Het bepalen van een groeimodel

Het model, dat Jansen *et al.* (2016) voor de diameterontwikkeling van douglas gebruikten, bestaat uit een component voor de jeugdgroei tot een hoogte van 7 m zonder dunning, en een component voor de ontwikkeling daarna, met een Gompertz-functie voor jeugdgroei en een powerfunctie daarna. Jansen *et al.* (2018) vereenvoudigde het model voor de Japanse lariks en transformeerde het naar een schatter voor het gemiddelde boomgrondvlak voor dunning:

$$g_{bt} = \pi \cdot \left(\frac{d_{bt}}{200}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{d_7}{200}\right)^2 \cdot \left\{ \frac{\exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (h_{top} - 1.30)}\right)}{\exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (7 - 1.30)}\right)} \right\}^2 \quad \text{for } h_{top} \leq 7 \text{ m} \quad (10)$$

where $d_7 = c_6 + c_7 / \sqrt{N_0}$

Met 48 waarnemingen en een R^2 adj van 0.976 de oplossing van Tabel 6 gevonden.

Tabel 6. Parameters voor Model (10).

Table 6. Parameters for Model (10).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_4	3.8455	0.597	2.643	5.048
c_5	0.1486	0.056	0.036	0.261
c_6	7.2517	0.221	6.806	7.697
c_7	120.4953	10.968	98.390	142.601

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

Tabel 7. Diameter voor dunning bij $h_{top} = 7$ m en HD-ratio per beginstamtal.

Table 7. Diameter before thinning at $h_{top} = 7$ m and HD-ratio per initial density.

N_0	d_7	HD-ratio
1250	10.7	66
2500	9.7	72
5000	9.0	78
10000	8.5	83

In de regressiediagnose werden geen aandachtspunten gevonden.

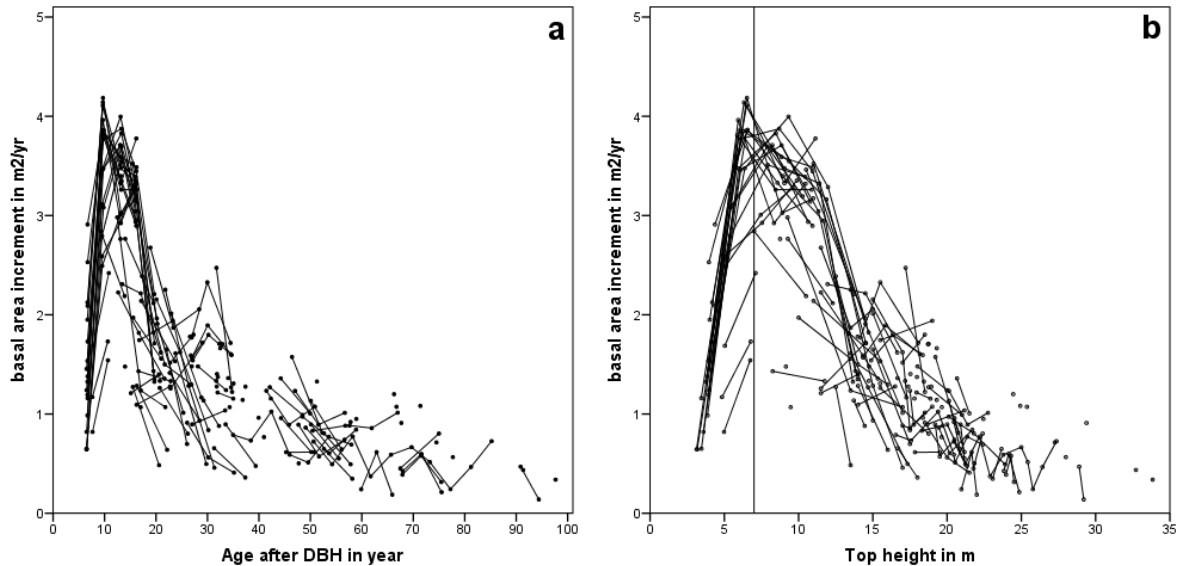
Conclusie

Het model dat Jansen *et al.* (2018) voor de Japanse lariks vonden bleek toepasbaar voor de fijnspar.

Er is een nauwkeurige schatter voor de d_7 (de diameter bij een opperhoogte van 7 m) gevonden. En ook de ontwikkeling van die diameter tot d_7 kan voorspeld worden.

4.2 Grondvlakbijgroei

In Figuur 10 is te zien dat de grondvlakbijgroei een nogal chaotisch verloop vertoont. Het lijkt erop of er sprake is van een eerst stijgende functie zowel naar leeftijd als hoogte en daarna een monotoon dalende functie. Als grens is een hoogte van 7 m aangehouden, ontwikkeling van het grondvlak tot 7 m is in Paragraaf 4.1 al besproken. Hier wordt de groei vanaf een hoogte van 7 m behandeld.



Figuur 10. Grondvlakbijgroei als functie van leeftijd (a) en opperhoogte (b). De zwarte lijnen geven het verloop binnen één plot aan.

Figure 10 The basal area increment as a function of age (a) and top height (b). The black line represents the course within one plot.

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

Uit Figuur 10b blijkt dat de keuze voor een ondergrens bij een opperhoogte van 7 m voor de dat bij de analyse in deze Paragraaf redelijk is, maar zeker niet voor alle plots een geschikt moment is. In verband daarmee zijn de data van de proefperken 19 (F16), 39 (F809), 97 (H0401) en 119 (H1794) uitgesloten van navolgende analyse.

Stap 1. Bijgroeimodel voor grondvlak bepalen.

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

$$i_{G,ijk} = YI_j \cdot PL_k \cdot f_1(Tgr) \cdot f_2(boniteit) \cdot \frac{F_3(t_2, h_2) - F_3(t_1, h_1)}{t_2 - t_1} \quad (11)$$

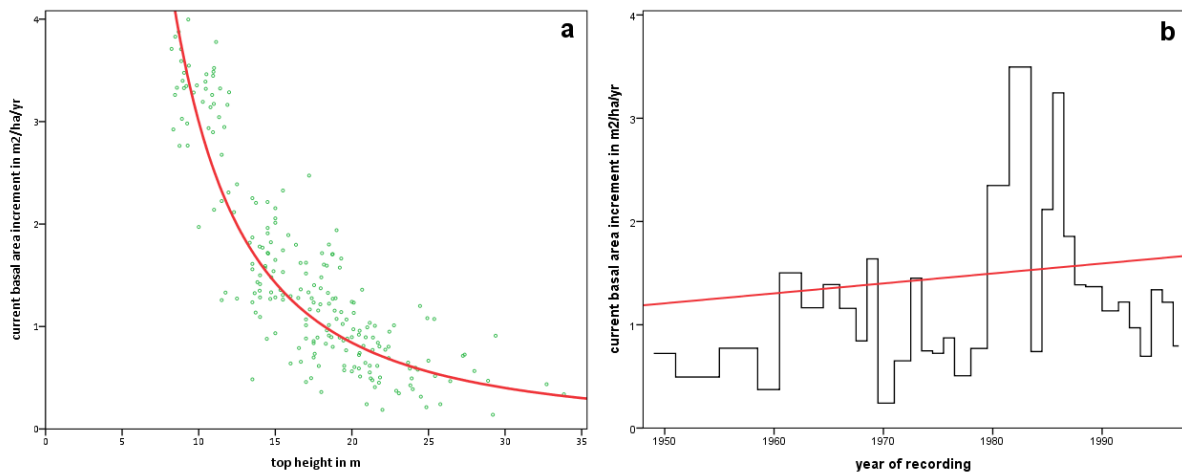
Voor de douglas bleek f_2 geen significante bijdrage te leveren.

Hierin is F_3 een power-functie, een simpel groeimodel (power-functie) luidt:

$$f_3 = a \cdot h_{m0}^b \quad \text{where } h_{m0} = (h_{top1} + h_{top2})/2 - 1.30 \quad (12)$$

Hierin is f_3 niet langer het verschilmodel F_3 uit formule (11), maar het afgeleide model ervan. Dit model is gefit, in Figuur 11a is beste fit met $I_G = f_3$ gegeven. Ook het jaar van aanleg YI lijkt veel variantie te verklaren (Figuur 11b), maar voorzichtigheid is geboden omdat de toppen bij 1982, 1983 en 1986 juist de hoogste waarden in figuur 11a vertegenwoordigen tussen de 7 en 12 m.

Geconstateerd kan worden dat een powermodel zoals Jansen *et al.* (2016) gebruiken geschikt is om de grondvlakbijgroei te verklaren.



Figuur 11. Lopende grondvlakbijgroei als functie van de opperhoogte met in rood de beste fit voor een power-model (a) en de gemiddelde lopende grondvlakbijgroei als functie van het jaar van opname met in rood de lineaire fit (b).

Figure 11. Current Basal area increment as a function of the top height with in red the best fitting power function (a), and with the year of recording with in red the linear fit (b).

Stap 2. Verschilmodel voor grondvlakbijgroei.

Bij het fitten van Model (11) kan de jaarindex YI voor het j^e kalender niet worden meegenomen wel bleek deze bij de douglas te kunnen worden vervangen door een correctiefactor cf_{80} met een waarde voor opname voor en na 1980. De functie f_2 bleek voor douglas geen significante bijdrage te leveren. 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. Ook voor de fijnspar bleek het model toepasbaar, en f_2 bleek net als bij douglas geen rol te spelen. De cf_{80} factor bleek niet significant, en de leeftijd was wel van belang. Het aangepaste model luidt:

$$i_G = cor_{S\%} \cdot c_8 \cdot \{c_{14} \cdot Term_h + (1 - c_{14}) \cdot Term_t\} \quad \text{for } h_2 > 7$$

$$\text{where } Term_h = \frac{(h_{2c} - 1.30)^b - (h_1 - 1.30)^b}{dt} \quad \text{and } Term_t = \frac{(t_2 - t_{130})^b - (t_1 - t_{130})^b}{dt}$$

$$b = \begin{cases} c_{11} & \text{for } h_{top} > c_{13} \\ c_{11} + c_{12} \cdot \sqrt{c_{13} - h_{top}} & \text{for } h_{top} \leq c_{13} \end{cases}$$

$$cor_{S\%} = \begin{cases} 1 & \text{for } S\% \leq c_{10} \\ 1 - c_9 \cdot \sqrt{S\% - c_{10}} & \text{for } S\% > c_{10} \end{cases} \quad (13)$$

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

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

Met een $R^2_{adj} = 0.857$ en standaarddeviatie $0.37 \text{ m}^2\text{jr}^{-1}\text{ha}^{-1}$ werden volgende parameters gevonden (zie Tabel 8).

Tabel 8. Parameterschatting met Model (13)

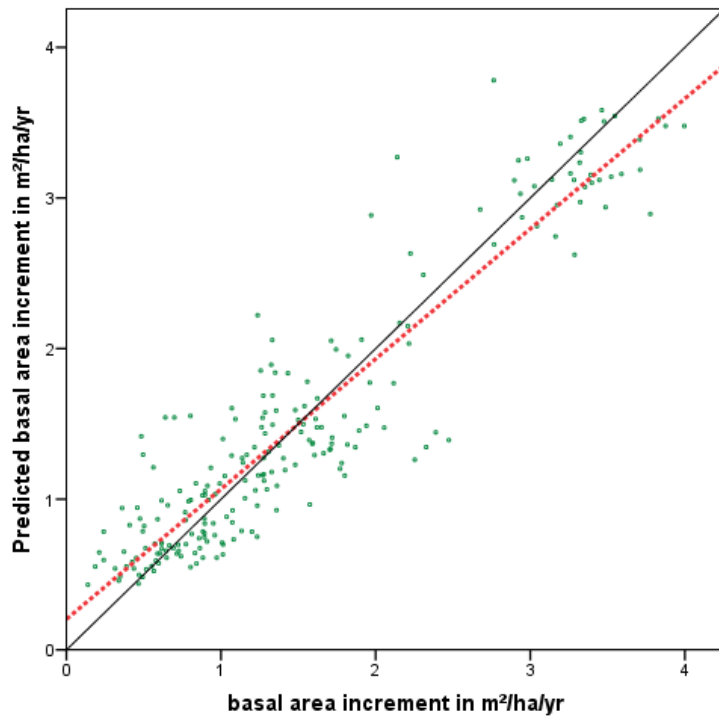
Table 8. Parameter estimation with Model (13).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_8	40.4054	17.021	6.854	73.957
c_9	0.0936	0.017	0.060	0.127
c_{10}	14.2874	3.622	7.147	21.428
c_{11}	0.3885	0.071	0.249	0.528
c_{12}	0.0537	0.012	0.030	0.078
c_{13}	10.9979	0.306	10.395	11.601
c_{14}	0.4254	0.059	0.309	0.542

Stap 3. Kwaliteit van het model

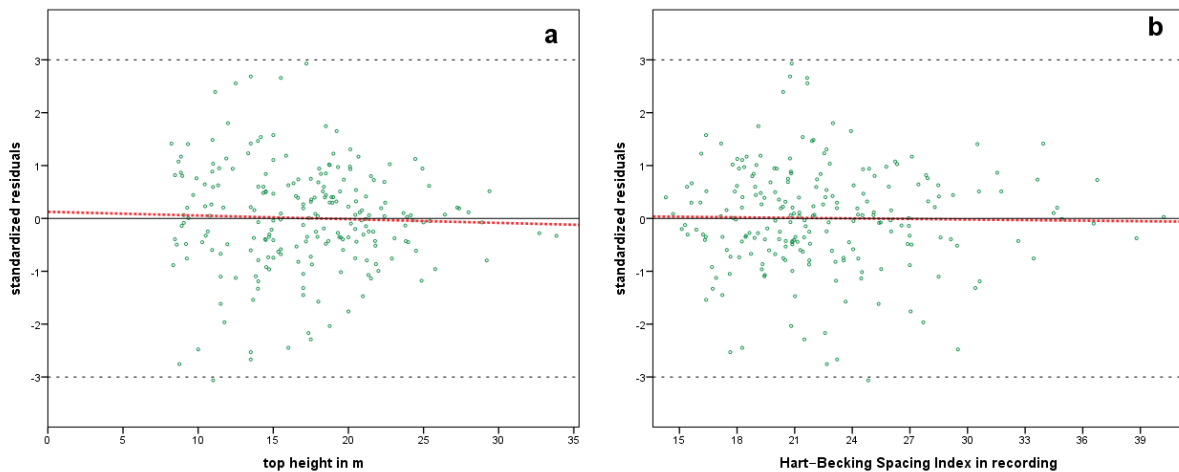
In Figuur 12 is te zien is dat het model lage waarden van de grondvlakbijgroei overschat en de hoge waarden onderschat. Dit heeft te maken met het ontbreken van een verfijnde jaar-index. In Figuur 13 is te zien dat er 1 uitbijter is die meer dan 3σ afwijken. Een verklaring werd niet gevonden.

In Figuur 13 is te zien dat het model voor de beide directe modelvariabelen opperhoogte (Figuur 13a) en $S\%$ (Figuur 13b) een nagenoeg zuivere schatter geeft. Dat geldt ook voor de modelvariabele leeftijd (hier niet getekend). Maar de hellingshoek van de lineaire fit door de puntenwolk bij de niet-modelvariabele boniteit h_{50} in de Figuur 14a blijkt net niet significant. Er werd geen oplossing gevonden voor een aanpassing van model (13). Figuur 14b laat met een voortschrijdend gemiddelde zien dat zo'n oplossing niet voor de hand ligt.



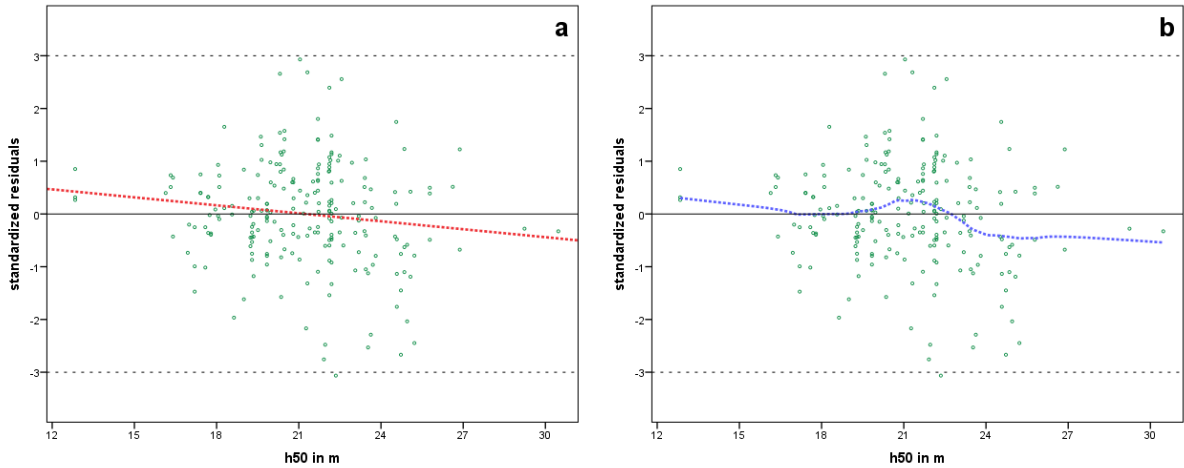
Figuur 12. Voorspelde grondvlakbijgroei als functie van de gemeten grondvlakbijgroei. De zwarte lijn geeft een 1 op 1 verhouding aan; de rode lijn is de lineaire fit door de puntenwolk.

Figure 12. 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 13. Gestandaardiseerde residuen van Model (13) in relatie tot de modelvariabelen opperhoogte(a) en S% (b). De rode lijn geeft de lineaire regressielijn weer door de residuen.

Figure 13. Standardized residuals of Model (13) in relation to the model variables top height (a) and Hart-Becking Spacing Index (b). The red line shows the linear regression line through the residuals.



Figuur 14. Gestandaardiseerde residuen van Model (13) in relatie tot de niet-modelvariabele h_{50} . De rode lijn (a) geeft de lineaire regressielijn weer door de residuen en de blauwe lijn (b) het voortschrijdend gemiddeld.

Figure 14. Standardized residuals of Model (13) in relation to the non-model variable site index h_{50} . The red line (a) shows the linear regression line through the residuals and the blue line the moving average (b).

Het plotniveau zou volgens Formule (11) als kunnen worden bepaald:

$$i_G = \hat{i}_{G_f13} \cdot PL_k \quad \text{for } k \in \text{selection} \quad (14)$$

Maar aangezien van de 102 plots er slechts 2 op meer dan 5 waarnemingen is een redelijke schatting niet mogelijk.

Conclusie

Met het model van Jansen *et al.* (2016) is de grondvlakbijgroei te voorspellen, niet alle elementen van het model bleken toepasbaar.

5. Dunningstelsysteem

In de dunningproeven van studie 2 en 3 zijn verschillende vaste dunninggraden nagestreefd (zie Tabel 9).

Tabel 9. Dunninggraden.

Table 9. Thinning grades.

Tgr_0	S% bij 50 jr	Omschrijving
1	13	zonder dunning
2	16	zwakke laagdunning
3	19	matige 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. De achtergrond van dit fenomeen heeft betrekking op de kroonontwikkeling. Vanaf ongeveer 50 jaar neemt de hoogtegroeifactor af omdat er in toenemende mate topsterfte optreedt. Dit resulteert in een hogere ratio tussen de kroonbreedte en hoogte vanaf die tijd dan ervoor. Het S% is dan niet langer een constante maar verandert met de tijd:

$$S\% = \begin{cases} 13 + 3 \cdot (Tgr_0 - 1) & age \leq 50 \\ 13 + 3 \cdot (Tgr_0 - 1) + c_{15} \cdot (age - 50) & age > 50 \end{cases} \quad (15)$$

Vanaf de eerste dunning of sterfte tot een leeftijd van 50 jaar komt het S%, behorend bij de in te stellen dunninggraad Tgr_0 , overeen met die uit de tweede kolom van de tabel, daarna loopt het S% langzaam op.

Een model om c_{15} te schatten luidt:

$$S\%_{ij} = \begin{cases} S\%_j & age \leq 50 \text{ and } h_{top} > 7 \\ S\%_j + c_{15} \cdot (age_{ij} - 50) & age > 50 \text{ and } h_{top} > 7 \end{cases} \quad \text{for the } i^{th} \text{ record in the } j^{th} \text{ plot} \quad (16)$$

Gevonden werd $c_{15} = 0.1449$, met een ruim 95% betrouwbaarheidsinterval $\{0.030; 0.260\}$.

Omdat in het merendeel van de proefperken (de HOSP-plots) geen sprake is van experimentele behandeling met een zekere dunninggraad, komt deze onnauwkeurigheid overeen met onze verwachting.

In de opbrengsttabellen voor Duitsland, België, het Verenigd Koninkrijk en Nederland (zowel de vigerende als oudere tabellen) blijkt het S% vanaf 50 jaar ook toe te nemen (zie Tabel 10).

Hier is gekozen voor $c_{15} = 0.0742$, de gemiddelde waarde van de opbrengsttabellen uit Tabel 10, met uitsluiting van de hoogste en de laagste waarde. De dunninggraden hebben dus niet langer een vast maar een variabel S%.

Tabel 10. Verloop S% in enige opbrengsttabellen vanaf 50 jaar.

Table 10. Course of S% in some yield tables from 50 year and up.

Tabel	land	dunninggraad	S% bij 50%	Δ S% /jr
Becking & De Vries, 1933 ¹⁾	Nederland		20.2	0.2752
La Bastide & Faber, 1972	Nederland		18.0	0.0398
Jansen & Hildebrand, 1986	Nederland		21.9	0.0993
Wiedemann, 1936 ²⁾	Duitsland	matige dunning	15.6	0.0386
Dagnelie, 1988	België	A behandeling	16.4	0.1193
Hamilton & Christie, 1973	Verenigd Koninkrijk		20.0	0.0162

¹⁾ Een bewerking van Møller, 1933

²⁾ In: Schober, 1987

Er is een verband gedefinieerd tussen het stamtal en de diameter na dunnen of sterfte door Reineke (1933). Dit komt aan de orde in Paragraaf 5.1. La Bastide en Faber (1972) ontwikkelden een model om de diameter na dunning te berekenen, dit model wordt in Paragraaf 5.2 besproken.

Bij de analyse in Hoofdstuk 5 zijn de HOSP plots (studie 4) uitgesloten omdat de geschiedenis van de dunning niet bekend is. Daarnaast zijn opnamen uitgesloten die meer dan 2 dunninggraden van voorgaande afwijken (dit is meestal stormschade) en waarbij de diameter van de dunning hoger is dan die voor dunning (dat betreft hier ook stormschade).

5.1 Reineke's stamtal-diameter-relatie

Reineke (1933) formuleerde een allometrische relatie tussen stamtal en diameter voor ongedunde opstanden voor diverse soorten in Oregon en Washington (USA) als volgt:

$$\log N = K + c \cdot \log d_{am} \quad (17)$$

Jansen *et al.* (2016) breidde dit model voor geplante en gedunde opstanden uit tot:

$$\log N_{ot} = K_0 - u - \sqrt{u^2 + c_{19}^2} \quad (18)$$

where $u = -\frac{1}{2} \cdot \{c_{16} - c_{17} \cdot \log d_{ot} - c_{18} \cdot (Tgr - 1) - K_0\}$

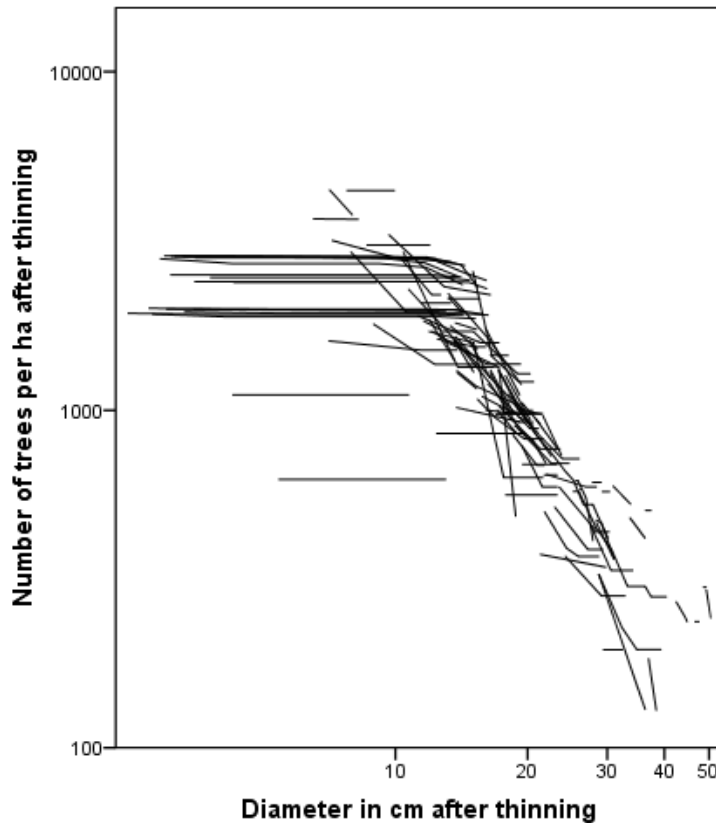
Met een R^2 adj van 0.962 werd de volgende oplossing gevonden (zie Tabel 11).

Tabel 11. De geschatte parameters met Model (18).

Table 11. The estimated parameters with Model (18).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
c_{16}	5.2438	0.038	5.169	5.319
c_{17}	1.6518	0.030	1.594	1.710
c_{18}	0.0569	0.003	0.051	0.063
c_{19}	0			

De parameter c_{19} bleek niet significant van 0 te verschillen. In de plantafstandproef F400C is het stamtal bij 3 proefperken in de 2e opname door dunning (lang voor de opstand in sluiting kwam) ongeveer gehalveerd van 5000 naar circa 2500. Die proefperken zijn ook uitgesloten. In Figuur 15 zijn de data grafisch weergegeven.



Figuur 15. Relatie stamtal en diameter na dunning.
 Figure 15. Relation between stem density and diameter after thinning.

5.2 Model van La Bastide-Faber voor voorspelling diameter na dunning

Het stamtal na dunning wordt bepaald met het S-procent van Hart. Jansen *et al.* (2016) voorspellen de diameter na dunning met een modificatie van het model van La Bastide en Faber (1972):

$$d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ R \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - R \right\} \quad (19)$$

$$\text{where } R = c_{20} + c_{21} \cdot h_{50} + c_{22} \cdot \sqrt{Tgr} + c_{23} \cdot t$$

Met een R^2 adj van 0.998 worden de volgende constanten gevonden:

Tabel 12. Parameterschatting met Model (19).

Table 12. Parameter estimation with Model (19).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C ₂₀	1.0719	0.104	0.867	1.277
C ₂₁	-0.0104	0.003	-0.017	-0.004
C ₂₂	-0.2210	0.020	-0.260	-0.182
C ₂₃	-0.0023	0.001	-0.003	-0.001

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.

5.3 Conclusie

In de inleiding is aangegeven hoeveel stammen er afhankelijk van de dunninggraad bij een zekere hoogte gedund worden. Hieruit volgt het stamtal na dunning. Met de inverse van Formule (18) is dan de diameter na dunning te voorspellen. Het probleem daarbij is dat vanwege die logaritmische transformatie de diameter zelf niet zuiver geschat wordt. De andere schatter van de diameter na dunning met Formule (19) uit Paragraaf 5.2 heeft een hogere R^2 en is zuiver en geniet daarom de voorkeur.

6. Constructie Opbrengsttabellen

Met de in deze studie gevonden relaties zullen nu nieuwe opbrengsttabellen worden gemaakt met 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 een presentatie van gegevens op dezelfde wijze als voor de douglas door Jansen *et al.* (2016).

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

Dominante hoogte

Het model van Jansen *et al.* (2016) is gekozen:

$$h_{dom} = \begin{cases} h_{top} - c_{24} \cdot h_{top}^{c_{25}} & \text{voor } N_{at} > 250 \\ \frac{N_{at} - 100}{250 - 100} \cdot (h_{top} - c_{24} \cdot h_{top}^{c_{25}}) + \frac{250 - N_{at}}{250 - 100} \cdot h_{top} & \text{voor } 100 < N_{at} \leq 250 \\ h_{top} & \text{voor } N_{at} \leq 100 \end{cases} \quad (20)$$

Met een R^2_{adj} van 0.997 werd gevonden voor 181 waarnemingen: $c_{24} = 0.006887$ en $c_{25} = 0.9935$.

Dominante diameter

Voor de dominante diameter werd met een R^2_{adj} van 0.941 het model van Jansen *et al.* (2016) gefit:

$$d_{dom} = \begin{cases} d_{dom2} & \text{for } h_{top} \leq 7 \text{ m} \\ (2 \cdot d_{dom2} + d_{dom1})/3 & \text{for } 7 < h_{top} \leq 9 \text{ m} \\ (d_{dom2} + 2 \cdot d_{dom1})/3 & \text{for } 9 < h_{top} \leq 11 \text{ m} \\ d_{dom1} & \text{for } h_{top} > 11 \text{ m} \end{cases}$$

where $d_{dom1} = d_{at} + \left\{ c_{26} \cdot h_{50}^{c_{27}} \cdot (d_{at}/c_{28})^{c_{29}-1} \cdot \exp\left(-\left(d_{at}/c_{28}\right)^{c_{29}}\right) \right\} \cdot (1 - c_{30} \cdot Tgr_0)$

$$d_{dom2} = c_{31} \cdot d_{at} \quad (21)$$

Tgr_0 is the actual thinning grade from Formula 15 with $\max Tgr_0 = 7$

De oplossing heeft wat bedenkingen. De parameter c_{28} blijkt niet schatbaar en moet ingesteld worden als schaalfactor (de maximale d_{dom}) gekozen is voor 60 cm. De correlatiecoëfficiënt tussen de parameters c_{26} en c_{27} is zeer hoog, namelijk -0.987, de nauwkeurigheid van beide parameters is daarom afzonderlijk gering.

Tabel 13. Parameterschatting met Model (21).

Table 13. Parameter estimation with Model (21).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C ₂₆	6.1163	4.135	-2.043	14.276
C ₂₇	0.3880	0.223	-0.052	0.828
C ₂₈	60.0000			
C ₂₉	1.7225	0.087	1.551	1.894
C ₃₀	0.0521	0.010	0.032	0.072
C ₃₁	1.3493	0.105	1.143	1.556

Bij de residuen zijn geen belangrijke afwijkingen te vinden, geconcludeerd is dat Formule (21) geschikt is.

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:

$$h_{at} = \begin{cases} h_{at(2)} & \text{for } h_{top} \leq 1.30 \text{ m} \\ h_{at(2)} & \text{for } h_{at(1)} \leq h_{at(2)} \\ h_{at(1)} & \text{else} \end{cases} \quad (22)$$

where $h_{at(1)} = (c_{32} + c_{33} \cdot age) \cdot h_{top}^{(c_{34} - c_{35} \cdot h_{top})}$

$h_{at(2)} = c_{44} \cdot h_{top}$ and $c_{44} = 0.8$ (a set value)

Met een R^2 adj van 0.989 werden de volgende parameters gevonden.

Tabel 14. Parameterschatting met Model (22).

Table 14. Parameter estimation with Model (22).

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
C ₃₂	0.7020	0.036	0.632	0.772
C ₃₃	0.0005015	0.000	0.000	0.001
C ₃₄	1.1073	0.023	1.061	1.153
C ₃₅	0.001213	0.000	0.000	0.002

Voor de hoogte voor dunning volgde:

$$h_{bt} = c_{36} \cdot h_{at} \quad \text{with } R^2\text{adj} = 0.998 \text{ and } c_{36} = 0.9931 \quad (23)$$

Opstandvolume

In de data zijn de boomvolumes bepaald met de Formule (24), zie Dik (1984). Dik gebruikte het Schumacher-Hall-model (1933):

$$v = d^{c_{37}} \cdot h^{c_{38}} \cdot e^{c_{39}} \quad \text{met } d \text{ in cm, } h \text{ in m en } v \text{ in dm}^3 \quad (24)$$

Voor fijnspar geldt $c_{37} = 1.75055$, $c_{38} = 1.10897$ en $c_{39} = -2.75863$

Van de perken van de Dorschkamp zijn geen boomgegevens meer beschikbaar, maar alleen opstandgegevens. Deze zijn vermoedelijk met een eerdere versie van (24) berekend met iets afwijkende constanten. Daarom is met vaste waarden voor c_{37} en c_{38} , c_{39} opnieuw geschat, gevonden werd $c_{39} = -2.86110$.

Formule (24) is niet geschikt om het opstandvolume te bepalen. In het verleden werd gebruik gemaakt van de gemodificeerde opstandvolumefunctie van Heisterkamp (1981), de functie luidt:

$$V = c_{40} \cdot G^{c_{41}} \cdot h_{top}^{(c_{42} + c_{43} \cdot t_0)} \quad \text{met } G \text{ in m}^2/\text{ha}, h_{top} \text{ in m en } V \text{ in m}^3/\text{ha} \quad (25)$$

met $t_0 = t - t_{1.30}$

Deze is opnieuw gefit met:

$$y = V_{bt} + V_{at} = c_{40} \cdot h_{top}^{(c_{42} + c_{43} \cdot t_0)} \cdot (G_{bt}^{c_{41}} + G_{at}^{c_{41}}) \quad (26)$$

Met $R^2_{adj} = 0.994$ is gevonden: $c_{40} = 0.7419$, $c_{41} = 1.0032$, $c_{42} = 0.8407$ en $c_{43} = 0$ (niet significant).

De formule van Heisterkamp is ontwikkeld voor opbrengsttabellen die alle een startwaarde hadden voor de opperhoogte, voor fijnspar was dat 7 m. Daar beneden moet met de Formule (24) worden gewerkt.

Beginstamtal

Als beginstamtal is gekozen voor 5000 (= c_{45}) en 3000 bij een open stand.

Grenswaarde

De steeds terugkerende grenswaarde voor de opperhoogte van 7 m is de parameter c_{46} in de modellen. En geeft daarbij de bovengrens aan voor de jeugdgroei.

6.2 Opbrengsttabellen

6.2.1 Keuze voor berekende opbrengsttabellen

Allereerst is gekozen welke tabellen gepubliceerd zullen worden. Er is gekozen voor een opbrengsttabellen voor Nederland met vijf dunninggraden en vijf boniteiten.

In Tabel 5 in Hoofdstuk 3 is de verdeling over boniteiten en leeftijdsklassen gegeven voor het aantal opstanden in de 4^e Bosstatistiek. Dit geeft de behoefte aan tabellen weer, terwijl Tabel 15 een indicatie van de mogelijkheden geeft.

Tabel 15. Leeftijdinterval in dataset per dunninggraad en boniteit.

Table 15. Age interval in the data set by thinning grade and site class.

Dunninggraad	Boniteit				
	I	II	III	IV	V
ongedund			47-52		
zwakke laagdunning	17-102	23-80	41-67	58-61	
matige laagdunning	12-101	11-59	22-75	73-88	66-80
sterke laagdunning	15-84	11-94	26-84		
zeer sterke laagdunning	17-43	11-40	20-67		
open stand	28-41	11-67	54-69	55-68	

Extrapolatie buiten het waarnemingsmateriaal moet in principe beperkt worden maar is onvermijdelijk (zie Tabel 15). De maximale leeftijd is voor alle boniteiten en dunninggraden op 90 jaar gesteld. Een tabel voor ongedunde fijnspar wordt niet gemaakt.

6.2.2 Constructie van de opbrengsttabel

Voor de constructie worden eerst bij een gekozen waarde voor h_{50} (zie Tabel 4 in Hoofdstuk 3) en een gekozen dunninggraad de t_{130} en t_{10} berekend met Formule (9) en het bij de dunninggraad behorende $S\%$ van Hart vastgesteld. Verder is het beginstamtal N_0 vastgesteld op 5000, behalve voor de open stand, waar met een lager beginstamtal van 3000 wordt gewerkt. Daarna is per leeftijd t op het interval $\{1, t_{max} + 1\}$ een aantal variabelen berekend. Allereerst wordt h_{top} berekend met Formule (9), daarna h_{dom} met (20).

Er worden drie situaties onderscheiden:

- I. $h_{top} < 7$ m. Geen dunning.
Het stamtal is gelijk aan N_0 (in het model is deze c_{45}). De h_g wordt met Formule (22) berekend. Tot een hoogte van 1.30 m worden alleen het stamtal, de opperhoogte en de dominante hoogte vermeld;
- II. $h_{top(t)} \leq 7$ m en $h_{top(t+1)} > 7$ m
Geen dunning maar wel start berekening van het grondvlak. Allereerst wordt de t_7 bepaald (de exacte leeftijd waarop een opperhoogte van 7 m wordt bereikt. Voor de diameter (voor dunning) geldt $d_7 = c_6 + c_7 / \sqrt{N_0}$ uit Formule(10). Voor het grondvlak (voor dunning) volgt dan $G_{bt(t_7)} = N_0 \cdot \frac{\pi}{40000} \cdot c_{13}^2$.
Het $S\%$ wordt met N_0 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 (13) berekend:

$$i_G(t_7, t+1) = \text{cor}_{S\%} \cdot \left\{ \frac{c_{14} \cdot \text{Term}_h + (1 - c_{14}) \cdot \text{Term}_t}{t+1 - t_7} \right\} \text{ for } h_{top} > 7$$

where $\text{Term}_h = \left\{ (h_{t+1} - 1.30)^b - (7 - 1.30)^b \right\}$ and $\text{Term}_t = \left\{ (t+1 - t_{130})^b - (t_7 - t_{130})^b \right\}$ (27)

$\text{cor}_{S\%}$ and b as in Formula 13

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

$$G_{bt(t+1)} = G_{bt(t_7)} + i_G(t_7, t+1) \cdot (t+1 - t_7) \quad (28)$$

De berekening gaat nu verder als bij situatie III

III. $h_{top} > 7m$. 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 (27) en (28), en later met (30) en (27).

Met de opperhoogte op $t=t$ en N_{bt} wordt actuele dunninggraad ($S\%$) met formule (1) berekend en daaruit volgt de dunninggraad voor dunning $Tgr = (S\% - 10)/3$.

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

$$d_{bt} = 200 \cdot \sqrt{\frac{G_{bt}}{\pi \cdot N_{bt}}} \quad (29)$$

Op ieder tijdstip wordt verder het volume voor dunning V_{bt} berekend met Formule (25). Alleen bij veelvouden van 5 jaar mag er gedund worden, daartussendoor vindt er wel bijgroei plaats, maar wordt er niet gedund en geldt “de situatie na dunning is gelijk aan die voor dunning”. Bij die veelvouden van 5 jaar worden ook de dominante hoogte en de dominante diameter berekend met de Formules (20) en (21).

Het gewenste stamtal na dunning wordt berekend met $N_{at} = (10746 / (S\% \cdot h_{dom}))^2$. Hierin wordt het gewenste $S\%$ berekend met Formule (15):

N.B. tot 50 jaar zijn deze gewenste S -percentages ook in Tabel 9 vermeld.

Indien het gewenste stamtal N_{at} kleiner is dan N_{bt} wordt er gedund. De diameter na dunning d_{at} wordt berekend met Formule (19), dus $d_{at} = d_{bt} \cdot \left\{ R \cdot \frac{a_{at}}{a_{bt}} + 1 - R \right\}$ waarbij geldt

$R = c_{20} + c_{21} \cdot h_{50} + c_{22} \cdot \sqrt{Tgr} + c_{23} \cdot t$. 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 $d_{th} = 200 \cdot \sqrt{G_{th} / (\pi \cdot N_{th})}$

Voor de gemiddelde hoogte na en voor dunning gelden respectievelijk de Formules (22) en (23). Het volume voor en na dunning wordt berekend met Formule (25) 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 (13) afgeleide volgende formule berekend:

$$I_G(t, t+1) = cor_{5\%} \cdot \{c_{14} \cdot Term_h + (1 - c_{14}) \cdot Term_t\} \text{ for } h_{top} > 7$$

$$\text{where } Term_h = \{(h_{t+1} - 1.30)^b - (h_t - 1.30)^b\} \text{ and } Term_t = \{(t+1 - t_{130})^b - (t - t_{130})^b\} \quad (30)$$

$cor_{5\%}$ and b as in Formula 13

De dunninggraad in formule (30) is de actuele dunninggraad na eventuele dunning. Na het bepalen van I_G wordt het grondvlak voor dunning op $t=t+1$ bepaald:

$$G_{bt(t+1)} = G_{at(t)} + I_G(t, t+1) \quad (31)$$

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

$$ImV = \frac{V_{tot(t)}}{t} \quad (32)$$

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

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

In tabel 16 is een lijst met de geschatte parameters opgenomen.

Tabel 16. Lijst met alle parameters

Table 16. List with all parameters.

Parameter	Formula number	Thinning from below	remarks
C ₁	(9)	1.7858753	
C ₂	(9)	2181.7777369	
C ₃	(9)	29.2173181	
C ₄	(10)	3.8454710	
C ₅	(10)	0.1485590	
C ₆	(10)	7.2516678	
C ₇	(10)	120.4952596	
C ₈	(13)	40.4054428	
C ₉	(13)	0.0936135	
C ₁₀	(13)	14.2873893	
C ₁₁	(13)	0.3884765	
C ₁₂	(13)	0.0536575	
C ₁₃	(13)	10.9979202	
C ₁₄	(13)	0.4254250	
C ₁₅	(15)	0.0742458	
C ₁₆	(18)	5.1279158	
C ₁₇	(18)	1.5644403	
C ₁₈	(18)	0.0616198	
C ₁₉	(18)	0	
C ₂₀	(19)	0.6709309	
C ₂₁	(19)	0.0000000	
C ₂₂	(19)	-0.1894587	
C ₂₃	(19)	0.0000000	
C ₂₄	(20)	0.0068872	
C ₂₅	(20)	0.9934647	
C ₂₆	(21)	6.1163245	
C ₂₇	(21)	0.3880067	
C ₂₈	(21)	60.0000000	
C ₂₉	(21)	1.7225150	
C ₃₀	(21)	0.0520899	
C ₃₁	(21)	1.3493317	
C ₃₂	(22)	0.7020440	
C ₃₃	(22)	0.0005015	
C ₃₄	(22)	1.1073394	
C ₃₅	(22)	0.0012134	
C ₃₆	(23)	0.9931394	
C ₃₇	(24)	1.7505500	
C ₃₈	(24)	1.1089700	
C ₃₉	(24)	-2.8610957	
C ₄₀	(25)	0.7419436	
C ₄₁	(25)	1.0031808	
C ₄₂	(25)	0.8407194	
C ₄₃	(25)	0.0000000	
C ₄₄	(22)	0.8000000	
C ₄₅	N ₀	5000.0000000	3000 for T _{gr} = 6
C ₄₆		0.7000000	Border value for h _{top}

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.

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 gomodificeerd worden tot een “stand projection model”.

Van een bepaalde opstand moet en 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 de site index h_{50} met de reciproke van Formule (9), de leeftijd en h_{top} worden bepaald:

Er wordt daartoe begonnen met een startwaarde voor h_{50} , stel $h_{50old} = 17.8$ (het gemiddelde uit Hoofdstuk 3). Daarna een nieuwe waarde bepalen voor h_{50} met Formule (33)

$$h_{50new} = h_{top} / \left\{ \frac{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)}{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)} \right\}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50old}}{50^{c_1}}} \text{ and } Z = h_{50} - c_3 \quad (33)$$

Vervolgens een nieuwe beginwaarde bepalen met:

$$h_{50old} = (3 \cdot h_{50old} + h_{50new}) / 4 \quad (34)$$

Daarna Formule (33) en (34) herhalen tot $h_{50} = h_{50new} = h_{50old}$.

Stap 2.

Met de definitie van de Formules (1) en (15) wordt vervolgens de dunninggraad voor en na dunning bepaald. De grondvlakbijgroei per jaar wordt berekend met de waarden voor $S\%$, h_{top} 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 opperhoogte berekend op het 2^e tijdstip met Formule (9). De voorspelde diameterbijgroei op het interval $\{t_1, t_2\}$ bedraagt:

$$\Delta_d = \hat{d}_{bt_2} - d_{at_1} \quad (35)$$

Er worden evenveel bomen gedund als in werkelijkheid maar de diameter na dunning (\hat{d}_{at2}) wordt berekend met Formule (19).

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 door-gerekend (veel perken hebben echter maar 3 opnamen, daar is met 3 opnamen gewerkt). 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 11.0 jr. Ook werd de grondvlakbijgroei over 10 jaar bekeken (zie Tabel 17 voor de resultaten). De zuiverheid van alle berekende voorspellingen blijkt matig tot slecht, met 0.9 % overschatting van diameter na dunning tot 2.1 % overschatting van de opperhoogte (zie Tabel 17). De nauwkeurigheid is zeer gering (zeer hoge variatiecoëfficiënt). De onzuiverheid komt vooral voor rekening van het proefveldcomplex Gieten waar de hoogtegroeï in de jeugd zeer afwijkend is.

Tabel 17. Eigenschappen van enige schatters.

Table 17. Properties of some estimators.

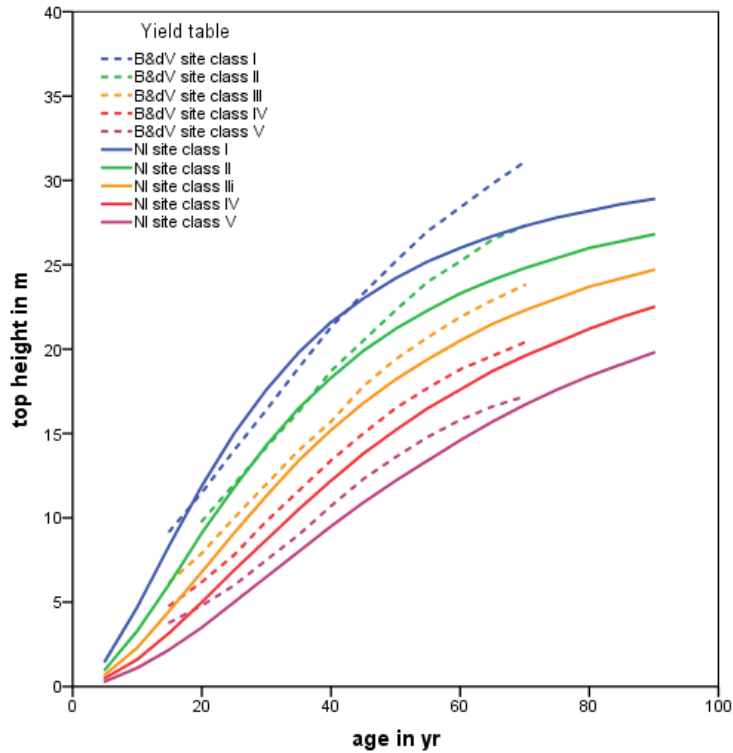
	resultaten bij laatste opname					
	gemeten	geschat	bias	bias%	stdev	CV
h_{top}	17.73	17.36	0.373	2.10%	1.466	8.3%
d_{at}	21.53	21.71	-0.187	-0.87%	1.527	7.1%
G_{at}	31.75	31.72	0.024	0.08%	4.200	13.2%
iG_{10}	16.74	16.47	0.274	1.64%	4.037	24.1%

6.4 Vergelijking met andere opbrengsttabellen

Hierna zijn enkele andere opbrengsttabellen voor de fijnspar in Europa vergeleken met het hier gevonden resultaat.

6.4.1 Hoogteontwikkeling

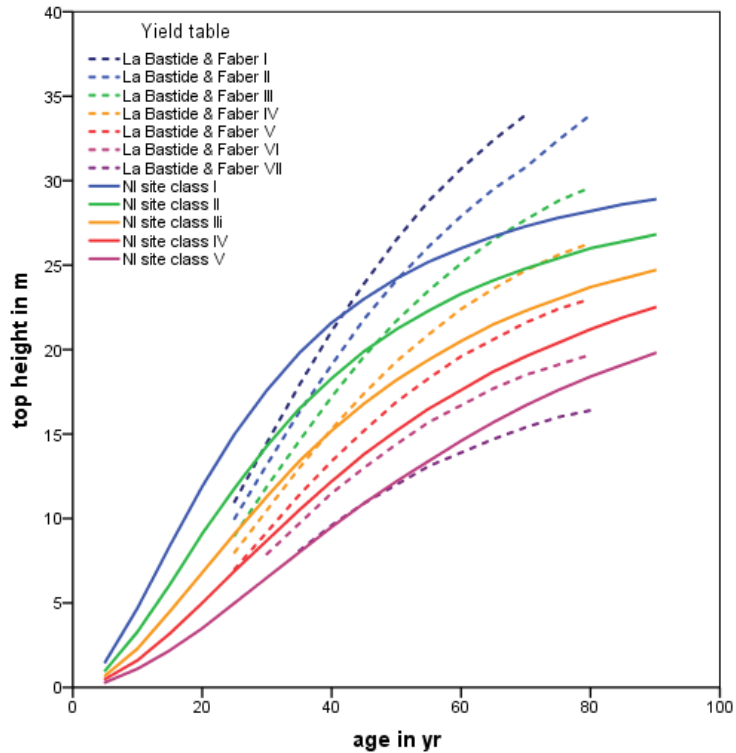
Er zijn 3 landen waarvoor tabellen beschikbaar zijn, namelijk die van Dagnelie (1988) voor België, die van Wiedemann (1936, in Schober 1987) voor Duitsland, die van Hamilton en Christie (1971) voor Groot-Brittannië, daarnaast zijn de tabellen van Becking & de Vries, (1959), die van la Bastide & Faber (1972) en die van Jansen & Hildebrand (1986) voor Nederland vergeleken.



Figuur 16. Hoogteontwikkeling bij Becking & de Vries en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 16. Height development at Becking & De Vries' yield table and the new model for Netherlands.

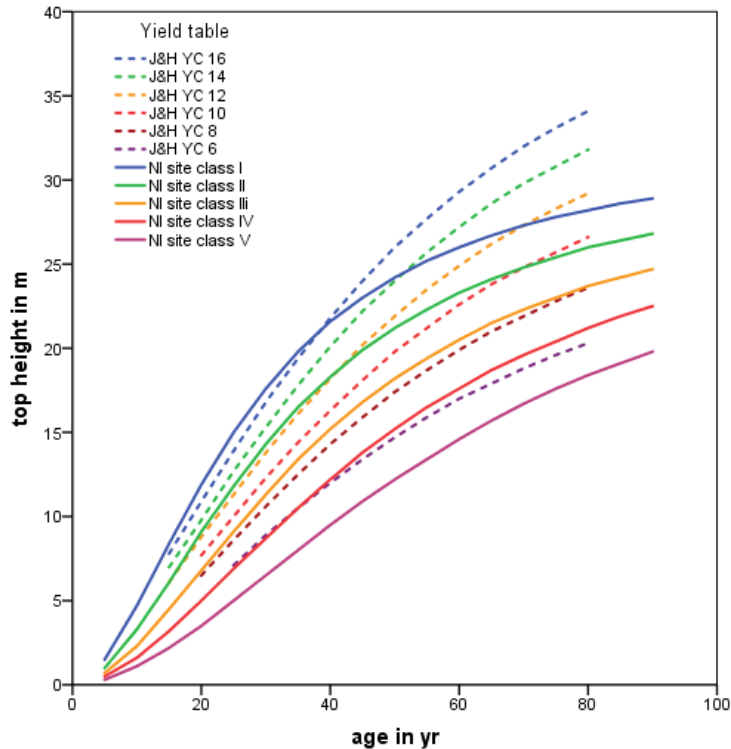
De hoogteontwikkeling komt overeen met de oudere Nederlandse opbrengsttabel van Becking en de Vries uit 1959 (zie Figuur 16), dit is een bewerking van de tabel van Møller voor Denemarken uit 1933. De jeugdgroei tot ongeveer 9 wijkt erg af vooral voor de lagere boniteiten, deze is bij Becking en de Vries veel steiler.



Figuur 17. Hoogteontwikkeling bij van la Bastide & Faber en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 17. Height development at la Bastide & Faber's yield table and the new model for Netherlands.

De tabel van La Bastide & Faber (1972) komt wat betreft vorm overeen met de nieuwe tabellen voor Nederland voor de lagere boniteiten overeen met de nieuwe tabellen voor Nederland. Voor de betere boniteiten is het verschil groot door het homomorfe karakter van het oude model en het heteromorfe karakter van het nieuwe model. Van afplatting is bij La Bastide & Faber geen sprake (zie Figuur 17).



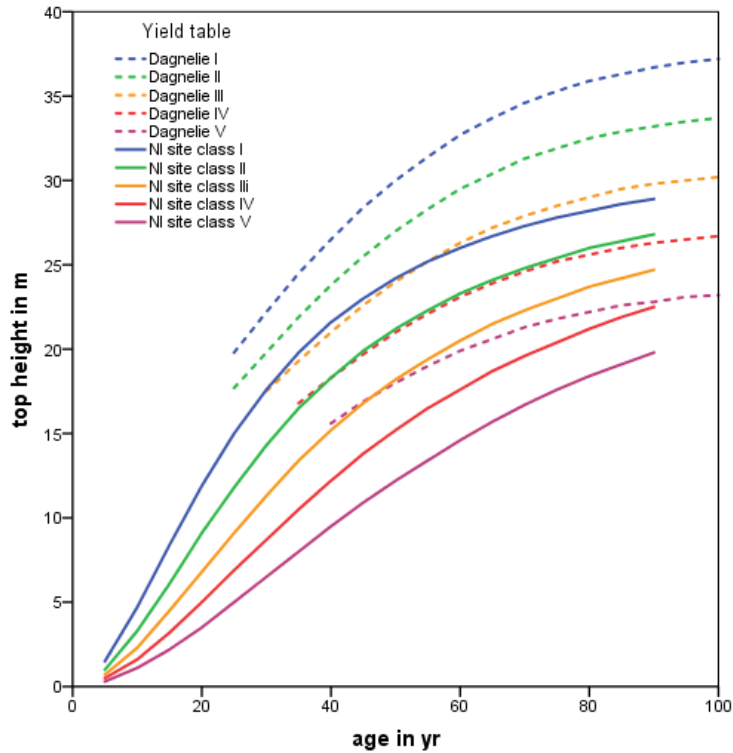
Figuur 18. Hoogteontwikkeling bij van Jansen & Hildebrand en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 18. Height development at Jansen & Hildebrand's yield table and the new model for Netherlands.

Bij het model van Jansen & Hildebrand (1986) is nog nauwelijks sprake van een afplattingshoogte, en ook de jeugdgroei is voor de lagere steiler geweest dan in het nieuwe model. De overeenkomst is over het algemeen gering (zie Figuur 18), behalve voor de slechtste boniteit.

Van alle oude Nederlandse modellen komt het oudste van Becking & De Vries (1959) nog het meest overeen met het nieuwe model voor Nederland.

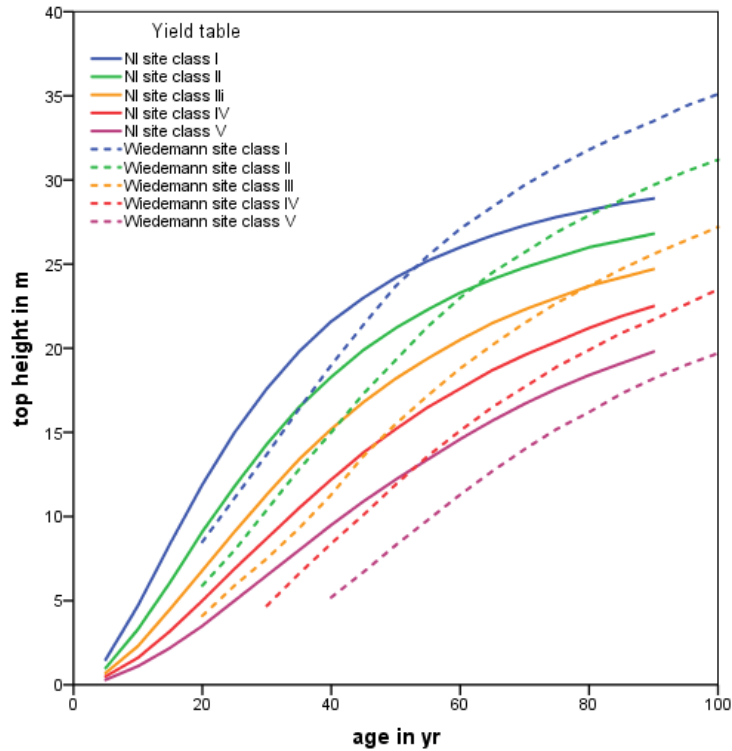
De opbrengsttabel van Dagnelie (1988) voor België komt voor de III^e en IV^e boniteit zeer goed overeen met de I^e en II^e boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland. Een vergelijking beneden een hoogte van 15 meter is niet mogelijk doordat Dagnelie die gegevens niet vermeldt. Verder blijken er ongeveer 2 boniteiten boven de beste in de nieuwe tabel voor Nederland voor te komen, en de 2 laagste boniteiten komt bij Dagnelie niet voor (zie Figuur 19).



Figuur 19. Hoogteontwikkeling bij Dagnelie en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 19. Height development at Dagnelie's yield table and the new model for Netherlands.

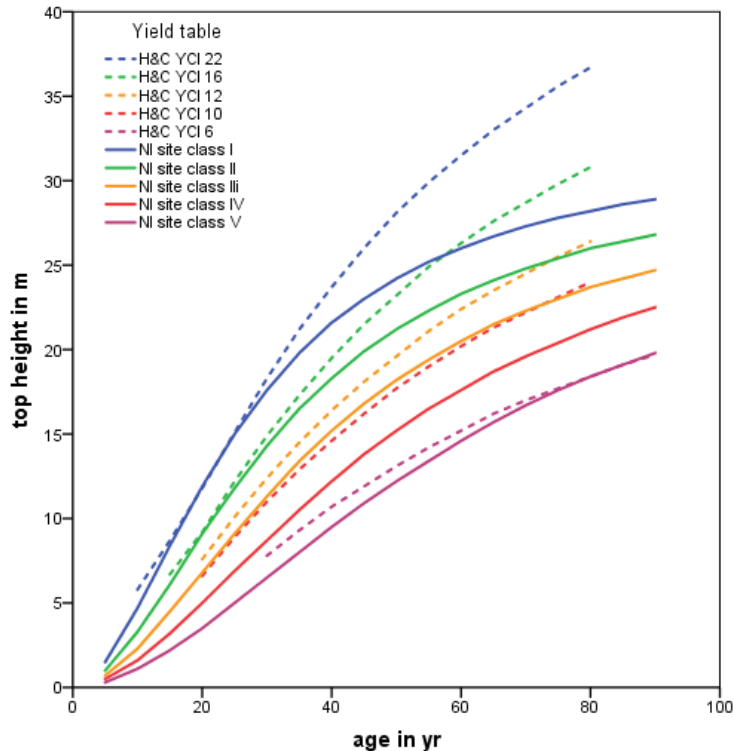
Bij Wiedemann (1936) komen er lagere boniteiten voor dan in de nieuwe tabel voor Nederland (zie Figuur 20). Alleen in het traject 20 – 40 jaar is er enige overeenkomst bij de middelste boniteiten. Van een afplattingshoogte is bij Wiedemann zelfs tot een leeftijd van 120 jaar geen sprake.



Figuur 20. Hoogteontwikkeling bij Wiedemann en het nieuwe voor Nederland.

Figure 20. Height development at Wiedemann 's yield table and the new model for Netherlands.

Bij de vergelijking met de tabel van Hamilton & Christie (1971) blijkt de vorm van de curve yield class 10 zeer goed overeen te komen met de II^e boniteit van de nieuwe tabel voor Nederland. Omdat Hamilton & Christie een homomorf model gebruiken zijn de verschillen bij de andere boniteiten iets groter (zie Figuur 21)



Figuur 21. Hoogteontwikkeling bij Hamilton & Christie en het nieuwe model voor Nederland.

Figure 21. Height development at Hamilton and Christie's yield table and the new model for Netherlands.

De hoogteontwikkeling bij de vergeleken opbrengsttabellen van België, Groot-Brittannië en die van Becking & De Vries voor Nederland lijken redelijk overeen te komen met het in deze studie gevonden model. De jeugdgroei was alleen te vergelijken met die bij Becking & De Vries, daar blijkt deze de jeugdgroei tot een hoogte van ongeveer 8 meter af te wijken. De groei in de opbrengsttabel van Wiedemann voor Duitsland wijkt erg af.

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.

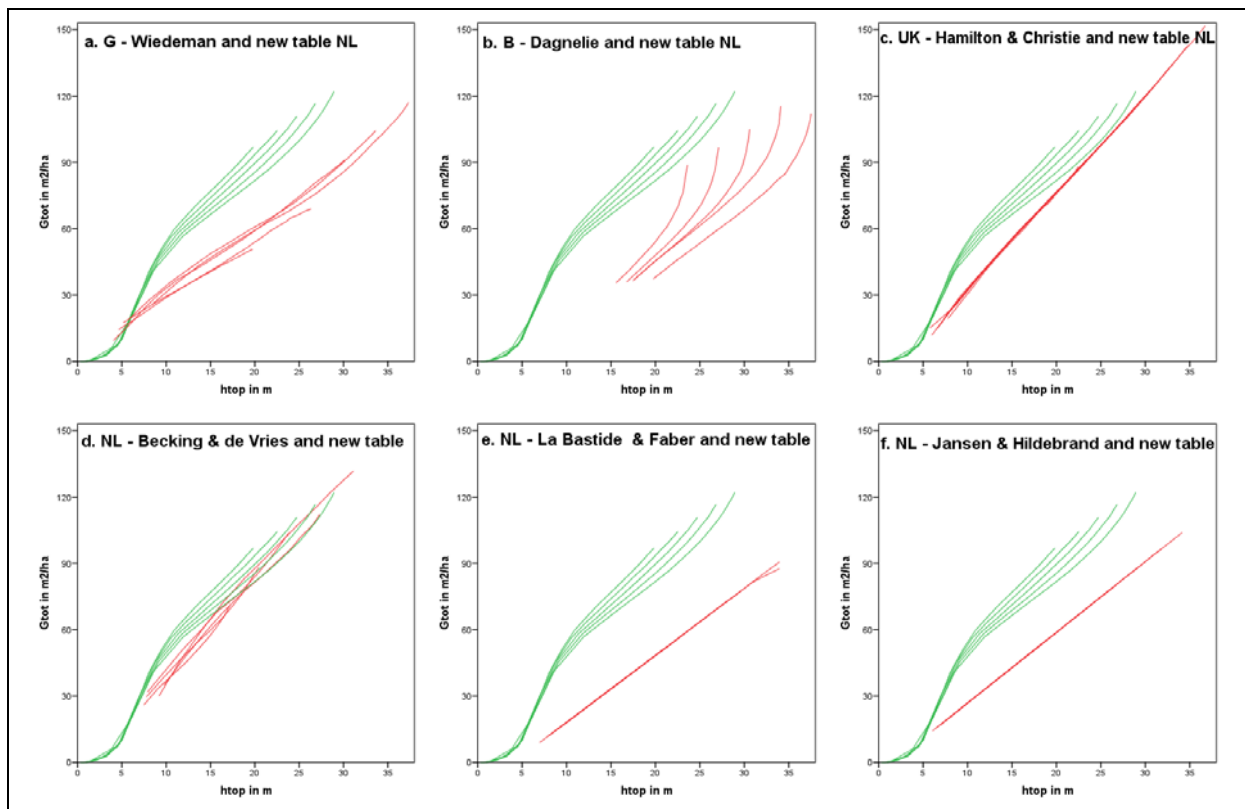
In Figuur 22 is de totale grondvlakproductie per opbrengsttabel uitgezet tegen de opperhoogte voor alle boniteiten. Voor tabellen met meerdere dunninggraden is er steeds één tabel gekozen. Voor de nieuwe tabellen voor Nederland en die van Wiedemann is gekozen voor de matige dunning, duidelijk is het verschil in dunninggraad bij beide tabellen, dus de definitie van een matige dunning verschilt bij die Wiedemann met de alhier gebruikte definitie. Bij de tabel van Dagnelie is gekozen voor behandeling A. De overige tabellen hebben één dunninggraad.

Bij Hamilton & Christie en ook bij de tabel van Jansen & Hildebrand vallen alle boniteitlijnen over elkaar. Hier is overduidelijk met een constante RGB (de relatieve grondvlakbijgroei = $\Delta G/\Delta h$) in het model gewerkt

De meeste opbrengsttabellen hebben als startpunt de eerste dunning bij een hoogte van ongeveer 7 m, die van Dagnelie begint na 15 m en de nieuwe tabel vanaf 1.3 m.

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} . De modellen van Hamilton & Christie, van La Bastide & Faber en van Jansen & Hildebrand voldoen aan die eis. Maar ook die van Wiedemann voldoet daar redelijk aan (1^e, 2^e en 3^e boniteit min of meer één lijn, zo ook voor de 4^e en 5^e boniteit), dat geldt in iets mindere mate voor de tabel van Becking & De Vries. Let wel, dat hoeft geen rechte lijn te zijn zoals in de RGB-modellen.

De tabel van Dagnelie wijkt hier erg vanaf. De nieuwe tabel divergeert op dit punt vanaf een hoogte van 7 m, dit is het gevolg van Model (13).



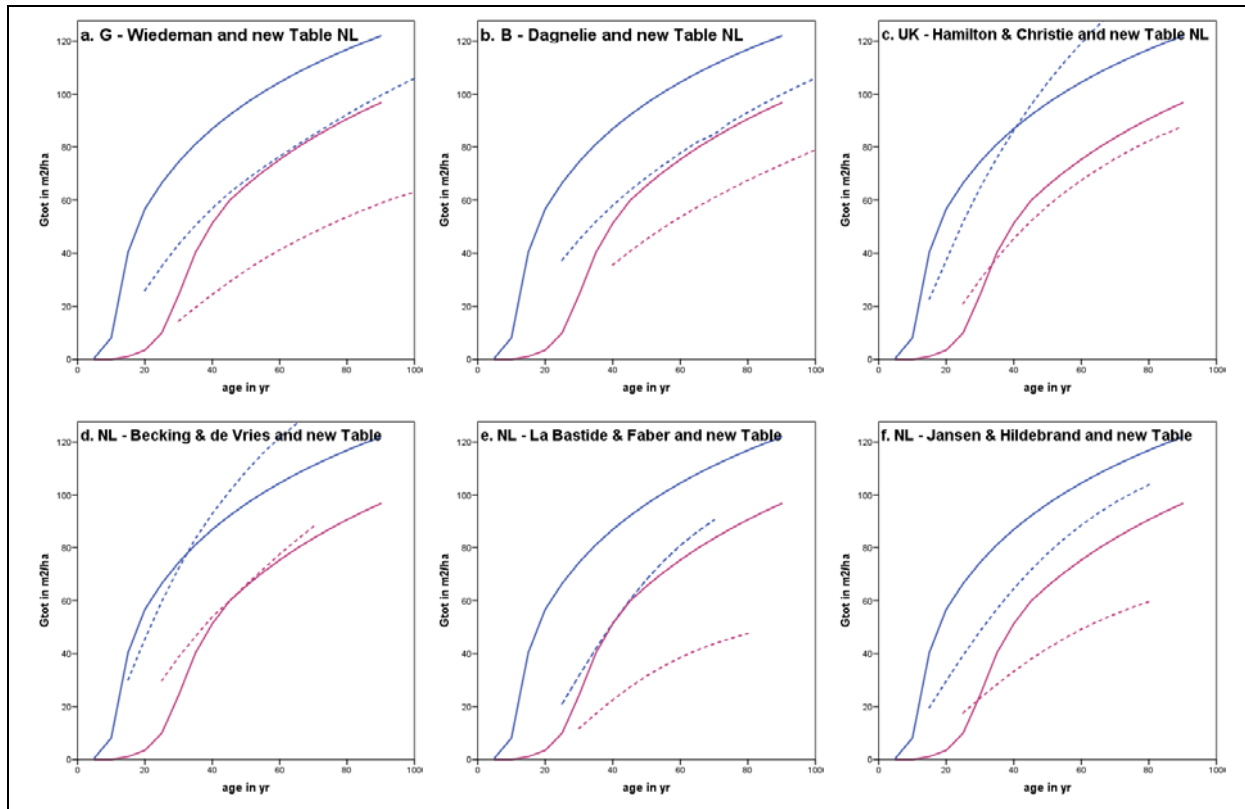
Figuur 22. De totale grondvlakproductie G_{tot} in relatie tot de opperhoogte bij de nieuwe tabel voor Nederland (in groen) in vergelijking met de opbrengsttabellen (in rood) van a. Wiedemann, b. Dagnelie, c. Hamilton & Christie, d. Becking & De Vries, e. La Bastide & Faber en f. Jansen & Hildebrand.

Figure 22. 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. Wiedemann, b. Dagnelie, c. Hamilton & Christie, d. Becking & De Vries, e. La Bastide & Faber and f. Jansen & Hildebrand.

Het productieniveau van de nieuwe opbrengsttabellen komen het meest overeen met dat van de tabellen van Hamilton & Christie, daarnaast is er redelijke overeenkomst met dat van de tabellen van Becking & De Vries.

Een andere manier van vergelijken betreft de leeftijd waarop de totale grondvlakproductie wordt bereikt.

Uit Figuur 23 blijkt nu dat de vorm van de curven van de nieuwe tabel voor Nederland eveneens de grootste overeenkomst vertoont met de tabel van Becking & de Vries (1959) en die van Hamilton & Christie (1971).



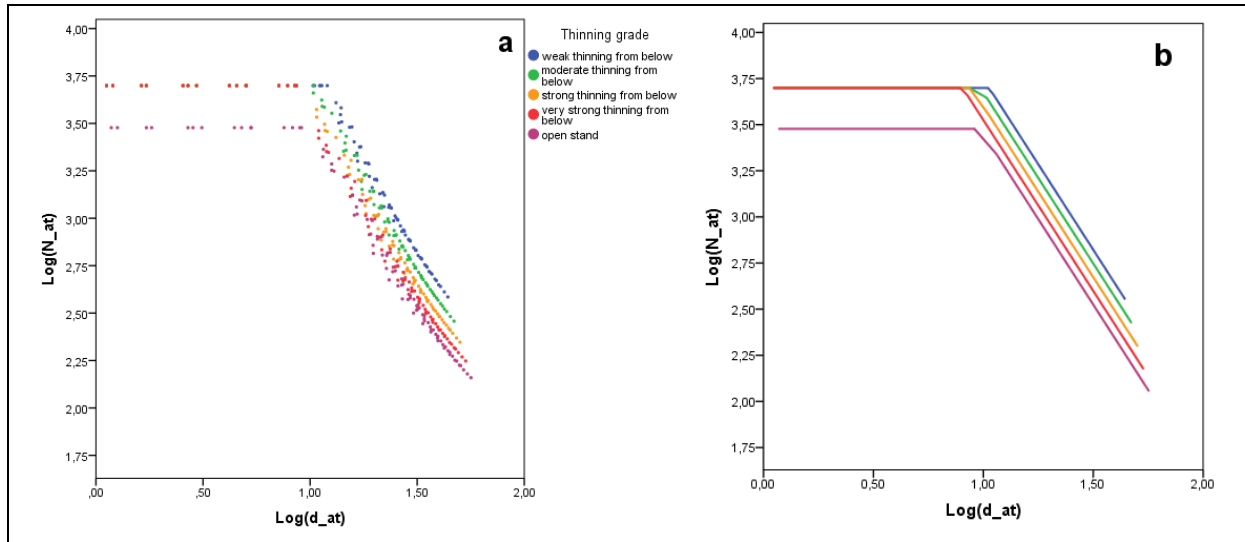
Figuur 23. De totale grondvlakproductie G_{tot} in relatie tot de leeftijd voor de 1^e boniteit (blauw) en de 5^e boniteit (paars) bij de nieuwe tabel voor Nederland (volle lijnen) in vergelijking met andere opbrengsttabellen (gestreepte lijnen) voor a. Wiedemann, b. Dagnelie, c. Hamilton & Christie, d. Becking & De Vries, e. La Bastide & Faber en f. Jansen & Hildebrand.

Figure 23. Total basal area production G_{tot} in relation to age for the best site class (blue) and the worst site class (purple) in the new table for the Netherlands (full lines) in comparison with other yield tables (hashed lines) from a. Wiedemann, b. Dagnelie, c. Hamilton & Christie, d. Becking & De Vries, e. La Bastide & Faber and f. Jansen & Hildebrand.

6.4.3 Dunningsysteem

In Paragraaf 5.2 is een ander Model (19) ontwikkeld voor de dunningen dan het Reineke Model (17). In Figuur 29 zijn de in de nieuwe opbrengsttabel gevonden relaties tussen N_{at} en d_{g-at} weergegeven (links tabel waarden, rechts na vereffening over de boniteiten). Het blijkt dat de lijnen nagenoeg overeenkomen met die uit Formule (18). De hellingshoek (c_{16}) wijkt af (4.8%) van de eerder met Formule (18) gevonden waarde op plotniveau was deze -1.652, nu bedraagt deze -1.730 voor. De parameter c_{17} blijkt 0.072 in plaats van de regressiewaarde 0.057. De ruis in de lijnen wordt veroorzaakt door verschillen per boniteit door de Formule (13).

De vraag is of in de vergeleken tabellen ook sprake is van vergelijkbare waarden, daarbij is gekeken naar de hellinghoek en of de dunninggraad relevant is voor de intercept. Alle bekeken tabellen, blijken een vergelijkbare hellingshoek te hebben, namelijk tussen -1.527 en -1.770. De bij de nieuwe tabellen gevonden waarde is aan de ruime kant. De waarden zijn berekend met Formule (18)



Figuur 24. Reineke-relatie in de nieuwe opbrengsttabellen voor Nederland. Met alle boniteiten en dunninggraden (a), en na vereffening met Formule (18) over de boniteiten (b).

Figure 24. Reineke's model in the new yield tables for The Netherlands. All site classes and thinning grades (a). After smoothing over the site classes with Formula (18) in b.

Tabel 18. Vergelijking parameters in gemodificeerd Reineke Model (18) bij diverse opbrengsttabellen.

Table 18. Comparison of the parameters in the modified Reineke model (18) for various yield tables.

variable	parameter	NL new	Belgium	Germany	UK	NL B & dV	NL LB & F	NL J & H
Constant	c_{16}	5.519	5.283	5.209	5.023	5.219	4.960	5.107
Log_d	c_{17}	1.730	1.770	1.633	1.527	1.689	1.423	1.606
Tgr	c_{18}	0.072	-0.004	0.046	0.018	0.034	0.084	0.032

6.5 Effecten dunning op productie

Volgens de gangbare opvatting in het bosbeheer (Assmann, 1961, Wenk *et al.*, 1990) zullen opstanden met een zwaardere dunninggraad ten opzichte van een opstand met een lichtere dunninggraad onder overige gelijke omstandigheden:

1. Een geringere volume- en grondvlakbijgroei hebben;
2. Een dikkere diameter (geldt zowel voor de d_g ; als voor de d_{dom}) hebben.

Om een vergelijking mogelijk te maken is het gebruikelijk het in een opbrengsttabel weergegeven grondvlak per ha na dunning aan te geven als het normale grondvlak. Het werkelijke grondvlak van een opstand met dezelfde leeftijd en boniteit zal daarvan afwijken, maar ook

opbrengsttabellen met een andere dunninggraad wijken daarvan af. Dit wordt de volkomenheidsgraad genoemd.

De volkomenheidsgraad van een opstand wordt als volgt gedefinieerd:

$$sd = \frac{G_r}{G_n}$$

where G_r = the real stand basal area per ha
 G_n = the normal basal area per ha
 sd = stocking degree

(36)

Het opstandvolume kan nu geschat worden met:

$$\hat{V}_r = sd \cdot V_n$$

where \hat{V}_r = the estimation of the real stand volume per ha
 V_n = the normal volume per ha.

(37)

Dit betreft een berekening over de huidige toestand. De vraag is wat dit betekent voor de bijgroei. Doordat de overgebleven bomen na zo'n sterkere dunning de groeiruimte beter benutten zal de onder punt 1 genoemde geringere volume- en grondvlakbijgroei niet domweg het product zijn van de volkomenheidsgraad en de normale bijgroei uit de tabel. In de literatuur zijn talloze dunningproeven beschreven, waaruit deze teneur blijkt. Als definitie van het normale grondvlak is het grondvlak na dunning voor de nieuwe opbrengsttabel met een matige dunning gekozen. Voor alle boniteiten tezamen werd met een R^2 adj van 0.957 de volgende functie voor G_n gevonden:

$$G_n = 48.582 + 0.2525 \times t - 0.003567 \cdot t^2 - 2.204 \times h_{top} + 0.04539 \cdot h_{top}^2 + 0.01004 \cdot t \cdot h_{top} \quad (38)$$

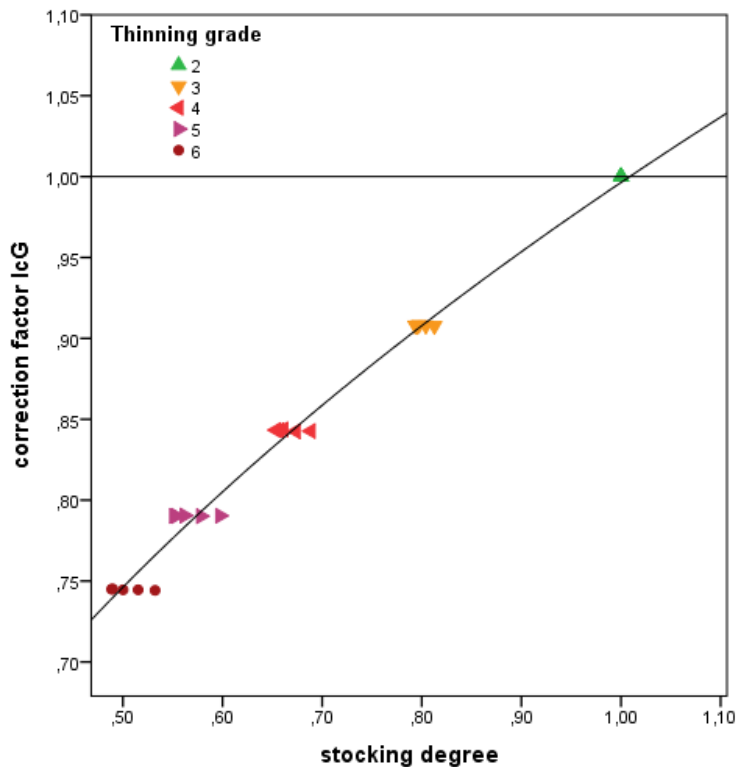
De vraag is of de eerste veronderstelling aan het begin van deze paragraaf klopt in de ontwikkelde opbrengsttabellen. Hiertoe is het niveau van de grondvlakbijgroei voor dunninggraad 2 op 1 gesteld en die van de andere dunninggraden als fractie daarvan uitgedrukt. Gekozen is om de toestand bij 50 jaar te presenteren. In Figuur 26 is te zien dat de correctiefactor voor de grondvlakbijgroei iets lager is aan als de hierboven gedefinieerde volkomenheidsgraad per dunninggraad. De volgende relatie werd in concreto gevonden:

$$cf = \begin{cases} 1 & sd \geq 1 \\ 0.996 \cdot sd^{0.417} & sd < 1 \end{cases} \quad (39)$$

Deze Formule (39) sluit redelijk aan bij de Staatsbosbeheer-benadering³ voor alle soorten:

³ Formule **Error! Reference source not found.** was opgenomen in de software waarmee de opstandinventarisatie van het Staatsbosbeheer werd verwerkt in de periode 1970-1985.

$$cf = \begin{cases} 1 & sd \geq 0.8 \\ \sqrt{sd} & sd < 0.8 \end{cases} \quad (40)$$

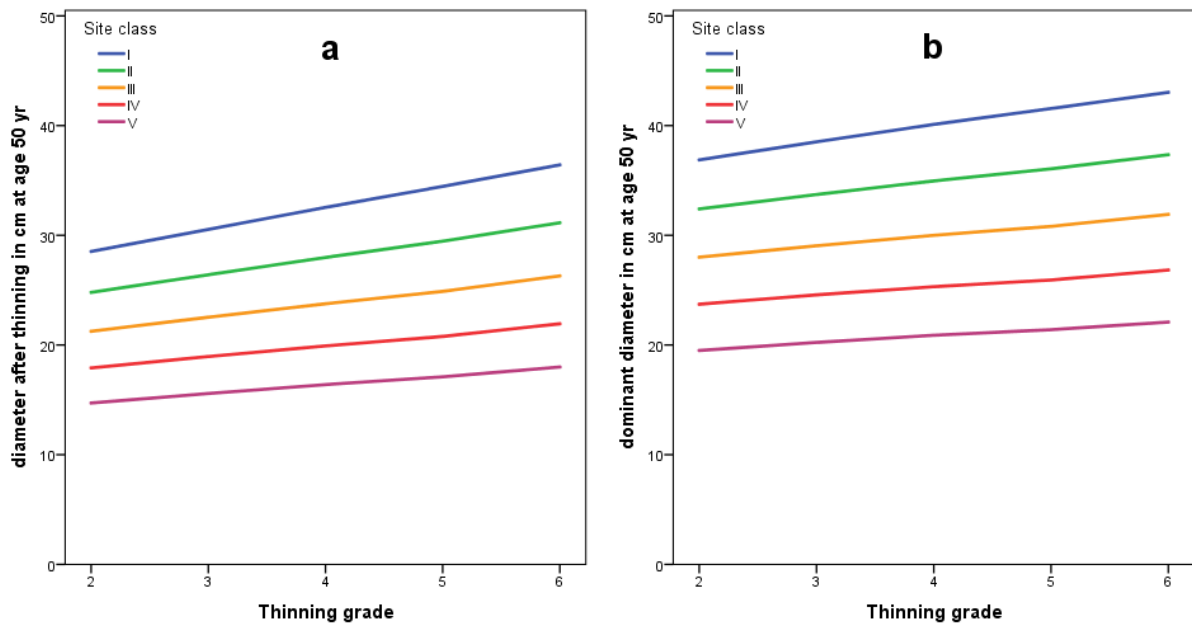


Figuur 25. Correctiefactor grondvlakbijgroei en volkomenheidsgraad met de punten uit de nieuwe opbrengsttabel en de daarbij behorende lijnen bij 50 jaar.

Figure 25. Correction factor for basal area increment and stocking degree with the points from the new yield tables and associated lines at 50 year.

De andere voorveronderstelling met betrekking tot de effecten van een lagere volkomenheidsgraad gingen over de diameterontwikkeling. In Figuur 26 is duidelijk dat deze wat betreft de gemiddelde diameter na dunning en de dominante diameter opgaat, want de volkomenheidsgraad is gerelateerd aan de dunninggraad, deze weer aan het S-procent, en deze aan de wortel uit het stamtal. Om hetzelfde relatieve grondvlak te houden zal de diameter dus sneller moeten groeien.

In Figuur 26 is te zien dat bijvoorbeeld een III^e boniteit de diameter na dunning bij een matige laagdunning 22.5 cm is en dat deze in een open opstand 26.3 cm bedraagt, deze afleiding is weer bij 50 jaar uitgevoerd. Voor de dominante diameter bedragen deze waarden respectievelijk 29.0 en 31.9 cm.



Figuur 26. Relatie tussen diameter (a) en dominante diameter (b) na dunning op 50 jaar met boniteit en dunninggraad.

Figure 26. Relation between diameter (a) or dominant diameter (b) after thinning and thinning grade by site class at 50 years.

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 vijf modellen getest, geen voldeed volledig aan alle criteria. Het model van Cieszewski voldeed het best.

$$h_{top} = h_{50} \cdot \frac{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)}{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}, \text{ where } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50}}{50^{c_1}}} \text{ and } Z = h_{50} - c_3 \quad (41)$$

Voor boniteren geldt dan:

$$\rightarrow h_{50} = h_{top} \cdot \frac{50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2)}{t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2)} \text{ and } S = h_{50} \cdot \frac{50^{c_1} \cdot R + c_2}{50^{c_1} \cdot R} \quad (42)$$

De asymptoot, hier de site index S genoemd, is een maat voor de geschiktheid van de standplaats (boniteit) voor de fijnspar, in de praktijk wordt echter h_{50} als maat voor de boniteit gebruikt. Boniteren is met dit model lastig, want vereenvoudigd staat in Formule (42)

$h_{50} = f(h_{top}, t, h_{50})$, 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 0.982 vrij laag, en behalve bij grove den waar 0.970 werd gevonden, lager dan in andere studies werd gevonden, namelijk 0.986 voor douglas, 0.984 voor Japanse lariks. In al deze studies werd ook een heteromorf groeimodel gevonden. De hoogteontwikkeling bij de vergeleken opbrengsttabellen van Duitsland, Groot-Brittannië, België en Nederland zijn er altijd boniteiten die wat betreft de vorm goed overeenkomen met het in deze studie gevonden model. Het meeste overeenkomst is er met opbrengsttabel van Hamilton & Christie (1971) voor Groot-Brittannië. Verder vertoont de nieuwe tabel meer overeenkomst met de oude tabel van Becking & De Vries (1967) dan met de vigerende tabel voor Nederland van Jansen & Hildebrand (1986).

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 werd Formule (10) gevonden voor de diameterontwikkeling gevonden, in vereenvoudigde vorm luidt dit:

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

$$\text{where } d_7 = f_1(N_0) \text{ (the diameter at a height of 7 m)} \quad (43)$$

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

Omdat Formule (43) het grondvlak niet zuiver schat zijn de parameters geschat met $G_{bt} = N_{bt} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot f_2^2$. In alle vergeleken opbrengsttabellen is dit traject niet beschreven en starten de tabellen bij de eerste dunning in de buurt van een hoogte van 7 m, en bij Dagnelie nog later met een beginwaarde voor N_{bt} , G_{bt} en d_{bt} .

Voor de ontwikkeling van de opbrengsttabel set betekent dit dat d_{bt} bij de open stand 5.5 % dikker is bij een hoogte van 7 m dan bij de overige dunninggraden. In de dataset komt ook een proefperk voor met $N_0 = 625$, bij een dergelijke dichtheid is d_{bt} modelmatig 35 % dikker bij een hoogte van 7 m ten opzichte van een proefperk met $N_0 = 5000$. Bij de laatste opname was de opperhoogte ruim 7 m, en met een S% van 56 bij lange na nog niet in sluiting. Hoe de groei tot aan sluiting verder verloopt was niet te modelleren bij gebrek aan waarnemingen. Opmerkelijk is dat de HD-ratio zelfs bij een beginstamtaal van 10000 ver onder 100 is.

7.2.2 Grondvlakbijgroei

In Paragraaf 4.2 werd Formule (13) voor de grondvlakbijgroei gevonden, in vereenvoudigde vorm luidt dit:

$$i_{G,ijk} = f_1(S\%) \cdot \left\{ \frac{F_3(t_2, h_2) - F_3(t_1, h_1)}{t_2 - t_1} \right\} \quad (44)$$

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

Ook hier bleek een power-functie voor F_3 het meest geschikt. Net als bij de douglas (Jansen *et al.* 2016) bleek de power-parameter b afhankelijk van de opperhoogte. De grondvlakbijgroei stijgt met toenemende boniteit, de stijging is alleen een gevolg van F_3 . In de opbrengsttabellen van Jansen & Hildebrand is een relatieve grondvlakbijgroei RGB (zie La Bastide en Faber, 1972) gebruikt, deze geeft een min of meer rechtevenredig verband tussen grondvlak en hoogte. De afgeleide van de F_3 functie uit Formule (13) is een ingewikkelde functie van de opperhoogte en geen constante RGB . De verschillen tussen de diverse vergeleken opbrengsttabellen is dus deels modelmatig. Maar in Figuur 23 is goed te zien dat de totale grondvlakproductie van de nieuwe opbrengsttabel veel hoger is dan bij Wiedemann (1936) voor Duitsland en bij Jansen & Hildebrand (1986) voor Nederland, maar goed overeenkomt met die van Hamilton & Christie (1971) voor Groot-Brittannië en de oude tabel voor Nederland van Becking & de Vries (1959), wel is de vorm anders en nog een opvallend verschil

blijkt het uitwaaieren in meerdere lijnen vanaf een hoogte van 7 m in de nieuwe tabel (Figuur 22). Hiermee is het model in strijd met de “uitgebreide wet van Eichhorn” (Gehrhardt, 1909).

7.3 Variatie in groei tussen verschillende jaren

Er is onvoldoende materiaal om een jaarindex (zie Figuur 11b) te bepalen. Maar anders dan bij de douglas en de Japanse lariks werd geen significante correctiefactor voor het jaar van opname gevonden.

7.4 Dunninggraad

De diameter blijkt per dunninggraad met gemiddeld 6% te stijgen ten opzichte van opstanden met een zwakke laagdunning. Boven een dunninggraad van 2 neemt de lopende grondvlakbijgroei met ruim 6% per dunninggraad af. Voor overige effecten van de dunning zie Tabel 19.

Tabel 19. Relatieve waarden I_G , d_{at} en d_{dom} per dunninggraad en verdwijnend stamtal en grondvlak door dunning bij III^e boniteit en 50 jr.

Table 19. Relative values of I_G , d_{at} and d_{dom} per thinning grade and the changing stem density and basal area and by thinning at III^e site class and age = 50 yr.

<i>Tgr</i>	<i>I_G</i>	<i>I_{m_G}</i>	<i>d_{at}</i>	<i>d_{dom}</i>	<i>N_{th}</i>	<i>G_{th}</i>
2	100%	100%	100%	100%	73%	45%
3	91%	94%	106%	104%	81%	53%
4	84%	90%	112%	107%	86%	60%
5	79%	87%	117%	110%	89%	64%
6	74%	72%	124%	114%	85%	62%

Ter vergelijking zijn dezelfde waarden bij een III^e boniteit en 50 jaar bij Wiedemann (1936) vergeleken. De matige dunning heeft bij 50 jaar een dunninggraad van 1.4 en ligt ongeveer op het niveau waar we in Nederland een ongedunde opstand veronderstellen. De sterke dunning heeft bij Wiedemann een dunninggraad van 2.3 en ligt dus nog onder de matige dunning van de nieuwe tabel voor Nederland in.

Tabel 20. Relatieve waarden I_G , en d_{at} per dunninggraad en verdwijnend stamtal en grondvlak door dunning bij III^e boniteit en 50 jr bij Wiedemann (1936).

Table 20. Relative values of I_G , d_{at} per thinning grade and the changing stem density and basal area and by thinning at III^e site class and age = 50 yr by Wiedemann (1936).

<i>Tgr</i>	<i>I_G</i>	<i>I_{m_G}</i>	<i>d_{at}</i>	<i>N_{th}</i>	<i>G_{th}</i>
mD	100%	100%	100%	60%	33%
sD	106%	103%	116%	74%	44%

Opmerkelijke verschillen bij Wiedemann met de nieuwe tabel is de totale grondvlakproductie. Door sterkere dunning blijkt er bij 50 jaar meer geproduceerd te zijn terwijl de lopende grondvlak bijgroei inmiddels wel lager is bij de matige dunning. Ook lijkt het weinig invloed op de diameter te hebben. Het verschil blijkt te liggen dat de lopende bijgroei bij Wiedemann tot 30 jaar bij de sterke dunning hoger is dan bij de matige dunning. In onze data is dit niet waargenomen.

Jansen *et al.* (2016) vonden bij de douglas veel grotere effecten van de dunning, de diameter na dunning was 67% dikker in de open stand ten opzichte van de zwakke dunning, bij de fijnspaar is dat 24%. Ook bij de Japanse lariks werd een groter effect (49%) gevonden.

7.5 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, bij perken met maar 3 opnamen zijn dat $n-2$ opnamen (zie Tabel 17).

De schattingen voor zowel de opperhoogte, het grondvlak na dunning, de grondvlakbijgroei als de diameter na dunning van de 4^e vervolgonname bleken onzuiver, en werden respectievelijk met 2.1, 0.1, 1.6 onderschat en 0.9% overschat. Aangezien de afzonderlijke opnamen een andere gewicht in deze analyse hebben dan in de oplossing van het regressiemodel (13) kan hieraan geen consequentie worden verbonden. Overigens bleken deze onzuiverheden grotendeels te zijn terug te voeren tot een matige voorspelling van de hoogte bij de 18 jonge perken in de plantafstandproef in Gieten.

In de eerdergenoemde toets op de modelkwaliteit is sprake van dunning en ook in de besproken modellen 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 S% (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 9 is een volledig overzicht van het S% en de bijbehorende namen. Bij de douglas (Jansen *et al.*, 2016) bleek dat het systeem van Becking probleemloos was uit te breiden tot een tabel zonder dunning, hier paste een S% van 13 % bij. Omdat er bij de fijnspaar slechts 6 opnamen voorkomen waarbij en tijdelijk sprake is van een S% tussen de 13 en 14.5 % ontbreekt iedere mogelijkheid zo'n modelsimulatie te controleren. Daarom is ervan af gezien een tabel zonder dunning op te nemen. In andere opbrengsttabellen is een geleidelijk toename een bepaald S% te zien vanaf ongeveer 50 jaar. Dit is logisch omdat op latere leeftijd de kroonvorm verandert, waardoor bij gelijkblijvende standruimte een hogere S% nodig is. Omdat dit niet in het onderzoek is meegenomen is op basis van die andere opbrengsttabellen geschat wat een geschikt S% zou zijn en in Formule (15) weergegeven. De logaritmische relatie tussen het stamtal en de diameter na (zelf)dunning blijkt goed te voldoen aan het Reineke-model (Reineke, 1933), ook in andere Europese opbrengsttabellen voor de fijnspaar blijkt de hellingshoek een tangens van ongeveer -1.6 te hebben.

Het Reineke model is minder geschikt om het effect van een bepaalde dunning te kwantificeren. Het ratiomodel (19) van La Bastide en Faber (1972) is gemodificeerd, waarbij de ratio afhankelijk is van de boniteit, de leeftijd en de dunninggraad.

Tabel 21. Groeiklasse per dunninggraad en boniteit.

Table 21. Yield class (mean annual volume increment at 50 yr.) per thinning grade and site class.

Dunninggraad	Boniteit				
	I	II	III	IV	V
zwakke laagdunning	19.3	16.6	13.8	11.1	8.3
matige laagdunning	17.9	14.9	12.5	10.1	7.7
sterke laagdunning	15.9	13.6	11.4	9.3	7.2
zeer sterke laagdunning	14.7	12.6	10.6	8.7	6.8
open stand	12.8	10.9	9.1	7.3	5.6

In Tabel 21 is de groeiklasse per boniteit aangegeven. Deze groeiklasse is het totaal geproduceerde (en deels geoogste) gemiddelde spilhoutvolume in $m^3ha^{-1}jr^{-1}$ bij een leeftijd van 50 jaar.

De nieuwe tabel voor de zwakke dunning geeft de maximale grondvlakproductie aan. Als het grondvlak na dunning als het normale grondvlak wordt gedefinieerd met een volkomenheidsgraad van 1. Bij een hogere dunninggraad daalt de volkomenheidsgraad naar 0.80 bij een matige dunning tot 0.50 bij een open stand, terwijl de grondvlakbijgroei op respectievelijk 94% en 72% bleef.

De volumeproductie is in Tabel 22 ook vergeleken met andere opbrengsttabellen, nu bij 70 jaar.

Tabel 22. Groeiklasse per opbrengsttabel en boniteit.

Table 22. Yield class at 70 year for some yield tables and site classes.

Yield table	Thinning grade	Site class				
		I	II	III	IV	V
New table Netherlands	moderate	16.0	13.8	12.0	10.3	8.5
Dagnelie <i>et al.</i> , 1988	moderate	15.7	13.9	11.7	9.7	7.8
Wiedemann, 1936	weak	11.9	9.2	6.7	4.5	2.9
Hamilton & Christie, 1971	extra heavy	21.9	17.8	13.8	9.7	5.6
Møller, 1933 ¹⁾	extra heavy	18.7	15.3	12.1	9.2	6.6

¹⁾ in: Becking & de Vries (1959)

Samenvatting

Dit is een rapport over de groei en productie van de fijnspar (*Picea abies*) 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 set opbrengsttabellen opgesteld voor diverse dunninggraden. De gebruikte dataset betreft de gegevens die sinds 1951 in Nederland in groei- en productieonderzoek bij de fijnspar zijn verzameld door diverse bosbouwonderzoeksgroepen die nu alle tot de WUR behoren. De grootste verzameling data betreft het groei- en productieonderzoek van de voormalige Dorschkamp, gemeten tussen 1959 en 1989; dit omvat 41 proefperken. Daarnaast het dunningonderzoek van Becking; dit omvat 8 proefperken, gemeten tussen 1951 en 1982. De rest van de collectie bestaat uit 24 proefperken in een plantafstandenproef. Daarnaast zijn 51 plots uit de 4^e bosstatistiek, en later de HOSP, toegevoegd. Hiervan zijn 116 proefperken met in totaal 388 opnamen geselecteerd voor dit onderzoek. Per opname zijn leeftijd, opnamedatum en opperhoogte bekend en per toestand voor, na en van de dunning 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 vijf bekende groeimodellen en bleek het best te verklaren met het model van Cieszewski (2001), dit heteromorfe model luidt:

$$h_{top} = h_{50} \cdot \left\{ t^{c_1} \cdot (50^{c_1} \cdot R + c_2) \right\} / \left\{ 50^{c_1} \cdot (t^{c_1} \cdot R + c_2) \right\} \text{ met } R = Z + \sqrt{Z^2 + \frac{2 \cdot c_2 \cdot h_{50}}{50^{c_1}}} \text{ en } Z = h_{50} - c_3.$$

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 voorwaardelijk niet-lineaire regressie (CNLR) en $R^2_{adj} = 0.982$ werd een oplossing gevonden, naast het R^2_{adj} werden 5 andere criteria in de keuze meegewogen te weten variatiecoëfficiënt van de h_{50} -parameter, en de gemiddelde en intervallen voor de schattingen van S , t_{130} (leeftijd op borsthoogte), h_{if} (buigpunt) en h_{50} (hoogte op 50 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. werd het best verklaard met een Gompertz-functie: $d_{bt} = d_7 \cdot \exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (h_{top} - 1.30)}\right) / \exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (7 - 1.30)}\right)$. De diameter bij een hoogte van 7 m bleek een functie van het beginstamtal $d_7 = c_6 + c_7 / \sqrt{N_0}$. Met een stamtal N_0 van 5000 bleek de diameter bij een hoogte van 7 m (d_7) 9.0 cm, bij een stamtal van 625 (plantverband 4x4 m) is dat 12.1 cm. De R^2_{adj} bleek 0.976. 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 een op de wet van Eichhorn (Gehrhardt, 1909) gebaseerd model: $i_G = f(h_{top}, S\%)$ waarbij gebruik gemaakt is van een powermodel. Voor $S\% > 14.3$ daalt de grondvlakbijgroei niet-lineair in $S\%$ met gemiddeld 6.4 % per eenheid. De R^2_{adj} is 0.857. Het jaar van opname bleek geen significante bijdrage te leveren. Maar in strijd met de wet van Eichhorn bleek het ook afhankelijk van de leeftijd.

Het effect van de dunning op de diameter na dunning (d_{at}) is gemodelleerd met een modificatie van het La Bastide-Faber model (1972); het model van Reineke (1933) is als controle op de uitkomsten gebruikt.

Met deze modellen is een stand projection 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 matig, en bleek terug te voeren tot de hoogteontwikkeling in de jeugd-groeï inde plantafstandproef in Gieten (18 proefperken met iets afwijkende jeugd-groeï). Met de geïntegreerde modellen zijn opbrengsttabellen gemaakt voor een leeftijd tot 90 jaar met 5 boniteiten en 5 dunninggraden. Deze zijn vergeleken met tabellen in België, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk en met die van Becking & De Vries, La Bastide & Faber en Jansen & Hildebrand voor Nederland. De overeenkomsten varieerden van slecht tot goed.

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

Summary

This report concerns growth and production of Norway spruce (*Picea abies*) in Netherlands. The report deals with development of the height, diameter and basal area in the time, based on permanent field plots, and how these characteristics are affected by thinning. The regularities and allometric relationships found, were used to construct a set of yield tables for various thinning grades in even-aged stands of Norway spruce.

The dataset used in this study consists is composed of all growth and production related research of Norway spruce in the Netherlands, carried out since 1951 by various forestry research groups, now all part of Wageningen University and Research (WUR). The largest data collection concerns the growth and production research done at the former Dorschkamp research institute, with 41 permanent plots measured between 1959 and 1989.

In addition, a thinning trial initiated by Becking in 1948, including 8 experimental plots measured between 1951 and 1982, was included. Furthermore, the dataset includes 24 plots of a stand density trial. Finally, 51 plots from the 4th Dutch National Forest Inventory, and later on the timber prognosis system HOSP, were added. In total, the dataset consists of 116 plots with 388 recordings.

For each plot record, stand age, recording date and top height are known, as well as stem density, basal area, diameter, height and volume before and after thinning, as well as of the thinning itself. In many plots, the individual tree attributes within the plots are also known, including stem coordinates, but these were not used in the analysis reported here.

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

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

$Z = h_{50} - c_3$. 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) and $R^2_{adj} = 0.982$ a solution was found. Besides R^2_{adj} five other criteria were used in the selection process: the coefficient of variation for the h_{50} -parameter, and the means and intervals of the estimates for S , t_{130} (age when breast height is reached), h_{if} (inflection point of height curve) and h_{50} (height at 50 years), together with the precision of the estimates for the other parameters of the model.

The diameter development (before thinning: d_{bt}) to a height of 7 m was best explained by a Gompertz function: $d_{bt} = d_7 \cdot \exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (h_{top} - 1.30)}\right) / \exp\left(-c_4 \cdot e^{-c_5 \cdot (7 - 1.30)}\right)$. The diameter at a

height of 7 m could be expressed as a function of the initial density $d_7 = c_6 + c_7 / \sqrt{N_0}$. With $N_0 = 5000$, diameter at a height of 7 m (d_7) was 9.0 cm, with a stem density of 625 (spacing 4 x 4 m) this was 12.1 cm. The R^2_{adj} was 0.976. 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 modelled using a model based on Eichhorn's law (Gehrhardt, 1909):

$i_G = f(h_{top}, S\%)$, using a power function. For $S\% > 14.3$ the basal area increment decreases nonlinearly relative to $S\%$ with 6.4% per unit. The R^2_{adj} is 0.857. The year of recording did

not have a significant contribution. However, Eichhorn's law turned out to be depended on the age.

The effect of thinning on diameter after thinning (d_{at}) was modelled with a modification of the La Bastide-Faber model (1972); Reineke's model (1933) was used as an overall check of the results.

With these models a stand projection model was made to analyze the integration of the models for height and basal area growth, as well as the effect of the thinning. The results of this test appeared limited, largely related to juvenile height growth in the spacing trial in Gieten (18 experimental plots with slightly different juvenile growth). Using the integrated models, yield tables were created for even-aged stands of ages up to 90 years, using 5 site classes and 5 thinning grades. These yield tables have been compared with tables from Belgium, Germany and the United Kingdom and with those published by Becking & De Vries (1959), La Bastide & Faber (1972) and Jansen & Hildebrand (1986) for The Netherlands.

Overall, the model of Jansen *et al.* (2016) for Douglas fir, turned out to be suitable also for Norway spruce.

Literatuur

- Assmann, E., 1961. *Waldetragskunde : organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. München.
- 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.
- Becking, J. H., 1953. Thinning research in forestry. *Netherlands Journal of Agricultural Science*; 1953. 1(2):122-9.
- Becking, J.H. en P.G. de Vries, 1959. *Richtlijnen voor de bedrijfsregeling van bosbezit in Nederland: samengesteld door de commissie bosbedrijfsregeling van de Nederlandsche Boschbouwvereniging, ingesteld op 7 januari 1954*
- 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 .
- Dagnelie, P. 1988. *Tables de production relatives à l'épicéa commun*. Les presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium. 124 p
- Dik, E.J., 1984. *De schatting van het houtvolume van staande bomen van een aantal in de bosbouw gebruikte soorten*. Uitvoerig verslag Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp" Band 19(1), Wageningen.
- 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.
- 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.
- 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., A. Oosterbaan, L.G. Goudzwaard, J.F. Oldenburger, G.M. Mohren & J. den Ouden, 2016. *FEM growth and yield data Monocultures – Norway spruce*. DANS. <http://dx.doi.org/10.17026/dans-ztn-p5uj>.

- Jansen, J.J., A. Oosterbaan, G.M.J. Mohren & J. den Ouden, 2018. Groei en productie van Japanse lariks in Nederland. FEM Groei en productie rapport 2018 – 1, Wageningen Universiy. <https://doi.org/10.18174/444088>
- 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 and J. den Ouden, 2016. Groei en productie van douglas in Nederland. Becking's dunningproeven ontsloten. Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-827-8>
- 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.
- Møller, C., 1933. Boniteringstabeller og bonitetsvise Tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark.
- 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.
- Reineke, L.H., 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. Jour. Agric. Res. 46, 627-638.
- Richards, F. J. (1959). "A Flexible Growth Function for Empirical Use". Journal of Experimental Botany 10 (2): 290–300.
- Schober, R., 1987. Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Dritte Neubearb. Aufl. Sauerländer, Frankfurt a. M.
- Wenk, G., Antanaitis, V. and Smelko, S., 1990. Waldertragslehre. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- Wiedemann, E. Die Fichte 1936. In: Schober, R., 1987. Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Dritte Neubearb. Aufl. Sauerländer, Frankfurt a. M.

Bijlage 1. Opbrengsttabellen voor fijnspar

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 ¹⁾
t	j	leeftijd vanaf kieming
h_{top}	m	opperhoogte
h_{dom}	m	dominante hoogte
d_{dom}	cm	gemiddelde diameter van dominante hoogte boom
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 ²⁾
h_g	m	hoogte van de middenboom
V	m^3ha^{-1}	volume per ha ³⁾
l_{cG}	$m^2ha^{-1}j^{-1}$	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 50 jaar

²⁾ boom met gemiddeld boomgrondvlak en boomvolume

³⁾ Het volume is gedefinieerd als het spilhoutvolume met schors.

Explanation yield tables

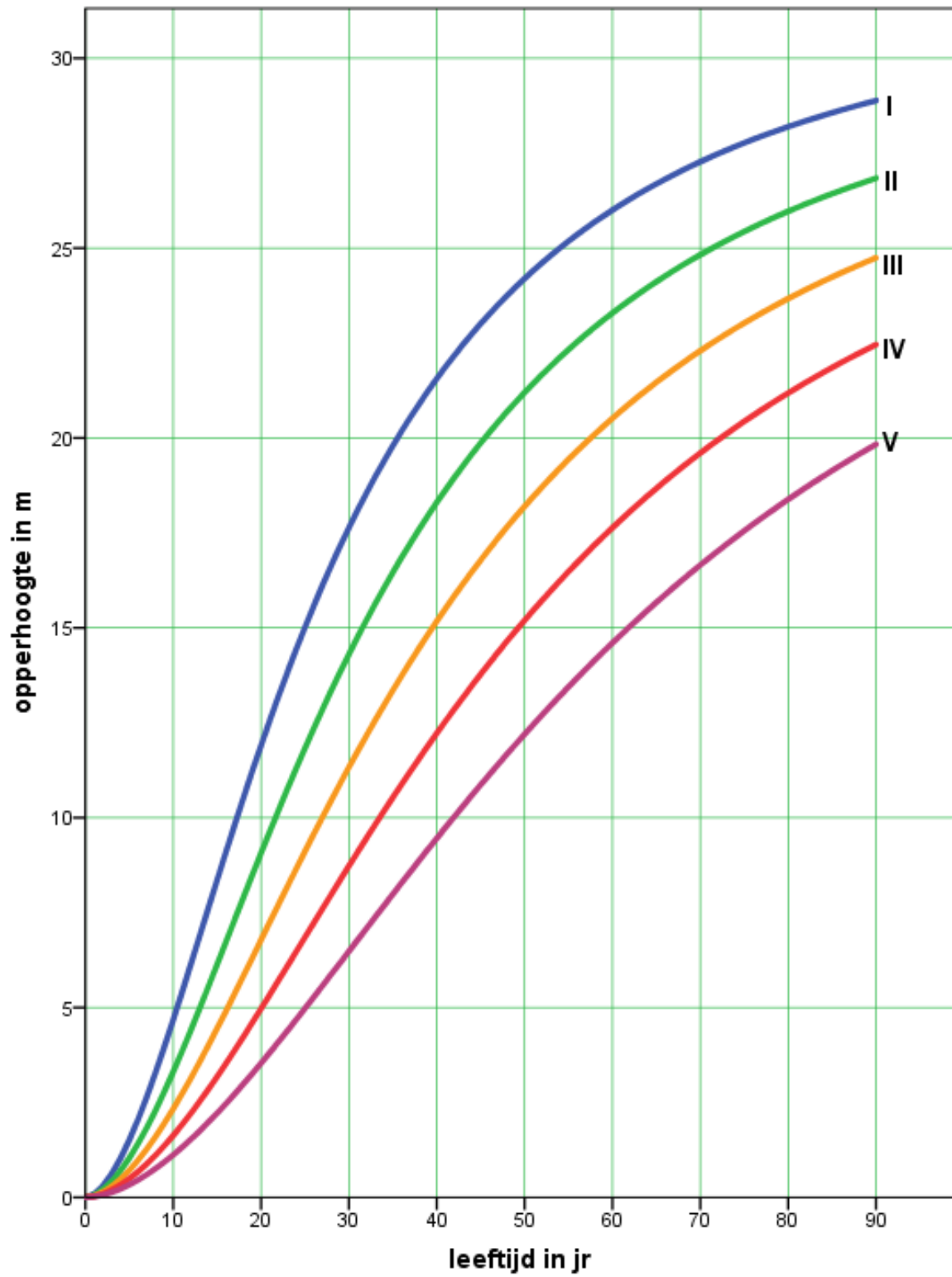
In the header of the yield tables a number of standard symbols (IUFRO, 1959) are used. In the table below the SI units and the meaning of the symbols are given.

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 ¹⁾
t	j	age since germination
h_{top}	m	top height
h_{dom}	m	dominant height
d_{dom}	cm	mean diameter of dominant height tree
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 ²⁾
lc_G	$m^3ha^{-1} yr^{-1}$	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

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

²⁾ The volume is defined as the stem volume over bark.

Fijnspar Nederland 2018



FIJNSPAR		zwakke laagduunning												Boniteit I, h50 = 24.2, P50 = 19.3					
NORWAY SPRUCE		weak thinning from below												Site Class I, h50 = 24.2, P50 = 19.3					
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning				Dunning			Kenmerken na duunning				Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning			Characteristics after thinning				Increment			
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_g	lm_g	lc_v	lm_v	t
5	1.5	1.5	1.5	1.5	5000	0.5	1.1	1.2	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	0.44	0.10	0.5	0.1	5
10	4.7	4.6	6.1	6.1	5000	8.1	4.5	3.9	18	5000	8.1	4.5	3.9	18	4.08	0.81	11.6	1.8	10
15	8.4	8.3	14.3	18.2	5000	41.3	10.3	7.3	185	5000	41.3	10.3	7.3	185	4.69	2.75	48.8	12.3	15
20	11.9	11.8	19.3	16.0	5000	58.0	12.2	10.6	350	1818	13.2	9.6	8.0	3182	2.33	2.90	28.8	17.5	20
25	15.0	14.9	23.1	16.0	3182	55.6	14.9	13.6	408	1182	12.9	11.8	9.5	1999	1.93	2.75	25.7	19.5	25
30	17.6	17.5	26.6	16.0	1999	51.4	18.1	16.1	432	550	8.7	14.2	7.3	1450	1.60	2.58	22.4	20.2	30
35	19.8	19.7	29.7	16.0	1450	50.1	21.0	18.1	463	299	6.3	16.4	5.9	1151	1.36	2.43	19.8	20.3	35
40	21.6	21.4	32.4	16.0	1151	50.2	23.6	19.8	498	181	4.8	18.4	4.8	970	1.19	2.28	17.8	20.1	40
45	23.0	22.9	34.8	16.0	970	51.0	25.9	21.2	535	118	3.8	20.1	4.0	852	1.06	2.15	16.1	19.8	45
50	24.2	24.0	36.9	16.0	852	52.2	27.9	22.4	572	82	3.0	21.7	3.3	770	0.95	2.04	14.6	19.3	50
55	25.2	25.0	39.1	16.4	770	53.8	29.8	23.4	609	91	3.9	23.3	4.4	679	0.86	1.94	13.3	18.8	55
60	26.0	25.8	41.1	16.7	679	54.0	31.8	24.2	628	70	3.5	25.0	4.0	609	0.79	1.84	12.1	18.3	60
65	26.7	26.5	42.9	17.1	609	54.3	33.7	24.9	646	56	3.1	26.7	3.7	553	0.72	1.76	11.1	17.8	65
70	27.3	27.1	44.7	17.5	553	54.7	35.5	25.5	662	46	2.9	28.2	3.5	508	0.67	1.68	10.2	17.3	70
75	27.8	27.6	46.3	17.9	508	55.0	37.2	26.1	676	38	2.6	29.7	3.3	470	0.62	1.61	9.5	16.8	75
80	28.2	28.0	47.8	18.2	470	55.4	38.8	26.5	690	32	2.5	31.2	3.1	437	0.58	1.55	8.9	16.3	80
85	28.6	28.4	49.3	18.6	437	55.7	40.3	27.0	702	28	2.3	32.6	2.9	409	0.55	1.49	8.3	15.9	85
90	28.9	28.7	50.7	19.0	409	56.1	41.8	27.3	712	25	2.2	33.9	2.8	385	0.52	1.44	7.8	15.4	90

FIJNSPAR		zwakke laagduinning												Boniteit II, h50 = 21.2, P50 = 16.6										
NORWAY SPRUCE		weak thinning from below												Site Class II, h50 = 21.2, P50 = 16.6										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning					Dunning			Kenmerken na dunning					Bijgroei							
	h _{top}	h _{dom}	d _{dom}	S%	N	G	d _g	h _g	V	N _d	G _d	d _d	V _d	N	G	d _g	h _g	V	lc _g	lm _g	lc _v	lm _v	t	
5	1.0	1.0			5000				0					5000				0					5	
10	3.3	3.3	3.6		5000	2.8	2.7	2.6	5					5000	2.8	2.7	2.6	5		1.30	0.28	2.9	0.5	10
15	6.1	6.1	9.7		5000	20.1	7.2	5.2	56					5000	20.1	7.2	5.2	56		6.61	1.34	22.8	3.7	15
20	9.1	9.0	15.5	16.8	5000	46.7	10.9	8.0	224					5000	46.7	10.9	8.0	224		3.64	2.34	29.4	11.2	20
25	11.8	11.8	19.3	16.0	5000	60.4	12.4	10.6	363	1779	13.4	9.8	81	3221	47.0	13.6	10.6	282		2.00	2.42	24.1	14.5	25
30	14.3	14.2	22.4	16.0	3221	56.3	14.9	12.9	396	1018	11.0	11.7	78	2203	45.2	16.2	13.0	318		1.69	2.32	21.6	15.9	30
35	16.5	16.3	25.3	16.0	2203	53.1	17.5	15.0	420	538	8.0	13.7	63	1665	45.1	18.6	15.1	357		1.45	2.21	19.4	16.5	35
40	18.3	18.2	27.9	16.0	1665	51.8	19.9	16.8	449	318	6.0	15.5	52	1346	45.8	20.8	16.9	396		1.26	2.11	17.6	16.8	40
45	19.9	19.7	30.3	16.0	1346	51.7	22.1	18.3	480	204	4.8	17.2	44	1142	47.0	22.9	18.5	436		1.12	2.00	16.0	16.8	45
50	21.2	21.1	32.4	16.0	1142	52.3	24.1	19.6	512	139	3.8	18.8	38	1004	48.5	24.8	19.8	474		1.01	1.91	14.7	16.6	50
55	22.3	22.2	34.6	16.4	1004	53.3	26.0	20.8	545	140	4.5	20.4	47	864	48.7	26.8	20.9	498		0.91	1.82	13.5	16.4	55
60	23.3	23.1	36.6	16.7	864	53.1	28.0	21.7	563	105	4.0	22.0	42	759	49.1	28.7	21.9	520		0.83	1.74	12.3	16.1	60
65	24.1	24.0	38.5	17.1	759	53.0	29.8	22.6	579	81	3.6	23.6	39	678	49.5	30.5	22.7	540		0.76	1.67	11.3	15.8	65
70	24.8	24.7	40.3	17.5	678	53.1	31.6	23.3	594	65	3.2	25.1	36	613	49.9	32.2	23.5	558		0.70	1.60	10.4	15.4	70
75	25.4	25.3	42.0	17.9	613	53.2	33.3	23.9	608	53	3.0	26.6	34	560	50.3	33.8	24.1	574		0.65	1.54	9.7	15.0	75
80	26.0	25.8	43.6	18.2	560	53.4	34.9	24.5	620	44	2.7	28.0	32	515	50.7	35.4	24.7	588		0.61	1.48	9.0	14.7	80
85	26.4	26.3	45.1	18.6	515	53.6	36.4	25.0	632	38	2.6	29.4	30	478	51.0	36.9	25.2	602		0.57	1.43	8.4	14.3	85
90	26.8	26.7	46.5	19.0	478	53.8	37.9	25.5	643	32	2.4	30.8	29	445	51.4	38.3	25.6	614		0.54	1.38	7.9	14.0	90

FIJNSPAR		zwakke laagduunning												Boniteit III, h50 = 18.2, P50 = 13.8									
NORWAY SPRUCE		weak thinning from below												Site Class III, h50 = 18.2, P50 = 13.8									
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning					Dunning			Kenmerken na dunning					Bijgroei						
	Stand characteristics	Characteristics before thinning		Characteristics after thinning			Thinning			Characteristics after thinning					Increment								
h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	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	0.7	0.7		5000				0					5000				0	0.45	0.12	0.0	0.0	5	
10	2.3	2.3	2.3	5000	1.2	1.7	1.9	1					5000	1.2	1.7	1.9	1	2.26	0.46	0.8	0.1	10	
15	4.5	4.4	5.7	5000	6.9	4.2	3.7	15					5000	6.9	4.2	3.7	15	5.83	1.41	6.2	1.0	15	
20	6.8	6.7	11.4	5000	28.3	8.5	5.8	85					5000	28.3	8.5	5.8	85	3.07	1.92	22.6	4.3	20	
25	9.1	9.1	15.5	16.7	5000	48.1	11.1	8.1	232				5000	48.1	11.1	8.1	232	1.83	2.01	24.6	9.3	25	
30	11.3	11.3	18.7	16.0	5000	60.4	12.4	10.1	349	1487	11.1	9.7	64	3513	49.3	13.4	10.2	285	1.53	1.96	20.6	11.6	30
35	13.4	13.3	21.2	16.0	3513	57.5	14.4	12.1	382	986	9.9	11.3	66	2528	47.5	15.5	12.2	316	1.34	1.89	18.6	12.8	35
40	15.2	15.1	23.7	16.0	2528	54.7	16.6	13.9	404	569	7.5	13.0	56	1958	47.1	17.5	14.0	348	1.19	1.82	17.1	13.4	40
45	16.8	16.7	25.9	16.0	1958	53.4	18.6	15.4	430	358	5.9	14.5	48	1601	47.5	19.4	15.5	382	1.07	1.75	15.7	13.7	45
50	18.2	18.1	28.0	16.0	1601	53.1	20.6	16.8	458	239	4.8	16.0	42	1362	48.3	21.3	16.9	416	0.97	1.69	14.6	13.8	50
55	19.4	19.3	30.2	16.4	1362	53.4	22.3	18.1	486	221	5.3	17.5	49	1140	48.0	23.2	18.2	437	0.87	1.62	13.4	13.9	55
60	20.5	20.4	32.2	16.7	1140	52.6	24.2	19.1	502	162	4.7	19.1	44	978	48.0	25.0	19.3	457	0.80	1.56	12.3	13.8	60
65	21.5	21.3	34.1	17.1	978	52.2	26.1	20.1	516	123	4.1	20.7	41	855	48.0	26.7	20.2	475	0.74	1.50	11.4	13.6	65
70	22.3	22.1	35.9	17.5	855	51.9	27.8	20.9	530	96	3.7	22.1	38	760	48.2	28.4	21.1	492	0.68	1.45	10.5	13.4	70
75	23.0	22.9	37.6	17.9	760	51.7	29.4	21.7	543	77	3.4	23.6	35	683	48.4	30.0	21.8	508	0.63	1.40	9.8	13.2	75
80	23.7	23.5	39.2	18.2	683	51.7	31.0	22.4	555	63	3.1	25.0	33	620	48.6	31.6	22.5	522	0.59	1.36	9.1	13.0	80
85	24.2	24.1	40.7	18.6	620	51.7	32.6	23.0	566	52	2.8	26.3	31	568	48.8	33.1	23.1	535	0.56	1.31	8.6	12.7	85
90	24.7	24.6	42.2	19.0	568	51.7	34.0	23.5	576	44	2.7	27.7	30	524	49.0	34.5	23.7	547	0.56	1.31	8.1	12.5	90

FIJNSPAR		zwakke laagduinning												Boniteit IV, h50 = 15.2, P50 = 11.1										
NORWAY SPRUCE		weak thinning from below												Site Class IV, h50 = 15.2, P50 = 11.1										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning						Dunning			Kenmerken na dunning						Bijgroei					
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Stand characteristics			Characteristics before thinning						Thinning			Characteristics after thinning						Increment	
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_G	lc_G	lc_V	Im_V	t	
5	0.5	0.5			5000	0.6	1.2	1.3	1	0				5000	0.6	1.2	1.3	1	0	0.17	0.06	0.2	0.0	5
10	1.6	1.6	1.6	1.6	5000	0.6	1.2	1.3	1					5000	0.6	1.2	1.3	1	1	0.75	0.17	1.6	0.3	10
15	3.2	3.2	3.4	3.4	5000	2.5	2.5	2.5	4					5000	2.5	2.5	2.5	4	4	2.44	0.49	7.2	1.4	15
20	5.0	4.9	6.8	6.8	5000	9.9	5.0	4.2	28					5000	29.3	8.6	5.9	90	90	4.80	1.17	18.8	3.6	20
25	6.9	6.8	11.7	11.7	5000	29.3	8.6	5.9	90					5000	46.4	10.9	7.7	216	216	2.77	1.55	20.5	7.2	25
30	8.7	8.7	14.9	17.4	5000	46.4	10.9	7.7	216					5000	51.4	12.7	9.5	279	279	1.96	1.66	19.0	9.0	30
35	10.5	10.5	17.4	16.0	5000	58.0	12.2	9.4	315	935	6.6	9.5	36	4065	51.4	12.7	9.5	279	279	1.96	1.66	19.0	9.0	35
40	12.2	12.1	19.7	16.0	4065	59.4	13.6	11.1	366	1046	9.4	10.7	58	3019	50.0	14.5	11.1	308	308	1.41	1.65	16.2	10.1	40
45	13.8	13.7	21.8	16.0	3019	56.6	15.5	12.6	386	644	7.4	12.1	50	2375	49.2	16.2	12.7	336	336	1.25	1.61	15.1	10.7	45
50	15.2	15.1	23.7	16.0	2375	55.2	17.2	14.0	409	423	6.0	13.4	44	1952	49.2	17.9	14.1	364	364	1.13	1.57	14.2	11.1	50
55	16.5	16.4	25.8	16.4	1952	54.6	18.9	15.3	433	367	6.3	14.8	50	1586	48.3	19.7	15.4	382	382	1.02	1.53	13.2	11.3	55
60	17.6	17.5	27.7	16.7	1586	53.1	20.7	16.4	446	262	5.5	16.3	46	1324	47.6	21.4	16.5	400	400	0.93	1.48	12.2	11.4	60
65	18.7	18.5	29.6	17.1	1324	52.1	22.4	17.5	458	194	4.8	17.8	42	1131	47.3	23.1	17.6	416	416	0.84	1.43	11.3	11.4	65
70	19.6	19.5	31.4	17.5	1131	51.3	24.0	18.4	470	148	4.3	19.2	39	983	47.0	24.7	18.5	431	431	0.78	1.39	10.5	11.4	70
75	20.4	20.3	33.1	17.9	983	50.8	25.6	19.3	482	116	3.8	20.6	37	867	46.9	26.3	19.4	446	446	0.72	1.35	9.8	11.3	75
80	21.2	21.0	34.7	18.2	867	50.4	27.2	20.0	493	93	3.5	21.9	34	774	46.9	27.8	20.2	459	459	0.67	1.31	9.2	11.2	80
85	21.9	21.7	36.2	18.6	774	50.1	28.7	20.7	504	76	3.2	23.2	32	699	46.9	29.2	20.9	471	471	0.62	1.27	8.7	11.1	85
90	22.5	22.3	37.7	19.0	699	49.9	30.2	21.4	513	63	3.0	24.5	31	636	47.0	30.7	21.5	483	483	0.59	1.23	8.2	10.9	90

FIJNSPAR		zwakke laagduinning												Boniteit V, h50 = 12.2, P50 = 8.3										
NORWAY SPRUCE		weak thinning from below												Site Class V, h50 = 12.2, P50 = 8.3										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning				Dunning			Kenmerken na dunning				Bijgroei									
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning			Characteristics after thinning				Increment								
					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	0.3	0.3			5000				0					5000				0		0.0	0.0	0.0	0.0	5
10	1.1	1.1			5000				0					5000				0		0.2	0.2	0.2	0.0	10
15	2.2	2.2	2.2		5000	1.0	1.6	1.8	1					5000	1.0	1.6	1.8	1		0.26	0.07	0.4	0.1	15
20	3.5	3.5	4.0		5000	3.4	3.0	2.9	7					5000	3.4	3.0	2.9	7		0.79	0.17	1.8	0.4	20
25	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	24					5000	9.9	5.0	4.2	24		1.95	0.40	5.8	0.9	25
30	6.5	6.4	10.6		5000	24.2	7.8	5.6	71					5000	24.2	7.8	5.6	71		3.87	0.81	14.0	2.4	30
35	8.0	7.9	13.9	19.0	5000	41.1	10.2	7.0	177					5000	41.1	10.2	7.0	177		2.60	1.18	16.8	5.1	35
40	9.5	9.4	15.6	16.1	5000	52.2	11.5	8.5	259					5000	52.2	11.5	8.5	259		2.04	1.30	16.8	6.5	40
45	10.9	10.8	17.8	16.0	5000	61.4	12.5	9.8	343	1181	8.9	9.8	50	3819	52.5	13.2	9.9	293		1.53	1.36	15.3	7.6	45
50	12.2	12.1	19.5	16.0	3819	58.9	14.0	11.1	363	789	7.4	11.0	46	3030	51.5	14.7	11.2	317		1.19	1.36	13.4	8.3	50
55	13.4	13.4	21.4	16.4	3030	57.2	15.5	12.3	382	648	7.6	12.2	51	2383	49.6	16.3	12.4	331		1.08	1.34	12.6	8.7	55
60	14.6	14.5	23.2	16.7	2383	54.8	17.1	13.5	392	451	6.5	13.5	47	1932	48.3	17.8	13.6	345		0.98	1.31	11.7	9.0	60
65	15.7	15.6	24.9	17.1	1932	52.9	18.7	14.6	402	326	5.7	14.8	43	1605	47.3	19.4	14.7	359		0.89	1.28	11.0	9.2	65
70	16.7	16.5	26.6	17.5	1605	51.6	20.2	15.6	412	244	5.0	16.2	40	1362	46.6	20.9	15.7	372		0.82	1.25	10.3	9.3	70
75	17.6	17.4	28.2	17.9	1362	50.5	21.7	16.5	422	187	4.5	17.4	37	1175	46.1	22.3	16.6	385		0.76	1.22	9.7	9.3	75
80	18.4	18.3	29.8	18.2	1175	49.7	23.2	17.4	432	147	4.0	18.7	35	1028	45.7	23.8	17.5	397		0.71	1.19	9.2	9.3	80
85	19.1	19.0	31.4	18.6	1028	49.1	24.7	18.1	441	117	3.7	20.0	33	911	45.4	25.2	18.3	408		0.66	1.16	8.6	9.3	85
90	19.8	19.7	32.9	19.0	911	48.6	26.1	18.9	450	95	3.4	21.2	31	816	45.2	26.6	19.0	419		0.62	1.13	8.2	9.2	90

FIJNSPAR		matige laagduunning												Boniteit I, h50 = 24.2, P50 = 17.4					
NORWAY SPRUCE		moderate thinning from below												Site Class I, h50 = 24.2, P50 = 17.4					
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning				Dunning			Kenmerken na duunning				Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning			Characteristics after thinning				Increment			
	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	V	N	G	d_g	h_g	V	l_c	l_m	l_v	l_m	t
5	1.5	1.5	1.5	1.5	5000	0.5	1.1	1.2	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	0.44	0.10	0.5	0.1	5
10	4.7	4.6	6.1	6.1	5000	8.1	4.5	3.9	18	5000	8.1	4.5	3.9	18	4.08	0.81	11.6	1.8	10
15	8.4	8.3	14.3	19.0	5000	40.4	10.1	7.2	181	427	2.3	8.3	10	4573	38.1	2.69	46.6	12.1	15
20	11.9	11.8	19.8	19.0	4573	54.4	12.3	10.6	328	2316	19.2	10.3	116	2256	35.2	2.84	26.1	16.9	20
25	15.0	14.9	23.8	19.0	2256	45.0	15.9	13.6	330	839	11.4	13.2	84	1418	33.6	2.66	22.1	18.2	25
30	17.6	17.5	27.4	19.0	1418	41.5	19.3	16.1	348	390	7.7	15.9	65	1028	33.8	2.48	19.4	18.6	30
35	19.8	19.7	30.7	19.0	1028	40.5	22.4	18.1	374	212	5.6	18.3	52	816	34.9	2.32	17.3	18.6	35
40	21.6	21.4	33.6	19.0	816	40.7	25.2	19.8	404	128	4.3	20.6	42	688	36.4	2.17	15.5	18.3	40
45	23.0	22.9	36.2	19.0	688	41.5	27.7	21.2	435	84	3.4	22.6	35	604	38.2	2.04	14.1	17.9	45
50	24.2	24.0	38.5	19.0	604	42.7	30.0	22.4	467	58	2.7	24.4	30	546	40.0	1.93	12.9	17.4	50
55	25.2	25.0	40.8	19.4	546	44.1	32.1	23.4	499	61	3.3	26.3	37	485	40.8	1.83	11.8	17.0	55
60	26.0	25.8	42.9	19.7	485	44.6	34.2	24.2	518	47	2.9	28.1	34	438	41.7	1.74	10.8	16.5	60
65	26.7	26.5	44.9	20.1	438	45.1	36.2	24.9	536	38	2.6	29.9	31	401	42.5	1.66	10.0	16.0	65
70	27.3	27.1	46.7	20.5	401	45.7	38.1	25.5	552	31	2.4	31.6	29	370	43.3	1.59	9.2	15.6	70
75	27.8	27.6	48.4	20.9	370	46.2	39.9	26.1	568	26	2.2	33.2	27	344	44.0	1.52	8.6	15.1	75
80	28.2	28.0	50.0	21.2	344	46.8	41.6	26.5	582	22	2.1	34.8	26	322	44.7	1.46	8.1	14.7	80
85	28.6	28.4	51.6	21.6	322	47.3	43.2	27.0	595	19	2.0	36.3	25	303	45.3	1.41	7.6	14.3	85
90	28.9	28.7	53.0	22.0	303	47.8	44.8	27.3	607	17	1.9	37.8	24	287	46.0	1.35	7.2	13.9	90

FIJNSPAR		matige laagduunning												Boniteit II, h50 = 21.2, P50 = 14.9										
NORWAY SPRUCE		moderate thinning from below												Site Class II, h50 = 21.2, P50 = 14.9										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning						Dunning			Kenmerken na duunning						Bijgroei					
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	Stand characteristics			Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning						Increment					
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	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	1.0	1.0			5000	2.8	2.7	2.6	5	0				5000	2.8	2.7	2.6	5	0	1.30	0.28	2.9	0.5	5
10	3.3	3.3	3.6		5000	20.1	7.2	5.2	56					5000	20.1	7.2	5.2	56		6.61	1.34	22.8	3.7	10
15	6.1	6.1	9.7		5000	45.3	10.7	7.9	217					1112	6.8	8.8	8.0	185		3.35	2.27	26.8	10.9	15
20	9.1	9.0	15.7	19.0	5000	51.4	13.0	10.6	308	1604	14.6	10.7	88	3888	38.6	11.2	8.0	185		1.84	2.32	21.0	13.6	20
25	11.8	11.8	19.8	19.0	3888	45.2	15.9	12.9	318	722	9.7	13.1	68	2284	36.8	14.3	10.6	220		1.53	2.22	18.5	14.6	25
30	14.3	14.2	23.1	19.0	2284	42.6	18.6	15.0	337	382	7.0	15.3	56	1562	35.5	17.0	13.0	249		1.31	2.10	16.7	15.0	30
35	16.5	16.3	26.1	19.0	1562	41.7	21.2	16.8	361	226	5.3	17.4	46	1181	35.6	19.6	15.1	281		1.15	1.99	15.2	15.1	35
40	18.3	18.2	28.9	19.0	1181	41.8	23.6	18.3	387	145	4.2	19.3	39	955	36.4	22.0	16.9	314		1.02	1.89	14.0	15.1	40
45	19.9	19.7	31.4	19.0	955	42.4	25.8	19.6	415	98	3.4	21.0	34	810	37.6	24.3	18.5	348		0.92	1.80	12.9	14.9	45
50	21.2	21.1	33.7	19.0	810	43.3	27.8	20.8	443	95	3.9	22.8	40	712	39.0	26.4	19.8	381		0.83	1.72	11.8	14.7	50
55	22.3	22.2	36.0	19.4	712	43.4	29.9	21.7	460	71	3.4	24.6	36	617	40.0	30.6	21.9	424		0.76	1.64	10.9	14.4	55
60	23.3	23.1	38.1	19.7	617	43.7	31.9	22.6	476	55	3.0	26.4	33	546	40.6	32.5	22.7	443		0.69	1.57	10.0	14.1	60
65	24.1	24.0	40.1	20.1	546	44.0	33.8	23.3	492	44	2.7	28.0	31	491	41.3	34.3	23.5	461		0.64	1.50	9.3	13.8	65
70	24.8	24.7	42.0	20.5	491	44.4	35.6	23.9	506	36	2.5	29.6	29	446	41.9	36.0	24.1	477		0.60	1.44	8.7	13.4	70
75	25.4	25.3	43.7	20.9	446	44.7	37.3	24.5	519	30	2.3	31.2	27	410	42.4	37.7	24.7	493		0.56	1.39	8.1	13.1	75
80	26.0	25.8	45.4	21.2	410	45.2	38.9	25.0	532	26	2.2	32.7	25	380	43.0	39.3	25.2	507		0.53	1.34	7.7	12.8	80
85	26.4	26.3	47.0	21.6	380	45.6	40.5	25.5	544	22	2.0	34.1	24	354	43.5	40.9	25.6	520		0.50	1.29	7.2	12.5	85
90	26.8	26.7	48.5	22.0	354	45.6	40.5	25.5	544	22	2.0	34.1	24	332	43.5	40.9	25.6	520		0.50	1.29	7.2	12.5	90

FIJNSPAR		matige laagduunning												Boniteit III, h50 = 18.2, P50 = 12.5													
NORWAY SPRUCE		moderate thinning from below												Site Class III, h50 = 18.2, P50 = 12.5													
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning				Dunning				Kenmerken na duunning				Bijgroei											
	Stand characteristics	Characteristics before thinning		Thinning		Characteristics after thinning		Increment																			
h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	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	0.7	0.7		5000				0						5000				0					0.0	0.0	5		
10	2.3	2.3	2.3	5000	1.2	1.7	1.9	1						5000	1.2	1.7	1.9	1					0.45	0.12	0.8	0.1	10
15	4.5	4.4	5.7	5000	6.9	4.2	3.7	15						5000	6.9	4.2	3.7	15					2.26	0.46	6.2	1.0	15
20	6.8	6.7	11.4	5000	28.3	8.5	5.8	85						5000	28.3	8.5	5.8	85					5.73	1.41	22.3	4.3	20
25	9.1	9.1	15.8	19.0	5000	46.6	10.9	8.0	224					3848	39.4	11.4	8.1	190					2.83	1.86	22.4	9.0	25
30	11.3	11.3	19.2	19.0	3848	50.8	13.0	10.1	294					2492	38.6	14.0	10.2	223					1.69	1.93	17.9	10.9	30
35	13.4	13.3	21.9	19.0	2492	46.0	15.3	12.1	306					1793	37.3	16.3	12.2	248					1.39	1.87	15.9	11.7	35
40	15.2	15.1	24.4	19.0	1793	43.8	17.6	13.9	324					1389	37.2	18.5	14.0	274					1.21	1.80	14.7	12.2	40
45	16.8	16.7	26.8	19.0	1389	42.9	19.8	15.4	345					1135	37.6	20.5	15.5	303					1.08	1.73	13.6	12.4	45
50	18.2	18.1	29.0	19.0	1135	42.8	21.9	16.8	368					966	38.5	22.5	16.9	331					0.97	1.66	12.7	12.5	50
55	19.4	19.3	31.3	19.4	966	43.1	23.8	18.1	392					814	38.6	24.6	18.2	351					0.88	1.59	11.7	12.4	55
60	20.5	20.4	33.4	19.7	814	42.8	25.9	19.1	407					704	38.8	26.5	19.3	370					0.80	1.53	10.9	12.3	60
65	21.5	21.3	35.4	20.1	704	42.6	27.8	20.1	422					619	39.2	28.4	20.2	387					0.73	1.47	10.1	12.2	65
70	22.3	22.1	37.3	20.5	619	42.7	29.6	20.9	436					553	39.5	30.2	21.1	404					0.68	1.41	9.4	12.0	70
75	23.0	22.9	39.1	20.9	553	42.8	31.4	21.7	449					501	40.0	31.9	21.8	419					0.63	1.36	8.8	11.8	75
80	23.7	23.5	40.8	21.2	501	43.0	33.1	22.4	462					457	40.4	33.5	22.5	434					0.59	1.32	8.2	11.6	80
85	24.2	24.1	42.4	21.6	457	43.2	34.7	23.0	474					421	40.8	35.1	23.1	447					0.55	1.27	7.8	11.4	85
90	24.7	24.6	43.9	22.0	421	43.5	36.3	23.5	485					391	41.3	36.7	23.7	460					0.52	1.23	7.3	11.2	90

FIJNSPAR		matige laagduinning												Boniteit IV, h50 = 15.2, P50 = 10.1							
NORWAY SPRUCE		moderate thinning from below												Site Class IV, h50 = 15.2, P50 = 10.1							
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning						Dunning			Kenmerken na dunning						Bijgroei		
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	Stand characteristics			Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning						Increment		
	S%	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	0.5	0.5				0	5000													5	
10	1.6	1.6	1.6	1.2	1.3	1	5000	0.6	1.2	1.3	1	5000	0.6	1.2	1.3	1	0.17	0.06	0.2	0.1	10
15	3.2	3.2	3.4	2.5	2.5	4	5000	2.5	2.5	2.5	4	5000	2.5	2.5	2.5	4	0.75	0.17	1.6	0.3	15
20	5.0	4.9	6.8	5.0	4.2	28	5000	9.9	5.0	4.2	28	5000	9.9	5.0	4.2	28	2.44	0.49	7.2	1.4	20
25	6.9	6.8	11.7	8.6	5.9	90	5000	29.3	8.6	5.9	90	5000	29.3	8.6	5.9	90	4.69	1.17	18.5	3.6	25
30	8.7	8.7	15.0	10.7	7.7	209	5000	45.1	10.7	7.7	209	804	4.8	8.7	23	4196	40.2	11.0	19.0	7.0	30
35	10.5	10.5	18.0	12.5	9.4	279	4196	51.2	12.5	9.4	279	1314	10.9	10.3	59	2883	40.4	13.4	16.9	8.6	35
40	12.2	12.1	20.3	14.5	11.1	294	2883	47.6	14.5	11.1	294	742	8.3	11.9	51	2141	39.4	15.3	13.9	9.4	40
45	13.8	13.7	22.5	16.4	12.6	309	2141	45.4	16.4	12.6	309	456	6.5	13.5	44	1684	38.9	17.1	13.0	9.8	45
50	15.2	15.1	24.6	18.3	14.0	328	1684	44.3	18.3	14.0	328	300	5.3	15.0	39	1384	39.0	18.9	12.2	10.1	50
55	16.5	16.4	26.7	20.1	15.3	348	1384	43.9	20.1	15.3	348	252	5.4	16.5	43	1133	38.5	20.8	11.4	10.3	55
60	17.6	17.5	28.7	22.0	16.4	360	1133	43.0	22.0	16.4	360	180	4.7	18.1	39	952	38.3	22.6	10.7	10.3	60
65	18.7	18.5	30.7	23.8	17.5	373	952	42.4	23.8	17.5	373	134	4.1	19.7	36	818	38.3	24.4	10.0	10.3	65
70	19.6	19.5	32.5	25.6	18.4	385	818	42.0	25.6	18.4	385	102	3.6	21.2	33	716	38.4	26.1	9.3	10.3	70
75	20.4	20.3	34.3	27.3	19.3	397	716	41.8	27.3	19.3	397	80	3.3	22.7	31	636	38.5	27.8	8.8	10.2	75
80	21.2	21.0	36.0	28.9	20.0	408	636	41.7	28.9	20.0	408	65	3.0	24.2	29	571	38.8	29.4	8.3	10.1	80
85	21.9	21.7	37.6	30.5	20.7	419	571	41.7	30.5	20.7	419	53	2.7	25.6	27	518	39.0	31.0	7.8	10.0	85
90	22.5	22.3	39.2	32.1	21.4	430	518	41.8	32.1	21.4	430	44	2.5	27.0	26	474	39.3	32.5	7.4	9.8	90

FIJNSPAR		matige laagduunning												Boniteit V, h50 = 12.2, P50 = 7.7										
NORWAY SPRUCE		moderate thinning from below												Site Class V, h50 = 12.2, P50 = 7.7										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning						Dunning			Kenmerken na duunning						Bijgroei					
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Stand characteristics			Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning			Increment							
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	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	0.3	0.3			5000				0					5000				0		0.0	0.0	0.0	0.0	5
10	1.1	1.1			5000				0					5000				0		0.2	0.0	0.2	0.0	10
15	2.2	2.2	2.2		5000	1.0	1.6	1.8	1					5000	1.0	1.6	1.8	1		0.26	0.07	0.4	0.1	15
20	3.5	3.5	4.0		5000	3.4	3.0	2.9	7					5000	3.4	3.0	2.9	7		0.79	0.17	1.8	0.4	20
25	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	24					5000	9.9	5.0	4.2	24		1.95	0.40	5.8	0.9	25
30	6.5	6.4	10.6		5000	24.2	7.8	5.6	71					5000	24.2	7.8	5.6	71		3.87	0.81	14.0	2.4	30
35	8.0	7.9	13.7	19.0	5000	40.2	10.1	7.0	173					5000	40.2	10.1	7.0	173		2.47	1.15	16.1	5.0	35
40	9.5	9.4	16.2	19.0	5000	51.3	11.4	8.4	255	1424	9.9	9.4	49	3576	41.4	12.1	8.5	206		1.94	1.28	15.6	6.4	40
45	10.9	10.8	18.6	19.0	3576	49.8	13.3	9.8	278	867	8.1	10.9	46	2708	41.7	14.0	9.9	233		1.39	1.33	13.2	7.3	45
50	12.2	12.1	20.2	19.0	2708	47.5	14.9	11.1	292	559	6.6	12.2	41	2149	40.9	15.6	11.2	252		1.08	1.31	11.5	7.7	50
55	13.4	13.4	22.1	19.4	2149	46.1	16.5	12.3	308	447	6.5	13.6	43	1702	39.6	17.2	12.4	264		0.98	1.29	10.9	8.1	55
60	14.6	14.5	24.0	19.7	1702	44.3	18.2	13.5	317	313	5.5	15.0	40	1389	38.7	18.8	13.6	277		0.82	1.26	10.2	8.3	60
65	15.7	15.6	25.8	20.1	1389	43.0	19.9	14.6	327	227	4.8	16.5	37	1162	38.2	20.5	14.7	290		0.82	1.23	9.6	8.4	65
70	16.7	16.5	27.6	20.5	1162	42.1	21.5	15.6	337	170	4.3	17.9	34	992	37.9	22.0	15.7	302		0.76	1.19	9.1	8.5	70
75	17.6	17.4	29.3	20.9	992	41.5	23.1	16.5	347	131	3.8	19.3	32	861	37.7	23.6	16.6	315		0.70	1.16	8.6	8.5	75
80	18.4	18.3	30.9	21.2	861	41.1	24.6	17.4	356	103	3.4	20.7	30	758	37.6	25.1	17.5	326		0.65	1.13	8.2	8.5	80
85	19.1	19.0	32.5	21.6	758	40.8	26.2	18.1	366	83	3.1	22.0	28	676	37.6	26.6	18.3	338		0.61	1.10	7.7	8.4	85
90	19.8	19.7	34.1	22.0	676	40.6	27.7	18.9	376	67	2.9	23.4	27	608	37.7	28.1	19.0	349		0.57	1.07	7.4	8.4	90

FIJNSPAR NORWAY SPRUCE		sterke laagduunning heavy thinning from below												Boniteit I, h50 = 24.2, P50 = 15.9 Site Class I, h50 = 24.2, P50 = 15.9					
		Opstandkenmerken Stand characteristics				Kenmerken voor duunning Characteristics before thinning				Dunning Thinning				Kenmerken na duunning Characteristics after thinning				Bijgroei Increment	
t	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_G	lc_V	lm_G	lm_V	t
5	1.5	1.5	1.5	1.5	5000	0.5	1.1	1.2	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	0.44	0.10	0.5	0.1	5
10	4.7	4.6	6.1		5000	8.1	4.5	3.9	18						4.08	0.81	11.6	1.8	10
15	8.4	8.3	14.7	22.0	5000	39.8	10.1	7.2	178	1589	9.2	8.6	41		4.10	2.65	43.7	11.9	15
20	11.9	11.8	20.2	22.0	3411	45.7	13.1	10.6	275	1728	17.2	11.3	104		2.04	2.75	22.9	15.8	20
25	15.0	14.9	24.3	22.0	1683	37.6	16.9	13.6	275	625	10.2	14.4	75		1.63	2.56	19.6	16.8	25
30	17.6	17.5	28.2	22.0	1057	34.7	20.5	16.1	291	291	6.9	17.4	58		1.35	2.38	17.3	17.0	30
35	19.8	19.7	31.7	22.0	767	34.0	23.8	18.1	314	158	5.1	20.2	47		1.15	2.22	15.5	16.9	35
40	21.6	21.4	34.8	22.0	609	34.4	26.8	19.8	341	96	3.9	22.7	39		1.00	2.07	14.0	16.7	40
45	23.0	22.9	37.6	22.0	513	35.2	29.6	21.2	369	62	3.1	25.0	32		0.89	1.95	12.7	16.3	45
50	24.2	24.0	40.1	22.0	451	36.4	32.1	22.4	398	43	2.5	27.1	27		0.80	1.84	11.7	15.9	50
55	25.2	25.0	42.5	22.4	407	37.7	34.3	23.4	427	44	2.9	29.1	33		0.73	1.74	10.7	15.5	55
60	26.0	25.8	44.7	22.7	364	38.3	36.6	24.2	445	34	2.6	31.2	30		0.67	1.65	9.9	15.0	60
65	26.7	26.5	46.8	23.1	330	39.0	38.8	24.9	463	27	2.3	33.1	27		0.62	1.58	9.1	14.6	65
70	27.3	27.1	48.7	23.5	303	39.6	40.8	25.5	479	22	2.1	35.0	26		0.57	1.51	8.5	14.2	70
75	27.8	27.6	50.5	23.9	281	40.3	42.7	26.1	495	18	1.9	36.7	24		0.54	1.44	7.9	13.8	75
80	28.2	28.0	52.2	24.2	263	40.9	44.5	26.5	509	16	1.8	38.4	23		0.50	1.39	7.5	13.4	80
85	28.6	28.4	53.9	24.6	247	41.6	46.3	27.0	523	14	1.7	40.1	22		0.48	1.33	7.0	13.0	85
90	28.9	28.7	55.4	25.0	234	42.2	47.9	27.3	535	12	1.6	41.6	21		0.45	1.28	6.7	12.7	90

FIJNSPAR																							
NORWAY SPRUCE																							
sterke laagduunning																							
heavy thinning from below																							
Boniteit II, h50 = 21.2, P50 = 13.6																							
Site Class II, h50 = 21.2, P50 = 13.6																							
Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning				Dunning			Kenmerken na duunning				Bijgroei									
t	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning		Thinning		Characteristics after thinning		Increment		lc_G	lc_V	Im_V	t							
					N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_G	lc_V	Im_V	t	
5	1.0	1.0			5000	2.8	2.7	2.6	0					5000	2.8	2.7	2.6	0		1.30	0.28	0.0	5
10	3.3	3.3	3.6		5000	20.1	7.2	5.2	5					5000	20.1	7.2	5.2	5		6.61	1.34	2.9	10
15	6.1	6.1	9.7		5000	44.3	10.6	7.9	213	2100	13.7	9.1	66	5000	30.6	11.6	8.0	147		3.11	2.22	22.8	15
20	9.1	9.0	16.0	22.0	2900	42.5	13.7	10.6	255	1196	12.9	11.7	78	2900	29.6	14.9	10.6	177		1.71	2.25	24.5	20
25	11.8	11.8	20.2	22.0	1704	37.4	16.7	12.9	263	538	8.6	14.3	61	1704	28.8	17.7	13.0	202		1.43	2.13	18.4	25
30	14.3	14.2	23.6	22.0	1165	35.4	19.7	15.0	280	285	6.3	16.7	50	1165	29.1	20.5	15.1	230		1.22	2.02	16.4	30
35	16.5	16.3	26.8	22.0	881	34.8	22.4	16.8	301	168	4.8	19.0	42	881	30.1	23.2	16.9	260		1.07	1.91	13.6	35
40	18.3	18.2	29.7	22.0	712	35.1	25.0	18.3	325	108	3.8	21.2	35	712	31.3	25.7	18.5	289		0.95	1.81	12.5	40
45	19.9	19.7	32.5	22.0	604	35.7	27.4	19.6	350	73	3.1	23.2	30	604	32.6	28.0	19.8	319		0.85	1.72	11.6	45
50	21.2	21.1	35.0	22.0	531	36.7	29.7	20.8	375	68	3.4	25.2	35	531	33.3	30.3	20.9	340		0.77	1.63	10.7	50
55	22.3	22.2	37.4	22.4	463	37.0	31.9	21.7	392	51	3.0	27.2	32	463	34.0	32.4	21.9	360		0.70	1.56	9.9	55
60	23.3	23.1	39.6	22.7	411	37.4	34.0	22.6	408	40	2.6	29.1	29	411	34.7	34.5	22.7	379		0.65	1.49	9.2	60
65	24.1	24.0	41.7	23.1	372	37.9	36.0	23.3	423	32	2.4	30.9	27	372	35.5	36.5	23.5	396		0.60	1.43	8.5	65
70	24.8	24.7	43.7	23.5	340	38.4	37.9	23.9	437	26	2.2	32.6	25	340	36.2	38.3	24.1	412		0.56	1.37	8.0	70
75	25.4	25.3	45.5	23.9	314	38.9	39.7	24.5	451	22	2.0	34.3	24	314	36.9	40.1	24.7	428		0.52	1.32	7.5	75
80	26.0	25.8	47.3	24.2	292	39.4	41.5	25.0	464	19	1.9	35.9	22	292	37.5	41.8	25.2	442		0.49	1.27	7.1	80
85	26.4	26.3	49.0	24.6	273	39.9	43.1	25.5	476	16	1.8	37.5	21	273	38.2	43.5	25.6	455		0.47	1.23	6.7	85
90	26.8	26.7	50.5	25.0																			90

FIJNSPAR		sterke laagduunning												Boniteit III, h50 = 18.2, P50 = 11.4										
NORWAY SPRUCE		heavy thinning from below												Site Class III, h50 = 18.2, P50 = 11.4										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning					Dunning			Kenmerken na duunning					Bijgroei							
	Stand characteristics	Characteristics before thinning		Thinning		Characteristics after thinning			Increment															
h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	$S\%$	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	0.7	0.7		5000			0							5000			0			0.0	0.0		5	
10	2.3	2.3	2.3	5000	1.2	1.7	1.9	1						5000	1.2	1.7	1.9	1		0.45	0.12	0.8	0.1	10
15	4.5	4.4	5.7	5000	6.9	4.2	3.7	15						5000	6.9	4.2	3.7	15		2.26	0.46	6.2	1.0	15
20	6.8	6.7	11.4	5000	28.3	8.5	5.8	85						5000	28.3	8.5	5.8	85		5.65	1.41	22.1	4.3	20
25	9.1	9.1	16.0	5000	45.5	10.8	8.0	219	2130	14.3	9.2		69	2870	31.2	11.8	8.1	150		2.62	1.82	20.5	8.8	25
30	11.3	11.3	19.5	2870	41.8	13.6	10.1	242	1012	10.8	11.6		62	1858	31.1	14.6	10.2	179		1.57	1.87	15.7	10.4	30
35	13.4	13.3	22.3	1858	38.0	16.1	12.1	252	521	7.7	13.7		51	1337	30.3	17.0	12.2	201		1.29	1.80	14.0	11.0	35
40	15.2	15.1	25.0	1337	36.3	18.6	13.9	268	301	5.9	15.8		44	1036	30.4	19.3	14.0	224		1.13	1.73	13.0	11.3	40
45	16.8	16.7	27.6	1036	35.7	20.9	15.4	287	189	4.7	17.8		38	847	31.0	21.6	15.5	249		1.00	1.65	12.1	11.4	45
50	18.2	18.1	30.0	847	35.8	23.2	16.8	308	126	3.8	19.6		33	720	31.9	23.8	16.9	275		0.90	1.58	11.3	11.4	50
55	19.4	19.3	32.4	720	36.2	25.3	18.1	329	110	4.0	21.5		36	611	32.2	25.9	18.2	293		0.82	1.52	10.6	11.4	55
60	20.5	20.4	34.6	611	36.1	27.5	19.1	344	80	3.5	23.4		33	530	32.7	28.0	19.3	311		0.74	1.46	9.8	11.3	60
65	21.5	21.3	36.7	530	36.2	29.5	20.1	358	61	3.1	25.2		30	469	33.2	30.0	20.2	328		0.68	1.40	9.2	11.2	65
70	22.3	22.1	38.7	469	36.5	31.5	20.9	372	48	2.7	27.0		28	421	33.7	31.9	21.1	344		0.63	1.34	8.6	11.0	70
75	23.0	22.9	40.6	421	36.8	33.3	21.7	386	38	2.5	28.7		26	383	34.3	33.8	21.8	359		0.59	1.30	8.0	10.8	75
80	23.7	23.5	42.4	383	37.1	35.1	22.4	398	32	2.3	30.3		25	351	34.8	35.5	22.5	374		0.55	1.25	7.6	10.6	80
85	24.2	24.1	44.1	351	37.5	36.9	23.0	410	26	2.1	31.9		23	325	35.4	37.2	23.1	387		0.52	1.21	7.1	10.4	85
90	24.7	24.6	45.7	325	37.9	38.5	23.5	422	22	2.0	33.5		22	302	35.9	38.9	23.7	400		0.49	1.17	6.8	10.2	90

FIJNSPAR		sterke laagduunning												Boniteit IV, h50 = 15.2, P50 = 9.3									
NORWAY SPRUCE		heavy thinning from below												Site Class IV, h50 = 15.2, P50 = 9.3									
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duunning					Dunning					Kenmerken na duunning					Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning					Thinning					Characteristics after thinning					Increment			
	N	G	d_g	h_g	V	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	0.5	0.5			5000				0													5	
10	1.6	1.6	1.6		5000	0.6	1.2	1.3	1										0.17	0.06	0.2	0.1	10
15	3.2	3.2	3.4		5000	2.5	2.5	2.5	4										0.75	0.17	1.6	0.3	15
20	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	28										2.44	0.49	7.2	1.4	20
25	6.9	6.8	11.7		5000	29.3	8.6	5.9	90										4.62	1.17	18.3	3.6	25
30	8.7	8.7	15.4	22.0	5000	44.1	10.6	7.7	205	1870	12.1	9.1	56					2.39	1.47	17.4	6.8	30	
35	10.5	10.5	18.5	22.0	3130	42.3	13.1	9.4	230	980	9.6	11.2	52					1.70	1.55	14.9	8.2	35	
40	12.2	12.1	20.8	22.0	2150	39.4	15.3	11.1	243	553	7.3	13.0	45					1.19	1.53	12.2	8.8	40	
45	13.8	13.7	23.1	22.0	1597	37.6	17.3	12.6	256	340	5.8	14.7	39					1.06	1.48	11.5	9.1	45	
50	15.2	15.1	25.3	22.0	1256	36.9	19.3	14.0	273	224	4.7	16.4	35					0.95	1.43	10.9	9.3	50	
55	16.5	16.4	27.5	22.4	1033	36.7	21.3	15.3	291	183	4.7	18.1	37					0.86	1.39	10.2	9.4	55	
60	17.6	17.5	29.7	22.7	849	36.1	23.3	16.4	303	132	4.1	19.9	34					0.79	1.34	9.6	9.5	60	
65	18.7	18.5	31.7	23.1	718	35.8	25.2	17.5	315	98	3.6	21.6	32					0.72	1.29	9.0	9.5	65	
70	19.6	19.5	33.7	23.5	620	35.7	27.1	18.4	327	75	3.2	23.2	29					0.67	1.25	8.5	9.4	70	
75	20.4	20.3	35.5	23.9	545	35.7	28.9	19.3	339	59	2.9	24.9	27					0.62	1.21	8.0	9.3	75	
80	21.2	21.0	37.3	24.2	486	35.8	30.6	20.0	350	47	2.6	26.5	26					0.58	1.17	7.6	9.2	80	
85	21.9	21.7	39.1	24.6	438	36.0	32.3	20.7	361	39	2.4	28.0	24					0.54	1.14	7.2	9.1	85	
90	22.5	22.3	40.7	25.0	400	36.2	34.0	21.4	372	32	2.2	29.6	23					0.51	1.10	6.8	9.0	90	

FIJNSPAR		sterke laagduunning												Boniteit V, h50 = 12.2, P50 = 7.2							
NORWAY SPRUCE		heavy thinning from below												Site Class V, h50 = 12.2, P50 = 7.2							
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning						Dunning			Kenmerken na dunning						Bijgroei		
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning			Increment							
	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	0.3	0.3			5000				0								0.0	0.0	5		
10	1.1	1.1			5000				0								0.2	0.0	10		
15	2.2	2.2	2.2		5000	1.0	1.6	1.8	1								0.07	0.4	15		
20	3.5	3.5	4.0		5000	3.4	3.0	2.9	7								0.79	1.8	20		
25	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	24								1.95	0.40	25		
30	6.5	6.4	10.6		5000	24.2	7.8	5.6	71								3.87	0.81	30		
35	8.0	7.9	14.1	22.0	5000	39.6	10.0	7.0	171	1260	7.2	8.5		31			2.30	1.13	35		
40	9.5	9.4	16.8	22.0	3740	42.6	12.0	8.4	212	1073	8.9	10.3		44			1.81	1.25	40		
45	10.9	10.8	19.2	22.0	2667	41.6	14.1	9.8	232	647	7.3	12.0		41			1.29	1.28	45		
50	12.2	12.1	20.9	22.0	2020	39.7	15.8	11.1	244	417	5.9	13.4		36			1.01	1.26	50		
55	13.4	13.4	22.9	22.4	1603	38.6	17.5	12.3	258	327	5.7	14.9		38			0.91	1.23	55		
60	14.6	14.5	24.8	22.7	1276	37.3	19.3	13.5	266	229	4.9	16.5		35			0.83	1.20	60		
65	15.7	15.6	26.7	23.1	1047	36.4	21.0	14.6	276	167	4.3	18.0		32			0.76	1.17	65		
70	16.7	16.5	28.5	23.5	880	35.8	22.8	15.6	286	125	3.8	19.5		30			0.71	1.14	70		
75	17.6	17.4	30.3	23.9	755	35.4	24.4	16.5	296	97	3.4	21.1		28			0.65	1.11	75		
80	18.4	18.3	32.1	24.2	658	35.2	26.1	17.4	305	76	3.0	22.6		26			0.61	1.08	80		
85	19.1	19.0	33.8	24.6	582	35.1	27.7	18.1	315	61	2.8	24.0		25			0.57	1.05	85		
90	19.8	19.7	35.4	25.0	521	35.1	29.3	18.9	325	50	2.6	25.5		24			0.54	1.02	90		

FIJNSPAR		zeer sterke laagduunning												Boniteit I, h50 = 24.2, P50 = 14.7											
NORWAY SPRUCE		very heavy thinning from below												Site Class I, h50 = 24.2, P50 = 14.7											
t	Opstandkenmerken				Kenmerken voor duunning				Dunning				Kenmerken na duunning				Bijgroei								
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning				Characteristics after thinning				Increment								
	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	l_{cG}	l_{mG}	l_{cV}	l_{mV}	t	
5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	5000	0.5	1.1	1.2	0	0.44	0.10	0.5	0.1	5
10	4.7	4.6	6.1	25.0	18	5000	8.1	4.5	3.9	18	5000	8.1	4.5	3.9	18	5000	8.1	4.5	3.9	18	4.08	0.81	11.6	1.8	10
15	8.4	8.3	14.9	25.0	176	5000	39.2	10.0	7.2	176	2359	14.5	8.8	65	2641	24.8	10.9	7.3	111	3.84	2.62	41.3	11.7	15	
20	11.9	11.8	20.4	25.0	235	2641	39.0	13.7	10.6	235	1338	15.5	12.1	94	1303	23.5	15.1	10.7	141	1.91	2.67	20.4	15.0	20	
25	15.0	14.9	24.7	25.0	234	1303	32.0	17.7	13.6	234	484	9.2	15.6	68	819	22.8	18.8	13.7	166	1.52	2.48	17.6	15.7	25	
30	17.6	17.5	28.8	25.0	249	819	29.7	21.5	16.1	249	225	6.3	18.8	53	594	23.4	22.4	16.2	196	1.26	2.30	15.7	15.8	30	
35	19.8	19.7	32.5	25.0	270	594	29.3	25.1	18.1	270	122	4.6	21.9	43	471	24.7	25.8	18.3	227	1.08	2.13	14.1	15.7	35	
40	21.6	21.4	35.9	25.0	294	471	29.7	28.3	19.8	294	74	3.5	24.7	35	397	26.1	28.9	20.0	259	0.94	1.99	12.8	15.4	40	
45	23.0	22.9	38.9	25.0	320	397	30.6	31.3	21.2	320	48	2.8	27.3	30	349	27.7	31.8	21.4	291	0.84	1.87	11.7	15.0	45	
50	24.2	24.0	41.6	25.0	347	349	31.7	34.0	22.4	347	33	2.3	29.6	25	315	29.4	34.5	22.6	321	0.75	1.76	10.8	14.7	50	
55	25.2	25.0	44.1	25.4	373	315	33.0	36.5	23.4	373	33	2.6	31.9	30	283	30.4	37.0	23.5	344	0.69	1.67	9.9	14.3	55	
60	26.0	25.8	46.5	25.7	391	283	33.7	38.9	24.2	391	25	2.3	34.1	27	258	31.4	39.4	24.4	364	0.63	1.58	9.1	13.9	60	
65	26.7	26.5	48.6	26.1	408	258	34.4	41.2	24.9	408	20	2.1	36.2	25	238	32.3	41.6	25.1	384	0.58	1.51	8.5	13.5	65	
70	27.3	27.1	50.7	26.5	425	238	35.1	43.4	25.5	425	16	1.9	38.2	23	221	33.2	43.7	25.7	402	0.54	1.44	7.9	13.1	70	
75	27.8	27.6	52.6	26.9	440	221	35.9	45.4	26.1	440	14	1.7	40.1	21	208	34.1	45.7	26.2	419	0.50	1.38	7.4	12.7	75	
80	28.2	28.1	54.4	27.2	455	208	36.6	47.4	26.5	455	12	1.6	42.0	20	196	34.9	47.7	26.7	434	0.47	1.32	7.0	12.4	80	
85	28.6	28.4	56.1	27.6	468	196	37.2	49.2	27.0	468	10	1.5	43.7	19	186	35.7	49.5	27.1	449	0.45	1.27	6.6	12.1	85	
90	28.9	28.8	57.7	28.0	481	186	37.9	51.0	27.3	481	9	1.4	45.4	18	177	36.5	51.2	27.5	463	0.42	1.23	6.2	11.7	90	

FIJNSPAR		zeer sterke laagduinning												Boniteit II, h50 = 21.2, P50 = 12.6										
NORWAY SPRUCE		very heavy thinning from below												Site Class II, h50 = 21.2, P50 = 12.6										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duinning					Dunning			Kenmerken na duinning					Bijgroei							
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning					Thinning			Characteristics after thinning					Increment						
					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	1.0	1.0			5000				0					5000				0		1.30	0.28	0.2	0.0	5
10	3.3	3.3	3.6		5000	2.8	2.7	2.6	5					5000	2.8	2.7	2.6	5		6.61	1.34	2.9	0.5	10
15	6.1	6.1	9.7		5000	20.1	7.2	5.2	56					5000	20.1	7.2	5.2	56		2.91	2.18	22.8	3.7	15
20	9.1	9.0	16.1	25.0	5000	43.5	10.5	7.9	209	2754	18.9	9.4	91	2246	24.6	11.8	8.0	118		1.60	2.19	16.3	12.2	25
25	11.8	11.8	20.3	25.0	2246	35.7	14.2	10.6	214	926	11.5	12.6	69	1319	24.3	15.3	10.6	145		1.34	2.07	14.7	12.7	30
30	14.3	14.2	23.9	25.0	1319	31.6	17.5	12.9	222	417	7.7	15.3	54	902	23.9	18.4	13.0	168		1.14	1.95	13.4	12.9	35
35	16.5	16.3	27.3	25.0	902	30.1	20.6	15.0	238	221	5.6	18.0	45	682	24.4	21.4	15.1	193		1.00	1.84	12.4	12.9	40
40	18.3	18.2	30.5	25.0	682	29.8	23.6	16.8	257	130	4.3	20.6	38	552	25.4	24.2	16.9	220		0.89	1.74	11.4	12.8	45
45	19.9	19.7	33.4	25.0	552	30.1	26.4	18.3	279	84	3.5	23.0	32	468	26.7	26.9	18.5	247		0.80	1.65	10.6	12.6	50
50	21.2	21.1	36.1	25.0	468	30.9	29.0	19.6	302	57	2.8	25.2	28	411	28.0	29.5	19.8	274		0.72	1.57	9.8	12.4	55
55	22.3	22.2	38.6	25.4	411	31.8	31.4	20.8	325	51	3.0	27.4	31	360	28.8	31.9	20.9	294		0.66	1.49	9.1	12.1	60
60	23.3	23.1	41.0	25.7	360	32.2	33.8	21.7	341	39	2.7	29.6	28	321	29.6	34.2	21.9	313		0.61	1.43	8.5	11.9	65
65	24.1	24.0	43.2	26.1	321	32.8	36.0	22.6	357	30	2.4	31.7	26	291	30.4	36.5	22.7	331		0.56	1.37	7.9	11.6	70
70	24.8	24.7	45.3	26.5	291	33.3	38.2	23.3	372	24	2.1	33.6	24	267	31.2	38.6	23.5	348		0.53	1.31	7.4	11.4	75
75	25.4	25.3	47.2	26.9	267	33.9	40.2	23.9	386	20	2.0	35.5	22	247	31.9	40.5	24.1	364		0.49	1.26	7.0	11.1	80
80	26.0	25.8	49.1	27.2	247	34.5	42.1	24.5	400	16	1.8	37.4	21	231	32.7	42.5	24.7	379		0.46	1.22	6.6	10.8	85
85	26.4	26.3	50.8	27.6	231	35.1	44.0	25.0	413	14	1.7	39.1	20	217	33.4	44.3	25.2	393		0.44	1.17	6.2	10.6	90
90	26.8	26.7	52.5	28.0	217	35.7	45.7	25.5	425	12	1.6	40.8	19	205	34.1	46.0	25.6	406						

FIJNSPAR		zeer sterke laagduinning												Boniteit III, h50 = 18.2, P50 = 10.6										
NORWAY SPRUCE		very heavy thinning from below												Site Class III, h50 = 18.2, P50 = 10.6										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duinning						Dunning			Kenmerken na duinning						Bijgroei					
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Stand characteristics			Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning						Increment				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	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	0.7	0.7			5000				0											0.0	0.0	0.0	0.0	5
10	2.3	2.3	2.3		5000	1.2	1.7	1.9	1											0.45	0.12	0.8	0.1	10
15	4.5	4.4	5.7		5000	6.9	4.2	3.7	15										2.26	0.46	6.2	1.0	15	
20	6.8	6.7	11.4		5000	28.3	8.5	5.8	85										5.59	1.41	21.9	4.3	20	
25	9.1	9.1	16.1	25.0	5000	44.6	10.7	8.0	215	2777	19.6	9.5	95						2.46	1.79	18.9	8.6	25	
30	11.3	11.3	19.7	25.0	2223	35.0	14.2	10.1	202	784	9.5	12.4	55						1.47	1.82	14.0	9.9	30	
35	13.4	13.3	22.6	25.0	1439	31.9	16.8	12.1	212	404	6.9	14.7	46						1.21	1.74	12.6	10.3	35	
40	15.2	15.1	25.5	25.0	1035	30.7	19.4	13.9	227	233	5.3	17.0	39						1.06	1.67	11.7	10.6	40	
45	16.8	16.7	28.2	25.0	802	30.4	22.0	15.4	244	146	4.2	19.2	34						0.94	1.59	11.0	10.6	45	
50	18.2	18.1	30.8	25.0	656	30.6	24.4	16.8	263	98	3.5	21.3	30						0.85	1.52	10.3	10.6	50	
55	19.4	19.3	33.3	25.4	558	31.2	26.7	18.1	283	83	3.5	23.3	32						0.77	1.46	9.7	10.6	55	
60	20.5	20.4	35.7	25.7	475	31.3	29.0	19.1	297	61	3.1	25.4	29						0.70	1.40	9.0	10.5	60	
65	21.5	21.3	37.9	26.1	414	31.5	31.1	20.1	311	46	2.7	27.4	27						0.64	1.34	8.4	10.3	65	
70	22.3	22.1	40.0	26.5	367	31.9	33.2	20.9	325	36	2.5	29.3	25						0.59	1.29	7.9	10.2	70	
75	23.0	22.9	42.0	26.9	331	32.3	35.2	21.7	338	29	2.2	31.2	23						0.55	1.24	7.4	10.0	75	
80	23.7	23.5	43.8	27.2	302	32.7	37.1	22.4	351	24	2.0	32.9	22						0.52	1.20	7.0	9.8	80	
85	24.2	24.1	45.6	27.6	278	33.2	39.0	23.0	363	20	1.9	34.7	21						0.48	1.16	6.6	9.7	85	
90	24.7	24.6	47.3	28.0	258	33.6	40.8	23.5	375	17	1.8	36.3	20						0.46	1.12	6.3	9.5	90	

FIJNSPAR		zeer sterke laagduunning												Boniteit IV, h50 = 15.2, P50 = 8.7										
NORWAY SPRUCE		very heavy thinning from below												Site Class IV, h50 = 15.2, P50 = 8.7										
t	Opstandkenmerken Stand characteristics			Kenmerken voor duunning Characteristics before thinning					Dunning Thinning			Kenmerken na duunning Characteristics after thinning					Bijgroei Increment							
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	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	0.5	0.5			5000																		5	
10	1.6	1.6	1.6		5000	0.6	1.2	1.3	1											0.17	0.06	0.2	0.1	10
15	3.2	3.2	3.4		5000	2.5	2.5	2.5	4										0.75	0.17	1.6	0.3	15	
20	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	28										2.44	0.49	7.2	1.4	20	
25	6.9	6.8	11.7		5000	29.3	8.6	5.9	90										4.56	1.17	18.2	3.6	25	
30	8.7	8.7	15.6	25.0	5000	43.3	10.5	7.7	201	2576	17.5	9.3	82	2424	25.8	11.6	7.7	119	2.24	1.44	16.1	6.7	30	
35	10.5	10.5	18.8	25.0	2424	35.4	13.6	9.4	192	759	8.5	12.0	46	1665	26.8	14.3	9.5	146	1.59	1.51	13.4	7.8	35	
40	12.2	12.1	21.2	25.0	1665	33.2	15.9	11.1	204	429	6.5	13.9	40	1236	26.6	16.6	11.1	164	1.11	1.48	11.0	8.3	40	
45	13.8	13.7	23.6	25.0	1236	31.9	18.1	12.6	217	264	5.2	15.8	35	973	26.7	18.7	12.7	181	0.99	1.43	10.4	8.6	45	
50	15.2	15.1	25.9	25.0	973	31.4	20.3	14.0	232	173	4.3	17.7	32	800	27.1	20.8	14.1	200	0.89	1.38	9.9	8.7	50	
55	16.5	16.4	28.3	25.4	800	31.4	22.4	15.3	248	139	4.2	19.6	33	660	27.2	22.9	15.4	215	0.81	1.34	9.3	8.8	55	
60	17.6	17.5	30.5	25.7	660	31.1	24.5	16.4	260	100	3.6	21.5	30	560	27.4	25.0	16.5	230	0.74	1.29	8.8	8.8	60	
65	18.7	18.5	32.7	26.1	560	31.0	26.5	17.5	272	75	3.2	23.3	28	486	27.8	27.0	17.6	244	0.68	1.24	8.3	8.8	65	
70	19.6	19.5	34.7	26.5	486	31.0	28.5	18.4	284	57	2.8	25.2	26	428	28.2	28.9	18.5	258	0.63	1.20	7.8	8.7	70	
75	20.4	20.3	36.7	26.9	428	31.2	30.4	19.3	296	45	2.6	26.9	24	383	28.6	30.8	19.4	271	0.58	1.16	7.4	8.7	75	
80	21.2	21.0	38.6	27.2	383	31.4	32.3	20.0	307	36	2.3	28.7	23	347	29.1	32.7	20.2	284	0.54	1.12	7.0	8.6	80	
85	21.9	21.7	40.4	27.6	347	31.7	34.1	20.7	318	30	2.2	30.4	22	317	29.6	34.4	20.9	297	0.51	1.09	6.6	8.5	85	
90	22.5	22.3	42.1	28.0	317	32.0	35.9	21.4	329	25	2.0	32.0	20	293	30.1	36.2	21.5	308	0.48	1.06	6.3	8.3	90	

FIJNSPAR		zeer sterke laagduinning												Boniteit V, h50 = 12.2, P50 = 6.8					
NORWAY SPRUCE		very heavy thinning from below												Site Class V, h50 = 12.2, P50 = 6.8					
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor duinning				Dunning			Kenmerken na duinning				Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning			Characteristics after thinning				Increment			
	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	0.3	0.3			5000				0								0.0	0.0	5
10	1.1	1.1			5000				0								0.2	0.0	10
15	2.2	2.2	2.2		5000	1.0	1.6	1.8	1								0.07	0.4	15
20	3.5	3.5	4.0		5000	3.4	3.0	2.9	7								0.79	1.8	20
25	5.0	4.9	6.8		5000	9.9	5.0	4.2	24								1.95	0.40	25
30	6.5	6.4	10.6		5000	24.2	7.8	5.6	71								3.87	0.81	30
35	8.0	7.9	14.4	25.0	5000	39.1	10.0	7.0	168	2104	12.8	8.8		55	2.15	1.12	13.7	4.8	35
40	9.5	9.4	17.1	25.0	2896	35.9	12.6	8.4	178	831	7.9	11.0		39	1.69	1.22	12.5	5.8	40
45	10.9	10.8	19.8	25.0	2065	35.3	14.8	9.8	197	501	6.6	12.9		37	1.21	1.25	10.6	6.5	45
50	12.2	12.1	21.4	25.0	1564	33.8	16.6	11.1	208	323	5.3	14.5		33	0.94	1.22	9.2	6.8	50
55	13.4	13.4	23.4	25.4	1241	33.0	18.4	12.3	220	249	5.1	16.1		34	0.86	1.19	8.8	7.0	55
60	14.6	14.5	25.5	25.7	992	32.0	20.3	13.5	229	175	4.4	17.8		31	0.78	1.16	8.3	7.1	60
65	15.7	15.6	27.5	26.1	817	31.4	22.1	14.6	238	128	3.8	19.5		29	0.72	1.13	7.9	7.2	65
70	16.7	16.5	29.4	26.5	689	31.0	23.9	15.6	248	96	3.4	21.1		27	0.66	1.10	7.5	7.2	70
75	17.6	17.4	31.3	26.9	593	30.9	25.7	16.5	257	74	3.0	22.8		25	0.62	1.07	7.2	7.2	75
80	18.4	18.3	33.1	27.2	519	30.8	27.5	17.4	267	58	2.7	24.4		24	0.57	1.04	6.8	7.2	80
85	19.1	19.0	34.9	27.6	461	30.9	29.2	18.1	277	47	2.5	26.0		22	0.54	1.01	6.5	7.2	85
90	19.8	19.7	36.6	28.0	414	31.0	30.9	18.9	286	39	2.3	27.6		21	0.51	0.98	6.2	7.1	90

FIJNSPAR		open stand																					
NORWAY SPRUCE		Opstandkenmerken				Kenmerken voor dunning				Dunning				Kenmerken na dunning				Bijgroei					
t	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning				Characteristics after thinning				Increment						
					N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	V	N	G	d_g	h_g	V	l_{cG}	l_{mG}	l_{cV}	l_{mV}	t
5	1.5	1.5	1.6	1.6	3000	0.3	1.2	1.2	0					3000	0.3	1.2	1.2	0	0.30	0.07	0.3	0.1	5
10	4.7	4.6	6.5	6.5	3000	5.4	4.8	3.9	12					3000	5.4	4.8	3.9	12	2.73	0.54	7.7	1.2	10
15	8.4	8.3	15.4	28.0	3000	28.3	11.0	7.2	127	895	6.8	9.9	31	2105	21.5	11.4	7.3	96	3.62	1.89	34.6	8.4	15
20	11.9	11.8	20.8	28.0	2105	34.9	14.5	10.6	210	1067	14.5	13.2	88	1039	20.4	15.8	10.7	122	1.80	2.09	18.7	12.0	20
25	15.0	14.9	25.2	28.0	1039	28.4	18.7	13.6	208	386	8.6	16.8	63	653	19.8	19.7	13.7	145	1.44	1.99	16.2	13.0	25
30	17.6	17.5	29.5	28.0	653	26.3	22.7	16.1	221	179	5.8	20.4	49	473	20.5	23.5	16.2	172	1.19	1.88	14.4	13.4	30
35	19.8	19.7	33.4	28.0	473	26.0	26.4	18.1	240	98	4.3	23.7	40	376	21.7	27.1	18.3	200	1.02	1.76	13.0	13.4	35
40	21.6	21.4	37.0	28.0	376	26.4	29.9	19.8	262	59	3.3	26.8	33	317	23.1	30.5	20.0	229	0.89	1.66	11.9	13.3	40
45	23.0	22.9	40.2	28.0	317	27.3	33.1	21.2	286	39	2.7	29.6	28	278	24.6	33.6	21.4	258	0.79	1.57	10.9	13.1	45
50	24.2	24.0	43.0	28.0	278	28.4	36.0	22.4	310	27	2.2	32.2	24	251	26.2	36.4	22.6	286	0.71	1.49	10.0	12.8	50
55	25.2	25.0	45.7	28.4	251	29.6	38.7	23.4	334	25	2.4	34.7	27	226	27.2	39.1	23.5	307	0.65	1.41	9.2	12.5	55
60	26.0	25.9	48.2	28.7	226	30.3	41.3	24.2	352	19	2.1	37.1	24	207	28.2	41.7	24.4	327	0.59	1.35	8.5	12.2	60
65	26.7	26.6	50.5	29.1	207	31.0	43.7	24.9	368	15	1.9	39.4	22	191	29.1	44.1	25.1	346	0.55	1.29	7.9	11.9	65
70	27.3	27.2	52.6	29.5	191	31.8	46.0	25.5	384	13	1.7	41.5	21	179	30.1	46.3	25.7	363	0.51	1.23	7.4	11.6	70
75	27.8	27.7	54.6	29.9	179	32.5	48.2	26.1	399	11	1.6	43.6	19	168	30.9	48.4	26.2	380	0.48	1.18	6.9	11.3	75
80	28.2	28.1	56.5	30.2	168	33.2	50.2	26.5	413	9	1.5	45.5	18	159	31.8	50.5	26.7	395	0.45	1.14	6.5	11.0	80
85	28.6	28.5	58.0	30.6	159	33.9	52.1	27.0	427	8	1.4	47.4	17	151	32.6	52.4	27.1	409	0.42	1.10	6.2	10.7	85
90	28.9	28.8	59.4	31.0	151	34.6	54.0	27.3	439	7	1.3	49.3	17	144	33.3	54.2	27.5	423	0.40	1.06	5.9	10.5	90

FIJNSPAR		open stand																							
NORWAY SPRUCE		Site Class II, h50 = 21.2, P50 = 10.9																							
Opstandkenmerken		Kenmerken voor dunning				Dunning				Kenmerken na dunning				Bijgroei											
t	h _{top}	h _{dom}	d _{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning				Characteristics after thinning				Increment								
					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	1.0	1.0			3000				0						3000				0		0.1	0.0			5
10	3.3	3.3	3.8		3000	1.9	2.8	2.6	3						3000	1.9	2.8	2.6	3		0.87	0.19	1.9	0.3	10
15	6.1	6.1	10.2		3000	13.4	7.6	5.2	37						3000	13.4	7.6	5.2	37		4.42	0.90	15.0	2.5	15
20	9.1	9.0	16.6	28.0	3000	32.4	11.7	7.9	155	1210	10.6	10.6	8.0	104	1790	21.8	12.4	8.0	104		2.75	1.62	20.1	7.8	20
25	11.8	11.8	20.9	28.0	1790	32.2	15.1	10.6	193	738	10.8	13.7	10.6	128	1052	21.4	16.1	10.6	128		1.51	1.72	15.1	9.8	25
30	14.3	14.2	24.6	28.0	1052	28.3	18.5	12.9	199	332	7.2	16.6	13.0	148	719	21.1	19.3	13.0	148		1.26	1.66	13.6	10.5	30
35	16.5	16.3	28.1	28.0	719	26.9	21.8	15.0	212	176	5.3	19.6	15.1	170	544	21.6	22.5	15.1	170		1.08	1.59	12.4	10.8	35
40	18.3	18.2	31.4	28.0	544	26.6	25.0	16.8	230	104	4.1	22.4	16.9	195	440	22.5	25.5	16.9	195		0.94	1.52	11.5	11.0	40
45	19.9	19.7	34.5	28.0	440	27.0	27.9	18.3	250	67	3.3	25.0	18.5	219	373	23.7	28.4	18.5	219		0.84	1.45	10.6	11.0	45
50	21.2	21.1	37.3	28.0	373	27.7	30.7	19.6	270	45	2.7	27.5	19.8	244	328	25.0	31.1	19.8	244		0.75	1.38	9.9	10.9	50
55	22.3	22.2	40.0	28.4	328	28.6	33.3	20.8	292	40	2.8	29.9	20.9	263	288	25.8	33.8	20.9	263		0.68	1.32	9.2	10.8	55
60	23.3	23.1	42.5	28.7	288	29.0	35.8	21.7	307	30	2.4	32.2	21.9	281	258	26.6	36.2	21.9	281		0.62	1.26	8.5	10.6	60
65	24.1	24.0	44.8	29.1	258	29.5	38.2	22.6	322	23	2.2	34.4	22.7	298	234	27.4	38.6	22.7	298		0.57	1.21	7.9	10.4	65
70	24.8	24.7	47.0	29.5	234	30.1	40.5	23.3	336	19	2.0	36.5	23.5	314	216	28.2	40.8	23.5	314		0.53	1.17	7.4	10.2	70
75	25.4	25.3	49.1	29.9	216	30.7	42.6	23.9	350	15	1.8	38.6	24.1	330	200	28.9	42.9	24.1	330		0.50	1.12	7.0	10.0	75
80	26.0	25.9	51.0	30.2	200	31.3	44.7	24.5	364	13	1.7	40.5	24.7	344	187	29.7	44.9	24.7	344		0.47	1.08	6.5	9.8	80
85	26.4	26.3	52.8	30.6	187	32.0	46.6	25.0	376	11	1.5	42.4	25.2	358	177	30.4	46.8	25.2	358		0.44	1.04	6.2	9.6	85
90	26.8	26.7	54.6	31.0	177	32.6	48.5	25.5	388	9	1.4	44.2	25.6	371	167	31.1	48.7	25.6	371		0.41	1.01	5.9	9.4	90

FIJNSPAR		open stand												Boniteit III, h50 = 18.2, P50 = 9.1										
NORWAY SPRUCE		open stand												Site Class III, h50 = 18.2, P50 = 9.1										
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning				Dunning				Kenmerken na dunning				Bijgroei								
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	Characteristics before thinning				Thinning				Characteristics after thinning				Increment							
					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	0.7	0.7			3000	0.8	1.8	1.9	1										0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
10	2.3	2.3	2.5		3000	0.8	1.8	1.9	1										1	0.30	0.08	0.5	0.1	10
15	4.5	4.4	6.0		3000	4.6	4.4	3.7	10									10	1.51	0.31	4.1	0.7	15	
20	6.8	6.7	12.1		3000	18.9	9.0	5.8	56									56	3.98	0.94	15.1	2.8	20	
25	9.1	9.1	16.7	28.0	3000	33.4	11.9	8.0	161	1228	11.1	10.7	54				107	2.32	1.34	16.8	6.4	25		
30	11.3	11.3	20.3	28.0	1772	31.6	15.1	10.1	183	625	9.0	13.6	52				130	1.38	1.43	12.9	7.9	30		
35	13.4	13.3	23.4	28.0	1147	28.7	17.8	12.1	190	322	6.5	16.0	43				147	1.14	1.40	11.6	8.5	35		
40	15.2	15.1	26.4	28.0	825	27.5	20.6	13.9	203	186	5.0	18.5	37				166	0.99	1.36	10.9	8.8	40		
45	16.8	16.7	29.2	28.0	639	27.2	23.3	15.4	219	117	4.0	20.8	32				187	0.88	1.31	10.2	9.0	45		
50	18.2	18.1	31.9	28.0	523	27.4	25.8	16.8	236	78	3.3	23.1	28				208	0.80	1.26	9.6	9.1	50		
55	19.4	19.3	34.5	28.4	445	28.0	28.3	18.1	254	65	3.3	25.4	30				224	0.72	1.22	9.0	9.1	55		
60	20.5	20.4	37.0	28.7	380	28.1	30.7	19.1	267	48	2.9	27.6	27				240	0.66	1.17	8.4	9.1	60		
65	21.5	21.3	39.3	29.1	332	28.4	33.0	20.1	281	36	2.5	29.7	25				256	0.60	1.13	7.9	9.0	65		
70	22.3	22.1	41.5	29.5	296	28.8	35.2	20.9	294	28	2.3	31.8	23				270	0.56	1.09	7.4	8.9	70		
75	23.0	22.9	43.5	29.9	267	29.2	37.3	21.7	306	23	2.0	33.8	22				285	0.52	1.05	6.9	8.8	75		
80	23.7	23.5	45.5	30.2	244	29.7	39.3	22.4	318	19	1.9	35.7	20				298	0.49	1.02	6.6	8.6	80		
85	24.2	24.1	47.4	30.6	226	30.2	41.3	23.0	330	16	1.7	37.6	19				311	0.46	0.99	6.2	8.5	85		
90	24.7	24.6	49.2	31.0	210	30.7	43.1	23.5	341	13	1.6	39.3	18				323	0.43	0.96	5.9	8.4	90		

FIJNSPAR		open stand												Boniteit IV, h50 = 15.2, P50 = 7.3									
NORWAY SPRUCE		open stand												Site Class IV, h50 = 15.2, P50 = 7.3									
t	Opstandkenmerken			Kenmerken voor dunning						Dunning			Kenmerken na dunning						Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	Stand characteristics			Characteristics before thinning			Thinning			Characteristics after thinning			Increment							
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_G	lc_V	Im_V	t	
5	0.5	0.5			3000				0					3000				0		0.0	0.0	0.0	5
10	1.6	1.6	1.7		3000	0.4	1.3	1.3	0					3000	0.4	1.3	1.3	0		0.11	0.04	0.2	10
15	3.2	3.2	3.6		3000	1.7	2.7	2.5	3					3000	1.7	2.7	2.5	3		0.50	0.11	1.1	15
20	5.0	4.9	7.1		3000	6.6	5.3	4.2	15					3000	6.6	5.3	4.2	15		1.63	0.33	4.8	20
25	6.9	6.8	12.3		3000	19.6	9.1	5.9	59					3000	19.6	9.1	5.9	59		3.29	0.78	12.6	25
30	8.7	8.7	16.3	28.0	3000	32.2	11.7	7.7	149	1068	9.3	10.5	43	1932	22.9	12.3	7.7	106	2.11	1.07	14.4	30	
35	10.5	10.5	19.6	28.0	1932	31.9	14.5	9.4	173	605	8.1	13.0	44	1327	23.8	15.1	9.5	129	1.50	1.18	12.4	35	
40	12.2	12.1	21.9	28.0	1327	29.8	16.9	11.1	183	342	6.2	15.2	38	986	23.6	17.5	11.1	145	1.05	1.18	10.1	40	
45	13.8	13.7	24.4	28.0	986	28.6	19.2	12.6	194	210	4.9	17.2	33	775	23.7	19.7	12.7	161	0.93	1.16	9.6	45	
50	15.2	15.1	26.8	28.0	775	28.1	21.5	14.0	208	138	4.0	19.2	30	637	24.1	21.9	14.1	178	0.84	1.13	9.1	50	
55	16.5	16.4	29.3	28.4	637	28.1	23.7	15.3	222	109	3.9	21.3	31	528	24.2	24.2	15.4	191	0.76	1.10	8.6	55	
60	17.6	17.5	31.6	28.7	528	27.9	25.9	16.4	233	79	3.4	23.3	28	449	24.5	26.3	16.5	205	0.70	1.07	8.1	60	
65	18.7	18.5	33.8	29.1	449	27.8	28.1	17.5	245	59	3.0	25.3	26	391	24.9	28.5	17.6	218	0.64	1.04	7.7	65	
70	19.6	19.5	36.0	29.5	391	28.0	30.2	18.4	256	45	2.6	27.3	24	346	25.3	30.5	18.5	232	0.59	1.01	7.3	70	
75	20.4	20.3	38.0	29.9	346	28.2	32.2	19.3	267	35	2.4	29.2	23	310	25.8	32.5	19.4	244	0.55	0.98	6.9	75	
80	21.2	21.0	40.0	30.2	310	28.4	34.2	20.0	278	29	2.2	31.0	21	282	26.3	34.5	20.2	257	0.51	0.95	6.5	80	
85	21.9	21.7	41.9	30.6	282	28.8	36.1	20.7	289	23	2.0	32.8	20	258	26.8	36.3	20.9	269	0.48	0.92	6.2	85	
90	22.5	22.3	43.7	31.0	258	29.1	37.9	21.4	299	20	1.8	34.6	19	239	27.3	38.2	21.5	280	0.45	0.90	5.9	90	

FIJNSPAR		open stand												Boniteit V, h50 = 12.2, P50 = 5.6					
NORWAY SPRUCE		open stand												Site Class V, h50 = 12.2, P50 = 5.6					
t	Opstandkenmerken		Kenmerken voor dunning				Dunning				Kenmerken na dunning				Bijgroei				
	h_{top}	h_{dom}	d_{dom}	S%	N	G	d_g	h_g	V	N	G	d_g	h_g	V	lc_G	Im_G	lc_V	Im_V	t
5	0.3	0.3			3000				0								0.0	0.0	5
10	1.1	1.1			3000				0								0.1	0.0	10
15	2.2	2.2	2.3		3000	0.7	1.7	1.8	1										15
20	3.5	3.5	4.2		3000	2.3	3.1	2.9	4							0.17	0.05	0.3	15
25	5.0	4.9	7.2		3000	6.6	5.3	4.2	16							0.53	0.11	1.2	20
30	6.5	6.4	11.2		3000	16.2	8.3	5.6	47							1.31	0.27	3.8	25
35	8.0	7.9	14.9	28.0	3000	28.2	10.9	7.0	121							2.59	0.54	9.3	30
40	9.5	9.4	17.8	28.0	2309	32.0	13.3	8.4	159	691	5.2	9.8	7.0	99	2.03	0.81	12.2	35	
45	10.9	10.8	20.5	28.0	1646	31.5	15.6	9.8	176	662	7.4	11.9	8.5	37	1.60	0.93	11.5	40	
50	12.2	12.1	22.1	28.0	1247	30.2	17.5	11.1	185	399	6.2	14.0	9.9	141	1.14	0.98	9.8	45	
55	13.4	13.4	24.2	28.4	990	29.4	19.4	12.3	196	257	5.0	15.7	11.2	154	0.89	0.98	8.5	50	
60	14.6	14.5	26.3	28.7	793	28.5	21.4	13.5	204	196	4.7	17.5	12.4	165	0.81	0.97	8.1	55	
65	15.7	15.6	28.4	29.1	655	28.1	23.3	14.6	213	138	4.0	19.3	13.6	175	0.74	0.95	7.7	60	
70	16.7	16.5	30.4	29.5	555	27.8	25.3	15.6	222	101	3.5	21.1	14.7	186	0.68	0.93	7.3	65	
75	17.6	17.4	32.3	29.9	479	27.7	27.1	16.5	231	76	3.1	22.8	15.7	197	0.63	0.91	7.0	70	
80	18.4	18.3	34.2	30.2	420	27.7	29.0	17.4	240	59	2.8	24.6	16.6	208	0.58	0.89	6.7	75	
85	19.1	19.0	36.1	30.6	374	27.8	30.8	18.1	250	46	2.5	26.3	17.5	218	0.54	0.87	6.4	80	
90	19.8	19.7	37.8	31.0	337	28.0	32.5	18.9	259	37	2.3	28.0	18.3	229	0.51	0.85	6.1	85	
										31	2.1	29.7	19.0	239	0.48	0.83	5.8	90	