

---

Hinkeloord Report No 16

**Opbrengsttabel voor de beuk (*Fagus sylvatica* L.) in Nederland; een OPTAB-modificatie door middel van empirische simulatie, gebaseerd op proefperken uit Noord-Duitsland en Zuid-Zweden**

---

1996

---

J.J. Jansen



---

Vakgroep Bosbouw, Landbouwniversiteit Wageningen

**Opbrengsttabel voor de beuk (*Fagus sylvatica* L.) in  
Nederland; een OPTAB-modificatie door middel van  
empirische simulatie, gebaseerd op proefperken uit Noord-  
Duitsland en Zuid-Zweden**

**J.J. Jansen**

**Vakgroep Bosbouw  
Landbouwniversiteit Wageningen**

---

Hinkeloord Report No 16

**Opbrengsttabel voor de beuk (*Fagus sylvatica* L.) in Nederland; een OPTAB-modificatie door middel van empirische simulatie, gebaseerd op proefperken uit Noord-Duitsland en Zuid-Zweden**

---

---

1996

J.J. Jansen



Vakgroep Bosbouw, Landbouwniversiteit Wageningen

---

## COLOFON

This series of Hinkeloord Reports is published by the Department of Forestry, Agricultural University Wageningen.

The main goal of the series is to make scientifically sound reports, written by researchers of the Department, accessible for a wider audience.

The editorial board of this series is formed by senior staff members of the Department.

For information on available reports see innerside of back cover.

Correspondence should be directed to:

Hinkeloord Reports, Department of Forestry, Agricultural University, P.O. Box 342, 6700 AH Wageningen, The Netherlands tel. (31) 08370 - 84426, fax. (31) 08370 - 83542

ISSN 0928-1797

**Opbrengsttabel voor de beuk (*Fagus sylvatica* L.) in  
Nederland; een OPTAB-modificatie door middel van  
empirische simulatie, gebaseerd op proefperken uit Noord-  
Duitsland en Zuid-Zweden**

**J.J. Jansen**



## **Inhoud**

<i>Inhoud</i>	<i>1</i>
<i>Lijst van figuren en tabellen</i>	<i>3</i>
<i>Voorwoord</i>	<i>4</i>
<i>Samenvatting</i>	<i>5</i>
<i>Summary</i>	<i>7</i>
<i>Inleiding</i>	<i>1</i>
<i>Bruikbaarheid bestaande tabellen</i>	<i>2</i>
<i>Boniteringssysteem</i>	<i>2</i>
<i>Produktieniveau</i>	<i>4</i>
<i>Dunningsregime</i>	<i>4</i>
<i>Ontwikkeld opbrengstmodel</i>	<i>5</i>
<i>Hoogte-ontwikkeling</i>	<i>5</i>
<i>Produktieniveau</i>	<i>8</i>
<i>Dunningsregime</i>	<i>11</i>
<i>Jeugdgroei</i>	<i>12</i>
<i>Opstandsmassatabel</i>	<i>13</i>
<i>Opbrengstmodel</i>	<i>13</i>

<i>. Toetsing en implementatie voor Nederland</i>	14
<i>Toetsingsfase 1</i>	14
<i>Implementatie van het groeimodel voor Nederland</i>	14
<i>Toetsingsfase 2</i>	16
<i>. Discussie</i>	17
<i>Literatuur</i>	19
<i>BIJLAGE 1. Opbrengsttabel voor BEUK (Fagus sylvatica L.) in Nederland, verdeeld in groei klassen</i>	21
<i>Toelichting bij de opbrengstabellen</i>	22
<i>BIJLAGE 2. Opbrengsttabel voor BEUK (Fagus sylvatica L.) in Nederland, verdeeld in relatieve boniteiten (naar indeling volgens Schober (1972) gebaseerd op gelijke gemiddelde hoogte bij 100 jr)</i>	28
<i>BIJLAGE 3. Procedure voor groeivoorspelling en dunningsprognose.</i>	33
<i>BIJLAGE 4. Proefperkgegevens Schoonloo, gemeten en gesimuleerd</i>	35
<i>BIJLAGE 5. Groeiverwachting Stiboka/Dorschkamp-onderzoek (Oosterbaan et al., 1988), geïmplementeerd naar het nieuwe opbrengstmodel.</i>	37



## Lijst van figuren en tabellen

**Error! No table of figures entries found.**

<i>Tabel 2. Grondvlakbijgroei (<math>m^2 ha^{-1} j^{-1}</math>) in de gebruikte opbrengstabellen .....</i>	<i>4</i>
<i>Tabel 4. Standaardafwijking (m) bij hoogtegroeivoorspelling .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabel 5. Standaardafwijking van de voorspelde grondvlakbijgroei .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabel 6. Verschil in werkelijke en voorspelde groei in Schoonloo .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabel 7. Grondvlakbijgroei (<math>m^2 ha^{-1} j^{-1}</math>) in de nieuwe en vergeleken opbrengstabellen .....</i>	<i>17</i>

## Voorwoord

De Werkgroep Opbrengsttabellen (een samenwerkingsverband van 'Dorschkamp', 'Hinkeloord' en 'Larenstein') heeft in de periode 1983 tot 1991 gewerkt aan een set opbrengsttabellen voor onderwijs en praktijk (Jansen en Sevenster, in voorb.). In dat kader is onderzoek naar opbrengsttabellen voor de beuk verricht. De resultaten zijn in 1990 als intern rapport van de vakgroep Bosbouw verschenen. Op dat moment was er geen massatabel voor de beuk in Nederland beschikbaar en is gebruik gemaakt van de opstandmassatabel uit de OPTAB-software van DLO-IBN (een bewerking van Kennel, 1970). In 1995 is de set opbrengsttabellen afgerond, gebruikmakend van de nieuwste massatabellen. Voor de beuk betreft dit de tabel van Schoonderwoerd, de Klein en van de Schee (1991). Navolgend rapport is een herziene versie van het oorspronkelijk interne rapport. De herziening betreft alle volume-gegevens, met name de paragraaf 3.5 (opstandsmassatabel) en de bijlagen zijn sterk gewijzigd.

Op deze herziene versie ontving ik commentaar van Freerk Wiersum en op een eerder concept ontving ik in 1989 commentaar van Jan van der Burg, Piet Faber, Anne Oosterbaan, Hennie Schoonderwoerd en Jan Sevenster, waarvoor mijn dank.

Hans Jansen  
februari 1996

## Samenvatting

De "Werkgroep Opbrengsttabellen" heeft in de periode 1983 tot 1991 gewerkt aan een set opbrengsttabellen van de belangrijkste Nederlandse boomsoorten. Een van de gekozen soorten was de beuk. Hiervoor was geen Nederlandse tabel beschikbaar, en gegevens om zo'n tabel te maken ontbraken eveneens. Een keuze voor een buitenlandse tabel, met eventueel enige modificaties, moest daarom worden gemaakt. Bij een vergelijkbare exercitie in 1958 koos de Commissie Bosbedrijfsregeling de opbrengsttabel van Møller voor Denemarken (1933). Vanaf ca 1970 is er in Nederland in toenemende mate gebruik gemaakt van het software pakket OPTAB (Faber, 1990). Hierin was voor de beuk oorspronkelijk een bewerking van Hamilton & Christie voor Groot-Brittannië (1971) opgenomen. Aan het eind van de tachtiger jaren is deze vervangen door een bewerking van de tabel van Kennel voor Zuid-Duitsland (1970).

Dit rapport beschrijft de methodiek die is gevolgd om op basis van de bestaande buitenlandse tabellen opnieuw voor Nederland een geschikte tabel samen te stellen. De opbrengsttabellen, die op grond van klimaatsovereenkomsten, voor Nederland in aanmerking komen zijn die van Møller voor Denemarken (1933), Schober sterke Durchforstung voor Duitsland (1972), Hamilton & Christie voor Groot-Brittannië (1971) en Carbonnier voor Zuid-Zweden (1971). Ter beoordeling van de bruikbaarheid van deze opbrengsttabellen zijn slechts twee (nog jonge) Nederlandse permanente proefperken voorhanden (zie bijlage 4). De beoordeling van de bruikbaarheid van de buitenlandse tabellen voor de Nederlandse situatie kan derhalve kwantitatief slechts marginaal worden getoetst. Op basis van een "best professional judgement" achtte de werkgroep de tabellen van Møller en Carbonnier geschikt voor Nederland; Schober en Hamilton & Christie achtte men minder geschikt vanwege de respectievelijk zeer trage en zeer snelle jeugdgroei. De bruikbaarheid van de opbrengstmodellen is verder beoordeeld op basis van het door de auteurs gepubliceerde basismateriaal (alleen bekend bij Schober en bij Carbonnier). Dit is gebeurd door de subsystemen waaruit het opbrengstmodel bestaat te beoordelen op de mate waarin zij de Nederlandse situatie weergeven. Deze subsystemen zijn 1. hoogtegroei/boniteringssysteem; 2. produktieniveau; en 3. dunningsregime.

Tjebbes (1989) heeft de hoogtegroei van de (gepubliceerde meetseries van de) proefperken met een sterke laagdunning in Zuid-Zweden (Carbonnier, 1971), Noord-Duitsland (Schwappach, 1911/ Wiedemann, 1932/ Schober, 1972) en Zuid-Duitsland (Kennel, 1970) onderzocht. Hij komt tot de conclusie dat de er geen verschil is aan te tonen tussen de hoogteontwikkeling in Noord-Duitsland en Zuid-Zweden. De hoogtegroei in deze beiden gebieden verschilt significant van de groei in Zuid-Duitsland. Tjebbes vergelijkt vervolgens de door hem gevonden hoogtegroei in Zuid-Zweden/Noord-Duitsland met de Ie en IVe boniteit van zowel Carbonnier (1971) als van Schober (1972). Bij Carbonnier Ie boniteit is er sprake van een sterke divergentie vanaf 100 tot 120 jaar (zie figuur 2). Bij de IVe boniteit is er duidelijk verschil in hellingshoek over de hele linie (kennelijk een gevolg van de modelkeuze). Bij Schober treden grote verschillen op in de waarden tijdens de jeugdgroei, bij hoogtes lager dan 10 m zijn de verschillen extreem hoog en van 10 tot 15 m zijn er geringe doch duidelijk verschillen. De extreme verschillen liggen in het 'geëxtrapoleerde' deel van de curves, er zijn geen perken met metingen onder de 10 m, terwijl er slechts zeer weinig gegevens zijn in het traject 10 tot 15 m. De Noord-Duitse perken waarmee Schober werkt bieden derhalve geen uitgangsmateriaal om een langzame jeugdgroei te veronderstellen.

Op grond van deze bevindingen is daarom tenslotte geen keuze voor een bepaalde tabel gemaakt, maar is besloten om een nieuwe tabel te construeren op basis van gecombineerde gegevens uit Noord-Duitsland en Zuid-Zweden. Hiertoe is met het door Schober en Carbonnier

gegeven basismateriaal een nieuw hoogtegroeimodel ontwikkeld. Dit model is in principe geldig voor Noord-Duitsland en Zuid-Zweden en wordt bij gebrek aan Nederlandse veldgegevens ook hier toepasbaar geacht. De hoogtegroei is geconstrueerd met behulp van het Chapmann-Richards-model. De oorspronkelijk twee-parameter variant (homomorfe boniteitscurves) is vergeleken met een drie-parameter variant (heteromorf stelsel van boniteitscurves). Om het niet-lineaire model met "2 c.q. 3 + P"-parameters (P staat voor aantal proefperken) op te lossen is gebruik gemaakt van het groeimodel 1 van Schnute (1981) (zie formule 2). Hierbij is met beginschatters voor de P perkparameters en de 2 c.q. 3 soort-parameters gewerkt. In een iteratief proces zijn alternerend de perk- en soort-parameters vastgezet tot stabiele parameters werden gevonden. Het drie-parameter-model bleek de beste keus (zie formule 11a).

Dit hoogtegroeimodel is vervolgens als basis gebruikt voor de modellering van het produktieniveau in de vorm van grondvlakbijgroei. Hierbij is gebruik gemaakt van de proefperkegegevens uit Noord-Duitsland, aangezien de klimatologische en bodemkundige omstandigheden in deze gebieden redelijk met de Nederlandse overeenstemmen. De jeugdgroei is apart gemodelleerd.

Het opstandsvolume is ontleend aan de boommassatabel van Schoonderwoerd, De Klein & Van de Schee (1991).

De functies van het dunningsregime (zie formule 22 en 23) zijn geschat met behulp van het Duitse materiaal.

Het groeimodel is daarna getoetst met behulp van de éénmalige opnamen van Oosterbaan et al. (1988). Op grond van de uitkomsten zijn vervolgens het produktieniveau en het dunningsregime enigszins aangepast (zie de figuren 3 t/m 5). Het nieuwe en het oude (OPTAB) model zijn daarna vergeleken met de groeigegevens uit de twee Nederlandse proefperken. De voorspellingen van het nieuwe model lijken redelijk en geven een grote verbetering t.o.v. het oude model (zie tabel 6).

Inmiddels heeft er een externe toetsing van de door de werkgroep opgestelde opbrengsttabellen plaats gevonden met behulp van de informatie uit de houtoogststatistieken (Schoonderwoerd & Daamen, 1995). Hieruit blijkt voor alle boomsoorten een overschatting van de grondvlakbijgroei in de jeugd en een onderschatting op latere leeftijd. Kennelijk wordt dit veroorzaakt door de koppeling van de hoogte- en grondvlakbijgroei middels de "Relatieve Grondvlak Bijgroei". Een verbetering van de groeimodellen blijkt hier alsnog noodzakelijk. Zo'n model zal eerst voor soorten ontwikkeld dienen te worden waarvoor Nederlandse groeigegevens beschikbaar zijn. Mogelijk is bij de beuk ook het totale opbrengstniveau te laag, maar deze mogelijkheid valt pas te verifiëren als er langere tijdseries uit de houtoogststatistieken beschikbaar zijn.

## Summary

### **Yield table for Beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Netherlands; an OPTAB modification by empirical simulation based on permanent plots in North Germany and South Sweden.**

During the period 1983 till 1991 the Dutch "Working Party Yield tables" prepared a set of yield tables for the most important Dutch tree species. One of the species considered was beech (*Fagus sylvatica*). No Dutch yield table was available for this species, neither were there basic field data for preparing such a table. The choice for a table from another country, which should possibly be modified, had to be made. In 1958 a former working party selected the yield table of Møller (1933) for Denmark. Since about 1970 an increasing use of the software package OPTAB (Faber, 1990) was made for stand projection. For beech this package originally contained a reworked version of the British yield table (Hamilton & Christie, 1971). This was replaced by a reworked version of the South German yield table of Kennel (1970) at the end of the eighties.

This report describes the method used to prepare a suitable yield table for the Netherlands based on existing yield tables from other countries. Regarding climatic similarities the yield tables of Møller for Denmark (1933), Schober "starke Durchforstung" for Germany (1972), Hamilton & Christie for Great Britain (1971) and Carbonnier for South Sweden (1971) might be suitable for the Netherlands. There are only two (rather young) Dutch permanent plots (see Appendix 4) which can be used to judge the suitability of these yield tables. The evaluation of the suitability of these foreign yield table for Dutch growing conditions could therefore only be made according to a marginal quantitative testing procedure. On the basis of best professional judgement the working party's members considered the tables of Møller and of Carbonnier to be most suitable for the Netherlands. The yield tables of Schober and Hamilton & Christie were rejected because of their very slow and very fast youth growth respectively. The suitability of the yield models was further evaluated using the authors' original empirical data (only given by Schober and by Carbonnier). In this analysis three subsystems of the yield models were assessed for their suitability under Dutch conditions. These subsystems are 1. height growth/site index system; 2. production level; and 3. thinning strategies.

Tjebbes (1989) examined the height growth in the plots with a heavy thinning from below in South Sweden (Carbonnier, 1971), North Germany (Schwappach, 1911/ Wiedemann, 1932/ Schober, 1972) and South Germany (Kennel, 1970). He concluded that height growth is similar in North Germany and in South Sweden. Between these two regions and South Germany there is a significant difference in height growth. In a next step Tjebbes compared the average height growth in South Sweden and North Germany with the Ist en IVth site class of both Carbonnier (1971) and Schober (1972). With respect to Carbonnier's Ist site class there is a strong divergence from 100 to 120 year (see figure 2). For his IVth site class the angles of slope differs significantly over the whole range (clearly caused by the model choice). There are strong differences in early growth in comparison with Schober's growth curves; the differences are rather extreme for height below 10 m, the differences are smaller but still clear in between 10 and 15 m height. The extreme discrepancies were located in the 'extrapolated' part of the curves; no plots measurements below a height of 10 m have been taken; while there are only a few data in the interval from 10 to 15 m. Therefore Schober's empirical data do not warrant to postulate a low early growth.

Based on this assessment no choice for a specific yield table to be applied to Dutch forests was made. Rather it was decided to construct a new table on basis of the combined empirical data from North Germany and South Sweden. On basis of the original empirical data a new height growth model was developed, which is suitable for both North Germany and for Sweden and presumably for the Netherlands too.

For the construction of the height growth the Chapman-Richards model was used. The original two parameter variant (homomorphy site class curves) was compared with a three parameter variant (heteromorphy set of site class curves). For solving the non-linear model with "2 or 3 + P" parameters (P means the number of plots) the Growth Model 1 of Schnute (1981) (see Formula 2) was used. The model equation was solved by propounding start values for the P plot parameters and the 2 or 3 species parameters; and then by fixing the plot and the species parameter values alternately and estimating the opposite ones in an iterative process. This process was repeated until stable parameters were found. The "three parameter"'s model gave the best fit (see Formula 11a).

This height growth model was subsequently used as a base for modelling the production level in the form of basal area increment. For this purpose the plot data from North Germany were chosen, because of rather similar climatic and soil conditions between this region and the Netherlands. The youth growth of the basal area was modelled separately.

The stand volume was calculated using the tree volume tabel of Schoonderwoerd, De Klein & Van de Schee (1991).

The equations for simulating thinning (see Formulae 22 and 23) were estimated by using the German figures.

The growth model was tested by using the data of Oosterbaan et al.'s (1988) temporary plots. The results of this evaluation indicated the need to adapt the production level and the thinning equations (see the Figures 3 to 5). In a final analysis the new and old (OPTAB) model were compared with respect to reliable stand projection by using the empirical data of the two Dutch permanent plots. The predictions of the new model seems to be reasonably, and gave a great improvement on the old model (see Table 6).

Recently Schoonderwoerd & Daamen (1995) have assessed the quality of all Dutch yield tables, which included a provisional version of my beech yield table, by using the first five year's increment figures of the more than 3000 permanent plots of the "4th Dutch Forest Inventory" / "Timber Yield Statistics Project". They concluded for all species an overestimation of the basal area increment in the youth and an underestimation at later age. This probably results from the forced and fixed relation between the height and the basal area increment within the OPTAB model (this results from the way in which Eichhorn's law was build into the model). The OPTAB growth model has to be further improved on this point. Such a model improvement should preferably be based on empirical growth figures from the Netherlands. An other possible conclusion from Schoonderwoerd and Daamen's research regards the total yield level for beech in reality; it could be somewhat higher than indicated by the presently constructed yield tables. But a finite conclusion on this aspect can only be reached after increment figures are available from a longer period than is at present the case.

## 1. Inleiding

In Nederland is ruim 7000 ha opgaand beukenbos aanwezig (CBS, 1985). Met een aandeel van 3 % komt de beuk hiermee op de achtste plaats na groveden, eik, Japanse lariks, douglas, populier, fijnspar en Corsicaanse den. Volgens Jansen (1987) is het areaal tussen 1950 en 1980 gestegen met ca 1000 ha. Bij ongewijzigd beleid zal die voorkeur voor beuk op de lange duur tot een aandeel van 4 à 5 % leiden. Het beleidsvoornemen van de rijksoverheid is gericht op een verhoging tot 5 % (Min. v. Landbouw en Visserij, 1986). Op de Veluwe haalt de soort momenteel al deze 5 %, de beuk komt daar op de vijfde plaats. Ruim 40 % van alle beukenopstanden ligt op die Veluwe.

Zoals reeds in het voorwoord vermeld heeft de "Werkgroep Opbrengsttabellen" in de periode 1983 tot 1991 gewerkt aan een set opbrengsttabellen. De Commissie Bosbedrijfsregeling heeft in 1958 bij een vergelijkbare exercitie voor de beuk een bewerkte versie van de Deense tabel van Møller (1933) gekozen. De werkgroep wilde weer een opbrengsttabel voor de beuk opnemen, liefst met een hoge validiteit voor de Veluwe. Er zijn in Nederland geen onderzoeksresultaten beschikbaar waarmee zo'n tabel te maken is. Een keuze voor een buitenlandse tabel, met eventueel enige modificaties, moest daarom worden gemaakt. Een nevenis ten aanzien van de te kiezen tabel was, dat de tabel gesimuleerd moest kunnen worden met een aan OPTAB (software, zie Faber, 1990) verwand groeimodel. In oude versies van OPTAB was een simulatie van de Britse tabel van Hamilton & Christie (1971) aanwezig, in latere versies is deze vervangen door de Zuid-Duitse tabel van Kennel (1970).

In dit rapport wordt beschreven op basis van welke theoretisch uitgangspunten en praktische overwegingen de nieuwe opbrengsttabel voor de beuk is opgesteld. In de eerste plaats worden in hoofdstuk 2 enige buitenlandse opbrengsttabellen op hun bruikbaarheid onderzocht. Uit deze vergelijking wordt de conclusie getrokken dat het niet wenselijk is om één bestaande tabel te gebruiken om de groei- en opbrengst in Nederland te voorspellen. Het lijkt beter om elementen uit verschillende tabellen (en basisgegevens van die tabellen) te combineren tot een nieuwe tabel gebaseerd op een gemodificeerd OPTAB-model. De hierbij gevolgde procedure wordt beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt de gevonden tabel getoetst en geïmplementeerd voor Nederland. In de bijlagen 1 en 2 is de uiteindelijke tabel weergegeven, respectievelijk ingedeeld in groeiklassen en boniteiten.

## 2. Bruikbaarheid bestaande tabellen

Voor Nederland komen op grond van klimaatsovereenkomsten opbrengsttabellen voor de beuk in aanmerking uit Engeland, België, Luxemburg, Noord-Frankrijk, Duitsland, Denemarken, Zuid-Noorwegen en Zuid-Zweden. Niet voor al die gebieden zijn opbrengsttabellen aanwezig. De beschikbare tabellen zijn de opbrengsttabellen van Møller voor Denemarken (1933), Schober sterke Durchforstung voor Duitsland (1972), Hamilton & Christie voor Groot-Brittanje (1971) en Carbonnier voor Zuid-Zweden (1971).

Ter beoordeling van de bruikbaarheid van deze opbrengsttabellen zijn nauwelijks groei- en produktiegegevens uit Nederlandse permanente proefperken voorhanden (zie bijlage 4). Kwantitatief kan er derhalve slechts marginaal worden getoetst.

De beoordeling van die buitenlandse tabellen voor de Nederlandse situatie kan derhalve slechts subjectief plaatsvinden door onderlinge vergelijkingen van de tabellen en speculaties in hoeverre deze met Nederlandse groei overeenkomen. De kwaliteit van die tabellen of opbrengstmodellen kan wel worden beoordeeld op basis van het door de auteurs gepubliceerde basismateriaal.

De bruikbaarheid van opbrengsttabellen kan beoordeeld worden door de subsystemen waaruit het opbrengstmodel bestaat te beoordelen op de mate waarin zij de Nederlandse situatie weergeven.

Deze subsystemen zijn:

1. Het boniteringssysteem;
2. Het produktieniveau;
3. Het dunningsregime.

### 2.1 Boniteringssysteem

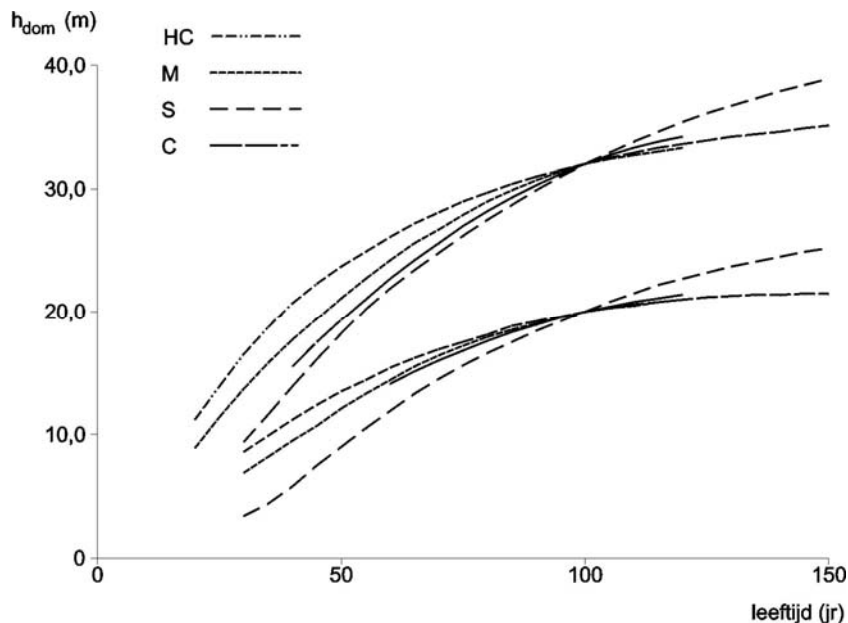
Een boniteringssysteem kent als ingang een maat voor de opstandshoogte en een maat voor de opstandleeftijd en als uitgang een maat voor de boniteit. De boniteit wordt al naar gelang de gangbare praktijk in het land van herkomst op het tijdstip van publikatie weergegeven in een relatieve of absolute maatstaf (b.v. S-waarde of maximale gemiddelde volume bijgroei). Als opstandshoogte komen voor de opperhoogte ( $h_{top}$ ), de dominante hoogte ( $h_{dom}$ ), de Lorey-hoogte ( $h_L$ ) en de hoogte van de gemiddelde-grondvlak-boom ( $h_g$ ). Voor cijfermatige vergelijking is gebruik gemaakt van de  $h_{dom}/h_{top}$  aangezien deze in alle tabellen beschikbaar was, of in bewerkingen is toegevoegd. Voor de tabel van Møller (1933) is deze toevoeging afkomstig van de Commissie Bosbedrijfsregeling (1958) en voor Schober (1972) is deze te vinden in Schober (1975). Hoewel er in principe enig (enkele cm) verschil is tussen de opperhoogte en de dominante hoogte is dit verder genegeerd en gedaan is of dit in alle gevallen de dominante hoogte ( $h_{dom}$ ) betreft. Ook de leeftijd is geen eenduidige variabele. Zo wordt bij voorbeeld bij Hamilton & Christie gerekend vanaf het jaar van aanleg en bij Carbonnier vanaf het kiemjaar. Dit verschil in leeftijdsdefiniëring is genegeerd, aangezien willekeurig welke aanpassing arbitrair is. In tabel 1 is een vergelijkend overzicht gegeven van de  $h_{100}$  (dominante hoogte op 100 jarige leeftijd) voor de relatieve boniteiten van de tabellen. Deze absolute boniteiten ( $h_{100}$ ) van de tabellen komen onderling zeer sterk overeen. De weg die gevolgd wordt naar die gelijke ' $h_{100}$ ', en ook de hoogtegroeï daarna verschillen dermate van

**Tabel 1. Dominante hoogte (m) bij 100 jaar van de vergeleken tabellen**

Boniteit	H&C	Møll	Carb	Scho
I	33.0	32.3	32.0	32.1
II	29.1	28.4	28.0	28.1
III	24.4	24.5	24.0	24.0
IV	20.4	20.7	20.0	19.9



elkaar, dat we ogenschijnlijk met verschillende soorten te doen hebben. Een opstand van 30 jaar, met een dominante hoogte van 9 meter wordt met de tabel van Schober tot de I<sup>e</sup> boniteit gerekend en met die van Hamilton & Christie tot de IV<sup>e</sup>, hetgeen op een verschil van 4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> j<sup>-1</sup> aan gemiddelde bijgroei zou neer komen.



Figuur 1. Hoogteontwikkeling voor Ie en IVe boniteit bij Hamilton & Christie, Møller, Carbonnier en Schober.

Het hoogtegroeimodel bij Hamilton & Christie komt neer op een zeer snelle start en een grote terugval daarna (figuur 1). Bij Schober is sprake van een zeer langzame start en daarna een bijna lineaire groei in het gepresenteerde leeftijdsinterval. Møller en Carbonnier nemen hier een duidelijke tussenpositie in. In Nederland vertoont de beuk naar het oordeel van de leden van de werkgroep een hoogtegroeipatroon waarvan het patroon overeenkomt met dat van de tabellen van Møller (gekozen

door de Commissie Bosbedrijfsregeling in 1958) en Carbonnier. Vanaf 60 à 80 jaar is ook de tabel van Schober aanvaardbaar. De zeer snelle jeugdgroei van de beuk in Flevoland en de Wieringermeer zou er op kunnen duiden dat aldaar de Britse van tabel van Hamilton & Christie toepasbaar zou kunnen zijn, de commissie is hier echter van mening dat dit gaat om zeer goede boniteiten die in de gepresenteerde tabellen niet voorkomt. In Noord-Franrijk heeft men kennelijk voor hetzelfde probleem gestaan, men adviseert daar voor het westelijk deel de Britse tabel te gebruiken en voor het oostelijk deel de tabel van Schober.

Tjebbes (1989) heeft in het kader van dit onderzoek de hoogtegroeitabel van de (gepubliceerde meetseries van de) proefperken met een sterke laagdunding in Zuid-Zweden (Carbonnier, 1971), Noord-Duitsland (Schwappach, 1911/ Wiedemann, 1932/ Schober, 1972) en Zuid-Duitsland (Kennel, 1970) onderzocht; het materiaal van Møller bleek niet beschikbaar te zijn, en de Britse tabel bleek gebaseerd op tijdelijke proefperken. Aangezien niet van alle proefperken de dominante hoogte bekend is, heeft hij gewerkt met de Lorey-hoogte. Tjebbes gebruikt het groeimodel 1 van Schnute (1981). Hij komt tot de conclusie dat de er geen verschil is aan te tonen tussen de hoogteontwikkeling in Noord-Duitsland en Zweden. De hoogtegroeitabel in deze beiden gebieden verschilt significant van de groei in Zuid-Duitsland. Tjebbes vergelijkt vervolgens de hoogtegroeitabel in Zweden/Noord-Duitsland volgens zijn model met de Ie en IVe boniteit van zowel Carbonnier (1971) als van Schober (1972). Bij Carbonnier Ie boniteit is er sprake van een sterke divergentie vanaf 100 tot 120 jaar (zie figuur 2). Bij de IVe boniteit is er duidelijk verschil in hellingshoek over de hele lijn (kennelijk een gevolg van de modelkeuze). Bij Schober zitten de verschillen zeer sterk in de jeugdgroei, bij hoogtes lager dan 10 m zijn de verschillen extreem hoog en van 10 tot 15 m zijn er geringe doch duidelijk verschillen. De

extreme verschillen liggen in het 'geëxtrapolerde' deel van de curves, er zijn geen perken met metingen onder de 10 m, terwijl er slechts zeer weinig gegevens zijn in het traject 10 tot 15 m. De Noord-Duitse perken bevatten dus geen gegevens om Schober's langzame jeugdgroei op te verklaren.

Op grond van deze bevindingen zal daarom geen keuze voor een bepaalde tabel gemaakt worden, maar met het beschreven materiaal zal een hoogteontwikkelingsmodel worden gefit, met de dominante hoogte als afhankelijke variabele. Dit model is dan in principe geldig voor Noord-Duitsland en Zweden en wordt bij gebrek aan Nederlands materiaal ook hier toegepast.

## 2.1 Produktieniveau

In de opbrengsttabellen verschillen de definities voor het opstandsvolume. Daarom is met de grondvlakbijgroei gewerkt. In tabel 2 is de grondvlakbijgroei en de hoogtebijgroei vermeld per boniteit van de opbrengsttabellen over het grootste gemeenschappelijke tijdvak. De produktieniveaus van de tabellen van Møller en Carbonnier zijn nagenoeg gelijk, die van Hamilton & Christie verschillen per boniteit ten opzichte van de Scandinavische tabellen en de tabel van Schober geeft over de hele linie een lager niveau.

**Tabel 2. Grondvlakbijgroei ( $m^2 ha^{-1} j^{-1}$ ) in de gebruikte opbrengsttabellen**

<i>Bon.</i>	$t_2$ (j)	$t_1$ (j)	$dG = G_{Tot}(t_2) - G_{Tot}(t_1)$				$dh = h_{dom}(t_2) - h_{dom}(t_1)$			
			H&C	Møll	Carb	Scho	H&C	Møll	Carb	Scho
I	120	40	60,2	58,0	57,2	54	13,4	15,7	18,7	21,6
II	120	45	51,7	50,6	50,1	47	10,9	12,9	14,6	17,9
III	120	50	43,3	44,4	44,2	39	8,6	10,4	11,2	14,8
IV	120	60	31,8	34,7	33,5	29,9	5,5	6,8	7,3	10,8

De relatieve grondvlakbijgroei (*RGB*) blijkt (tabel 3) bij alle auteurs per boniteit te verschillen. Deze *RGB* loopt namelijk op van een goede (I) naar een slechte (IV) boniteit. Gezien deze verschillen zal met het basis-materiaal van Noord-Duitsland en Zweden nagegaan worden of er verschil is in produktieniveau tussen beide gebieden en tussen boniteiten. Zo er verschil is, dan zal het produktieniveau van Noord-Duitsland worden aangehouden, aangezien de klimatologische en bodemkundige omstandigheden er beter met de Nederlandse overeenstemmen.

**Tabel 3. Relatieve grondvlakbijgroei ( $m^2 ha^{-1} jr^{-1} m^{-1}$ ) in de opbrengsttabellen**

<i>Bon.</i>	$t_2$	$t_1$	<i>RGB = dG / dh</i>			
			H&C	Møll	Carb	Scho
I	120	40	4,49	3,69	3,06	2,53
II	120	45	4,74	3,92	3,43	2,63
III	120	50	5,03	4,27	3,95	2,68
IV	120	60	5,78	5,10	4,59	2,77

## 2.3 Dunningsregime

De dunningsregimes van de opbrengsttabellen van zowel die van Schober als die van Carbonnier voldoen kwantitatief aan wat de werkgroep als een normale Nederlandse dunning voor de beuk ziet. Kwalitatief betreft dit in beide gevallen een laagdunning. Een hoogdunning is met het beschikbare materiaal niet te kwantificeren.

### 3 Ontwikkeld opbrengstmodel

#### 3.1 Hoogte-ontwikkeling

Na vaststelling dat er geen significant verschil is tussen de hoogtegroeï (Lorey-hoogte) in Zuid-Zweden en Noord-Duitsland (Tjebbes, 1989), is de groei van de dominante hoogte onderzocht. Met het totale proefperkmateriaal uit Zuid-Zweden, Noord-Duitsland en Zuid-Duitsland is de relatie tussen de dominante hoogte ( $h_{dom}$ ) en de Lorey-hoogte ( $h_g$ ) vastgesteld. Gevonden is:

$$h_{dom} = 1,763 \cdot h_g^{0,8462} \quad (1)$$

Bij de berekening van deze relatie zijn de Zuid-Duitse perken meegenomen, aangezien verondersteld is dat groeiplaatsfactoren nauwelijks van invloed zijn op deze relatie. Deze relatie wordt praktisch alleen bepaald door het effect van het dunningsregime. Met de gevonden functie (1) zijn de regressiewaarden van de opperhoogte berekend, en alle ontbrekende dominante hoogtes zijn hiermee gesubstitueerd. Vervolgens is de hoogtegroeï beschreven met groeimodel 1 van Schnute (1981). Dit model luidt:

$$Y(t) = \left[ y_1^\beta + (y_2^\beta - y_1^\beta) \cdot \frac{1 - e^{-\alpha \cdot (t - \tau_1)}}{1 - e^{-\alpha \cdot (\tau_2 - \tau_1)}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

Tjebbes (1989) vindt dat de  $\alpha$  - constante boniteitsspecifiek is en de  $\beta$  - constante landsspecifiek, waarbij Zuid-Zweden en Noord-Duitsland dezelfde  $\beta$  hebben. In het model is  $Y(t)$  de grootte van een toestandskenmerk (bij ons dus de dominante hoogte) op tijdstip  $t$ , terwijl  $y_1$  en  $y_2$  de waarden van dit kenmerk op de tijdstippen  $\tau_1$  respectievelijk  $\tau_2$  weergeven. Het boniteits specifieke aspect van de  $\alpha$  - parameter, is in navolging van Burkhart and Tennent (1977) als volgt gekwantificeerd:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot S + \alpha_1 \quad (3)$$

$$\text{met } S = \lim_{t \rightarrow \infty} \{ Y(t) \}$$

In formule 3 is het begrip  $S$  (van site-index) opgevoerd, gegeven de definitie is dit derhalve de z.g. absolute hoogteboniteit van een perk. De functie 2 is nu nader gespecificeerd door de startwaarde  $y_1 = 0$  by  $\tau_1 = 0$  te kiezen. Door voor  $y_2$  de dominante hoogte bij b.v. 50 of 100 jaar of de  $S$ -waarde te kiezen, moet er vaak zeer sterk geëxtrapoleerd worden, fouten hierbij zijn van grote invloed op de schattingen van  $\alpha$  en  $\beta$ . Er is daarom gekozen voor een per proefperk verschillend tijdstip ca halverwege de meetserie, de referentieleeftijd ( $\tau_2 = t_{ref}$ ), met bijbehorende dominante hoogte  $h_{ref}$ . De referentieleeftijd is als volgt gedefinieerd:

$$t_{ref_i} = \text{leeftijd van de } k^e \text{ opname van het } i^e \text{ plot } (= t_{ik})$$

$$\text{met } k = \text{Entier } (= \text{afgekapte waarde van } \left[ \frac{1 + \text{aantal opnamen } i^e \text{ plot}}{2} \right]) \quad (4)$$

Het model luidt nu:

$$h_{dom_{ij}} = h_{ref_i} \cdot \left\{ \frac{1 - e^{-\alpha_{s_i} \cdot t_{ij}}}{1 - e^{-\alpha_{s_i} \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}} + \sigma \cdot e \quad (5)$$

De drie modelparameters  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  en  $\beta$  zijn als volgt stapsgewijs geschat:

Stap 1.

Bereken voor ieder  $i^e$  proefperk  $t_{ref}$  en lees  $h_{ref}$  af.

Versimpel het model, door voor één parameter  $\alpha$  te kiezen, tot:

$$\underline{h}_{dom_{ij}} = h_{ref_i} \cdot \left\{ \frac{1 - e^{-\alpha \cdot t_{ij}}}{1 - e^{-\alpha \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}} + \sigma \cdot \underline{e} \quad (6)$$

Stap 2.

Schat  $\alpha$  en  $\beta$  met niet-lineaire regressie iteratief volgens de Gauss-Newton-procedure, nadat goede beginschatters voor  $\alpha$  en  $\beta$  ingevoerd zijn.

Stap 3.

Bereken de  $h_{ref}$  op grond van iedere  $j^e$  opname van het  $i^e$  perk, met de inverse van functie 6 als volgt:

$$\hat{h}_{ref_i} = \underline{h}_{dom_{ij}} \cdot \left\{ \frac{1 - e^{-a \cdot t_{ij}}}{1 - e^{-a \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{-1}{b}} + \sigma \cdot \underline{e} \quad (7)$$

In functie 6 staat  $a$  voor de schatting van  $\alpha$  uit stap 2 en  $b$  evenzo voor  $\beta$ .

Stap 4.

Middel de geschatte refentiehoogte over de opnamen per  $i^e$  proefperk, dit is de nieuwe  $h_{ref_i}$ .

Stap 5.

Bereken de  $S$ -waarde per perk door in functie 6  $t_{ij}$   $\odot$  4 te substitueren, dus:

$$\hat{S}_i = h_{ref_i} \cdot \left\{ \frac{1}{1 - e^{-a \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (6)$$

Stap 6.

Ga nu verder uit van functie 5, met  $\alpha_{S_i} = \alpha_0 \cdot S_i + \alpha_1$

Stap 7.

Schat  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  en  $\beta$  met niet-lineaire regressie iteratief volgens de Gauss-Newton-procedure, met beginschatters voor  $\alpha_0$  ( $=a$ ),  $\alpha_1$  ( $=0$ ) en  $\beta$  ( $=b$ ).

Stap 8.

Bereken de  $h_{ref}$  op grond van iedere  $j^e$  opname van een perk, met de reciproke van functie 5 als volgt:

$$\hat{h}_{ref_{ij}} = \underline{h}_{dom_{ij}} \cdot \left\{ \frac{1 - e^{-\alpha_S \cdot t_{ij}}}{1 - e^{-\alpha_S \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (7)$$

Stap 9.

Middel de geschatte refentiehoogte over de opnamen per proefperk, dit is de nieuwe  $h_{ref_i}$ .

Stap 10.

Bereken de  $S$ -waarde per perk als volgt:

$$\hat{S}_i = h_{ref_i} \cdot \left\{ \frac{1}{1 - e^{-\alpha_S \cdot t_{ref_i}}} \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (8)$$

Stap 11.

Herhaal stap 7 met de eindschatters van de parameters uit stap 7 als nieuwe beginschatters voor de parameters. Herhaal vervolgens stap 8 tot en met stap 10.

### Stap 12.

Herhaal stap 11 tot de geschatte parameters stabiel zijn.

De parameters van functie 5 zijn hiermee geschat. Een eenvoudiger hiervan afgeleide procedure leidt tot schattingen voor de parameters van een 2-parameter-model, met  $\alpha$  in plaats van  $\alpha_s$ . De regressie analyse levert nu een drie-parameter (formule 11a), en een twee-parameter (formule 11b) model op. Bij de presentatie van het model (functie 11) is gekozen voor de standaardwaarde  $h_{ref} = S$  (bij  $t_{ref} \leq 4$ ). Dit is het z.g. Chapman-Richards-model.

Gevonden is:

$$h_{dom} = S \cdot \{1 - e^{-\alpha_s \cdot t}\}^b \quad (\text{m})$$

met  $\alpha_s = -0,001140 + 0,0003761 \cdot S$

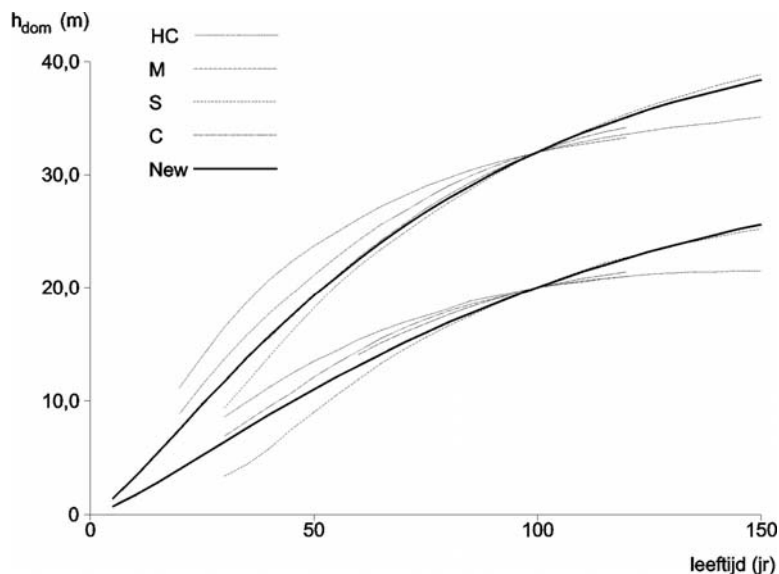
$$b = 1,333$$
$$\sigma = 0,622 \text{ m}$$
(9a)

$$h_{dom} = S \cdot \{1 - e^{-a \cdot t}\}^b \quad (\text{m})$$

met  $a = 0,01354$

$$b = 1,260$$
$$\sigma = 0,643 \text{ m}$$
(11b)

In figuur 2 is de groeilijn behorend bij de functie 11a weergegeven, voor de Ie en IVe boniteit met de hoogteontwikkelingslijnen van Hamilton & Christie, Møller, Carbonnier en Schober als achtergrond.



Figuur 2 Hoogteontwikkeling van het nieuwe model voor de Ie en IVe boniteit in vergelijking met die van Hamilton & Christie, Møller, Carbonnier en Schober.

De bij vergelijking 11 bepaalde standaardafwijking is moeilijk te interpreteren in termen van groeivoorspelling. Om deze te kwantificeren is het volgende model ontwikkeld:

$$h_2 = S_1 \cdot \{1 - e^{-\alpha_s \cdot t_2}\}^b + \sqrt{dt} \cdot \sigma_{3p} \cdot \underline{e} \quad (12a)$$

$$h_2 = S_1 \cdot \{1 - e^{-a \cdot t_2}\}^b + \sqrt{dt} \cdot \sigma_{2p} \cdot \underline{e} \quad (12b)$$

met  $dt = t_2 - t_1$

In dit model moet de  $S_1$  ( $S$ -waarde op tijdstip  $t_1$ ) iteratief worden bepaald (zie bijlage 3). Gevonden is  $\sigma_{2p} = 0,250$  en  $\sigma_{3p} = 0,233$ . De effecten hiervan bij verschillende lengte van een voorspellingsinterval zijn weergegeven in tabel 4.

**Tabel 4. Standaardafwijking (m) bij hoogtegroeivoorspelling**

model	voorspellingsinterval in jaren				
	5	10	20	40	60
3 - parameters	0,52	0,74	1,04	1,47	1,81
2 - parameters	0,56	0,79	1,12	1,58	1,94

Duidelijk is dat het '3-parameter-model' voor lange termijn voorspellingen iets beter is dan het '2-parameter-model'. Deze verbetering bedraagt bij een voorspelling over 60 jaar bij een  $2\sigma$  betrouwbaarheidsinterval slecht 25 cm. Een dergelijk geringe kwaliteitsverbetering is op zich geen argument om het veel ingewikkelder drie-parameter model te gebruiken voor een opbrengstmodel. Er zijn echter belangrijke verbeteringen t.g.v. het drie-parameter model t.o.v. het twee-parameter model bij de grondvlakbijgroeibepaling (zie hierna), hetgeen uiteindelijk de keuze voor het drie-parameter model heeft bepaald.

Voor de bepaling van  $h_g$  met de inverse van functie 1 gewerkt. Deze luidt:

$$h_g(BO) = 0,512 \cdot h_{dom}^{1,182} \quad (m)$$

met  $h_g(BO)$  is de hoogte van de gemiddelde grondvlakstam in de  
blijvende opstand (13)

### 3.2 Produktieniveau

Voor de beschrijving van de relaties in het model is gebruik gemaakt van de RGB (relatieve grondvlak bijgroei), zoals deze in het OPTAB-model van de 'Dorschkamp' voorkomt (Faber, 1990). Daarnaast is gewerkt met een soort van '10 jaar verschoven RGB' (=  $RGB_v$ ). Voor de definitie zie functie 14. Voor deze verschuiving van 10 jaar in de groeilijnen van  $h$  en  $G$  is gekozen omdat deze in meer of mindere mate in alle onderzochte tabellen voorkomt en omdat de lopende bijgroei van het grondvlak later culmineert dan de lopende bijgroei van de dominante hoogte (zie bijvoorbeeld Van Miegroet, 1978).

$$RGB = \frac{dG}{dh}$$

$$RGB_v = \frac{dG}{dhv}$$
(14)

met  $dG = G(t_2) - G(t_1)$   
 $dh = h(t_2) - h(t_1)$   
 $dhv = h(t_2 - 10) - h(t_1 - 10)$

Bij de berekening van de  $RGB$  is naast het bekende ratio-schattings model (15a), tevens gewerkt met een variant hierop waarbij de heteroscedasticiteit gerelateerd wordt aan  $\frac{G}{h}$  in plaats van  $\frac{G}{h}$  (15b).

$$dG = RGB_2 \cdot dh + \sigma_2 \cdot \sqrt{dh} \cdot \epsilon \quad (15b)$$

$$RGB_1 = \frac{\sum dg}{\sum dh} \quad (15c)$$

$$RGB_2 = \frac{\sum dg \cdot \frac{dh}{dt}}{\sum dh \cdot \frac{dh}{dt}} \quad (15d)$$

De met model 15b ontwikkelde schatter (15d) voor de  $RGB$  is onzuiver en levert na adjusteren dezelfde waarde op als de ratio-schatter ( $RGB_1$ ).

In eerste instantie is met de primaire proefperkgegevens gewerkt. Er is gevonden dat de  $RGB_v$  een kleinere variantie heeft dan de  $RGB$  en derhalve een bruikbare verbetering inhoudt van het OPTAB-model. De gevonden  $RGB$  geeft echter een onzuivere schatting van de voorspelde  $dG$  in combinatie met de voorspelde hoogtegroeï. Vandaar dat gewerkt is met de volgende schatter:

$$RGB = \frac{\text{werkelijke } dG}{\text{voorspelde } dh} = \frac{\sum dG}{\sum dh_d} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{met } dh_d &= h_{dom_d}(2) - h_{dom}(1) \\ h_{dom_d}(2) &= \text{functie}_{11}(S_1, t_2) \\ S_1 &= \text{Inverse functie}_{11}(h_{dom_1}, t_1) \end{aligned}$$

Met de op deze wijze berekende  $RGB$  is zowel voor de  $RGB$  als voor de  $RGB_v$  een aantal zaken onderzocht. Hierbij is meestal gevonden dat de  $RGB$  een even grote of geringere variantie heeft dan de  $RGB_v$ , ook een residuen-analyse geeft geen reden om voor de  $RGB_v$  te kiezen. Het idee van de verschuiving met tien jaar in de  $RGB$ -bepaling is daarom verlaten. De 'OPTAB'- $RGB$ , hoewel mogelijk theoretisch aanvechtbaar is daarna om pragmatische redenen gekozen (geen model aanpassing nodig en voorspelt met dezelfde kwaliteit).

Op grond van bestudeerde opbrengsttabellen (zie tabel 3) mag worden verondersteld dat het produktieniveau per boniteit verschilt en wel ongeveer volgens het volgende model (of een andere monotoon dalende functie):

$$RGB = \alpha \cdot S^{-\beta} \quad (17)$$

Met het Duitse proefperk materiaal is zo'n verband significant vast te stellen. Bij nadere analyse bleek echter dat alleen die opstanden met een boniteit beter dan  $S = 43,0$  m, significant een ander opbrengstniveau hebben dan de lagere boniteiten. Verder is nog onderzocht of deze verschillen niet verklaard konden worden door ander factoren. Hierbij is onderzocht of er deelgebieden zijn met verschil in produktieniveau en of er effect is van de leeftijden van de proefperken. Het enige wat hierbij werd vastgesteld is dat het produktieniveau in Zweden hoger is dan in Noord-Duitsland. Geen verschil werd gevonden tussen de proefperken in 1. Sleeswijk-Holstein, 2. Noord-Duitse laagvlakte (binnen de BRD), 3. Noord-Duitse laagvlakte (binnen de DDR) en 4. Midden-Duitse heuvelland en laaggebergte. Ook de leeftijd had geen invloed op de  $RGB$ .

Tabel 5 geeft een samenvatting van de belangrijkste resultaten met gebruikmaking van

vergelijking 15b.

**Tabel 5. Standaardafwijking van de voorspelde grondvlakbijgroei ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$ )**

Land/streek:	n	twee-parameter-model produktieniveaus:		drie-parameter-model produktieniveaus:	
		een	twee	een	twee
N-Duitsland	96	0,714	0,498	0,572	0,453
Z-Zweden	30	0,768	0,706	0,652	0,668
beide	126	0,766	0,620	0,622	0,554
idem 'pooled'	124 <sup>1</sup>	0,671		0,545	

<sup>1)</sup> na verwijdering van twee uitbijters bij het Zweedse materiaal

Behalve de lagere  $\sigma$  bij het drie-parameter model t.o.v. het twee-parameter model, bleek er bij het twee-parameter model een correlatie tussen de residuen en de *S-waarde* te bestaan.

Voor het opbrengst model zullen we derhalve gebruik maken van het hoogtegroeimodel met drie parameters. Aangezien het lagere produktieniveau voor de beste boniteiten in Zweden niet significant en er geen theoretische beschouwing te geven is voor zo'n discrete *RGB*-functie, is het 'twee-produktie-niveau-verschijnsel' tot het toeval verklaard. Gevonden is:

$$\begin{aligned}
 RGB &= 2,930 && \text{voor Noord- Duitsland} \\
 RGB &= 3,312 && \text{voor Zuid- Zweden} \\
 \sigma_{dG} &= 0,545 \cdot \sqrt{dt} && \text{(gepoolde variantie)}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

De gemiddelde *S-waarde* bij de Noordduitse proefperken bedraagt 41,6 m. Een opstand van 40 jaar oud met een dominante hoogte van 13,94 m heeft deze gemiddelde *S-waarde*. Een groeivoorspelling voor het tijdvak 40 tot 120 jaar levert een  $h_{dom}$  op van 32,17 m bij 120 j, dus een  $dh$  van 18,23 m en een  $dG$  van  $2.930 \cdot 18,23 = 53,4 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ . De standaardafwijking bedraagt  $4.87 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ . Voor de twee-zijdig maximale fout volgt  $9,6 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$  of 18 % (bij een 95 % betrouwbaarheidsinterval).

Voor het gebruik van de *RGB* in een model kan het verder van belang zijn of er een minimale  $dG$  bestaat. De combinatie van de hoogte-groei en de *RGB* kan namelijk in sommige gevallen tot zeer lage (onwaarschijnlijke) waarde van de grondvlakbijgroei leiden. In de proefperken blijkt deze minimale waarde van de lopende grondvlakbijgroei ca.  $0,25 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$  te zijn. Bij een simulatie van de grondvlakbijgroei in een opbrengsttabel met behulp van de berekende  $dh$  kan zo'n minimale waarde vastgelegd worden, door een maximum-functie. Zo'n 'max'-functie krijgt bij de boniteiten binnen het waarnemingsmateriaal pas effect bij leeftijden vanaf 150 jaar. Aangezien er bij het Noord-Duitse materiaal slechts vier perken (alle lage of matige boniteiten) zijn met leeftijden die beduidend boven de 150 jaar uitkomen, kunnen we derhalve niet besluiten dat zo'n functie hier van toepassing is. Rekening houdend met leeftijdsgrenzen uit het waarnemingsmateriaal is een groeivoorspelling tot 150 jaar te maken voor produktieklassen tot  $9 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$  en voor betere boniteiten tot 130 jaar. Daarnaast moet er mee rekening gehouden worden dat van de jeugdgroei geen gegevens bekend zijn, hooguit kan een gemiddeld begin niveau bij een  $h_{dom}$  van ca 12,0 m worden afgeleid uit de proefperken.

Het grondvlakbijgroeimodel luidt nu:



$$dG = 2,930 \cdot dh \quad (\text{m}^2\text{ha}^{-1}), \text{ voor } \begin{cases} h_{dom}(t) > 12,0 \text{ m} \\ t \leq 130/150 \text{ jr} \end{cases} \quad (19)$$

$$\text{met } dG = G_{Tot}(t+5) - G_{Tot}(t)$$

$$dh = h_{dom}(t+5) - h_{dom}(t)$$

### 3.3 Dunningsregime

Over dunningen in beuken in Nederland is geen specifieke literatuur voorhanden. Eénduidige aanwijzingen zijn er in de Duitse literatuur niet te vinden. Bij Schober (1972) is de reden daarvan het duidelijkst, bij het vergelijken van de verschillende dunningseries worden nogal vaak volledig tegengestelde effecten gevonden.

Bij een sterke laagdunning horen grondvlakcijfers (afhankelijk van de boniteit) van 20 - 26 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, bij deze waarden zou de produktie nauwelijks verschillen van de maximale produktie. Schober bereikt dit door het grondvlak van de Blijvende Opstand snel te laten toenemen tot 21 à 23 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> bij ca 65 jaar, waarna er tot 150 jaar nog een zeer langzame toename is met ca 2 à 3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Schwappach (1911) drijft de bomen in de jeugdfase sneller op (iets minder sterke dunning) tot een grondvlak van 22 tot 25 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> bij ca 45 jaar, daarna neemt het grondvlak nog gelijdelijk iets toe om vervolgens constant te worden gehouden of zelfs nog iets af te nemen met ca 1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Vanaf ca 100 à 120 jaar is er nauwelijks verschil in de grondvlakhuishouding bij Schwappach en bij Schober. Geen van beide auteurs geeft argumenten voor hun dunningssysteem op grond waarvan door mij een keuze is te maken. De grondvlakhuishouding van Schober is goed te simuleren met het stelsel OPTAB - vergelijkingen (Faber, 1990), dit zijn:

$$a_n = c_{10} + c_9 \cdot d_n \quad (20)$$

$$\frac{d_n}{d_v} = c_{11} \cdot \frac{a_n}{a_v} + 1 - c_{11} \quad (21)$$

met  $a_n$  = gemiddelde afstand na dunning ( driehoeksverband )

$a_v$  = gemiddelde afstand voor dunning ( driehoeksverband )

$d_n$  = diameter na dunning

$d_v$  = diameter voor dunning

De parameters zijn als volgt gevonden:

- definieer de grondvlakken blijvende opstand op de tijdstippen  $t=60, 100$  en  $150$  j ( $130$  j bij de Ie boniteit) voor de verschillende boniteiten (relatief volgens Schober) overeenkomstig de orde van grootte van de grondvlakhuishouding van Schwappach en van Schober en volgens de regressie van Schober.
- zoek perken met een *RGB* gelijk aan de gemiddelde *RGB* uit dit model en een grondvlak na dunning ongeveer gelijk aan de hiervoor bepaalde waarden op de gewenste tijdstippen.
- lees de  $t, d_v, d_n, a_v$  en  $a_n$  van deze perken af.
- fit met deze gegevens de functies 20 en 21.
- voer deze te zamen met eerdere modificaties in in het OPTAB-model en bekijk het resultaat.
- Aangezien de exacte perkomstandigheden nooit gelijk zijn aan de gewenste is nog een 'trial and error' procedure nodig om de parameters van functie 21 zodanig in overeenstemming te krijgen, dat het groeimodel zo dicht mogelijk de gewenste situatie op de gidsleeftijden aangeeft

- zoek nu na startwaarden bij  $h_{dom} \leq 12,0$  m, voor stamtal, en grondvlak waarmee de situatie bij  $t=60$  etc. synchroon het voorgaande lopen.
- eventueel kan nog een jeugdgroei-procedure gemaakt worden die bij gebruik van dezelfde hoogtegroeifunctie (11a) de startwaarden genereert.

Deze procedure levert zowel voor Zuid-Zweden als voor Noord-Duitsland per boniteit een andere combinatie van  $c_9$ ,  $c_{10}$  en  $c_{11}$  op. Een gemiddelde benadering voor Noord-Duitsland is gegeven in (22) en (23):

$$a_n = 43,0 + 18,70 \cdot d_n \quad (22)$$

$$\frac{d_n}{d_v} = 0,24 \cdot \frac{a_n}{a_v} + 0,76 \quad (23)$$

Met behulp van deze rekenregels wordt de dunning om de 5 jaar bepaald, uitgaande van de startwaarden voor de dominante hoogte, het grondvlak per ha en het stamtal per ha op een leeftijd waarvoor geldt dat  $h_{dom} \leq 12,0$  m.

### 3.4 Jeugdgroei

Een jeugdgroei-procedure om deze startwaarden te bereiken is opgesteld. Het belangrijkste kenmerk hierbij is de zogenaamde H/D-verhouding, dat is het quotiënt van de Lorey-hoogte ( $h_g$ ) en de gemiddelde grondvlak-diameter ( $d_g$ ), beide in dezelfde eenheid (cm of m) uitgedrukt. Uit de proefperkgegevens blijkt het omslagpunt in de H/D-verhouding (= 100) pas bij een  $h_g$  van 20 m ( $h_{dom} = 22$ ) zich voor te doen. Met enige extrapolatie kan de H/D-verhouding bij  $h_{dom} = 12$  m worden bepaald op 125 à 130.

Het volgende model genereert zo'n uitgangssituatie voor het tijdstip waarop  $h_{dom} = 12$  m.

- stamtal bij aanvang = 6500 stuks per ha;
- hoogtegroeit tussen  $t = 0$  jaar en  $t(h_{dom}=12\text{m})$  volgt functie 11a;
- de grondvlakontwikkeling vanaf  $t(h_{dom}=1,30\text{m})$  is te beschrijven met functie 15, maar de waarde van de *RGB* in de jeugd is mogelijk afwijkend van de latere *RGB*, gevonden is:

$$RGB_{jeugd} = 0,52 \cdot RGB \quad (24)$$

- Er worden nu op de tijdstippen  $t=5, 10, 15$  etc.  $N_v$ ,  $G_v$  en  $d_v$  (respectievelijk stamtal per ha, grondvlak per ha en diameter voor de dunning) berekend;
- de diameter na een eventuele dunning ( $d_n$ ) wordt rekenkundig als volgt bepaald:

$$d_n = 0,873 + 0,989 \cdot d_v \quad (25)$$

- de gemiddelde boomafstand  $a_n$  na (die eventuele) dunning volgt uit 22;
- hieruit volgt op de gebruikelijke wijze het stamtal:

$$N_n = \left\{ \frac{10745,7}{a_n} \right\}^2 \quad (26)$$

- indien het op deze wijze berekende stamtal na dunning minder dan 97 % van het stamtal voor dunning bedraagt dan wordt er gedund. Zo niet dan volgt er alleen een stamtalreductie met 3 % ten gevolge van sterfte en fytosanitaire maatregelen. In beide gevallen, zowel echte dunning als 'verdwijning' wordt de gemiddelde diameter ervan bepaald door:

$$d_d = -1,651 + 0,945 \cdot d_v \quad (27)$$

- op de gebruikelijke wijze volgen nu de overige opstandsparameters voor, na en van de dunning;
- zodra de  $h_{dom}$  boven de 12 meter of de  $d_v$  boven de 10 cm groeit wordt er verder gerekend met

het normale groei- en dunningsmodel.

Het jeugdgroei-model is in principe niet bedoeld om te voorspellen hoe de jeugdgroei plaats vindt, maar om beginchatters te genereren bij  $t(h_{dom}=12m)$  voor stamtaal, grondvlak en diameter.

Voor Zuid-Zweden zijn de startwaarden duidelijk anders doch deze zijn niet afzonderlijk bepaald. In deze fase van het onderzoek werd verondersteld dat de Noord-Duitse tabellen op Nederland toepasbaar zouden zijn. Voor de houdbaarheid van deze hypothese zie verder bij toetsingsfase 1.

### 3.5 Opstandsmassatabel

Met de massatabel van Schoonderwoerd, De Klein & Van de Scree (1991) is het boomvolume van de grondvlakmiddenstam (boom met  $d_g$  en  $h_g$ ) bepaald. Na vermenigvuldiging met het stamtaal per ha volgt een schatting voor het opstandsvolume per ha. Vervolgens zijn opbrengsttabellen gemaakt (zie paragraaf 3.6). De gevonden volumes zijn vervolgens verklaard met:

$$V = G \cdot h_{dom}^{1,07319-0,00133 \cdot t} \cdot e^{-1,14424+0,00432 \cdot t} \quad (28)$$

Vergelijk 28 geeft nu een opstandsmassatabel, deze vergelijking wijkt enigszins af van de oorspronkelijk functie in OPTAB van Heisterkamp (1981).

Het volume betreft spilhout inclusief schors.

### 3.6 Opbrengstmodel

Met de hiervoor ontwikkelde modules van het opbrengstmodel is de opbrengsttabel berekend voor de produktieclassen (= maximale gemiddelde jaarlijkse volume bijgroei) 4, 6, 8, 10 en 12  $m^3 ha^{-1} j^{-1}$ . Tevens zijn de relatieve boniteiten volgens de indeling van Schober berekend (bij een gelijke Lorey-hoogte op 100 j).

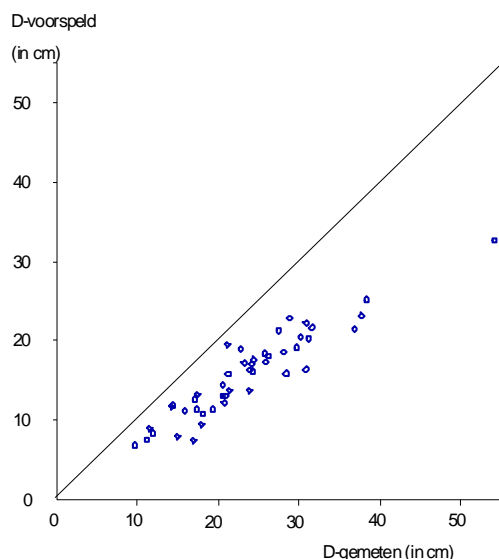
Op grond van de beperkingen bij de basisgegevens voor het hoogtegroeimodel kan de tabel pas van een dominante hoogte vanaf 12 m gepresenteerd worden. Een extrapolatie op grond van het eerder vermelde jeugdgroei-model is tevens weergegeven voor het interval 6 tot 12 m dominante hoogte. De produktieclassen 10 en 12  $m^3 ha^{-1} j^{-1}$  zijn geëxtrapoleerd vanaf 135 tot 150 jaar.

Om de tabel in een opstand te gebruiken kan de gebruiker naast de gebruikelijke methoden van interpolatie uit de tabellen ook rechtstreeks met het model een groeivoorspelling en dunningsprognose doen. Als ingang in het model zijn nodig  $h_{dom}$ ,  $T$ ,  $N_v$ ,  $G_v$  en  $d_v$ . De *S-waarde* dient iteratief te worden bepaald. Zie bijlage 3 voor een berekeningsschema. Voor perken met een dominante hoogte beneden de 12 m, heeft deze procedure geen zin. Beter kan dan subjectief (b.v. op grond van opstand in de buurt) de produktieklasse worden vastgesteld.

## 4. Toetsing en implementatie voor Nederland

### 4.1 Toetsingsfase 1

Oosterbaan et al. (1988) geven in een groeiplaatscorrelatieonderzoek voor de beuk de gegevens ( $h_{dom}$ ,  $d$ ,  $N$ ,  $G$  en  $t$ ) van 47 steekproefpunten op de Veluwe en in Drenthe. Het ontwikkelde model voor Noord-Duitsland is op deze punten losgelaten en na bonitering is de diameter voorspeld, in figuur 3 zijn de resultaten weergegeven. De conclusie is (zonder dat daar enige statistische toets voor nodig is) duidelijk; het model voorspelt slecht.



Figuur 3. Voorspelde diameter en werkelijke diameter (voorlopig model).

Besloten is daarom met behulp van deze momentopnames verbeterde parameters voor Nederland te ontwikkelen.

### 4.2 Implementatie van het groeimodel voor Nederland

De slechte voorspelling van de diameter voor de steekproefpunten zal deels betrekking hebben op afwijkingen van het dunningregime t.o.v. dat van de het groeimodel. Daarom is voor alle 47 steekproefpunten met het model het tijdstip van de eerste dunning berekend. Vervolgens is per steekproefpunt een constant dunningspercentage berekend dat er zorg voor draagt dat op de leeftijd  $t_i$  het stamtal na dunning gelijk is aan het stamtal van het steekproefpunt. Aangenomen is dat dit een toestand na dunning betreft.

De perken zijn daarna verdeeld in 7 stuks met een  $h_{dom}$  kleiner dan 15 m en 40 stuks met een grotere  $h_{dom}$ . Met de eerste set is per punt berekend welke de jeugd- $RGB$  er nodig om de waargenomen diameter exact te voorspellen, met de volgende procedure:

1. Bepaal  $t_{12}$ , dat is leeftijd waarop  $h_{dom} = 12$  m met vergelijking 11a.
2. Bepaal  $t_{1,30}$ , dat is leeftijd waarop  $h_{dom} = 1,30$  m met vergelijking 11a.
3. Bepaal  $d_{12}$ , dat is diameter na dunning op  $t_{12}$  met:

$$d_{12_i} = \frac{t_{12_i} - t_{1,30_i}}{t_i - t_{1,30_i}} \cdot d_i \quad (29)$$

4. Definieer

$$RGB_{\{jeugd,i\}} (\text{nieuw}) = RGB_{jeugd} \quad (30)$$

5. Definieer

$$RGB_{\{jeugd, i\}}(\text{model}) = RGB_{\{jeugd, i\}}(\text{nieuw}) \quad (31)$$

6. Bereken nu voor ieder steekproefpunt de  $d_{12model}$  met behulp van het groeimodel en met de steekproefpunt-eigen modelwaarde voor de jeugd- $RGB$ .

7. Controleer of  $d_{12model}$  gelijk is aan  $d_{12}$ . Indien dat zo is dan geldt:

$$RGB_{\{jeugd, i\}} = RGB_{\{jeugd, i\}}(\text{model}) \quad (32)$$

Er kan nu verder worden gegaan met stap 1 voor het volgende steekproefpunt. Indien dit niet zo is, dan wordt verder gegaan met stap 8

8. Corrigeer nu de jeugd- $RGB$  per steekproefpunt als volgt:

$$RGB_{\{jeugd, i\}}(\text{nieuw}) = \frac{d_{12i}}{d_{\{12, model, i\}}} \cdot RGB_{\{jeugd, i\}}(\text{model}) \quad (33)$$

9. Ga terug naar stap 4.

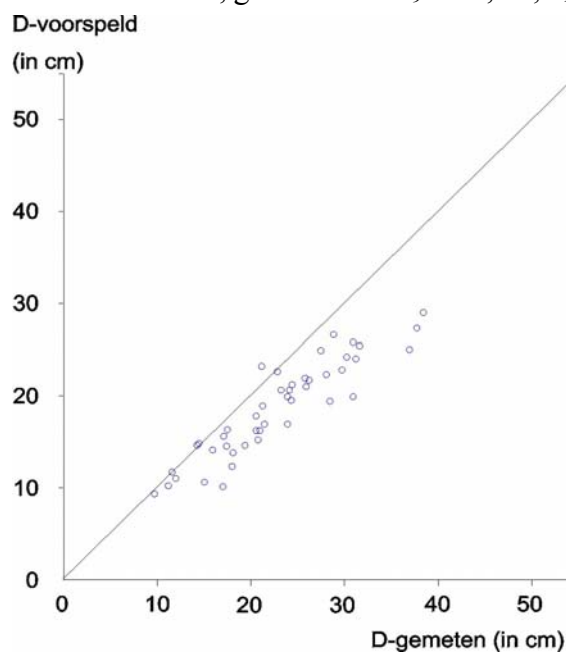
Nadat deze procedure voor alle steekproefpunten is afgerond worden eventuele uitbijters verwijderd en wordt de jeugd- $RGB$  gemiddeld over de steekproefpunten. Gevonden is:

$$RGB_{jeugd} = 2,135 \quad (34)$$

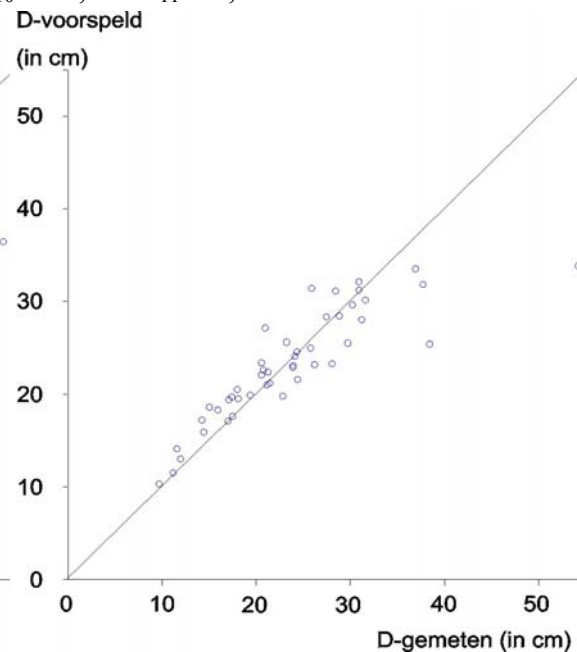
In een vergelijkbare procedure is voor alle steekproefpunten de  $RGB$  berekend, gevonden is:

$$RGB = 2,768 \quad (35)$$

De constanten  $c_9$ ,  $c_{10}$  en  $c_{11}$  en de gevonden  $RGB$ -waarden moeten nu nog in overeenstemming gebracht worden, zodanig dat het dunningsregime geen al te grote afwijking t.a.v. einddiameters oplevert t.o.v. het Noord-Duitse model. Hiervoor is de procedure die leidde tot de vergelijkingen 22 en 23 herhaald, gevonden is:  $c_9 = 18,25$ ;  $c_{10} = 48,0$  en  $c_{11} = 0,23$



Figuur 4. Voorspelde diameter en werkelijke diameter (definitief model).



Figuur 5. Voorspelde diameter en werkelijke diameter (definitief model, met aangepaste dunning).

In figuur 4 zijn de voorspelde en gemeten diameter vergeleken. Ten opzichte van het voorlopige model treedt er een verbetering in de voorspelling op. Nog duidelijker wordt de kwaliteit van het model als we het berekende "steekproefpunt-eigen" dunningregime meenemen bij de voorspelling (figuur 5). Voor oude opstanden (weinig materiaal beschikbaar) blijkt er echter een onderschatting van de diameter.

Na deze bijstelling zijn de opbrengstabellen berekend voor de produktieklassen 4, 6, 8, 10 en 12  $m^3 ha^{-1} j^{-1}$  en voor de relatieve boniteiten I, II, III en IV (respectievelijk bijlage 1 en 2).

### C. Toetsingsfase 2

Bij gebrek aan voldoende proefperkgegevens van de beuk kan slechts zeer marginaal getoetst worden. In bijlage 4 staan de gegevens van de twee beukenproefvelden in de staatsboswachterij Schoonloo (Drenthe). Bijlage 4 geeft tevens een modelsimulatie van de groei en dunning in deze perken met het in deze studie ontwikkelde model en met het OPTAB-model (Faber, 1990 naar Kennel, 1970). Bij de vergelijking van de uitkomsten (tabel 6) blijkt dat voor deze 2 perken het nieuwe model redelijk goed voorspelt. De werkelijke grondvlak bijgroei is binnen het betrouwbaarheidsinterval. Door verschil in definitie van volume is een vergelijking van de volumebijgroei niet mogelijk.

**Tabel 6. Verschil in werkelijke en voorspelde groei in Schoonloo**

kenmerk	interval	groei			eenheid
		werkelijk	nieuw model	OPTAB	
<i>ih</i>	35-60 j	0,42	0,39	0,30	$m j^{-1}$
<i>iG</i>	35-65 j	1,06	1,02 " 0,21	0,66	$m^2 ha^{-1} j^{-1}$

Oosterbaan et al. (1988) komen in een groeiplaatscorrelatieonderzoek voor de beuk tot de conclusie dat de voorspelde boniteit op grond van de Stiboka-geschiktheidsklassificatie slecht overeenkomt met de werkelijke boniteit. Zij hebben hierbij geboniteerd met OPTAB; destijds een op Hamilton & Christie (1971) gebaseerd systeem. De meetgegevens van de perken uit dat onderzoek zijn opnieuw geboniteerd met het hier ontwikkelde systeem. Vervolgens is een vingeroefening gedaan om een nieuwe geschiktheidsklassificatie te maken, het resultaat is weergegeven in bijlage 5. De werkelijke en de voorspelde boniteit blijken nu veel dichter bij elkaar te liggen dan bij Oosterbaan et al. Hetgeen 1. een bevestiging inhoudt van het eerder gestelde dat de tabel van Hamilton & Christie ongeschikt is voor Nederland en 2. de bodemgeschiktheidsbepaling volgens het StiBoKa-systeem veel beter is dan uit het onderzoek van Oosterbaan et al. blijkt.

## 5. Discussie

Bij gebrek aan een valide opbrengsttabel voor de beuk in Nederland heeft de Werkgroep Opbrengsttabellen gemeend aanbevelingen te moeten doen voor de opbrengsttabel van Møller (1933) uit Denemarken en die van Carbonnier (1971) voor Zuid-Zweden en eventueel voor die van Schober vanaf 60 à 80 jaar. In dit artikel is het materiaal van Schober/Wiedemann/Schwappach en van Carbonnier opnieuw bewerkt, er is geconstateerd dat er geen verschil is in de hoogtegroeï in Noord-Duitsland en Zuid-Zweden. De aanname dat deze dan ook voor Nederland geldt kan niet hard worden gemaakt en is gevoelsmatig genomen. Bij verdere uitwerking blijkt dat er verschil is in produktieniveau in Zuid-Zweden en Noord-Duitsland. Uiteindelijk is een produktie-niveau voor Nederland ingeschat, iets beneden het Duitse niveau. De gebruikte methode schat de *RGB* met onbekende nauwkeurigheid en zuiverheid.

De opbrengsttabel is gemaakt met een sterk modulaire opbouw. Een punt van discussie daarbij is of een dergelijke modulaire opbouw in z'n algemeenheid aanvaardbaar is. In alle onderzochte tabellen blijkt er geen sprake te zijn van een geïntegreerd opstandsmoedel, doch van losse bouwstenen die statistische modelrelaties (ieder afzonderlijk gefit) opleveren. Sommige daarvan zijn onderbouwd door biologische wetmatigheden, doch in de meeste gevallen gaat het puur om de beste fit uit een groot aantal statistische modellen. Mijn werkwijze volgt dezelfde principes, en baseert zich in de meeste gevallen op de groeigegevens van Noord-Duitse proefperken en soms op die van de andere regio's. Het model is daarmee van de zelfde kwaliteit als de overige tabellen. Na een goede toetsingsprocedure voor Nederland zou de tabel dan ook zonder bedenkingen aanvaard kunnen worden. De uitgevoerde toetsingsprocedure was marginaal doch levert geen overwegende bedenkingen. Resteert het feit dat naar het oordeel van een kleine geselecteerde groep van gebruikers de nieuwe opbrengsttabel beter is dan het materiaal waarmee tot nu toe is gewerkt.

De werkgroep heeft in 1991 gemeend, dit alles in overweging nemend, deze opbrengsttabel te moeten aan bevelen. Inmiddels heeft er een toetsing plaats gevonden met behulp van het materiaal van de houtoogststatistieken voor de meeste boomsoorten, waaronder de beuk (Schoonderwoerd en Daamen, 1995). Zij concluderen voor alle soorten een overschatting van de grondvlakbijgroei in de jeugd en een onderschatting op latere leeftijd. Kennelijk wordt dit veroorzaakt door de koppeling van de hoogte- en grondvlakbijgroei middels de *RGB*. Een verbetering van de groeimodellen blijkt hier alsnog noodzakelijk. Zo'n model zal eerst voor soorten ontwikkeld dienen te worden waarvoor Nederlandse groeigegevens beschikbaar zijn. Mogelijk is ook het totale opbrengstniveau te laag (zie tabel 7 voor vergelijk met andere tabellen).

**Tabel 7. Grondvlakbijgroei ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$ ) in de nieuwe en vergeleken opbrengsttabellen**

Boniteit	Interval	H&C	Møll	Carb	Scho	Nieuw
I	40 - 120	60,2	58,0	57,2	54,6	54,3
II	45 - 120	51,7	50,6	50,1	47,0	45,2
III	50 - 120	43,3	44,4	44,2	39,6	37,8
IV	60 - 120	31,8	34,7	33,5	29,9	27,5



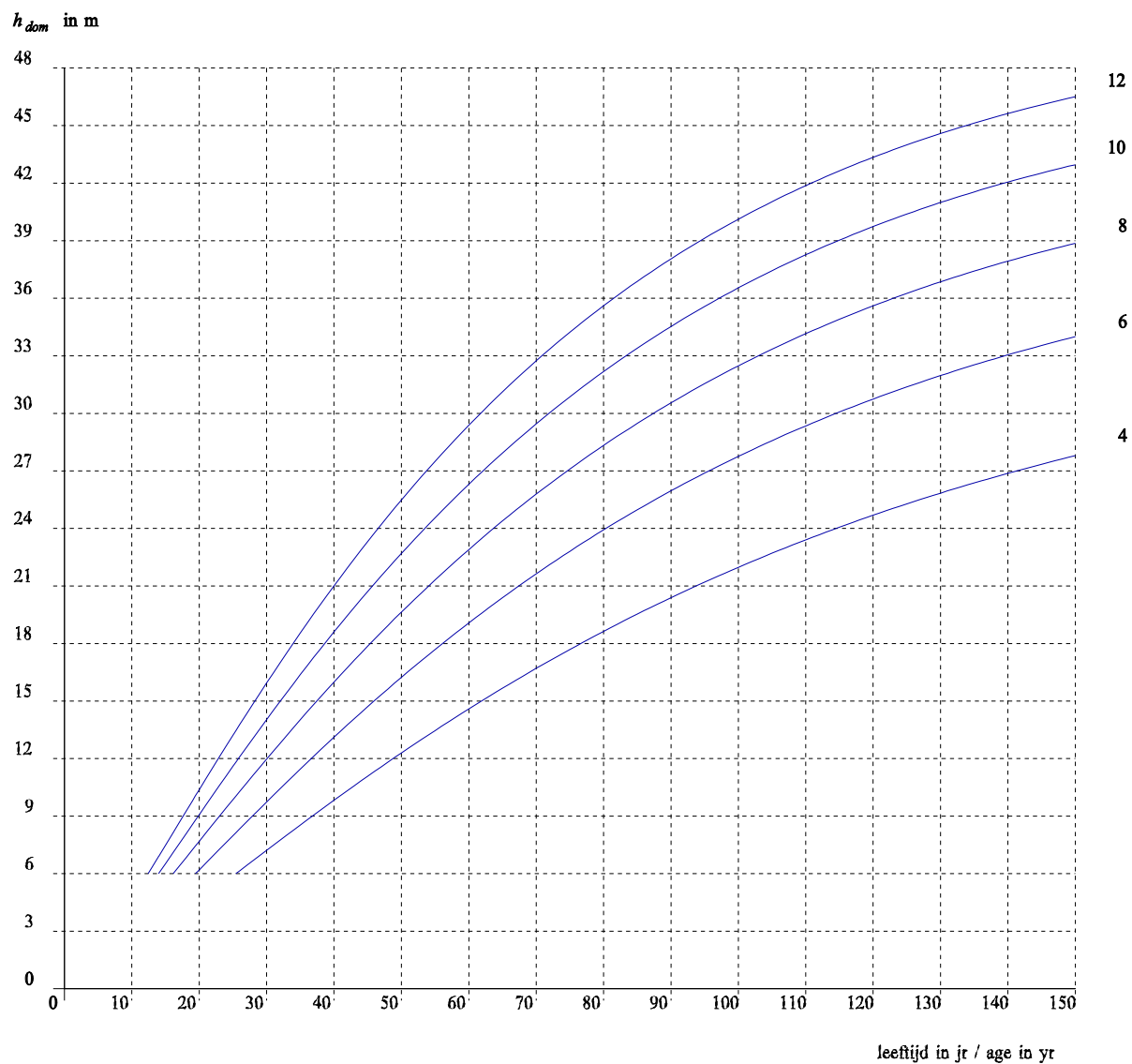


## Literatuur

- Assmann, E., 1961. Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- Burkhart, H.E. and R.B. Tennent, 1977. Site index equations for radiata pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 7, 408-416.
- Carbonnier, C., 1971. Bokens produktion i södra Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 91.
- C.B.S.(Centraal Bureau voor de Statistiek), 1985. De Nederlandse Bosstatistiek, deel 1: de oppervlakte bos, 1980-1983. Staatsuitgeverij, s'Gravenhage.
- Commissie Bosbedrijfsregeling, 1958. Richtlijnen voor de bedrijfsregeling van bosbezit in Nederland. Nederlandsche Bosbouwvereniging.
- Faber, P.J., 1990. Handleiding en toelichting bij de empirische groeimodellen OPTAB - PEPPEL en RUIM - SIMU. Uitvoerig verslag Instituut voor bosbouw en groenbeheer "De Dorschkamp" Band 23(1).
- Hamilton, G.J. and J.M. Christie, 1971. Forest Management Tables (Metric). Forestry Commission Booklet No. 34.
- Heisterkamp, S.H., 1981. Opstandsinhoudsfuncties. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" Rapport nr. 271.
- Jansen, J.J., 1987. Trend en prognose van leegkap, herbebossing en bebossing in Nederland: 1950 - 2000. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 59, 102-115.
- Jansen, H. en J. Sevenster (ed.), in preparation. Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland
- Kennel, E., 1970. Die Ergebnisse langfristig beobachteter Buchen-Durchforstungsversuche und ihre Auswertung zur Konstruktion verbesserte Ertragstafeln. Habilitationsschrift, München.
- Miegroet, M. van, 1978. Bosbehandeling en bosgebruik. Groene band, juli-augustus-september 1978, 1-25.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1986. Meerjarenplan Bosbouw, Deel C: Regeringsbeslissing. Tweede Kamer der Staten - Generaal, vergaderjaar 1985-1986, 18630, nrs. 6. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage.
- Møller, C.M., 1933. Bonitetsvise Tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Sammendrag fra Dansk.Skovf.Tidsskr.
- Oosterbaan, A., J. van der Burg en A.W. Waenink, 1988. Relaties tussen groei, bodem en vegetatie in opstanden van beuk (*Fagus sylvatica*) op zandgronden in Drente en op de Veluwe. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" Rapport nr. 502.
- Schober, R., 1972. Die Rotbuche 1971. J.D. Sauerlanders Verlag.
- Schober, R., 1975. Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. J.D. Sauerlanders Verlag, Frankfurt am Main.
- Schoonderwoerd, H., J.P.G. de Klein en J.N. van de Schee, 1991. Massatabellen voor berk, beuk, es en inlandse eik (bosbomen). Maatschappij Damen, Schoonderwoerd en de Klein, Rapport nr. 23.
- Schoonderwoerd, H. en W.P. Daamen, 1995. De bijgroei van bos in Nederland. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 67, 16-22.
- Schnute, J., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can.J.Fish. Aquat.Sci.* 38, 1128-1140.
- Schwappach, A., 1911. Die Rotbuche. Verlag von J. Neumann, Neudamm.

- Tjebbes, J.E., 1989. Vergelijkend onderzoek naar de hoogtegroei van de beuk in Noord-West Europa. Landbouwniversiteit, vakgroep Bosbouw-Boshuishoudkunde, AV 093.
- Wiedemann, E., 1932. Die Rotbuche 1931. Mitteilung der Preuszischen Forstlichen Versuchsanstalt. Verlag von M.& H. Schaper, Hannover.

**BIJLAGE 1. Opbrengsttabel voor BEUK (*Fagus sylvatica* L.) in Nederland, verdeeld in groeiklassen**  
*[Yield table (divided in yield classes) for beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Netherlands]*



Figuur 6. *Hoogteontwikkeling per groeiklasse*  
*[Height development per production class]*

### Toelichting bij de opbrengstabellen [*Explanation of the yield tables*]

In de kop van de opbrengsttabel zijn een aantal standaard symbolen en daarvan afgeleide varianten gebruikt. In onderstaande tabel wordt de SI eenheid vermeld en de betekenis van de symbool weergegeven. [*A number of standard IUFRO symbols and a few from the standards symbols derived ones are used in the headings of the yield tables. In the table below the SI unit and the meaning are given.*]

symbool [ <i>symbol</i> ]	eenheid [ <i>unit</i> ]	betekenis [ <i>meaning</i> ]
$t$	j	leeftijd vanaf kieming [ <i>age calculated from germination</i> ]
$h_{dom}$	m	dominante hoogte [ <i>dominant height</i> ]
$N$	ha <sup>-1</sup>	areïek stamtal na dunning [ <i>number of trees per ha after thinning</i> ]
$G$	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	areïek grondvlak na dunning [ <i>basal area per ha after thinning</i> ]
$d_g$	cm	diameter (1,30 m) van de middenboom [ <i>diameter breast height of the middle tree</i> ]
$h_g$	m	hoogte van de middenboom [ <i>height of the middle tree</i> ]
$V$	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	areïek volume na dunning [ <i>volume per ha after thinning</i> ]
$N_d$	ha <sup>-1</sup>	areïek stamtal van de dunning [ <i>number of trees per ha in thinning</i> ]
$G_d$	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	areïek grondvlak van de dunning [ <i>basal area per ha in thinning</i> ]
$d_d$	cm	diameter van de gemiddelde grondvlak-dunningsstam [ <i>diameter of the average basal area tree in thinning</i> ]
$V_d$	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	areïek volume van de dunning [ <i>thinning volume per ha</i> ]
$Ic_G$	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	lopende areïeke grondvlakbijgroei op leeftijd $t$ jaar [ <i>current annual basal area increment at the age <math>t</math> year</i> ]
$Ic_V$	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	lopende areïeke volumebijgroei op leeftijd $t$ jaar [ <i>current annual volume increment at the age <math>t</math> year</i> ]
$Im_V$	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	gemiddelde areïeke volumebijgroei tot op leeftijd $t$ jaar [ <i>mean volume increment until age <math>t</math> year</i> ]
Groeiklasse [ <i>yield class</i> ]	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> j <sup>-1</sup>	maximale gemiddelde areïeke volumebijgroei [ <i>maximal mean volume increment per ha</i> ]
Boniteit [ <i>site class</i> ]		relatieve indeling in groeiklassen [ <i>relative classification in site classes</i> ]
Middenboom [ <i>middle tree</i> ]		boom met gemiddeld boomgrondvlak en boomvolume [ <i>tree with average tree basal area and tree volume</i> ]

Het volume is gedefinieerd als het spilhoutvolume met schors. Cursief gedrukte getallen betreffen extrapolaties buiten het waarnemingsmateriaal. [*The volume regards the over bark bole volume. Italics means extrapolation beyond the experimental data*]

### Groeiklasse [*Production class*] 4

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
25	5,9	5256	9,63	4,8	4,3	22	499	0,23	2,4	1	0,57	2,4	0,9	25
30	7,2	4337	11,70	5,9	5,5	33	919	0,78	3,3	2	0,57	2,9	1,2	30
35	8,5	3496	13,30	7,0	6,7	45	841	1,22	4,3	4	0,56	3,4	1,5	35
40	9,8	2832	14,56	8,1	7,9	57	664	1,49	5,3	6	0,54	3,8	1,7	40
45	11,1	2326	15,59	9,2	9,1	69	506	1,64	6,4	7	0,53	4,1	2,0	45
50	12,3	2128	17,16	10,1	10,3	85	198	1,21	8,8	6	0,66	5,1	2,2	50
55	13,5	1793	17,90	11,3	11,4	97	335	2,50	9,7	14	0,64	5,3	2,5	55
60	14,6	1523	18,56	12,5	12,5	110	270	2,46	10,8	15	0,61	5,5	2,7	60
65	15,7	1305	19,15	13,7	13,6	122	218	2,40	11,8	15	0,59	5,5	2,9	65
70	16,7	1126	19,68	14,9	14,7	134	178	2,34	12,9	16	0,56	5,6	3,1	70
75	17,7	980	20,15	16,2	15,7	145	147	2,26	14,0	16	0,53	5,6	3,3	75
80	18,6	858	20,57	17,5	16,7	157	121	2,19	15,1	17	0,51	5,5	3,4	80
85	19,5	757	20,95	18,8	17,6	167	101	2,11	16,3	17	0,49	5,5	3,6	85
90	20,4	672	21,29	20,1	18,5	177	85	2,03	17,4	17	0,46	5,4	3,7	90
95	21,2	601	21,59	21,4	19,4	187	72	1,94	18,6	17	0,44	5,2	3,7	95
100	22,0	540	21,87	22,7	20,2	196	61	1,86	19,7	17	0,42	5,1	3,8	100
105	22,7	488	22,12	24,0	21,0	205	52	1,78	20,9	16	0,40	4,9	3,9	105
110	23,4	443	22,35	25,3	21,7	213	45	1,70	22,0	16	0,38	4,8	3,9	110
115	24,1	405	22,55	26,6	22,4	221	38	1,62	23,2	16	0,36	4,6	4,0	115
120	24,7	372	22,74	27,9	23,1	228	33	1,54	24,3	15	0,34	4,4	4,0	120
125	25,3	343	22,91	29,2	23,7	235	29	1,47	25,4	15	0,32	4,3	4,0	125
130	25,8	318	23,07	30,4	24,3	241	25	1,40	26,5	15	0,30	4,1	4,0	130
135	26,4	295	23,21	31,6	24,9	247	22	1,33	27,6	14	0,29	3,9	4,0	135
140	26,9	276	23,34	32,8	25,4	252	20	1,26	28,6	14	0,27	3,7	4,0	140
145	27,3	258	23,46	34,0	25,9	257	17	1,19	29,7	13	0,26	3,6	4,0	145
150	27,8	243	23,57	35,1	26,3	262	15	1,14	30,7	13	0,25	3,5	4,0	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

### Groeiklasse [*Production class*] 6

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
20	6,2	5162	10,10	5,0	4,6	24	771	0,39	2,5	1	0,76	3,3	1,2	20
25	8,0	4012	12,67	6,3	6,1	39	1150	1,23	3,7	4	0,76	4,3	1,8	25
30	9,7	3060	14,55	7,8	7,7	55	952	1,89	5,0	7	0,74	5,1	2,2	30
35	11,5	2364	15,95	9,3	9,3	72	696	2,26	6,4	10	0,72	5,7	2,7	35
40	13,1	1962	17,52	10,7	10,9	92	402	2,68	9,2	14	0,90	7,3	3,2	40
45	14,7	1563	18,46	12,3	12,5	109	398	3,48	10,5	21	0,86	7,8	3,7	45
50	16,2	1261	19,27	13,9	14,0	126	302	3,41	12,0	22	0,83	8,0	4,1	50
55	17,7	1030	19,98	15,7	15,5	143	231	3,33	13,5	24	0,79	8,2	4,5	55
60	19,1	851	20,59	17,6	16,9	159	179	3,22	15,1	25	0,75	8,3	4,8	60
65	20,4	711	21,13	19,5	18,3	175	140	3,10	16,8	26	0,71	8,2	5,0	65
70	21,6	600	21,60	21,4	19,6	189	111	2,98	18,5	26	0,67	8,1	5,3	70
75	22,8	512	22,00	23,4	20,9	204	89	2,85	20,2	26	0,63	8,0	5,5	75
80	23,9	440	22,36	25,4	22,1	217	71	2,72	22,0	26	0,60	7,8	5,6	80
85	25,0	382	22,68	27,5	23,2	229	58	2,58	23,8	26	0,56	7,6	5,7	85
90	26,0	335	22,96	29,5	24,3	241	48	2,45	25,6	26	0,53	7,3	5,8	90
95	26,9	296	23,21	31,6	25,3	252	39	2,32	27,4	25	0,50	7,1	5,9	95
100	27,8	263	23,43	33,7	26,3	262	33	2,19	29,2	25	0,47	6,8	6,0	100
105	28,6	236	23,62	35,7	27,2	271	27	2,07	31,0	24	0,44	6,5	6,0	105
110	29,3	213	23,80	37,8	28,0	280	23	1,95	32,8	23	0,41	6,2	6,0	110
115	30,1	193	23,95	39,8	28,8	288	20	1,84	34,6	22	0,39	5,9	6,0	115
120	30,7	176	24,10	41,7	29,5	295	17	1,73	36,3	21	0,36	5,6	6,0	120
125	31,4	162	24,22	43,6	30,2	302	14	1,63	38,0	20	0,34	5,3	6,0	125
130	32,0	150	24,34	45,5	30,8	308	12	1,53	39,7	19	0,32	5,0	5,9	130
135	32,5	139	24,44	47,3	31,4	313	11	1,44	41,3	18	0,30	4,7	5,9	135
140	33,0	129	24,53	49,1	31,9	319	9	1,35	42,8	17	0,28	4,4	5,8	140
145	33,5	121	24,62	50,8	32,4	323	8	1,26	44,4	17	0,26	4,1	5,8	145
150	34,0	114	24,69	52,5	32,9	328	7	1,19	45,8	16	0,25	4,0	5,7	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

### Groeiklasse [Production class ] 8

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND ]						DUNNING [THINNINGS ]				BIJGROEI [INCREMENT ]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
15	5,5	5683	8,96	4,5	4,0	18	433	0,15	2,1		0,93	3,5	1,2	15
20	7,7	4313	12,37	6,0	5,8	36	1370	1,25	3,4	4	0,93	5,1	2,0	20
25	9,9	3139	14,74	7,7	7,7	56	1174	2,26	4,9	9	0,92	6,4	2,8	25
30	12,0	2312	16,41	9,5	9,7	77	827	2,85	6,6	13	1,01	7,9	3,5	30
35	14,0	1763	17,97	11,4	11,7	100	549	4,10	9,7	23	1,11	9,6	4,3	35
40	16,0	1343	19,04	13,4	13,6	122	420	4,36	11,5	28	1,06	10,2	5,0	40
45	17,9	1040	19,95	15,6	15,5	143	303	4,28	13,4	31	1,01	10,6	5,6	45
50	19,6	817	20,72	18,0	17,4	164	222	4,15	15,4	33	0,96	10,8	6,1	50
55	21,3	652	21,37	20,4	19,2	184	165	4,00	17,6	34	0,90	10,9	6,5	55
60	22,9	528	21,93	23,0	20,9	203	124	3,83	19,8	35	0,85	10,9	6,9	60
65	24,4	433	22,40	25,7	22,5	221	95	3,65	22,1	36	0,80	10,7	7,2	65
70	25,8	360	22,81	28,4	24,0	238	73	3,46	24,5	36	0,75	10,4	7,4	70
75	27,1	302	23,16	31,2	25,5	253	57	3,28	27,0	36	0,70	10,1	7,6	75
80	28,3	257	23,47	34,1	26,9	268	45	3,09	29,5	35	0,66	9,8	7,8	80
85	29,5	221	23,73	37,0	28,2	281	36	2,91	32,0	34	0,61	9,4	7,9	85
90	30,5	192	23,97	39,9	29,4	294	29	2,73	34,6	33	0,57	8,9	7,9	90
95	31,5	168	24,17	42,8	30,5	305	24	2,56	37,1	32	0,53	8,5	8,0	95
100	32,5	149	24,35	45,7	31,5	315	19	2,40	39,6	31	0,50	8,1	8,0	100
105	33,3	132	24,50	48,5	32,5	325	16	2,24	42,2	30	0,46	7,6	8,0	105
110	34,2	119	24,64	51,3	33,4	333	13	2,10	44,6	28	0,43	7,2	8,0	110
115	34,9	108	24,76	54,1	34,2	341	11	1,96	47,0	27	0,40	6,7	7,9	115
120	35,6	98	24,87	56,8	35,0	348	10	1,82	49,4	26	0,37	6,3	7,9	120
125	36,3	90	24,97	59,4	35,7	354	8	1,70	51,7	24	0,35	5,9	7,8	125
130	36,9	83	25,05	61,9	36,3	360	7	1,58	53,9	23	0,32	5,5	7,7	130
135	37,4	77	25,13	64,3	36,9	365	6	1,47	56,1	21	0,30	5,1	7,6	135
140	37,9	72	25,20	66,7	37,4	370	5	1,37	58,2	20	0,28	4,8	7,5	140
145	38,4	68	25,26	68,9	37,9	374	4	1,27	60,2	19	0,26	4,4	7,4	145
150	38,9	64	25,32	71,1	38,3	378	4	1,20	62,1	18	0,25	4,3	7,3	150

Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22 ]

### Groeiklasse [Production class ] 10

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND ]						DUNNING [THINNINGS ]				BIJGROEI [INCREMENT ]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
15	6,5	5057	10,61	5,2	4,8	26	1059	0,59	2,7	1	1,09	4,9	1,8	15
20	9,1	3616	13,99	7,0	7,0	49	1441	2,07	4,3	7	1,09	6,9	2,9	20
25	11,6	2546	16,21	9,0	9,3	74	1070	3,16	6,1	14	1,06	8,5	3,9	25
30	14,0	1843	17,79	11,1	11,6	99	703	4,92	9,4	27	1,33	11,4	5,0	30
35	16,4	1338	19,06	13,5	13,9	125	505	5,21	11,5	34	1,27	12,4	6,0	35
40	18,6	992	20,11	16,1	16,2	150	347	5,12	13,7	38	1,20	13,1	6,8	40
45	20,7	749	20,98	18,9	18,4	175	243	4,96	16,1	41	1,13	13,4	7,5	45
50	22,7	576	21,70	21,9	20,5	199	173	4,77	18,8	44	1,07	13,6	8,1	50
55	24,6	451	22,31	25,1	22,6	221	125	4,56	21,5	45	1,00	13,5	8,6	55
60	26,3	359	22,81	28,4	24,5	242	92	4,32	24,4	46	0,93	13,3	9,0	60
65	27,9	290	23,24	31,9	26,3	262	69	4,08	27,5	46	0,87	13,0	9,3	65
70	29,5	238	23,61	35,5	28,1	280	52	3,84	30,6	46	0,81	12,5	9,6	70
75	30,9	198	23,91	39,2	29,7	297	40	3,60	33,8	45	0,75	12,0	9,8	75
80	32,2	167	24,18	43,0	31,2	312	31	3,37	37,1	44	0,70	11,5	9,9	80
85	33,4	142	24,40	46,7	32,6	326	25	3,15	40,4	42	0,65	10,9	10,0	85
90	34,5	123	24,60	50,5	33,9	339	20	2,93	43,7	40	0,60	10,3	10,0	90
95	35,6	107	24,77	54,3	35,1	350	16	2,73	47,0	39	0,56	9,7	10,0	95
100	36,5	94	24,92	58,0	36,2	360	13	2,53	50,3	37	0,52	9,1	10,0	100
105	37,4	84	25,05	61,7	37,2	370	10	2,35	53,5	35	0,48	8,5	9,9	105
110	38,3	75	25,16	65,2	38,1	378	9	2,18	56,7	33	0,44	7,9	9,8	110
115	39,0	68	25,26	68,7	39,0	386	7	2,02	59,8	31	0,41	7,4	9,7	115
120	39,7	62	25,35	72,1	39,7	392	6	1,87	62,8	29	0,38	6,8	9,6	120
125	40,4	57	25,42	75,4	40,4	398	5	1,73	65,7	27	0,35	6,3	9,5	125
130	41,0	53	25,49	78,5	41,0	403	4	1,60	68,4	25	0,32	5,9	9,4	130
135	41,5	49	25,55	81,6	41,5	408	4	1,47	71,1	24	0,29	5,4	9,2	135
140	42,1	46	25,61	84,5	42,1	412	3	1,36	73,7	22	0,27	5,0	9,1	140
145	42,5	43	25,66	87,2	42,5	415	3	1,26	76,1	20	0,25	4,6	8,9	145
150	43,0	40	25,70	89,9	43,0	419	2	1,20	78,5	20	0,25	4,5	8,8	150

Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22 ]

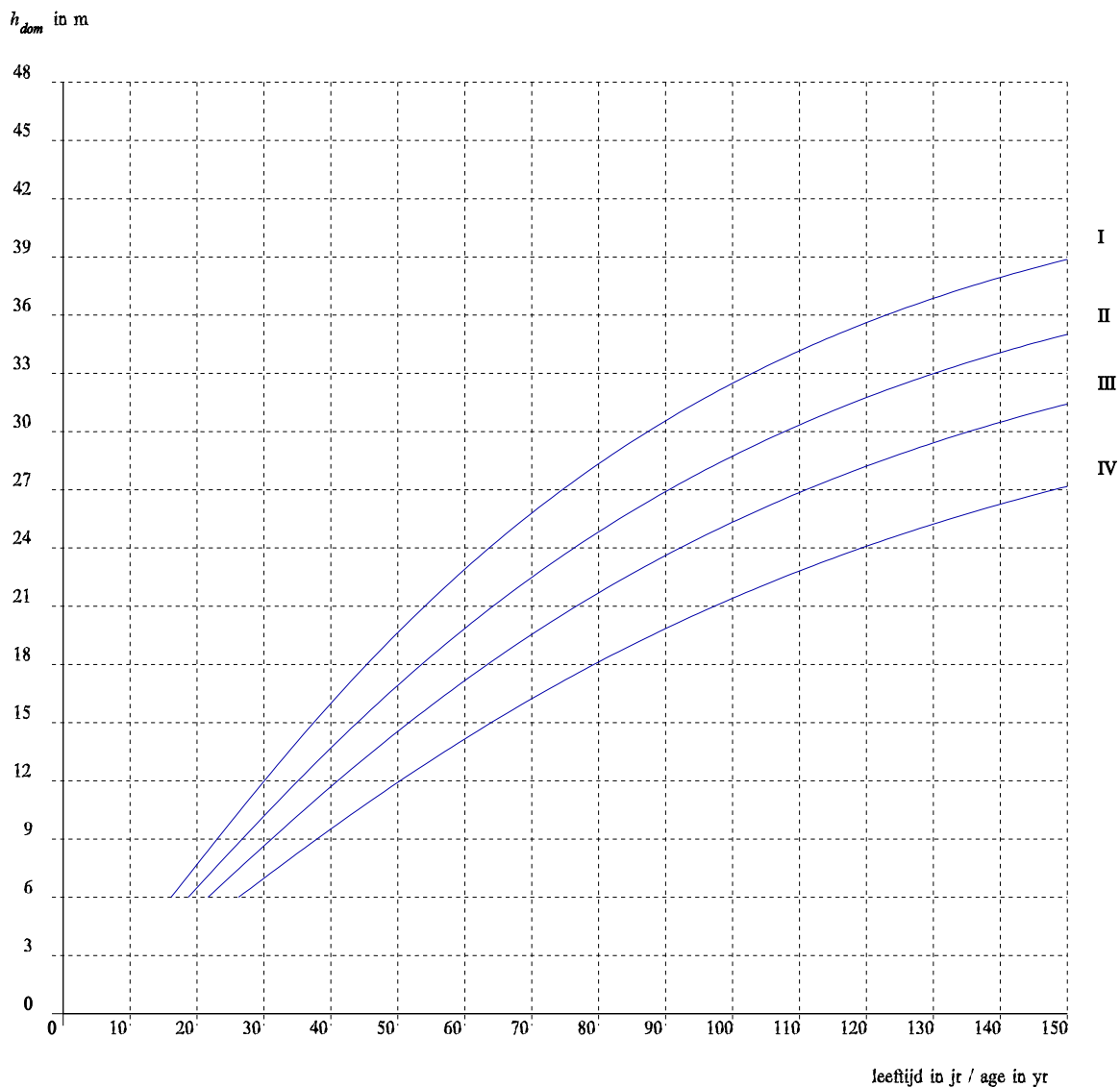


## Groeiklasse [*Production class* ] 12

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND ]						DUNNING [THINNINGS ]				BIJGROEI [INCREMENT ]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
15	7,5	4570	12,09	5,8	5,6	34	1546	1,22	3,2	3	1,24	6,5	2,5	15
20	10,4	3110	15,30	7,9	8,1	61	1460	2,96	5,1	12	1,23	8,9	3,8	20
25	13,2	2197	17,02	9,9	10,7	88	913	5,10	8,4	26	1,54	12,6	5,2	25
30	15,9	1516	18,58	12,5	13,4	118	682	6,00	10,6	38	1,48	14,2	6,6	30
35	18,5	1071	19,85	15,4	16,0	147	444	5,94	13,0	44	1,40	15,2	7,8	35
40	21,0	775	20,88	18,5	18,6	176	296	5,78	15,8	49	1,32	15,9	8,7	40
45	23,3	573	21,72	22,0	21,1	204	202	5,56	18,7	52	1,24	16,2	9,5	45
50	25,5	433	22,40	25,7	23,4	231	140	5,31	21,9	55	1,16	16,2	10,2	50
55	27,5	334	22,97	29,6	25,7	255	99	5,03	25,4	56	1,08	16,0	10,7	55
60	29,4	262	23,44	33,8	27,9	278	72	4,73	29,0	56	1,00	15,6	11,2	60
65	31,1	209	23,83	38,1	29,9	299	53	4,44	32,7	56	0,93	15,0	11,5	65
70	32,7	170	24,15	42,6	31,7	318	39	4,14	36,6	55	0,86	14,4	11,7	70
75	34,2	140	24,43	47,1	33,5	335	30	3,86	40,6	53	0,79	13,7	11,9	75
80	35,6	117	24,66	51,8	35,1	351	23	3,58	44,7	51	0,73	13,0	12,0	80
85	36,9	99	24,86	56,4	36,6	365	18	3,32	48,8	49	0,68	12,2	12,0	85
90	38,1	85	25,03	61,1	38,0	378	14	3,07	52,9	46	0,62	11,4	12,0	90
95	39,1	74	25,17	65,7	39,1	389	11	2,84	56,9	44	0,57	10,7	11,9	95
100	40,1	65	25,30	70,2	40,1	400	9	2,62	60,9	41	0,53	9,9	11,9	100
105	41,0	58	25,41	74,7	41,0	409	7	2,41	64,9	39	0,48	9,2	11,8	105
110	41,9	52	25,50	79,0	41,9	417	6	2,22	68,7	36	0,44	8,5	11,6	110
115	42,6	47	25,59	83,2	42,6	424	5	2,05	72,4	34	0,41	7,9	11,5	115
120	43,3	43	25,66	87,3	43,3	430	4	1,88	76,0	31	0,37	7,2	11,3	120
125	44,0	39	25,72	91,2	44,0	435	3	1,73	79,4	29	0,34	6,6	11,1	125
130	44,6	36	25,78	94,9	44,6	440	3	1,59	82,7	27	0,31	6,1	10,9	130
135	45,1	34	25,83	98,5	45,1	444	3	1,46	85,9	25	0,29	5,6	10,8	135
140	45,6	32	25,88	101,9	45,6	447	2	1,34	88,9	23	0,26	5,1	10,6	140
145	46,1	30	25,92	105,1	46,1	450	2	1,23	91,7	21	0,25	4,8	10,4	145
150	46,5	28	25,95	108,3	46,5	453	2	1,21	94,6	21	0,25	4,7	10,2	150

Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22 ]

**BIJLAGE 2. Opbrengsttabel voor BEUK (*Fagus sylvatica* L.) in Nederland, verdeeld in relatieve boniteiten (naar indeling volgens Schober (1972) gebaseerd op gelijke gemiddelde hoogte bij 100 jr)  
 [Yield table (divided in relative site classes according to Schober's classification at a age of 100 years) for BEECH (*Fagus sylvatica* L.) in the Netherlands]**



Figuur 7. Hoogteontwikkeling per relatieve boniteit  
 [Height development per relative site class]

**Boniteit [ Relative site class ] I**

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
20	7,7	4311	12,37	6,0	5,8	36	1370	1,25	3,4	4	0,93	5,1	2,0	20
25	9,9	3137	14,75	7,7	7,8	57	1174	2,26	5,0	9	0,92	6,4	2,8	25
30	12,0	2310	16,42	9,5	9,7	77	827	2,86	6,6	13	1,01	7,9	3,5	30
35	14,0	1761	17,98	11,4	11,7	100	549	4,10	9,8	23	1,11	9,6	4,3	35
40	16,0	1341	19,05	13,4	13,6	122	420	4,37	11,5	28	1,06	10,2	5,0	40
45	17,9	1038	19,95	15,6	15,5	143	303	4,28	13,4	31	1,01	10,6	5,6	45
50	19,6	816	20,72	18,0	17,4	164	222	4,15	15,4	33	0,96	10,9	6,1	50
55	21,3	651	21,37	20,4	19,2	184	165	4,00	17,6	34	0,90	10,9	6,5	55
60	22,9	527	21,93	23,0	20,9	203	124	3,83	19,8	35	0,85	10,9	6,9	60
65	24,4	432	22,41	25,7	22,5	221	95	3,65	22,1	36	0,80	10,7	7,2	65
70	25,8	359	22,81	28,4	24,1	238	73	3,47	24,5	36	0,75	10,5	7,4	70
75	27,1	302	23,17	31,3	25,5	253	57	3,28	27,0	36	0,70	10,1	7,6	75
80	28,3	257	23,47	34,1	26,9	268	45	3,09	29,5	35	0,66	9,8	7,8	80
85	29,5	220	23,74	37,0	28,2	281	36	2,91	32,0	35	0,61	9,4	7,9	85
90	30,6	191	23,97	39,9	29,4	294	29	2,73	34,6	34	0,57	9,0	8,0	90
95	31,6	168	24,17	42,8	30,5	305	24	2,56	37,1	32	0,53	8,5	8,0	95
100	32,5	148	24,35	45,7	31,5	315	19	2,40	39,7	31	0,50	8,1	8,0	100
105	33,4	132	24,50	48,6	32,5	325	16	2,25	42,2	30	0,46	7,6	8,0	105
110	34,2	119	24,64	51,4	33,4	333	13	2,10	44,7	28	0,43	7,2	8,0	110
115	34,9	108	24,76	54,1	34,2	341	11	1,96	47,1	27	0,40	6,7	7,9	115
120	35,6	98	24,87	56,8	35,0	348	10	1,82	49,4	26	0,37	6,3	7,9	120
125	36,3	90	24,97	59,4	35,7	355	8	1,70	51,7	24	0,35	5,9	7,8	125
130	36,9	83	25,06	62,0	36,3	360	7	1,58	54,0	23	0,32	5,5	7,7	130
135	37,4	77	25,13	64,4	36,9	365	6	1,47	56,1	21	0,30	5,1	7,6	135
140	37,9	72	25,20	66,7	37,4	370	5	1,37	58,2	20	0,28	4,8	7,5	140
145	38,4	68	25,27	69,0	37,9	374	4	1,27	60,2	19	0,26	4,4	7,4	145
150	38,9	64	25,32	71,2	38,3	378	4	1,20	62,1	18	0,25	4,3	7,3	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

**Boniteit [ Relative site class ] II**

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
20	6,5	5011	10,52	5,2	4,8	26	922	0,52	2,7	1	0,80	3,6	1,4	20
25	8,4	3836	13,09	6,6	6,4	42	1175	1,41	3,9	5	0,79	4,7	1,9	25
30	10,2	2901	14,93	8,1	8,1	60	935	2,07	5,3	8	0,77	5,5	2,5	30
35	12,0	2229	16,31	9,7	9,8	77	672	2,43	6,8	12	0,84	6,6	2,9	35
40	13,7	1799	17,89	11,3	11,4	98	430	3,17	9,7	17	0,93	7,9	3,5	40
45	15,3	1425	18,82	13,0	13,1	116	374	3,64	11,1	22	0,89	8,3	4,0	45
50	16,9	1144	19,62	14,8	14,7	134	281	3,57	12,7	24	0,85	8,6	4,5	50
55	18,4	930	20,32	16,7	16,2	151	214	3,47	14,4	26	0,81	8,7	4,9	55
60	19,9	765	20,92	18,7	17,7	168	165	3,35	16,1	27	0,77	8,8	5,2	60
65	21,2	636	21,44	20,7	19,2	184	128	3,22	17,9	28	0,73	8,7	5,5	65
70	22,5	535	21,89	22,8	20,5	199	101	3,08	19,7	28	0,69	8,6	5,7	70
75	23,7	455	22,29	25,0	21,8	214	80	2,94	21,6	28	0,65	8,4	5,9	75
80	24,8	391	22,63	27,2	23,1	227	64	2,80	23,5	28	0,61	8,2	6,0	80
85	25,9	338	22,94	29,4	24,2	240	52	2,66	25,5	28	0,57	8,0	6,1	85
90	26,9	296	23,21	31,6	25,3	252	43	2,51	27,4	27	0,54	7,7	6,2	90
95	27,8	261	23,44	33,8	26,4	263	35	2,38	29,4	27	0,51	7,4	6,3	95
100	28,7	232	23,65	36,1	27,4	273	29	2,24	31,3	26	0,47	7,0	6,4	100
105	29,6	207	23,84	38,3	28,3	282	24	2,11	33,3	25	0,45	6,7	6,4	105
110	30,3	187	24,01	40,5	29,1	291	20	1,99	35,2	24	0,42	6,4	6,4	110
115	31,1	169	24,15	42,6	29,9	299	17	1,87	37,1	23	0,39	6,0	6,4	115
120	31,8	155	24,29	44,7	30,6	306	15	1,76	38,9	22	0,37	5,7	6,4	120
125	32,4	142	24,41	46,8	31,3	313	13	1,65	40,7	21	0,34	5,4	6,3	125
130	33,0	131	24,51	48,8	32,0	319	11	1,54	42,5	20	0,32	5,1	6,3	130
135	33,5	122	24,61	50,7	32,5	325	9	1,45	44,2	19	0,30	4,8	6,2	135
140	34,1	114	24,70	52,6	33,1	330	8	1,36	45,9	18	0,28	4,5	6,2	140
145	34,6	106	24,78	54,5	33,6	334	7	1,27	47,5	17	0,26	4,2	6,1	145
150	35,0	100	24,85	56,2	34,0	338	6	1,19	49,1	16	0,25	4,0	6,0	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

**Boniteit [ *Relative site class* ] III**

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
25	7,1	4553	11,50	5,7	5,3	31	1067	0,81	3,1	2	0,68	3,4	1,3	25
30	8,7	3550	13,45	6,9	6,8	45	1003	1,43	4,3	5	0,67	4,1	1,8	30
35	10,2	2779	14,92	8,3	8,2	60	771	1,83	5,5	7	0,65	4,7	2,1	35
40	11,7	2213	16,09	9,6	9,6	75	566	2,04	6,8	9	0,63	5,1	2,5	40
45	13,2	1892	17,68	10,9	11,0	93	321	2,25	9,4	12	0,79	6,4	2,9	45
50	14,6	1548	18,50	12,3	12,4	108	343	3,04	10,6	18	0,76	6,7	3,2	50
55	15,9	1281	19,22	13,8	13,7	123	267	2,98	11,9	19	0,72	6,9	3,6	55
60	17,2	1071	19,85	15,4	15,0	138	210	2,91	13,3	20	0,69	7,0	3,9	60
65	18,4	904	20,41	17,0	16,3	152	167	2,82	14,7	21	0,66	7,1	4,1	65
70	19,5	770	20,90	18,6	17,5	166	134	2,72	16,1	22	0,63	7,0	4,3	70
75	20,6	662	21,33	20,3	18,7	179	108	2,61	17,5	22	0,59	7,0	4,5	75
80	21,7	574	21,72	22,0	19,8	191	88	2,51	19,0	22	0,56	6,8	4,6	80
85	22,7	501	22,06	23,7	20,8	203	72	2,39	20,5	22	0,53	6,7	4,8	85
90	23,6	441	22,36	25,4	21,9	214	60	2,28	22,0	22	0,50	6,5	4,9	90
95	24,5	391	22,63	27,1	22,8	225	50	2,17	23,6	22	0,48	6,3	4,9	95
100	25,3	349	22,87	28,9	23,7	234	42	2,07	25,1	21	0,45	6,1	5,0	100
105	26,1	314	23,09	30,6	24,6	244	35	1,96	26,6	21	0,42	5,8	5,1	105
110	26,9	284	23,28	32,3	25,4	252	30	1,86	28,1	20	0,40	5,6	5,1	110
115	27,6	259	23,46	34,0	26,1	260	26	1,76	29,6	19	0,38	5,4	5,1	115
120	28,2	237	23,62	35,7	26,8	267	22	1,66	31,0	19	0,35	5,1	5,1	120
125	28,8	218	23,76	37,3	27,5	274	19	1,57	32,5	18	0,33	4,9	5,1	125
130	29,4	201	23,89	38,9	28,1	280	16	1,48	33,9	17	0,31	4,6	5,1	130
135	30,0	187	24,01	40,5	28,7	286	14	1,40	35,3	17	0,29	4,4	5,1	135
140	30,5	174	24,11	42,0	29,2	292	13	1,32	36,6	16	0,28	4,1	5,0	140
145	31,0	163	24,21	43,5	29,7	296	11	1,24	37,9	15	0,26	3,9	5,0	145
150	31,4	153	24,30	44,9	30,2	301	10	1,18	39,2	15	0,25	3,8	5,0	150
150	35,0	100	24,85	56,2	34,0	338	6	1,19	49,1	16	0,25	4,0	6,0	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

**Boniteit [ *Relative site class* ] IV**

<i>t</i>	BLIJVENDE OPSTAND [REMAINING STAND]						DUNNING [THINNINGS]				BIJGROEI [INCREMENT]			<i>t</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>V</i>	<i>N<sub>d</sub></i>	<i>G<sub>d</sub></i>	<i>d<sub>d</sub></i>	<i>V<sub>d</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>V</sub></i>	<i>Im<sub>V</sub></i>	
30	7,0	4460	11,43	5,7	5,3	31	894	0,70	3,2	2	0,55	2,8	1,1	30
35	8,3	3615	13,04	6,8	6,5	42	845	1,13	4,1	4	0,54	3,2	1,4	35
40	9,5	2939	14,31	7,9	7,6	54	676	1,41	5,1	5	0,53	3,6	1,6	40
45	10,7	2420	15,35	9,0	8,8	66	519	1,56	6,2	7	0,51	3,9	1,9	45
50	11,9	2022	16,23	10,1	10,0	78	398	1,65	7,3	8	0,52	4,2	2,1	50
55	13,1	1819	17,84	11,2	11,1	94	203	1,50	9,7	8	0,62	5,0	2,3	55
60	14,2	1551	18,49	12,3	12,2	106	268	2,39	10,7	14	0,60	5,2	2,6	60
65	15,2	1333	19,07	13,5	13,2	118	218	2,34	11,7	15	0,57	5,3	2,8	65
70	16,2	1154	19,59	14,7	14,3	130	179	2,28	12,7	15	0,55	5,4	3,0	70
75	17,2	1006	20,06	15,9	15,3	141	148	2,21	13,8	16	0,52	5,4	3,1	75
80	18,1	883	20,48	17,2	16,2	152	123	2,14	14,9	16	0,50	5,3	3,3	80
85	19,0	781	20,86	18,4	17,1	162	103	2,06	16,0	16	0,48	5,3	3,4	85
90	19,8	694	21,20	19,7	18,0	172	86	1,99	17,1	16	0,45	5,2	3,5	90
95	20,6	621	21,50	21,0	18,9	182	73	1,91	18,2	16	0,43	5,1	3,6	95
100	21,4	559	21,78	22,3	19,7	191	62	1,83	19,4	16	0,41	4,9	3,6	100
105	22,1	506	22,03	23,5	20,5	199	53	1,75	20,5	16	0,39	4,8	3,7	105
110	22,8	460	22,26	24,8	21,2	207	46	1,67	21,6	16	0,37	4,7	3,7	110
115	23,5	421	22,47	26,1	21,9	215	39	1,60	22,7	15	0,35	4,5	3,8	115
120	24,1	387	22,66	27,3	22,5	222	34	1,52	23,8	15	0,33	4,3	3,8	120
125	24,7	357	22,83	28,5	23,2	229	30	1,45	24,9	15	0,32	4,2	3,8	125
130	25,2	331	22,99	29,8	23,7	235	26	1,38	25,9	14	0,30	4,0	3,8	130
135	25,8	308	23,13	30,9	24,3	241	23	1,31	27,0	14	0,28	3,8	3,8	135
140	26,3	287	23,26	32,1	24,8	246	20	1,25	28,0	13	0,27	3,7	3,8	140
145	26,7	269	23,38	33,2	25,3	252	18	1,18	29,0	13	0,25	3,5	3,8	145
150	27,2	253	23,50	34,4	25,8	256	16	1,14	30,0	12	0,25	3,4	3,8	150
150	35,0	100	24,85	56,2	34,0	338	6	1,19	49,1	16	0,25	4,0	6,0	150

*Toelichting symbolen op pagina 22 / [Explanation of symbols on page 22]*

### BIJLAGE 3. Procedure voor groeivoorspelling en dunningsprognose.

De procedure start met de aanname  $S_0 = 41,6$ , met (i) wordt vervolgens de constante  $a_s$  berekend. Met (ii) en (iii) wordt vervolgens een nieuwe schatting voor  $S_0$  bepaald

$$\begin{aligned} b &= 1,333 \\ a_s &= -0,001140 + 0,0003761 \cdot S \end{aligned} \quad (i)$$

$$S_1 = \frac{h_{dom}}{\{1 - e^{-a_s \cdot t}\}^b} \quad (ii)$$

$$S_0(\text{nieuw}) = \frac{S_0(\text{oud}) + S_1}{2} \quad (iii)$$

Dit proces wordt iteratief herhaald, totdat het verschil van  $S_0$  (nieuw) en  $S_0$  (oud) kleiner is dan 0,001. De laatst berekende  $S_0$  is de  $S$ -waarde van de opstand. In onderstaand schema is de berekening van de grondvlakontwikkeling zonder dunning aangegeven ( $RGB = 2,768$ ).

leeftijd	$h_{dom}$ (form. 2)	$dh$	$dG$	$G$ zonder dunning
$t_0 = t$	$h_0$			$G_0 = G_v$
$t_1 = t + 5$	$h_1$	$dh_i = h_1 - h_0$	$dG_i = RGB \cdot dh_i$	$G_0 = G_v$
$t_2 = t + 10$	$h_2$	$dh_{ii} = h_2 - h_1$	$dG_{ii} = RGB \cdot dh_{ii}$	$G_2 = G_1 + dG_{ii}$

(iv)

Uit de opbrengsttabellen is het volgende verband tussen het grondvlak na dunning en de opperhoogte af te leiden.

$$G_{norm} = \begin{cases} \frac{(h_s - 1,3) \cdot RGB_j - G_s}{(h_s - 1,3)^2} \cdot h_*^2 + RGB_j \cdot h_* + G_s & \text{voor } h_* < 0 \\ (-,02024 + ,00027 \cdot S) \cdot h_*^2 + (,83577 - ,00686 \cdot S) \cdot h_* + 11,882 & \text{voor } h_* \geq 0 \end{cases} \quad (v)$$

met  $h_* = h_{dom} - h_s$  ( $h_s = 12$  en  $G_s = 17,53$ )

Nu worden met formule (v)  $G_{norm1}$  en  $G_{norm2}$  berekend. In plaats van een boniteitafhankelijk normaal grondvlak kan ook met een gemiddeld normaal grondvlak worden gewerkt, door voor  $S$  de gemiddelde waarde  $S_0 = 41,6$  te kiezen (dat is de gemiddelde  $S$ -waarde van de proefperken). Dit geeft een maximale afwijking voor het normale grondvlak van  $0,5 \text{ m}^2/\text{ha}$  ten opzichte van de tabel-waarde. Voor het grondvlak voor en na dunning, alsmede van de dunning op tijdstip  $t_1$  volgt nu:

$$\begin{aligned} G_{vl} &= G_1 \\ G_{n1} &= \min\{G_1, G_{norm1}\} \\ G_{d1} &= G_1 - G_{n1} \end{aligned} \quad (vi)$$

Indien  $G_{d1} > 0$  volgt met de formules vii en viii,  $d_{n1}$  en  $N_{n1}$  berekend, en daaruit weer op de gebruikelijke wijze  $N_{d1}$ , en  $d_{d1}$ :

$$d_{nl} = \frac{c_{10} \cdot c_{11} + c_{12} \cdot a_{v1}}{a_{v1} - c_9 \cdot c_{11} \cdot d_{v1}} \cdot d_{v1}$$

$$\text{met } a_{v1} = \frac{10745,7}{\sqrt{N_{v1}}} \quad (\text{vii})$$

$$d_{v1} = 100 \times \sqrt{\frac{4 \times G_{v1}}{\pi \times N_{v1}}}$$

$$c_9 = 18,25 ; c_{10} = 48 \text{ en } c_{11} = 0,23$$

$$N_{nl} = \frac{G_{nl}}{\pi \cdot \left\{ \frac{d_{nl}}{200} \right\}^2} \quad (\text{viii})$$

$$N_{d1} = N_{v1} - N_{nl}$$

$$d_{d1} = 200 \cdot \sqrt{\frac{G_{d1}}{\pi \cdot N_{d1}}} \quad (\text{ix})$$

Voor tijdstip  $t_2$  volgt:

$$G_{v2} = G_2 - G_{d1}$$

$$G_{n2} = \min\{G_{v2}, G_{norm2}\} \quad (\text{x})$$

$$G_{d2} = G_{v2} - G_{n2}$$

Analoog aan de berekening in (vii), (viii) en (ix) volgen  $d_{n2}$ ,  $N_{n2}$ ,  $N_{d2}$  en  $d_{d2}$

Met formule 28 wordt nu het volume voor en na dunning berekend op de tijdstippen  $t_1$  en  $t_2$ , als volgt:

$$V_0 = f_{28}(h_0, G_0, t_0)$$

$$V_{v1} = f_{28}(h_1, G_{v1}, t_1)$$

$$V_{nl} = f_{28}(h_1, G_{nl}, t_1)$$

$$V_{d1} = V_{v1} - V_{nl} \quad (\text{xi})$$

$$V_{v2} = f_{28}(h_2, G_{v2}, t_2)$$

$$V_{n2} = f_{28}(h_2, G_{n2}, t_2)$$

$$V_{d2} = V_{v2} - V_{n2}$$

De dunningsprognose voor de komende 10 jaar is dus:

$$V_d(10) = V_{d1} + V_{d2} \quad (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ per } 10 \text{ jr}) \quad (\text{xii})$$

Voor de bijgroeioprognose voor de komende 10 jaar volgt:

$$I_{c_v}(10) = V_{v2} - V_0 + V_{d1} \quad (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ per } 10 \text{ jr}) \quad (\text{xiii})$$



## BIJLAGE 4. Proefperkgegevens Schoonloo, gemeten en gesimuleerd

### SCHOONLOO 5 (matige laagduinning) - opname gegevens

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>Itot<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	
35	16,44	1681	20,77	12,5	14,5	94	0,60	20,77	-	35
37	16,82	1350	21,01	14,1	15,5	331	2,00	23,61	1,42	37
41	19,24	1088	24,22	16,8	18,1	262	2,34	29,16	1,39	41
46	20,63	919	27,40	19,5	19,3	169	2,54	34,88	1,14	46
51	23,23	719	27,31	22,0	22,2	200	4,26	39,05	0,83	51
56	24,53	544	26,80	25,0	23,9	175	5,91	44,45	1,08	56
60	24,97	438	25,52	27,3	24,7	106	4,63	47,80	0,84	60
67	-	375	27,62	30,6	-	63	3,88	54,38	0,94	67

### SCHOONLOO 6 (sterke laagduinning) - opname gegevens

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>Itot<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	
35	16,03	1219	16,77	13,2	14,8	588	3,65	20,42	-	35
37	16,32	1063	18,03	14,7	15,6	156	1,25	22,93	1,26	37
41	18,74	863	20,91	17,5	17,6	200	2,79	28,60	1,42	41
46	19,99	725	24,44	20,7	19,4	138	2,22	34,35	1,15	46
51	22,58	581	24,07	23,0	22,1	144	4,85	38,83	0,90	51
56	24,53	425	23,19	26,4	24,1	156	5,35	43,30	0,89	56
60	28,35	306	20,60	29,3	29,4	119	5,41	46,02	0,68	60
67	-	281	24,30	33,2	-	25	1,81	51,63	0,80	67

### SCHOONLOO 5/6 - gemiddelde opname

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>Itot<sub>G</sub></i>	<i>Ic<sub>G</sub></i>	
35	16,24	1450	18,77	12,8	14,6	341	1,83	20,60	-	35
37	16,57	1206	19,52	14,4	15,5	244	1,92	23,27	1,34	37
41	18,99	976	22,57	17,2	17,8	230	2,56	28,88	1,40	41
46	20,31	822	25,92	20,0	19,3	154	2,89	34,62	1,15	46
51	23,06	650	25,69	22,4	22,1	172	4,05	38,94	0,86	51
56	24,53	484	25,00	25,6	24,0	166	5,63	43,88	0,99	56
60	26,66	372	23,06	28,1	27,0	112	4,97	46,91	0,76	60
67	-	328	25,96	31,7	-	44	3,70	53,01	0,87	67

**SCHOONLOO 5/6 - gemiddelde opname, herleid tot opname-interval van 5 jaar**

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>I<sub>totG</sub></i>	<i>I<sub>cG</sub></i>	
35	16,24	1450	18,77	12,8	14,6	341	1,83	20,60	-	35
40	18,39	1033	21,81	16,4	17,3	417	3,84	27,48	1,38	40
45	20,05	853	25,25	19,4	19,0	180	2,55	33,47	1,20	45
50	22,51	684	25,74	21,9	21,5	169	4,12	38,08	0,92	50
55	24,24	517	25,14	24,9	23,6	167	5,41	42,89	0,96	55
60	26,66	372	23,06	28,1	27,0	145	6,10	46,91	0,80	60
65	-	341	25,13	30,6	-	31	2,29	51,27	0,87	65

**SCHOONLOO 5/6, gegenereerd met opbrengstmodel**

(S-waarde = 47,77 m RGB = 2,768)

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>I<sub>totG</sub></i>	<i>I<sub>cG</sub></i>	
35	16,24	1362	18,99	13,3	13,8	510	5,16	24,16	1,29	35
40	18,45	1010	20,05	15,9	16,0	351	5,07	30,28	1,23	40
45	20,55	764	20,92	18,7	18,2	246	4,93	36,08	1,16	45
50	22,52	589	21,65	21,6	20,3	176	4,74	41,55	1,09	50
55	24,37	461	22,26	24,8	22,4	127	4,52	46,68	1,03	55
60	26,11	367	22,77	28,1	24,3	94	4,30	51,49	0,96	60
65	27,73	297	23,20	31,5	26,1	70	4,06	55,98	0,90	65

**SCHOONLOO 5/6, gegenereerd met OPTAB**

(S-waarde = 33,69 m, RGB = 2,541 en beginwaarden van het perk)

<i>T</i>	BLIJVENDE OPSTAND					DUNNING		BIJGROEI		<i>T</i>
	<i>h<sub>dom</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>d<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>N</i>	<i>G</i>	<i>I<sub>cG</sub></i>	<i>I<sub>cV</sub></i>	
35	16,2	1496	19,17	12,8	14,4	284	1,43	20,60	0,00	35
40	18,1	1086	20,62	15,5	13,6	409	2,84	24,89	0,86	40
45	19,8	815	21,77	18,4	15,9	271	2,69	28,73	0,77	45
50	21,3	629	22,70	21,4	18,1	186	2,53	32,19	0,69	50
55	22,6	498	23,45	24,5	20,2	130	2,35	35,29	0,62	55
60	23,8	404	24,07	27,5	22,2	94	2,16	38,06	0,55	60
65	24,9	335	24,57	30,5	24,1	69	1,97	40,54	0,49	65

**BIJLAGE 5. Groeiverwachting Stiboka/Dorschkamp-onderzoek (Oosterbaan et al., 1988), geïmplementeerd naar het nieuwe opbrengstmodel.**

OT	VL	VT	Zg	aantal perken met S-waarde:																groeiverwachting		
				36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	S	h <sub>100</sub>
1	1	2	3															1	50	39	11	
1	2	2	3															1	50	39	11	
1	2	3	3									2						1	50	39	11	
2	2	3	3									3						1	45,5	33,5	8,5	
1	3	2	3																45,5	33,5	8,5	
1	3	3	3						1		1	2	1	1	1		1	1	45,5	33,5	8,5	
1	2	4	3									1		2					45,5	33,5	8,5	
2	2	4	3				1					3	1	5			1	1	45,5	33,5	8,5	
1	3	4	3						1	3	2			2			1		42,5	30	7	
1	4	3	3			1													42,5	30	7	
1	4	4	3		1	1	1	1	1	2									38	25	5	
					slechte groei				normale groei				goede groei				zeer goede groei					