

# **Opstellen van tarieven voor Inlandse eik en Beuk in Vlaanderen ten behoeve van het berekenen van houtvolumes**

## **Deel 1: Literatuur, methode, gegevensverzameling**

**Beatrijs Van der Aa, David Van Roy, Pieter Verschelde, Paul Quataert**

**INBO.R.2011.17**



**Auteurs:**

Beatrijs Van der Aa, David Van Roy, Pieter Verschelde, Paul Quataert  
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

**Vestiging:**

INBO Geraardsbergen  
Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen  
[www.inbo.be](http://www.inbo.be)

**e-mail:**

[beatrijs.vanderaa@inbo.be](mailto:beatrijs.vanderaa@inbo.be)

**Wijze van citeren:**

Van der Aa B., Van Roy, D., Verschelde, P., Quataert, P. (2011). Opstellen van tarieven voor Inlandse eik en Beuk in Vlaanderen ten behoeve van het berekenen van houtvolumes. Deel 1: Literatuur, methode, gegevensverzameling. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2011 (rapportnr. bv. 17). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

**D/2011/3241/170**

**INBO.R.2011.17**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Jurgen Tack

**Druk:**

Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid.

**Foto cover:**

Detailmetingen aan liggende bomen

**Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:**

Agentschap voor Natuur en Bos, Koning Albert-II laan 20, 1000 Brussel. TWOL: 0L200000505 B&G/2001/BOA1



Agentschap voor  
**Natuur en Bos**

# **Opstellen van tarieven voor Inlandse eik en Beuk in Vlaanderen ten behoeve van het berekenen van houtvolumes**

Eindverslag 15/12/2001-15/06/2005

DEEL 1: Literatuur, methode, gegevensverzameling

**Beatrijs Van der Aa, David Van Roy, Pieter Verschelde, Paul Quataert.**

# Inhoud

|           |                                                               |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Inleiding .....</b>                                        | <b>6</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Doelstelling.....</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Literatuurstudie .....</b>                                 | <b>9</b>  |
| 3.1       | Definities .....                                              | 9         |
| 3.2       | Wat zijn tarieven? .....                                      | 9         |
| 3.3       | Overzicht bestaande tarieven .....                            | 10        |
| 3.4       | Methodiek opmaak tarieven .....                               | 14        |
| 3.4.1     | Het nemen van de steekproef.....                              | 14        |
| 3.4.1.1   | Keuze van de populaties: Representativiteit en precisie ..... | 16        |
| 3.4.1.2   | Selectie van de proefvlakken en aantal te meten bomen .....   | 16        |
| 3.4.1.3   | Boomselectie: dimensies van de te meten bomen .....           | 17        |
| 3.4.2     | Volumebepalingen .....                                        | 18        |
| 3.4.2.1   | Welk volume?.....                                             | 18        |
| 3.4.2.2   | Formules voor volumebepaling bij stammen en stamstukken ..... | 19        |
| 3.4.2.2.1 | Basisformules.....                                            | 19        |
| 3.4.2.2.2 | Sectiegewijze kubering .....                                  | 21        |
| 3.4.2.3   | Staand of liggend? .....                                      | 23        |
| 3.4.2.3.1 | Bepaling stamvolume van liggende bomen .....                  | 24        |
| 3.4.2.3.2 | Bepaling stamvolume van staande bomen .....                   | 24        |
| 3.4.2.4   | Kroonvolume.....                                              | 24        |
| 3.4.2.4.1 | Bepaling kroonvolume aan liggende bomen.....                  | 24        |
| 3.4.2.4.2 | Bepaling kroonvolume aan staande bomen .....                  | 25        |
| 3.4.2.5   | Variabiliteit stamvolume .....                                | 25        |
| 3.4.3     | Keuze van de te meten variabelen .....                        | 28        |
| 3.4.4     | Constructie van de tabel .....                                | 29        |
| 3.4.4.1   | Aantal en keuze van de ingangen.....                          | 29        |
| 3.4.4.2   | Model .....                                                   | 29        |
| 3.4.4.3   | Modelkeuze: testen.....                                       | 31        |
| 3.4.4.3.1 | Nauwkeurigheid.....                                           | 32        |
| 3.4.4.3.2 | Variantie van het tarief.....                                 | 32        |
| 3.4.4.3.3 | Tabulatie .....                                               | 33        |
| 3.4.4.3.4 | Grafische voorstellingen .....                                | 33        |
| 3.4.4.3.5 | Parameters op basis van de waarden van de residuen .....      | 33        |
| 3.4.4.3.6 | Parameters gebaseerd op het teken van de residuen.....        | 33        |
| 3.5       | Foutenbronnen .....                                           | 33        |
| 3.6       | Bestaande tarieven gebruiken of nieuwe maken? .....           | 34        |
| <b>4</b>  | <b>Methode.....</b>                                           | <b>35</b> |
| 4.1       | Gegevensverzameling .....                                     | 35        |
| 4.1.1     | Selectie proefvlakken .....                                   | 35        |
| 4.1.2     | Boomselectie.....                                             | 36        |
| 4.1.2.1   | Windval in Zoniënwoud (Beuk) .....                            | 36        |
| 4.1.3     | Gemeten variabelen .....                                      | 36        |
| 4.1.3.1   | Proefvlakgegevens .....                                       | 36        |
| 4.1.3.2   | Boomgegevens.....                                             | 37        |
| 4.1.4     | Berekende variabelen.....                                     | 38        |
| 4.1.4.1   | Volume.....                                                   | 38        |
| 4.2       | Gegevensopslag: de tarieven-databank .....                    | 38        |
| 4.2.1     | Structuur van de databank.....                                | 38        |
| 4.2.2     | Gegevensinvoer.....                                           | 40        |
| 4.3       | Kwaliteitscontrole .....                                      | 40        |

|          |                                                                                         |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1    | Principe .....                                                                          | 40        |
| 4.3.2    | Werken met protocols en formulieren .....                                               | 40        |
| 4.3.2.1  | Protocols .....                                                                         | 40        |
| 4.3.2.2  | Opname- en invoer formulieren .....                                                     | 41        |
| 4.3.3    | Controle van de meetmethode .....                                                       | 41        |
| 4.3.3.1  | Variatie tussen uitvoerders .....                                                       | 41        |
| 4.3.3.2  | Hoogtemeting versus lengtemeting.....                                                   | 43        |
| 4.3.3.3  | Conclusie.....                                                                          | 45        |
| 4.3.4    | Kubeermethode: formule van Newton versus formule van 'tronc de cône'.....               | 46        |
| 4.3.5    | Gegevensinvoer .....                                                                    | 47        |
| 4.4      | Gegevensverwerking.....                                                                 | 48        |
| 4.4.1    | Datacleaning.....                                                                       | 48        |
| 4.4.1.1  | Fouten en outliers .....                                                                | 48        |
| 4.4.1.2  | Vorken .....                                                                            | 50        |
| 4.4.2    | Dendrometrische studie: Bepaling van de variabiliteit van de gegevens en validatie..... | 52        |
| 4.4.3    | Regressie .....                                                                         | 53        |
| <b>5</b> | <b>Activiteiten en personeelsinzet .....</b>                                            | <b>54</b> |
| <b>6</b> | <b>Referenties.....</b>                                                                 | <b>55</b> |
|          | <b>Lijst van figuren.....</b>                                                           | <b>58</b> |
|          | <b>Lijst van tabellen .....</b>                                                         | <b>59</b> |

# 1 Inleiding

Dit rapport is het resultaat van een drie jaar durende studie die gefinancierd werd door de voormalige Afdeling Bos en Groen, nu Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) van de Vlaamse Overheid.

Aanzet was de nood aan Vlaamse tarieven die betrouwbare schattingen geven voor het volume van Inlandse eik en Beuk van grote afmetingen.

Momenteel worden door ANB bij het berekenen van houtvolumes immers voor de meeste boomsoorten (ook voor eik en beuk) de tarieven van Dagnelie et al. (1985) gebruikt. Dit zijn echter tarieven opgesteld voor Wallonië, maar worden gebruikt bij gebrek aan tarieven specifiek opgesteld voor Vlaanderen.

Daarenboven werden deze tarieven worden opgesteld voor een bepaald meetbereik. Buiten dit meetbereik zijn de afgeleide berekeningen minder betrouwbaar. Dit is het geval voor de zware eiken (omtrek > 200 cm) en beuken (omtrek > 250 cm), zoals deze onder andere voorkomen in de Vlaamse bosreservaten.

Rekening houdend met het feit dat

1. bomen, in overeenstemming met de beheervisie van Agentschap Natuur en Bos, oud moeten kunnen worden, waardoor er in de toekomst alsmaar meer zware exemplaren van Inlandse eik en Beuk zullen voorkomen;
2. in het kader van onder andere de certificering betrouwbare schattingen worden gevraagd van het houtvolume (levend en dood);
3. Inlandse eik en Beuk qua houtkwaliteit en -kwantiteit belangrijke boomsoorten zijn bij de houtverkoop.

is het noodzakelijk om te beschikken over Vlaamse tarieven die betrouwbare schattingen geven voor het volume van Eik en Beuk van grote afmetingen.

Deze tarieven kunnen niet alleen gebruikt worden door het Agentschap, maar ook door privé-boseigenaars, houtkoopmannen en andere bosbeheerders, onder meer bij de opmaak van beheerplannen en bij de houtverkoppen.

Dit rapport is opgebouwd uit vier delen:

- Deel 1: Literatuur, materiaal en methoden, kwaliteitscontrole
- Deel 2: Resultaten: dendrometrische studie Beuk en Eik
- Deel 3: Modelconstructie en resulterende tabellen
- Deel 4: Brochure voor de beheerder: conclusies van elk relevant hoofdstuk + tarieven
- Deel 5: Bijlagen

Deel 1 bevat in eerste instantie een vrij uitgebreide literatuurstudie met een overzicht en een bespreking van bestaande tarieven. Hierbij werd o.a. gekeken naar de gebruikte volumebepalingen, het aantal proefvlakken en bomen, de wijze waarop ze geselecteerd werden en de gebruikte regressiemodellen.

Vervolgens worden de in deze studie gebruikte methodes beschreven, met aandacht voor de gegevensverzameling, -opslag, -verwerking en aansluitende kwaliteitscontrole

Deel 2 bevat een dendrometrische studie van Beuk en Inlandse eik. Enerzijds werd de populatie Beuk en Eik uit de eerste bosinventarisatie gekarakteriseerd; vervolgens werd in een analyse van de tarievensteekproef nagegaan of het onderzochte staal representatief was voor de populatie. Tevens werd nagegaan welke factoren een effect hebben op de vorm en het volume van de bomen.

Deel 3 bevat de modelconstructie, -evaluatie en -validatie en de eigenlijke volumetabellen.

Deel 4 is een samenvatting voor de beheerder, met daarin de conclusies van de voorgaande hoofdstukken, de tarieven en aanbevelingen voor het gebruik.

Een laatste deel bevat bijlagen met achterliggende informatie en documentatie.

De ervaren gebruiker kan volstaan met deel 3 'Modelconstructie en resulterende tabellen'. Voor de leek en als gebruikstool voor ervaren gebruikers is deel 4 in brochurevorm geschreven. Voor studenten en geïnteresseerden in de wetenschappelijke aspecten van volumetabellen in het algemeen en van de gepresenteerde tabellen in het bijzonder, zijn de delen 1 en 2 geschreven.

## 2 Doelstelling

Het doel van deze studie was het opstellen van tarieven voor Inlandse eik en Beuk in Vlaanderen, met nadruk op grote afmetingen. De opgestelde tarieven moesten daarenboven bruikbaar zijn voor heel Vlaanderen.

Er dienden tarieven opgemaakt te worden met één ingang, dus enkel op basis van de omtrek op 1,5m hoogte, en daarnaast ook tarieven met twee ingangen, op basis van omtrek en totale boomhoogte.

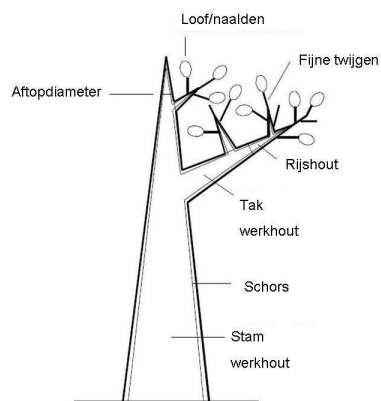
Aangezien dendrometrische gegevens steeds gerelateerd zijn aan standplaatsgeschiktheid, moest het project daarenboven zo geconcipeerd worden, dat maximale valorisatie van de gegevens mogelijk is voor zowel het standplaats-, productiviteits- als vitaliteitsonderzoek.

## 3 Literatuurstudie

### 3.1 Definities

Bij het begin van een dendrometrische studie is het altijd goed om de gebruikte grootheden te definiëren. In het bijzonder de volumes waarmee gewerkt wordt.

DBH: diameter op borsthoogte. Internationaal ligt deze hoogte op 1,30m. Traditioneel wordt in België op 1,5m gemeten. In België wordt meestal ook met omtrekken gewerkt, en minder met diameters.



Figuur 3-1: Weergave van verschillende volumes

**Stam- of spilhoutvolume:** Het zogenaamde spilhoutvolume is het volume van de stam tot aan de uiterste top, zónder het volume van de takken.

**Takhoutvolume:** het takhoutvolume is het houtvolume dat in alle zijtakken zit.

**Werkhoutvolume:** Bij de oogst laat men echter het topje van de boom achter. Het volume van de afgetopte stam + het volume van de dikke takken noemt men het werkhoutvolume.

De diameter waarbij die aftopping gebeurt, ook aftopdiameter genoemd, is afhankelijk van lokale gebruiken en van de toepassingen voor het hout. Dat maakt vergelijkingen van werkhoutvolumes héél moeilijk. Daarom wordt heel vaak gewerkt met een strikte definitie van de aftopdiameter op 7cm (of omtrek van 22cm). De hoogte waarop deze aftopping gebeurt wordt dan weer afkorthoogte genoemd.

Het stamwerkhoutvolume is alleen het werkhout van de stam, en niet het volume van de takken die dikker zijn dan 7cm.

**Totaal boomvolume:** dit is de totale bovengrondse massa van een boom, dat wil zeggen het werkhout plus het takhout.

### 3.2 Wat zijn tarieven?

Wanneer een bosbouwer spreekt over 'tarieven', dan wordt meestal een tabel bedoeld waaruit houtvolumes worden afgelezen in functie van de omtrek of diameter en eventueel de boomhoogte of andere variabelen. Het doel van tarieven is het schatten van het houtvolume van staande bomen aan de hand van een beperkt aantal metingen, die accuraat, gemakkelijk en goedkoop worden verkregen.

Volumetabellen worden onder andere gebruikt bij de bosbeheerplanning die steunt op een of andere vorm van inventarisatie, en bij de commercialisering van houtproducten. Voor deze activiteiten is het belangrijk dat men het houtvolume van een boom of bos kan schatten.

Daarnaast worden tarieven dikwijls gebruikt in het wetenschappelijk onderzoek. Onder meer bij biomassabepalingen, productiviteitsstudies en allerhande daaruit voortvloeiende studies zoals de bepaling van de CO<sub>2</sub>-vastlegging.

Het principe van een tarief berust op de stelling dat bomen van dezelfde soort, op dezelfde standplaats, in een homogene regio qua klimaat en bodem, én die dezelfde behandeling ondergingen, een zelfde volume hebben bij gelijke diameter en hoogte.

Tarieven zijn met andere woorden een uitdrukking van de statistische relatie die bestaat tussen het volume van een boom enerzijds, en enkele onafhankelijke veranderlijke(n) anderzijds. Deze onafhankelijke veranderlijken worden ingangsvariabelen of kortweg 'ingangen' genoemd. De meest gebruikte ingangsvariabelen zijn diameter op borsthoogte en boomhoogte. In wezen geeft dergelijk tarief, voor een bepaalde boom in een bepaalde populatie, het gemiddelde volume van de bomen met dezelfde diameter en hoogte binnen deze populatie.

Er moet toch benadrukt worden, dat het werken met tarieven steeds een schatting is, en geen meting omdat het slechts gaat over gemiddelde waarden van bomen van bepaalde afmetingen, waarbij het staal niet altijd optimaal genomen werd en waar ook nog grote variatie zit op deze resultaten.

De indeling van de gangbare types volumetabellen is doorgaans gebaseerd op hun 'ingangen', meer bepaald de aard en het aantal ingangen dat gebruikt wordt om het volume te bepalen (De Wulf, 1999):

- Tarief met één ingang:  $v=f(d)$ . Het gebruik van tarieven met één ingang is beperkt, en in de praktijk geldig voor welbepaalde boomsoorten in één beheerseenheid. In de tropen is dit type tarief wel veel gebruikt, vanwege de fysische beperkingen om de boomhoogte exact vast te stellen.
- Gegradueerd tarief met één ingang: hierbij is naast de individuele boomparameter (zoals diameter), een tweede parameter gebruikt die in relatie staat tot de populatie. Voorbeelden hiervan zijn de dominante hoogte (h<sub>dom</sub>) of de bestandsleeftijd. Gebruik van dit type tarief levert geen erg precieze resultaten op;
- Tarief met twee ingangen:  $v=f(d, h)$ . Meestal is de tweede ingang de boomhoogte. Dit type tarief levert precieze resultaten op, maar blijft sterk afhankelijk van de vormfactor;
- Tarief met meer ingangen:  $v=f(d, d_i, h)$ . De bijkomende parameter is bijvoorbeeld  $d_i$ , een diameter op een vooraf bepaalde hoogte  $i$ . Vanuit praktisch standpunt zijn dergelijke tarieven omslachtig, maar voor individuele volumebepaling van bomen zijn ze wél nuttig.

### 3.3 Overzicht bestaande tarieven

Via een literatuurstudie werden een aantal tarieven uit de ons omringende landen opgespoord. Een overzicht van de belangrijkste tarieven met hun karakteristieken wordt gegeven in Tabel 1.

Naast de tarieven die in Tabel 1 zijn opgenomen, bestaan er heel wat lokale tarieven. Dit zijn tabellen met beperkte geldigheid omdat ze meestal zijn opgesteld voor één welbepaald bos. Zulke tarieven werden vaak opgesteld door boswachters of houtexploitanten en kwamen doorgaans tot stand uit jaren praktijkervaring. Dergelijke tarieven vindt men echter niet terug in de officiële publicaties.

Tabel 1: Overzicht bestaande tarieven (de tarieven voor Eik en Beuk zijn grijs gemarkeerd)

| Boomsoort(en)                           | Nederlandse naam    | Land*   | Streek                 | Auteur(s)/dienst               | Jaar | Bron                                                                                           |
|-----------------------------------------|---------------------|---------|------------------------|--------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abies alba</b>                       | Zilverden           | deu/aut | Land                   | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Acer pseudoplatanus</b>              | Gewone esdoorn      | Bel     | Wallonië               | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Alnus</b>                            | Els                 | deu/aut | Niet vermeld           | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Alnus glutinosa</b>                  | Els                 | Bel     | Ten zuiden Samber-Maas | Thibaut; Rondeux; Claessens    | 1998 | Rev. For. Fr. 50-3                                                                             |
| <b>Betula</b>                           | Berk                | deu/aut | Niet vermeld           | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Betula pendula</b>                   | Ruwe berk           | Bel     | Wallonië               | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Cedrus atlantica</b>                 | Atlasceder          | Fra     | Land                   | Courbet                        | 1991 | Rev. For. Fr. 43-3                                                                             |
| <b>Fagus sylvatica</b>                  | Beuk                | deu/aut | Niet vermeld           | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Fagus sylvatica</b>                  | Zomer- en Wintereik | Roe     | Land                   | Nedialkov                      | 1963 | Tarifs de cubage, coefficients de forme et assortiments pour le chêne, le hêtre et le peuplier |
| <b>Fagus sylvatica</b>                  | Beuk                | Deu     | Niet vermeld           | Kennel                         | 1969 | Formzahl- und Volumentafeln für Buche und Fichte                                               |
| <b>Fagus sylvatica</b>                  | Beuk                | Fra     | Land                   | Bouchon                        | 1982 | Rev. For. Fr. 34-3                                                                             |
| <b>Fagus sylvatica</b>                  | Beuk                | Bel     | Wallonië               | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Fraxinus excelsior</b>               | Es                  | Bel     | Wallonië               | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Larix</b>                            | Lork                | Bel     | Ten zuiden Samber-Maas | Pauwels; Rondeux               | 1999 | Rev. For. Fr. 51-5                                                                             |
| <b>Larix decidua</b>                    | Eur. Lork           | deu/aut | Land                   | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Larix decidua &amp; L. kaempferi</b> | Eur. & Jap. lork    | Bel     | Wallonië               | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Larix kaempferi</b>                  | Jap. Lork           | deu/aut | Land                   | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Picea abies</b>                      | Fijnspar            | deu/aut | Land                   | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |

|                                      |                     |         |                              |                                |      |                                                                                                |
|--------------------------------------|---------------------|---------|------------------------------|--------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Picea abies</b>                   | Fijnspar            | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Pinus banksiana</b>               |                     |         | Prégant; Savard; Désaulniers |                                |      |                                                                                                |
| <b>Pinus nigra</b>                   | Cors. den           | deu/aut | Land                         | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Pinus nigra</b>                   | Cors. Den           | Bel     | Kempen                       | Berben; Baeyens; Palm          | NV   | Dendrometrische studie van de Cors. den                                                        |
| <b>Pinus sylvestris</b>              | Grove den           | deu/aut | Land                         | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Pinus sylvestris</b>              | Grove den           | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Prunus avium</b>                  | Zoete kers          | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Pseudotsuga menziesii</b>         | Douglasspar         | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Quercus</b>                       | Eik                 | deu/aut | Niet vermeld                 | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Quercus robur</b>                 | Zomereik            | Bel     | Kempen                       | Dufrane; Van de Genachte       | 1997 | Kubeertabel met 2 ingangen: Zomereik.                                                          |
| <b>Quercus robur en Q. petraea</b>   | Zomer- en Wintereik | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Quercus robur/petraea</b>         | Zomer- en Wintereik | Roe     | Land                         | Nedialkov                      | 1963 | Tarifs de cubage, coefficients de forme et assortiments pour le chêne, le hêtre et le peuplier |
| <b>Quercus rubra</b>                 | Am. Eik             | deu/aut | Niet vermeld                 | Grundner; Schwappach           | 1952 | Massentafeln. Grundner – Schwappach                                                            |
| <b>Quercus rubra</b>                 | Am. eik             | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |
| <b>Ulmus campestris en U. glabra</b> | Iepen               | Bel     | Wallonië                     | Dagnelie; Palm; Rondeux; Thill | 1985 | Tables de cubage des arbres et des peuplement forestiers                                       |

\* Landcodes:

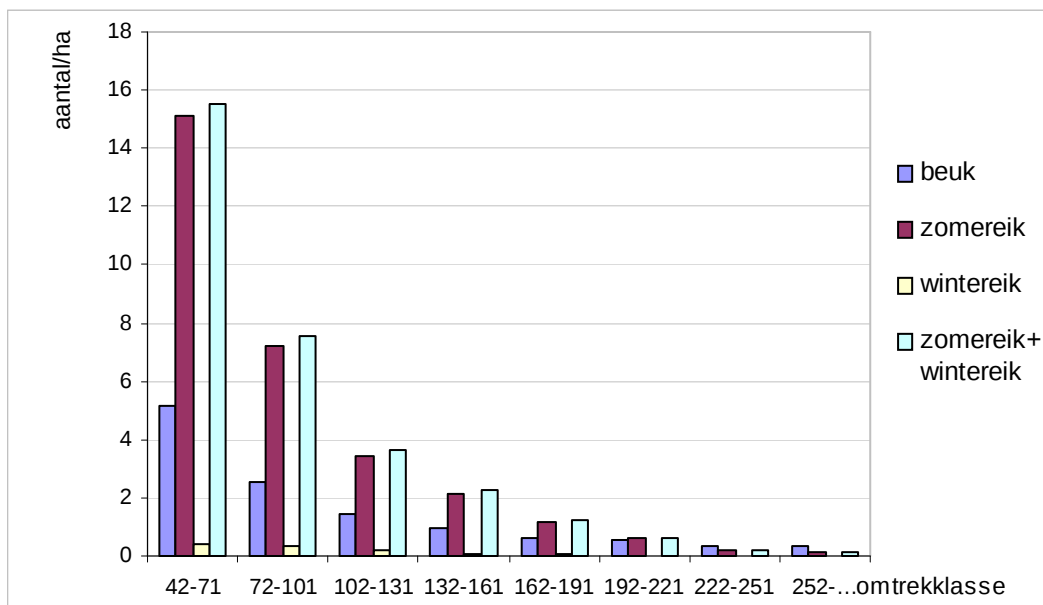
Bel = België; deu/aut = Duitsland/Oostenrijk; fra= Frankrijk; NV= Niet vermeld

Roe: Roemenië

Wat bij het bekijken van bovenstaande tabel meteen opvalt, is het geringe aantal auteurs. Slechts een beperkt aantal mensen hebben de tarieven voor de verschillende boomsoorten opgesteld en hebben hierover internationaal gerapporteerd.

Daarenboven blijken er voor Eik en Beuk slechts weinig tarieven voorhanden te zijn. Dit is enigszins vreemd als men bedenkt welk het economisch belang van deze houtsoorten in onze streken is.

Voor (Zuid-)België werden de meeste tarieven opgesteld door Dagnelie en medewerkers. De tarieven die Dagnelie voor Eik en Beuk in België opstelde, zijn slechts geldig voor een meetbereik tot een diameter van 95 cm. [Figuur 3-2](#) geeft de gemiddelde aanwezigheid van Eik en Beuk in de bossen van Vlaanderen weer. Hieruit blijkt dat een groot aantal van de bij ons voorkomende eiken en beuken een diameter heeft groter dan 95 cm (omtrek > 300 cm). Door het volgen van de beheervisie van het Agentschap Natuur en Bos, zal dit aandeel nog stijgen en is er dus duidelijk nood aan tarieven met een groter meetbereik.



Figuur 3-2: stamtaalverdeling (gemiddeld aantal/ha bos in Vlaanderen) voor Beuk, Zomer- en Wintereik in Vlaanderen (gegevens Vlaamse bosinventarisatie 1997-1999, Bos en Groen)

Ook qua hoogtebereik schieten de tarieven van Dagnelie vaak tekort voor toepassing in Vlaanderen. Het tarief voor Beuk bijvoorbeeld gaat tot een hoogte van 43 m; in het Zoniënwood zijn de beuken vaak hoger. De hoogste beuk daar gemeten had een lengte van 52m.

Het tarief van Bouchon (1982) voor Beuk in Frankrijk daarentegen gaat zowel qua hoogte als qua omtrek verder dan die van Dagnelie. Daarom wordt in sommige toepassingen dit tarief verkozen, zo bv. bij de kuberingen in het kader van het bosreservatenonderzoek in het Zoniënwood.

### 3.4 Methodiek opmaak tarieven

De opmaak van volumetabellen is op te delen in drie stappen (Philip, 1994):

1. Het meten van het volume van geselecteerde bomen in een steekproef die representatief is voor de populatie;
2. Het vestigen van relaties tussen de gemeten variabelen en het boomvolume;
3. Keuze van het beste model en validatie van de opgestelde volumetabel.

In de volgende alinea's wordt een kort overzicht gegeven van de gebruikte technieken in de door ons onderzochte tarieven.

#### **3.4.1 Het nemen van de steekproef**

Het vastleggen van de steekproef in functie van het opstellen van een volumetabel is een relatief complexe zaak, en is verbonden met de beoogde objectieven en gewenste nauwkeurigheid (De Wulf, 1999).

De keuze van de steekproef wordt voornamelijk bepaald door volgende criteria:

- (1) de keuze van de populaties waaruit men de bomen selecteert
- (2) het aantal te meten bomen
- (3) dimensies van de te meten bomen

In Tabel 2 wordt samengevat hoe de steekproefname beschreven wordt voor de verschillende onderzochte tarieven.

Tabel 2: Steekproefopzet van verschillende kubeertabellen

| Auteur                            | Soort                            | #<br>proefvlakken | # bomen         | Max.<br>diameter (cm) | Max. hoogte<br>(m) |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Berben; Baeyens; Palm             | Pinus nigra                      | 35                | 941             | 40                    | 28                 |
| Bouchon                           | Fagus sylvatica                  | 10                | 1 066           | 130                   | 50                 |
| Courbet                           | Cedrus atlantica                 | 37                | 959             | 70                    | 40                 |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Acer<br>pseudoplatanus           | 28                | 419             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Betula pendula                   | 26                | 329             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Fagus sylvatica                  | 62                | 1 043           | 95                    | 42                 |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Fraxinus excelsior               | 15                | 534             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Larix decidua & L.<br>kaempferi  | 27                | 503             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Picea abies                      | 57                | 991             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Pinus sylvestris                 | 26                | 555             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Prunus avium                     | 22                | 334             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Pseudotsuga<br>menziesii         | 35                | 632             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Quercus robur en Q.<br>petraea   | 53                | 891             | -                     | -                  |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Quercus rubra                    | 18                | 290             | 95                    | 42                 |
| Dagnelie; Palm; Rondeux;<br>Thill | Ulmus campestris en<br>U. glabra | 14                | 276             | -                     | -                  |
| Dufrane; Van de Genachte          | Quercus robur                    | Niet vermeld      | Niet<br>vermeld | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Abies alba                       | Niet vermeld      | 5 450           | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Alnus                            | Niet vermeld      | 567             | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Betula                           | Niet vermeld      | 410             | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Fagus sylvatica                  | Niet vermeld      | 10 668          | 72                    | 39                 |
| Grundner; Schwappach              | Larix decidua                    | Niet vermeld      | 818             | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Larix kaempferi                  | Niet vermeld      | 771             | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Picea abies                      | Niet vermeld      | 22 680          | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Pinus nigra                      | Niet vermeld      | 6 378           | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Pinus sylvestris                 | Niet vermeld      | 17 059          | -                     | -                  |
| Grundner; Schwappach              | Quercus                          | Niet vermeld      | 6 069           | 100                   | 40                 |
| Grundner; Schwappach              | Quercus rubra                    | Niet vermeld      | 321             | -                     | -                  |
| Kennel                            | Fagus                            |                   |                 | 96                    | 42                 |
| Pauwels; Rondeux                  | Larix                            | 150               | Niet<br>vermeld | 45                    | 33                 |
| Prégant; Savard; Désaulniers      | Pinus banksiana                  | 227               | 404             | 33                    | 20                 |
| Thibaut; Rondeux; Claessens       | Alnus glutinosa                  | 29                | 210             | 54                    | 28                 |
| Nedialkov                         | Fagus sylvatica                  | Niet vermeld      | 2389            |                       |                    |
| Nedialkov                         | Quercus<br>robur/petraea         | Niet vermeld      | 4394            |                       |                    |

### **3.4.1.1 Keuze van de populaties: Representativiteit en precisie**

Zoals reeds aangehaald, geeft een tarief, voor een bepaalde boom in een bepaalde populatie, het gemiddeld volume van de bomen met dezelfde diameter en hoogte binnen deze populatie weer.

De steekproef, waarmee het tarief wordt opgesteld, moet dus representatief zijn voor de populatie waarin het tarief zal gebruikt worden. Het is duidelijk dat de precisie van het tarief in belangrijke mate zal afhangen van de grootte en de homogeniteit van deze populatie. Anderzijds moet ook het te kuberen lot representatief zijn voor de populatie waarvoor het tarief werd opgesteld (Chevrou, 1988).

Daarom is het belangrijk om vooraf de populatie waarbinnen men het tarief wenst te gebruiken zo precies mogelijk te definiëren. Deze definitie omvat normaal gezien (naar Philip, 1994): (1) de soort en eventueel de herkomst, (2) de geografische locatie, (3) de afmeting of leeftijd van de bomen (want extrapolatie van de resultaten buiten de bemonsterde populatie kan een belangrijke vertekening veroorzaken), en (4) de kwalitatieve kenmerken van de populatie (of er bijvoorbeeld randbomen, gevorkte exemplaren, bomen met beschadigde kronen, hellende bomen of abnormaal gegroeide bomen zijn opgenomen in de populatie).

De vorm van de individuen van een populatie wordt in belangrijke mate bepaald door de standplaatskarakteristieken. Het is dan ook belangrijk om bijvoorbeeld de fytogeografische en de bodemeigenschappen te betrekken in de definitie van de populatie.

Als om één of andere reden een gedeelte van de populatie niet kan bemonsterd worden, dan moet dit beklemtoond worden in het resulterende rapport (Philip, 1994).

Over de keuze van de populaties vinden we in de literatuur over de bestaande tarieven niet veel terug (zie Tabel 2).

### **3.4.1.2 Selectie van de proefvlakken en aantal te meten bomen**

Bij de proefvlakselectie wordt gestreefd naar een verdeling van de proefvlakken die zowel geografisch als qua boomafmetingen representatief is. Het aantal bomen dat in de literatuur vermeld wordt als noodzakelijk voor het bekomen van een representatief staal, is zeer variabel.

In praktijk weet men niet welke de populatie is en beschikt men ook niet over een grote keuze aan bomen. Vaak gebeurt de opmaak van tarieven aan de hand van huidige kappingen om het volume van de toekomstige kappingen te schatten. In dat geval is het erg moeilijk om na te gaan of het staal representatief is. Men moet echter als werkhypothese aan houden dat dat zo is. Wel is het zo dat bosbouwkundige methodes wijzigen, en met hen de structuur van de kappingen en de eigenschappen van de houtproducten. (Chevrou, 1988).

Het tarief is meestal opgemaakt aan de hand van bomen op één perceel/in één lot, omdat het nu eenmaal veel eenvoudiger is om 10 naburige bomen uit hetzelfde lot te bemonsteren dan 10 bomen at random te bemonsteren.

Problemen die hierbij kunnen optreden zijn:

- de kans dat een bepaald lot getrokken wordt, kan verschillen;
- bomen van eenzelfde lot kunnen gelijkaardige vormen hebben, maar ook juist verschillend. Er kan dus een correlatie bestaan tussen de volumes van eenzelfde lot. Meestal wordt deze correlatie genegeerd bij de verdere berekeningen

In praktijk negeert men vaak factoren waarvan men het belang niet kent, waarvan het theoretisch mogelijk was om ze wel in rekening te brengen. Zelfs als de volumes geen afwijking vertonen, is het best denkbaar dat de varianties sterk afwijkend zijn zodat de variantie voor de populatie sterk onderschat wordt.

Rondeux (1973) geeft aan dat een minimum van 200 bomen noodzakelijk is. Indien het tarief slechts betrekking dient te hebben op een relatief klein gebied, met homogene

standplaatskarakteristieken, zou een steekproefgrootte van 30 à 100 bomen voldoende zijn (Loetsch et al., 1973; Rondeux, 1973).

Uit een literatuurstudie die Rondeux (1993) en Bouchon (1974) uitvoerden voor een vijftiental landen en die 70 tarieven omvat, blijkt de gemiddelde steekproefgrootte als volgt:

- bestand: 30 à 100 bomen (30-50 bij Bouchon)
- bos: 400 bomen
- regio: 1000 bomen (800 bij Bouchon)
- land: 2000 bomen
- totaal verspreidingsgebied: 3000 bomen

Wat precies wordt verstaan onder populatie, bos, regio of land is niet steeds duidelijk. Deze begrippen kunnen verschillend geïnterpreteerd worden naargelang de auteur.

Of dit aantal bomen ook voldoende was, kan pas nagegaan worden wanneer ook de precisie van de tarieven wordt meegedeeld, iets wat slechts uitzonderlijk gebeurt (Bouchon, 1974). Chevrou (1967) stelt dat het aantal bemonsterde bomen afhangt van 2 factoren: de gewenste nauwkeurigheid en het beschikbare budget. Voor een bepaald budget, kan men immers slechts een bepaalde nauwkeurigheid bereiken.

Voor de verschillende onderzochte tarieven werd het aantal proefvlakken, het aantal bemonsterde bomen en het meetbereik nagegaan. De proefvlakselectie wordt meestal niet vermeld in de literatuur: we vinden er vaak noch het aantal proefvlakken terug, noch op welke basis ze geselecteerd werden. Van o.a. Dagnelie, Bouchon en Courbet zijn er echter wel gegevens.

De proefvlakken van Dagnelie werden zo homogeen mogelijk, zowel op bodemkundig als op botanisch gebied, gekozen. Ze werden geselecteerd in de diverse geografische streken van Zuid-België.

Bouchon selecteerde zijn proefvlakken in 10 bossen, verspreid over heel Frankrijk. Courbet selecteerde zijn proefvlakken in zuiver homogene gelijkjarige bestanden.

De meeste tarieven werden opgemaakt voor gelijkjarige en homogene bestanden.

### **3.4.1.3 Boomselectie: dimensies van de te meten bomen**

Het doel van de bemonstering is om op een objectieve manier bomen te selecteren waarop de basisvariabelen gemeten kunnen worden. Er moet gewerkt worden met een gestandaardiseerde selectie van de steekprofeenheden in alle diameterklassen, zodat ook ongewoon kleine of grote exemplaren vertegenwoordigd zijn in de steekproef (Philip, 1994).

Omdat een uniforme verdeling van de steekprofeenheden over de verschillende diameterklassen statistisch gezien de beste resultaten geeft, moet er gestreefd worden naar een gelijk aantal bemonsterde bomen per diameterklasse (Rondeux, 1993). Omwille van de grote variabiliteit van de metingen aan het uiteinde van het meetbereik is het aangewezen om ook voldoende metingen te hebben in de zwaardere diameterklassen.

Palm & Rondeux (1976) testten met verschillende precisiecriteria het effect van aantal en verdeling van de bomen op de modelparameters. Ze vonden dat de verdeling van de bomen per volumecategorie nauwelijks een invloed heeft op de significantie van de geteste modellen. Een uniforme verdeling zou kunnen dienen als leidraad omdat deze de ondervertegenwoordiging van de kleinste en grootste afmetingen compenseert. In de werkelijkheid zweeft men meestal ergens rond het compromis tussen representativiteit van de bestanden en de uniforme verdeling.

De invloed van het type distributie of het aantal individuen merkt men vaak op niveau van de kleine stammen. Het zal dus moeilijker zijn om voor de kleine afmetingen voldoende betrouwbare uitspraken te doen. Men kan zich echter wel afvragen of het, zeker voor een

beheersinventaris, de moeite is om de inspanningen te leveren om een groter aantal te meten, temeer daar de variabiliteit van hun volume eerder zwak is (Bouchon, 1974).

Naast afmeting zijn ook de kwalitatieve karakteristieken van de bomen belangrijk. Niet enkel normaal gevormde bomen moeten vertegenwoordigd zijn in de staalname. Ook bomen met afwijkende vormen moeten opgenomen worden. Het gaat dan om randbomen van een bos of gevorkte exemplaren, hellende bomen, bomen met beschadigde kroon of misvormde exemplaren.

De bestaande tarieven werden meestal opgesteld aan de hand van bomen afkomstig uit dunningen en kaalkappen, of uit kappingen speciaal uitgevoerd voor de constructie van een volumetabel. Zelden werden bomen op stam gemeten. Dit is nochtans ook mogelijk door gebruik van speciale instrumenten zoals bijvoorbeeld de telerelascoop van Bitterlich.

Dunningsbomen zijn doorgaans echter geen ideale bomen. Zulke bomen worden meestal uit het bestand gehaald omdat ze weinig vitaal of klein zijn, of omwille van een kromme of misvormde stam. Algemeen kan men zeggen dat eerst de speciale gevallen eruit worden gehaald om de kwaliteit van het eindbestand te verbeteren. Het is duidelijk dat het gebruik van enkel dit soort bomen geen gemiddeld beeld geeft van het volume van een boom binnen de populatie. Het werken met gedunde bomen heeft daarom als nadeel dat een representatief bereik moeilijker haalbaar is.

Dit is wel mogelijk bij het meten van staande bomen met de telerelascoop van Bitterlich, waar men een representatieve verzameling bomen kan selecteren.

### **3.4.2 Volumebepalingen**

De werkelijke boomvorm is per definitie onregelmatig en kan grofweg ingedeeld worden in twee delen: (1) de boomstam, dit is het gedeelte vanaf de bodem tot aan de kroonaanzet, en (2) de kroon die in het geval van loofbomen een vertakte massa vormt. De werkelijke vorm van deze twee delen kan niet uitgedrukt worden door een analytische formule, zodat het indirect bepalen van het boomvolume *sensu stricto* neerkomt op een schatting.

In de literatuur zijn tal van methoden beschreven voor het schatten van het boomvolume. De gekozen methode hangt in hoofdzaak af van de beoogde nauwkeurigheid, het aantal en snelheid van de voorziene metingen, en de moeilijkheidsgraad van de berekeningen.

Afhankelijk van de context kan men de term bovengronds volume op verschillende manieren interpreteren. Om misverstanden te vermijden is het essentieel deze term zo exact en ondubbelzinnig mogelijk te definiëren.

#### **3.4.2.1 Welk volume?**

Bij heel veel oude tarieven werd niet gedefinieerd over welk volume het gaat: werkhout, commercieel volume, totaal volume,... maar heel vaak komt het overeen met het volume werkhout. Hierbij wordt vaak een aftopdiameter van 7 cm (omtrek 22 cm) genomen.

Rondeux (1975) spreekt over het concept van werkhoutvolume: werkhoutvolume is een soepel begrip dat afhangt van o.a. de soort, de eigenaar, exploitant of gebruiker. Die afkorting hangt meestal af van de aard, de vorm en de behandeling van de bomen. Vanuit bosbouwkundig standpunt beantwoordt werkhout niet altijd aan strikte regels: het staat vaak in functie van een lokaal gebruik of traditie.

In afwezigheid van een algemene norm, kan de afkorting dus vrij gekozen worden in functie van een zeker weldenkendheid die te verantwoorden is omdat loofhout zelden een regelmatige vorm heeft. Maar deze werkwijze heeft toch ook ernstige nadelen:

- de commercialisatie van houtproducten gebeurt ietwat arbitrair, vermits er niet noodzakelijk overeenstemming bestaat tussen het volume dat door de bosbeheerder wordt vastgelegd en het volume dat door de exploitant wordt beschouwd.

- Onmogelijkheid om op een objectieve manier het werkhoutvolume af te leiden uit de bosintenvaris.

Om aan deze nadelen te ontkomen zou men kunnen werken met strikte definities van werkhoutvolume zoals: het volume van de stam tot op een afkorting van 22cm omtrek. Men kan werken met het totaal volume van de stam, ofwel met een definitie in functie van vooraf gedefinieerde afkortingsdiameters die overeenkomen met een bepaald gebruik.

Zoals door Delevoy (1936) gesuggereerd zou werkhoutvolume het volume kunnen zijn dat overeenkomt met een afkorting op 50% van de omtrek op borsthoogte. Dit volume zou dan iets hoger liggen dan het verkoopbaar volume in de meeste streken. Het voordeel zou wel zijn dat alle tariefgegevens vergelijkbaar zouden zijn, vermits ze op dezelfde manier tot stand kwamen.

Wanneer men het werkhoutvolume volgens Delevoy bepaalt, dan is er bovendien een constante verhouding met het totaal volume, over de boomsoorten heen: werkhoutvolume is steeds 93% van het totale stamvolume. Het werkhoutvolume bepaald door de verkoop varieert veel sterker.

Het voordeel van het werkhoutvolume volgens Delevoy is dat het werkhoutvolume op een eenduidige manier bepaald wordt en vergelijkbaar wordt voor verschillende gebieden. Bovendien vertoont het een constante samenhang met het totaalvolume, en dit voor uiteenlopende groeiomstandigheden.

Rondeux (1975) stelt bovendien vast dat, indien men het concept van Delevoy accepteert als werkhoutvolume, de voorraad werkhout tijdens inventarissen geschat kan worden met behulp van toestellen die werken volgens het principe van de Relascope van Bitterlich.

In praktijk werd het concept van Delevoy zelden toegepast.

### 3.4.2.2 Formules voor volumebepaling bij stammen en stamstukken

Elk van deze formules werd ontwikkeld voor verschillende theoretische stamvormen.

#### 3.4.2.2.1 Basisformules

Met specifieke formules kan men op vrij eenvoudige (en vooral snellere) wijze het volume van een boomstam of een stamstuk schatten. Deze formules zijn gebaseerd op een beperkt aantal metingen:

- één diametermeting: formule van HUBER
- twee diametermetingen: formule van de 'tronc de cône' en de formule van SMALIAN
- drie diametermetingen: formule van NEWTON

De bekendste **formule** is die **van Huber**:

$$V = \left( \frac{\pi \times d_m^2 \times h}{4} \right) \quad \text{of} \quad V = \frac{c_m^2 \times h}{4 \times \pi}$$

Met  $d_m$  = de diameter op halve hoogte  
 $c_m$  = de omtrek op halve hoogte  
 $h$  = boomhoogte

In deze formule wordt de boom aanzien als een cilinder met hoogte gelijk aan de stamlengte, en een basis gebaseerd op de diameter op halve hoogte.

Heeft de formule van Huber voordelen qua snelle meting der variabelen en berekening van het volume, dan is het duidelijk dat, voor zover de stam afwijkt van de cilinder, er aanzienlijke fouten kunnen optreden (De Wulf, 1999).

Bij de **formule van Smalian** wordt uitgegaan van een parabolische stamvorm:

$$V = \left( \frac{\pi \times h}{8} \right) \times (d_1^2 + d_2^2) \quad \text{of} \quad V = \left( \frac{h}{8 \times \pi} \right) \times (c_1^2 + c_2^2)$$

Met  $d_1$  en  $d_2$  resp. de diameters aan de uiteinden van de stam  
 $c_1$  en  $c_2$  resp. de omtrekken aan de uiteinden van de stam

In de **formule van de 'tronc de cône'** wordt het volume van de stam benaderd als het volume van een afgeknotte kegel:

$$V = \frac{\pi \times h}{12} \times (d_1^2 + d_2^2 + d_1 d_2) \quad \text{of} \quad V = \frac{h}{12 \times \pi} \times (c_1^2 + c_2^2 + c_1 c_2)$$

waarin  $d_1$  en  $d_2$  resp. de diameters aan de uiteinden van de stam  
 $c_1$  en  $c_2$  resp. de omtrekken aan de uiteinden van de stam

De **formule van Newton** is geldig voor alle mogelijke theoretische stamvormen en is gebaseerd op drie diametermetingen:

$$V = \frac{\pi \times h}{24} \times (d_b^2 + 4 \times d_m^2 + d_e^2) \quad \text{of} \quad V = \frac{h}{24 \times \pi} \times (c_b^2 + 4 \times c_m^2 + c_e^2)$$

waarin  $d_b$ ,  $d_m$  en  $d_e$  resp. de diameters aan het begin, midden en einde van de stam  
 $c_b$ ,  $c_m$  en  $c_e$  resp. de omtrekken aan het begin, midden en einde van de stam

In Tabel 3 worden voor de hierboven vermelde kubeerformules indicaties gegeven omtrent de kwaliteit van de voorziene schattingen (Rondeux, 1993).

Tabel 3: Kwaliteit van de schattingen volgens de verschillende kubeerformules en voor de verschillende theoretische stammodellen (Rondeux, 1993)

| Formules        | HUBER      | SMALIAN   | Tronc de cône | NEWTON     |
|-----------------|------------|-----------|---------------|------------|
| Aantal metingen | 1          | 2         | 2             | 3          |
| Variabelen      | dm         | d1, d2    | d1, d2        | db, dm, de |
| Cilindrisch     | exact      | exact     | exact         | exact      |
| Parabolisch     | exact      | exact     | onderschat    | exact      |
| Conisch         | onderschat | overschat | exact         | exact      |
| Neloïde         | onderschat | overschat | overschat     | exact      |

Uit bovenstaande tabel komt duidelijk naar voor dat de formule van Newton de beste schattingen oplevert voor alle theoretische stammodellen. Er moet wel één diametermeting meer gebeuren dan bij de overige kubeerformules.

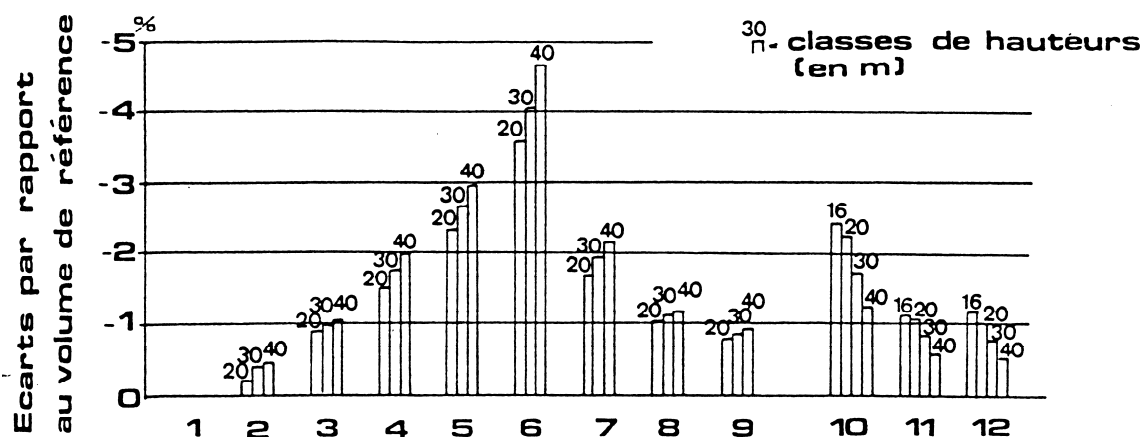
#### 3.4.2.2.2 Sectiegewijze kubering

Wanneer de boomstam niet in één stuk wordt opgemeten, maar in verschillende delen, waarvan het volume apart wordt berekend, spreekt men van sectiegewijze kubering. Aan de hand van sectiegewijze kubering is het mogelijk om de inhoud van een boomspil met voldoende nauwkeurigheid te bepalen. Het komt er op aan de stam in een aantal stukken van al dan niet gelijke lengte op te delen en van elk stamstuk apart de inhoud te bepalen met de bovenstaande formules.

##### √ Relatieve versus absolute stamstuklengten

Het opdelen van de boomspil in segmenten kan op twee manieren gebeuren, nl. in relatieve of in absolute stamstuklengten. Bij de methode volgens relatieve stamstukken deelt men boomstam op in een vooraf bepaald vast aantal stukken. De lengte van elk stamstuk wordt uitgedrukt tegenover de totale lengte van de boomspil en varieert bijgevolg van boom tot boom. Bij de absolute methode wordt aan de stamstukken vooraf een vaste lengte toegekend.

Altherr (1960) (in Palm, 1981) bestudeerde op basis van gegevens afkomstig van 15.000 naaldbomen de afwijking tegenover een referentievolume die voortvloeit uit het gebruik van de twee methodes. [Figuur 3-3](#) toont voor verschillende hoogteklassen de afwijkingen van de bekomen stamvolumes als gevolg van 12 verschillende opdeelmethodes. Voor het berekenen van het volume van elk stamstuk werd de formule van een cilinder gebruikt.



Figuur 3-3: Vergelijking van de nauwkeurigheid van verschillende kubeermethodes op basis van cilindrische stamstukken van verschillende lengte

Beschrijving van de kubeermethodes:

1. Kubering op basis van 100 stamstukken van relatieve lengte (= referentiemethode)
2. Kubering op basis van 50 stamstukken van relatieve lengte
3. Kubering op basis van 25 stamstukken van relatieve lengte
4. Kubering op basis van 15 stamsukken van relatieve lengte
5. Kubering op basis van 10 stamsukken van relatieve lengte
6. Kubering op basis van 5 stamsukken van relatieve lengte
7. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in drie stamstukken van dezelfde lengte; het resterende 4/5 verdeeld in vier stamstukken van dezelfde lengte.
8. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in vijf stamstukken van dezelfde lengte; het resterende 4/5 verdeeld in vier stamstukken van dezelfde lengte.
9. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in vijf stamstukken van dezelfde lengte; het laatste vijfde verdeeld in twee stamstukken van dezelfde lengte; het centrale gedeelte verdeeld in drie stamstukken van dezelfde lengte.
10. Kubering op basis van stamstukken van 2 m lengte.
11. Kubering op basis van stamstukken van 1 m lengte.
12. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in stamstukken van 1 m; het resterende 4/5 verdeeld in stamstukken van 2m.

Uit de figuur blijkt dat er zowel methodes met absolute als met relatieve stamstuklengten goed scoren: de methodes 2, 3, 8, 9, 11 en 12 geven afwijkingen van minder dan 1 % voor bijna alle hoogteklassen. Wat ook in het oog springt is het grote verschil in afwijking tussen de methoden op basis van stamstukken van 1 m en 2 m.

Dagnelie et al. (1985) werkte voor het opstellen van tarieven voor Eik en Beuk met absolute stamstuklengten. Tot een hoogte van 10.5 m gebruikte hij stamstukken van 1m; verderop werd om de twee meter gemeten. Deze methode is vergelijkbaar met methode 12 en vergt op terrein minder tijd in vergelijking met de methode met relatieve stamstuklengten. Bij deze laatste moet het aftekenen van de stamstukken namelijk telkens vooraf gegaan worden door de berekening van hun lengte.

Het ligt voor de hand dat het volume des te nauwkeuriger zal zijn naarmate de elementaire stamschijven kleiner zijn. Dit komt ook naar voor in [Figuur 3-3](#): de kubeermethodes op basis van de kortste stamstukken hebben de kleinste afwijking. Tot een zelfde conclusie kwam Palm (1981) bij de vergelijking van vier kubeerformules.

#### ✓ Formule van Simpson

Voor de inhoudsbepaling van de elementaire stamschijven kan men beroep doen op de hoger beschreven kubeermethodes. Wordt de formule van Newton toegepast op stamdelen van niet te grote lengte, dan wordt een zeer grote nauwkeurigheid bereikt (Rondeux, 1993).

Het volume van de ganse stam kan dan geschreven worden als:

$$V_n = \frac{h}{6} \times [(g_1 + \dots + g_{2n+1}) + 2 \times (g_3 + g_5 + \dots + g_{2n-1}) + 4 \times (g_2 + g_4 + \dots + g_{2n})]$$

waarin  $g_1 = \Pi(d_1/2)^2$  = het onderste grondvlak van de eerste stamschijf  
h = de totale stamlengte

Bovenstaande formule is de formule van **Simpson**.

Deze methode wordt vooral gebruikt in het kader van wetenschappelijk onderzoek waar kuberingen vereist zijn die zo goed mogelijk het exacte volume benaderen (Pardé en Bouchon, 1998).

### 3.4.2.3 Staand of liggend?

Voor de bepaling van het boomvolume maken de meeste auteurs onderscheid tussen volumebepaling bij liggende en bij staande bomen. Elk heeft zijn specifieke voor- en nadelen:

De gegevens verzamelen bij staande bomen heeft vooral statistische en praktische voordelen.

- Statistische voordelen:
  - er kunnen veel meer metingen uitgevoerd worden;
  - er is meer keuze aan staande bomen dan aan liggende;
  - men kan ook andere bomen meten dan dunningsbomen (deze zijn vaak het minst goed ontwikkeld, vb. kleiner van afmetingen of afwijkend van vorm), waardoor men makkelijker aan de zware boomvolumes komt;
  - Stratificatie van de te meten bomen kan beter gebeuren.
- Praktische voordelen:
  - de metingen kunnen altijd gebeuren; behalve als er teveel blad op de bomen staat;
  - men is niet afhankelijk van houtvellingen/exploitanten;
  - men kan het meten regelen naargelang de weersomstandigheden.

Daarnaast zijn er echter ook nadelen die eerder methodologisch van aard zijn:

- de metingen zijn complexer en nemen meer tijd in beslag;
- de precisie van de metingen ligt lager, zodat men een onnauwkeuriger beeld van het houtvolume krijgt.

Gegevens verzamelen bij liggende bomen levert dan weer methodologische voordelen op, maar tegelijkertijd nadelen van statistische en praktische aard.

- Methodologische voordelen:
  - bij liggende bomen kan men een nauwkeurigere bepaling doen van het houtvolume;
  - de lengte van de gevelde boom kan eenvoudig en accuraat met een rolmeter gemeten worden; ook het afpassen van de stamstukken kan met de rolmeter gebeuren;
  - het bepalen van de juiste lengte van de stamstukken kan eenvoudiger en sneller uitgevoerd worden.
- Statistische en praktische nadelen:
  - liggende bomen zijn meestal afkomstig van dunningen, waardoor geen gemiddeld beeld verkregen wordt van de populatie en een representatief bereik moeilijker haalbaar is;
  - steekproefname is afhankelijk van de ligging van de loten. Hierdoor is stratificatie niet optimaal;
  - voor metingen op liggende bomen moeten afspraken gemaakt worden met exploitanten om te weten wanneer zij een kap zullen uitvoeren. O.a. hierdoor kunnen er minder metingen uitgevoerd worden.

#### 3.4.2.3.1 Bepaling stamvolume van liggende bomen

Volumebepalingen op liggende bomen zijn relatief eenvoudig. De benodigde diameters en lengtes zijn gemakkelijk te meten. Men kan ook merktekens aanbrengen op de positie waar moet gemeten worden (Philips, 1994).

#### 3.4.2.3.2 Bepaling stamvolume van staande bomen

Het kubereren van bomen op stam kan in principe met dezelfde kubeermethodes gebeuren als die voor liggende bomen. De kubering is echter moeilijker omdat dit de beschikbaarheid van gespecialiseerde meetapparatuur veronderstelt.

Met meettoestellen zoals de telerelascoop van Bitterlich, de Barr and Stroud of het pentaprisma van Wheeler is het mogelijk de diameter op verschillende hoogtes te bepalen, maar de precisie van de metingen is minder hoog dan in het geval van liggende bomen.

Hoewel in de praktijk sectiegewijze kubering van staande bomen (m.b.v. de telerelascoop van Bitterlich) mogelijk is, wordt meestal een eenvoudiger (en vooral snellere) methode gebruikt. Het volume van de stam wordt dan (als één geheel) bepaald door slechts een beperkt aantal metingen. In de literatuur zijn tal van formules beschikbaar voor het snel (en relatief onnauwkeurig) schatten van de staminhoud van staande bomen. Voorbeelden zijn de formules van Huber, Smalian, Hoppus, Pressler, etc.... (zie hoger).

Het nadeel van deze methodes is dat ze de globale stamvorm gelijkstellen aan die van een geometrisch lichaam, wat uiteraard een grote simplificatie van de reële stamvorm inhoudt. Dit kan soms tot belangrijke fouten leiden die ongewenst zijn bij de opmaak van tarieven.

Daarom raadt Rondeux (1993) aan het stamvolume te schatten aan de hand van metingen (diameter en hoogte) op verschillende hoogtes en aldus te komen tot een sectiegewijze kubering van het stamvolume.

Over de nauwkeurigheid van dergelijke metingen is weinig geweten. Gofas (1966) toonde aan dat de relascoop van Bitterlich voldoende nauwkeurig is voor sectiegewijze volumebepalingen van staande bomen. Hij vond minder dan 5% verschil met de sectiegewijze volumebepalingen op liggende bomen.

#### 3.4.2.4 Kroonvolume

In de literatuur vinden we zeer weinig gegevens over de gebruikte methode om het takhout te schatten. Nochtans vertegenwoordigt dit volume vaak wel 25% van het volledige volume, en kost het veel werk (tijd) om dit te bepalen.

Voor de oude tarieven (type Algan, Schaeffer) werd gerekend dat het kroonvolume 10% uitmaakt van het stamvolume (Batias, 1958).

##### 3.4.2.4.1 Bepaling kroonvolume aan liggende bomen

Volgens Pardé en Bouchon (1998) vertoont het kubereren van het niet afgekorte kroonhout (industrie- en brandhout) veel gelijkenis met het kubereren van werkhout. Ook hier kunnen dus de formules voor de algemene kuberingsmethoden gebruikt worden en krijgt de sectiegewijze kubering voorrang.

Indien men echter meer belang hecht aan de efficiëntie dan aan de precisie kan men gebruik maken van meer gesimplificeerde methoden. Thill en Grayet (in Rondeux, 1993) stellen twee vereenvoudigde methoden voor:

- Zoeken naar een relatie tussen het takvolume en de totale lengte van de takstukken teneinde het volume van takken te schatten waarvan men enkel de totale taklengte kent.

- Zoeken naar een relatie tussen het takvolume enerzijds en de diameter van de takbasis en de totale taklengte anderzijds. Vanuit deze relatie kan op basis van de diameter van de takbasis en de taklengte het takvolume geschat worden.

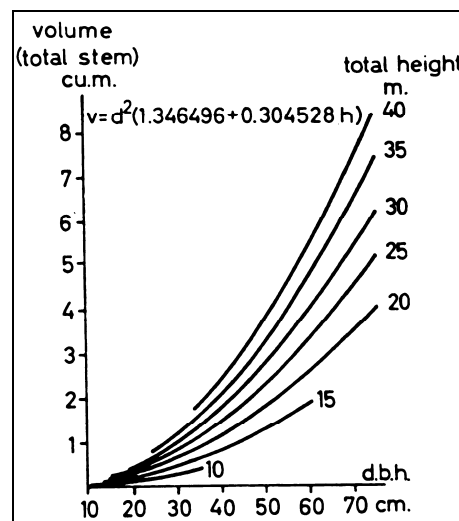
Grayet (1977) stelt dat het opmeten van de basisdoormeter en de lengte van de takken bij elke boom, aangevuld met een traditionele volledige opname van het takhout op enkele bomen, volstaat om met een voldoende nauwkeurigheid het takhoutvolume te schatten.

#### 3.4.2.4.2 Bepaling kroonvolume aan staande bomen

In de literatuur werd geen informatie gevonden omtrent de bepaling van het kroonhoutvolume aan staande bomen. Wellicht kan dit, mits de beschikbaarheid van gesofistikeerde meetapparatuur, op dezelfde manier gebeuren als voor liggende bomen. Uiteraard zullen de metingen ook hier meer tijd in beslag nemen en zal hun nauwkeurigheid lager liggen.

#### 3.4.2.5 Variabiliteit stamvolume

Verschillende factoren bepalen de variabiliteit van het stamvolume ten opzichte van de diameter op borsthoogte. Algemeen neemt de absolute waarde van de variabiliteit van het stamvolume toe met stijgende diameter op borsthoogte.

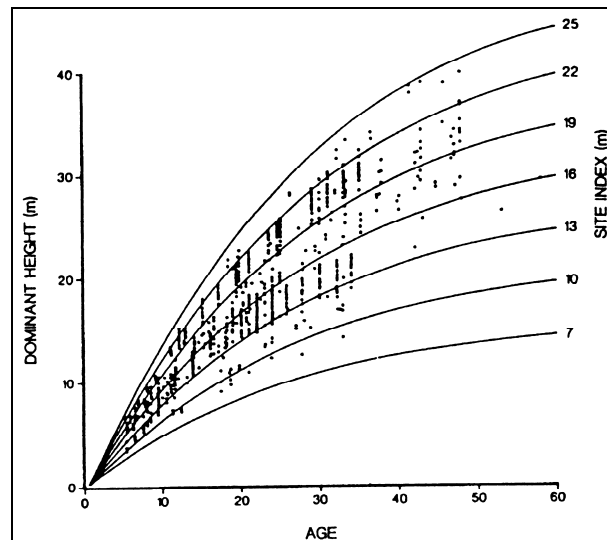


Figuur 3-4: Relatie tussen de dbh en het stamvolume voor verschillende boomhoogten (Loetsch, 1973)

Figuur 3-4 illustreert voor Berk de invloed van de boomhoogte op de variabiliteit van het stamvolume. Uit deze figuur valt af te leiden dat de absolute waarde van de variabiliteit van het stamvolume in functie van de diameter toeneemt met de boomhoogte: de curven liggen steeds verder uiteen.

Een groot deel van de variabiliteit in de gegevensset kan verklaard worden door de boomhoogte. Het is namelijk niet uitzonderlijk dat in de dataset bomen met een verschillende hoogte overeenkomen met eenzelfde diameter op borsthoogte. De bestandsdichtheid en de soortensamenstelling beïnvloeden in zekere mate de boomhoogte. Maar het grootste deel van de variabiliteit van de boomhoogte is te wijten aan verschillen in standplaats (De Wulf, 1999). Bomen op betere standplaatsen bereiken een grotere hoogte dan bomen in bestanden met een lagere standplaatskwaliteit. De standplaatskwaliteit wordt voor Inlandse eik en Beuk grotendeels bepaald door de bodemeigenschappen, vooral de textuurklasse en de vochttrap zijn determinerend (De Keersmaeker L., 2004, mondelinge mededeling). Figuur 3-5 toont de relatie tussen de dominante hoogte, leeftijd en standplaatskwaliteit voor Pinus pinaster. De figuur

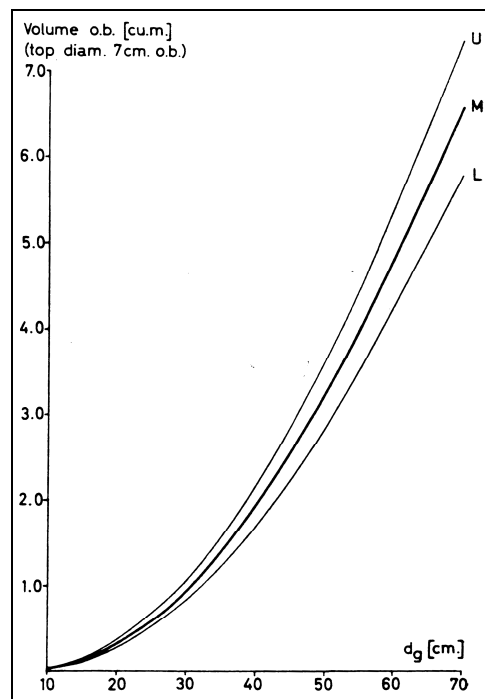
toont duidelijk dat de betere standplaatsen (hogere site index) gekenmerkt worden door een grotere dominante hoogte.



Figuur 3-5: Voorbeeld van site index curven voor *Pinus pinaster* (uit De Wulf, 1999)

De standplaatskwaliteit bepaalt dus in belangrijke mate de hoogte die een boom bij een bepaalde diameter zal bereiken. Uiteraard zal dit verschil in hoogte aanleiding geven tot een verschil in stamvolume.

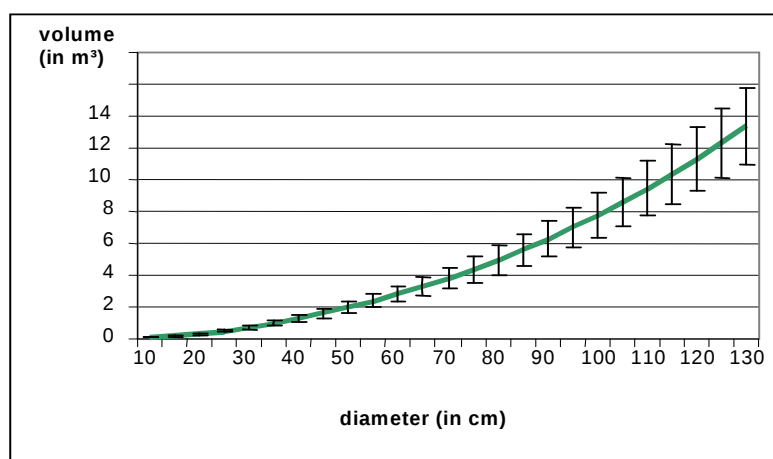
De variabiliteit van het stamvolume tengevolge van de heterogeniteit in standplaatskwaliteit kan soms bijzonder groot zijn. In zulke gevallen schiet een tarief met slechts één ingang tekort. Vaak opteert men er dan voor om voor elke standplaatscategorie een afzonderlijk tarief te ontwikkelen. [Figuur 3-6](#) is een grafische voorstelling van verschillende tarieven met één ingang voor Fijnspar in Noorwegen. De M-curve is een tarief voor standplaatsen van gemiddelde kwaliteit, de U- en L-curves zijn tarieven voor respectievelijk betere en slechtere standplaatskwaliteit.



Figuur 3-6: Grafische voorstelling van verschillende tarieven voor Fijnspar in Noorwegen (Loetsch, 1973)

Een ander deel van de variabiliteit wordt veroorzaakt door de variabiliteit van de stamvorm. De stamvorm wordt deels bepaald door het beheerregime (bestandsdichtheid, soortensamenstelling) en is deels te wijten aan de inherente natuurlijke variabiliteit. Door het verschil in stamvorm kunnen bomen met eenzelfde hoogte en diameter op borsthoogte (dbh) toch uiteenlopende volumes hebben. Kennis over de stamvorm levert informatie in verband met de geldigheid van de volumetabellen, en over hun toepassing in diverse bosbouwkundige omstandigheden.

Figuur 3-7 illustreert de relatie tussen de dbh en het stamvolume voor Beuk met een hoogte van 22m. De curve stelt de relatie tussen de dbh en het gemiddeld stamvolume voor; de verticale streepjes beschrijven de variabiliteit in functie van de diameter waarbinnen 95 % van de werkelijke volumes ligt.



Figuur 3-7: Overzicht van het stamvolume van Beuk (hoogte = 22 m) en de variabiliteit in functie van de diameter (Bron gegevens: volumetabel Bouchon, 1982).

### 3.4.3 Keuze van de te meten variabelen

De keuze van de te meten variabelen gebeurt over het algemeen in functie van het gewenste type tarief en het type bruikbaar volume.

Het ligt voor de hand dat de ingangsvariabelen de belangrijkste zijn. Daarnaast is het aan te raden ook andere variabelen, die de variabiliteit van het boomvolume bepalen, in beschouwing te nemen. (Rondeux, 1993)

De meest courante variabelen gebruikt bij de tariefconstructie zijn volgens Rondeux de volgende:

- diameter op borsthoogte boven schors (dbb)
- diameters op verschillende hoogtes op de stam
- totale hoogte, hoogte van de kroonaanzet of eerste zware vertakking, hoogte van het werkhout
- schorsdikte op verschillende hoogtes
- hoogte en breedte van de kroon

Andere, minder frequent gebruikte boomkarakteristieken zijn de afmetingen van de takken, de leeftijd van de boom, omtrek van de stromk, enz. (Rondeux, 1993).

Bij de tabelconstructie voor Eik en Beuk werden door Dagnelie et al. (1985) voor de nauwkeurige bepaling van het volume Eik en Beuk de volgende metingen gedaan:

- omtrekken (boven schors): aan de stromk, op 0.50 m, op 1.30m, op 1.50m, vervolgens om de meter tot 9.5m en tenslotte om de 2 meter vanaf 11 m. In het geval van bomen met onregelmatige doorsnede werd de grootste diameter aan de stromk en daarop loodrechtstaande diameter gemeten. Uit het rekenkundig gemiddelde van deze twee maten werd de omtrek van de stromk geschat.
- hoogtes: totale, van het zware stamhout en de hoogte tot aan de aftopomtrek van 22 cm.
- takdimensies: bij slechts een gedeelte van de gemeten bomen werden de takken met een omtrek groter dan 22 cm opgedeeld in stukken van 3 à 4 m, waarvan de diameters aan de uiteinden en de diameter in het midden gemeten werd. Bij de overige bemonsterde bomen beperkte men zich tot het meten van de omtrek aan de takbasis en de totale lengte tot de aftopomtrek van 22 cm.
- schorsdikte: op 1.3 m
- kroonhoogte en kroondiameter

Er wordt niet gespecificeerd wat de auteur precies bedoelt met 'het zware stamhout' ('bois fort de la tige'). Volgens Collection de Terminologie Forestière Multilingue (1975) bedoelt men met 'bois fort' in de Europese statistieken het hout met een minimumdiameter van 7 cm boven schors.

Ook wordt het percentage bomen niet weergegeven waarvoor men zich voor het bepalen van de takdimensies beperkte tot het meten van de omtrek aan de takbasis en de totale lengte tot de aftopomtrek van 22 cm.

### 3.4.4 Constructie van de tabel

#### 3.4.4.1 Aantal en keuze van de ingangen

Voor een gegeven populatie en een gegeven referentievolume bestaan er evenveel tarieven als er combinaties van ingangen zijn (Chevrou, 1988). De keuze van de ingangen wordt bepaald door hun verband met het volume, en het gemak en de precisie waarmee ze bepaald kunnen worden. De precisie van het geschatte volume stijgt per gebruikte ingang, maar deze bijdrage wordt per extra ingang lager. In praktijk wordt dan ook gewerkt met één of twee ingangen.

Dagnelie introduceerde het begrip gegradueerd tarief met 1 ingang. Op basis van de dominante bestandshoogte ( $H_{dom}$ ) wordt dan een tarief met 1 ingang gemaakt.

#### 3.4.4.2 Model

De keuze van het model is in principe vrij, maar er wordt moeestal gekozen voor theoretische modellen die geen negatieve waarden geven en die geen afnemend volume tonen bij een groter wordende omtrek.

Tabel 4 geeft een overzicht van vergelijkingen die in de literatuur aan bod komen. De modellen uit de tabel kunnen grofweg worden ingedeeld in twee groepen: polynomiale en logaritmische modellen. Een uitzondering hierop is het model van Bouchon. Dit model heeft een bizarre en ingewikkelde vorm. In het volgende gedeelte zal daarom niet met het model Bouchon, maar enkel met meer logische en minder ingewikkelde modellen worden verder gewerkt.

Tabel 4: overzicht van regressievergelijkingen voor stamvolume

| Model           | Formule                                  | Auteur                                                                                                                    | Boomsoort                                       | Eenh                                                         |
|-----------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>1 ingang</b> | $\ln v = a_0 + a_1 \ln c$                | Otoul en Rondeux, 1988                                                                                                    | -                                               | dm <sup>3</sup>                                              |
|                 | $\log v = a_0 + a_1 \log c$              | Formule van Berkhout<br>Prodan, (1965), in Palm,<br>1981                                                                  | -<br>-                                          |                                                              |
|                 | $v = a_0 c^{a_1}$                        | De Wulf, 1998<br>Fonweban et Houllier, 1997                                                                               | -<br>Eucalyptus saligna                         | -<br>m <sup>3</sup>                                          |
|                 | $v = a_0 + a_1 c^2$                      | De Wulf 1998<br>Fonweban et Houllier, 1997<br>Thibaut, Rondeux en<br>Claessens, 1998<br>Otoul en Rondeux, 1998            | -<br>Eucalyptus saligna<br>Alnus glutinosa<br>- | m <sup>3</sup><br>m <sup>3</sup><br>m <sup>3</sup><br>-<br>- |
|                 | $v = a_0 + a_1 c^{a_2}$                  | De Wulf, 1998<br>Fonweban et Houllier, 1997                                                                               | -<br>Eucalyptus saligna                         | m <sup>3</sup>                                               |
|                 | $v = a_0 + a_1 c + a_2 c^2$              | Fonweban et Houllier, 1997<br>Otoul en Rondeux, 1998<br>Hohenadl en Krenn, in Palm<br>1981<br>Prodan (1965) in Palm, 1981 | Eucalyptus saligna<br>-<br>-<br>-<br>-          | m <sup>3</sup>                                               |
|                 | $vc22 = a_0 + a_1 c + a_2 c^2 + a_3 c^3$ | Dagnelie et al., 1985                                                                                                     | Eik en Beuk                                     | m <sup>3</sup>                                               |

| Model             | Formule                                                      | Auteur                                                  | Boomsoort                                                                                                                                                                                                                                    | Eenh                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>2 ingangen</b> | $\ln(V_{\text{spilhout}}) = a_0 + a_1 \ln C + a_2 \ln(H)$    | Fonweban et Houllier, 1997<br>Otoul en Rondeux, 1998    | Eucalyptus saligna<br>-                                                                                                                                                                                                                      |                     |
|                   |                                                              | E.J.Dik, 1984                                           | Abies grandis, Am. Eik, berk, beuk, Cors.den, Douglas, zwarte els, es, esdoorn, Fijnspar+ Sitkaspar, grove den, Japanse lariks, Thuja plicata, zomereik                                                                                      | dm <sup>3</sup> (*) |
|                   |                                                              | Renske Schulting, 2002                                  | Douglas, Grove den Japanse lork, Fijnspar en Sitkaspar, Corsicaanse den binnenland, Oostenrijkse den binnenland, Oostenrijkse den kustgebieden, Abies grandis, Thuja plicata, Amerikaanse eik, Zomereik, zwarte els, es, beuk, berk, esdoorn | m <sup>3</sup> (*)  |
|                   | $\log V = b_0 + b_1 \log C + b_2 \log H$                     | Formule van schumacker-Hall (Spurr, 1952) in Palm, 1981 | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   |                                                              | Coetzee J, en Nalcker S., 1995                          | Eucalyptus smithii                                                                                                                                                                                                                           | m <sup>3</sup>      |
|                   |                                                              | Unnikrishnan K.P. en Ravendra Singh 1984                | -                                                                                                                                                                                                                                            | m <sup>3</sup> (*)  |
|                   | $v/c^2 = b_0 + b_1 h$                                        | Hummel 1955 (in Palm, 1981)                             | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   | $c^2/v = b_0 + b_1 h$                                        | Honer, 1965 (in Palm, 1981)                             | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   | $v = a_0 + a_1 c^2 h$                                        | Otoul en Rondeux, 1998                                  | -                                                                                                                                                                                                                                            | m <sup>3</sup>      |
|                   |                                                              | De Wulf, 1998                                           | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   |                                                              | Pauwels en Rondeux 2002<br>Fonweban et Houllier, 1997   | Larix<br>Eucalyptus saligna                                                                                                                                                                                                                  | m <sup>3</sup>      |
|                   | $v_{\text{tot}} = a_1 c^2 h$                                 | Pauwels en Rondeux 2002                                 | Larix                                                                                                                                                                                                                                        | m <sup>3</sup>      |
|                   | $v = a_0 + a_1 c^{a_2} + h^{a_3}$                            | Fonweban et Houllier, 1997                              | Eucalyptus saligna                                                                                                                                                                                                                           |                     |
|                   | $v = a_0 + a_1 c^2 + a_2 c^2 h + a_3 h$                      | Otoul en Rondeux, 1998                                  |                                                                                                                                                                                                                                              | dm <sup>3</sup>     |
|                   |                                                              | Dagnelie in De Wulf, 1998                               | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   | $v = a_0 + a_1 c^2 + a_2 c^2 h$                              | De Wulf, 1998                                           | -                                                                                                                                                                                                                                            | dm <sup>3</sup>     |
|                   |                                                              | Otoul en Rondeux, 1998                                  | -                                                                                                                                                                                                                                            |                     |
|                   | $v = a_0 + a_1 c h + a_2 c^2 h$                              | Fonweban et Houllier, 1997<br>Spurr (1952) in Palm 1981 | Eucalyptus saligna<br>-                                                                                                                                                                                                                      |                     |
|                   | $vc22 = a_0 + a_1 c + a_2 c^2 + a_3 c^3 + a_4 h + a_5 c^2 h$ | Dagnelie et al., 1985                                   | Eik en Beuk                                                                                                                                                                                                                                  | m <sup>3</sup>      |
|                   |                                                              | Pauwels en Rondeux 2002                                 | Larix                                                                                                                                                                                                                                        |                     |
|                   | $v = a_0 + a_1 c + a_2 c^2 h$                                | Thibaut, Rondeux en Claessens, 1998                     | Alnus glutinosa                                                                                                                                                                                                                              | m <sup>3</sup>      |
|                   | $V = a_0 + a_1 + a_2 C^2$                                    | Jain R.C. et al., 1991                                  | Eucalyptus spp.                                                                                                                                                                                                                              | m <sup>3</sup> (*)  |
|                   | $V = a_0 + a_1 CH^2 \exp(a_2)$                               | E.J. Dik., 1984                                         | beuk                                                                                                                                                                                                                                         | dm <sup>3</sup>     |
|                   | $V = C^{a_0} H^{a_1} \exp(a_2)$                              | E.J. Dik., 1984                                         | -                                                                                                                                                                                                                                            | dm <sup>3</sup>     |

|                                                                                        |               |      |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------|----------------|
| $V = (a1*C^2*Htot + a2*C*Htot + a3*C^3*Htot^2) (1+a4/C^3+ a5*C^2 + a6/Htot + a7*Htot)$ | Bouchon, 1982 | Beuk | m <sup>3</sup> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------|----------------|

Cruciaal bij de modelkeuze is de tweede basisvoorwaarde bij regressie. Die zegt namelijk dat de populatievariantie van de afhankelijke variabele constant moet zijn voor alle waarden van de onafhankelijke variabele(n). Er wordt met andere woorden een homoscedastische dataset vereist.

De dataset voor de opmaak van volumetabellen is echter van oorsprong heteroscedastisch: de spreiding van de volumewaarden wordt groter, zowel met toenemende omtrek op borsthoogte als met toenemende boomhoogte (alinea 3.3.2.4). Het gevolg van deze heteroscedasticiteit is dat ook de grootte van de residuen, zijnde de verschillen tussen de gemeten volumes en de geschatte volumes door het model, functie is van de dimensie. Daarom suggereren verschillende auteurs (Mayer, 1953 in Unnikrishnan et al.; Palm, 1981) te werken met gewogen geobserveerde volumewaarden, waarbij de gewichten omgekeerd evenredig zijn aan de variantie van de residuen. Mayer (1953, in Unnikrishnan en Ravendra, 1984) beveelt een logaritmische volumefunctie aan, omdat door de logaritmische transformatie automatisch een gewicht wordt toegekend aan de gemeten waarden. Een andere oplossing is te werken met de methode van gewogen kleinste kwadraten bij het schatten van de regressiecoëfficiënten.

Beide types modellen (polynomiale en logaritmische) vertonen inherente verschillen wat flexibiliteit en extrapoleerbaarheid betreft.

Polynomiale modellen zijn relatief flexibel: hoewel de algemene vorm a priori wordt vastgelegd door de keuze van de polynoom, zijn de hogere graadstermen in staat het verloop van het model aan te passen aan een afwijkende lokale situatie. Het nadeel hiervan is dat polynomiale modellen van mindere kwaliteit zijn als het op extrapolatie neerkomt. De hogere ordetermen kunnen heel sterke hefbomen zijn voor grote en kleine waarden van de onafhankelijke variabele. Aan beide uiteinden van het bereik van de onafhankelijke variabele passen de hogere orde termen het model aan aan de lokale situatie. Deze is echter dikwijls afwijkend van het algemene verloop van het model. Bij extrapolatie wordt voortgebouwd op dit afwijkende verloop met als gevolg dat de werkelijke ligging van de curve vaak wordt onder- of overschat. Vooral polynomiale modellen met termen van een orde hoger dan drie, hebben sterk de neiging om te overfitten. Samengevat kan men dus stellen dat polynomiale modellen in staat zijn bijzonderheden in de dataset heel nauwkeurig voor te stellen, maar dit gaat ten koste van de extrapoleerbaarheid (Paul Quataert, mond. med. 2004).

Opmerking: Dagnelie werkt voor de kubering van Eik en Beuk met een polynomiaal model van de derde graad. Extrapolatie van dit model buiten het geldigheidsbereik van de omtrek leidt tot een steeds groter wordende afwijking tussen het berekende en het werkelijke stamvolume. Deze afwijkingen worden mogelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van de derdegraads term in het model.

Logaritmische modellen zijn in vergelijking met polynomiale modellen stroever: de keuze van het model impliceert een bepaalde vorm en het model is niet in staat zich aan te passen aan lokale bijzonderheden. Het voordeel dat hieraan verbonden is, is dat een logaritmisch model stabiel is: het model volgt de algemene trend, ook buiten het bemonsterd bereik. Wat logaritmische tegenover polynomiale modellen moeten inboeten qua lokale flexibiliteit maken ze ruimschoots goed qua extrapoleerbaarheid.

#### 3.4.4.3 Modelkeuze: testen

Statistische testen laten toe om een onderscheid te maken tussen modellen die a priori valabel lijken en goed aangepast aan de steekproef, en zij die niet aangepast zijn (Chevrou, 1988). Dergelijke testen zijn echter afhankelijk van bepaalde theoretische voorwaarden die in de

praktijk zelden geverifieerd worden, o.a. de normaliteit van de volumeverdeling van bomen van dezelfde omtrek en hoogte. De testen laten meestal niet toe om het onderscheid te maken tussen een geldig model en één dat het niet is.

#### 3.4.4.3.1 Nauwkeurigheid

Bosbouwkundige literatuur is niet altijd even duidelijk op dit vlak: veel auteurs vermelden niet wat de nauwkeurigheid is van de door hen ontwikkelde tarieven (palm&dagnelie 1976). Hierdoor kunnen interpretatiefouten ontstaan, zeker wanneer de modellen geheel of gedeeltelijk automatisch werden bepaald.

Bovendien hechten bosbouwers in het algemeen wel veel belang aan het gebruikte model, maar veel minder aan de precisie van het model.

Enkele vaststellingen (Palm&Dagnelie 1976): het is moeilijk om één bepaald precisiem criterium voorop te stellen. Vermits de meeste voorgestelde criteria leiden wel tot gelijkaardige conclusies mbt de modelkeuze, kan, omwille van het relatieve gemak waarmee ze geïnterpreteerd kan worden, een residu-analyse interessant zijn.

Palm&Dagnelie (en Bouchon 1974, Chevrou, 1988, Cunia, 1964, Dagnelie, 1969-1970, Loetsch et al 1973) 1976 stellen dat goed moet gedefinieerd worden welke betekenis gegeven wordt aan het begrip 'precisie' of 'imprecisie' van een tariefvergelijking: gaat het om de globale residuele variantie of om de conditionele variantie van de afhankelijke variabele? In praktijk wordt meestal de globale residuele variantie bekeken.

#### 3.4.4.3.2 Variantie van het tarief

De variantie van het geschatte volume van een lot hangt af van de residuele variantie en van de tariefvariantie. Deze laatste hangt af van de berekeningsmode van het tarief, over het algemeen is ze van de orde  $s^2(d,h)/n$  met  $n$  aantal bomen gebruikt voor de opmaak van het tarief.

Niet vergeten dat het tarief het gemiddelde volume van bomen uit een kapping weergeeft: het is het gemiddelde volume van bomen uit een populatie met dezelfde afmetingen voor  $d$  en  $h$  als in de kapping.

Wanneer een tarief wordt opgemaakt aan de hand van een steekproef uit de populatie (het Vlaamse bos), waarbij  $v(d,h)$  geschat wordt, dan is het tarief alleen geldig voor die deelpopulaties waarvoor de functie ( $v(d,h)$ ) identiek is, of zeer naliggend aan de geschatte functie

Daarom is het van belang om na te gaan welke factoren een effect hebben op de relatie tussen het volume enerzijds en diameter en hoogte anderzijds binnen de populatie (onderzoek bosinventaris).

Vermeldt wordt dat volgende factoren een effect zouden kunnen hebben:

- leeftijd
- standplaats
- bestandsdichtheid
- productiviteitsklasse
- aard van de kapping
- genetisch materiaal
- ...

Het is onmogelijk om homogene populaties te definiëren.

Bij Chevrou, 1988 wordt een bestand homogeen genoemd als het gemiddeld volume van bomen met dezelfde afmetingen van een deelpopulatie overeenkomt met het gemiddeld volume van de populatie.

#### 3.4.4.3.3 Tabulatie

Een eerste indicatie over de geldigheid van een model kan verkregen worden door het maken van een tabel op basis van de regressievergelijking. Onderzoek van zo'n tabel kan zekere tekortkomingen van het model zichtbaar maken. Negatieve waarden of het bestaan van een minimum in de waarden zijn een aanwijzing van bias-fouten in bepaalde omtrekcategorieën.

#### 3.4.4.3.4 Grafische voorstellingen

Grafische voorstellingen van de residuen kunnen een relatieve indicatie geven van het bestaan van bias in bepaalde omtrekcategorieën.

Deze twee methoden geven echter geen numerieke informatie van de kwaliteit van het model.

#### 3.4.4.3.5 Parameters op basis van de waarden van de residuen

Voor een meer kwantitatieve evaluatie bestaan er verscheidene parameters die de kwaliteit van het tarief kwantificeren. Palm onderscheidt twee klassen parameters: parameters gebaseerd op de waarde van de residuen en parameters gebaseerd op het teken van de residuen.

Voorts kunnen ook volgende parameters gebruikt worden: correlatiecoëfficiënt of determinatiecoëfficiënt, de Cp coefficient van Mallows en de statistieken gelinkt aan de variantieanalyse. Deze parameters zijn gebaseerd op de kwadratensommen en zijn vooral van nut voor het detecteren van problemen omtrent de keuze van de variabelen. Ze zijn echter niet geschikt voor het vergelijken van de kwaliteit van modellen waarop diverse transformaties werden toegepast.

De Funival-Index is hiertoe wel in staat. Deze is gebaseerd op het concept van maximale waarschijnlijkheid en is geldig voor eender hett welk van de beschreven vergelijkingen... p.58-59. In de praktijk wordt geconstateerd dat deze index logaritmische vergelijkingen bevoordeelt ten opzichte van polynomiale (Palm en Rondeux, 1976)

#### 3.4.4.3.6 Parameters gebaseerd op het teken van de residuen

Palm beschrijft hiervoor drie testen: *le test des signes* (Dagnelie, 1969-1970), *le test des suites* (Siegel, 1956).

Van de hierboven beschreven parameters voor het vergelijken van modellen, is er geen enkele die de anderen overklapt. Om de keuze van het beste model niet a priori te fixeren, moeten er steeds meerdere methoden gebruikt worden.

### 3.5 Foutenbronnen

Voorafgaande maakt duidelijk dat er drie grote klassen van foutenbronnen zijn bij de opmaak van tarieven (Cunia, 1965)

- Steekproeffouten
- Fout in de regressiefunctiekeuze
- Meetfout

In de literatuur wordt het meeste aandacht gegeven aan steekproeffouten en zeer weinig aan de meetfouten (Gertner, 1989).

In verband met de steekproeffout meldt Chevrou (1988) dat de volumeschattingen worden beïnvloed door 2 types fouten (of variantie):

- wanneer de steekproef niet representatief is voor de totale populatie
- wanneer het te kuberen lot niet helemaal past in de totale populatie

De 2 steekproeven moeten dus uit dezelfde populatie komen, en er allebei representatief voor zijn. Daarom is het erg belangrijk dat deze populatie voldoende gedefinieerd wordt.

Voor een statistiek op regionaal niveau kan een tarief gebruikt worden op basis van kappingen binnen de regio (1 à 3 bomen kuberan per kapping). Indien men voor één bepaald bos of één bepaalde kap een uitspraak wil doen, dan zal men bomen van dit bos of van het lot moeten kuberan, tenzij de gemiddelde boom van het bos overeenkomt met de gemiddelde boom van de regio.

Het gebruik van regionale tarieven wordt heel erge onnauwkeurig in lokale omstandigheden indien de gemiddelde boom van het te bestuderen bos sterk afwijkt van de gemiddelde boom van de bestudeerde regio.

Dit hangt echter allemaal af van de gewenste nauwkeurigheid: meestal is een tarief een vrij eenvoudig, instrument met een beperkte nauwkeurigheid

### **3.6 Bestaande tarieven gebruiken of nieuwe maken?**

Men kan zich de vraag stellen of het de moeite loont om nieuwe tarieven op te maken. Naast het probleem van de nauwkeurigheid, stelt zich immers ook dat van de kosten die gepaard gaan met de opmaak van nieuwe tarieven.

Bestaande tarieven kan men gebruiken indien men inzicht heeft in het geldigheidsbereik en de nauwkeurigheid. Indien men deze gegevens niet heeft, moet door middel van enkele steekproeven (kuberan) nagekeken worden of het tarief gebruikt mag worden.

## 4 Methode

### 4.1 Gegevensverzameling

#### 4.1.1 Selectie proefvlakken

In het ideale geval moet de selectie van proefvlakken at random gebeuren. Vermits er op een zeer korte periode een groot aantal bomen moest worden opgemeten en er slechts een beperkt aantal kappingen van zware Eik en Beuk werden uitgevoerd, kon aan deze vereiste niet voldaan worden. Het heeft vrij veel tijd en moeite gekost om in elke fytogeografische regio een aantal liggende bomen van geschikte omtrekklassen op te sporen. Om tot het beoogde steekproefaantal van 600 bomen per soort te komen, werden vooral liggende bomen gemeten in bestanden waarin gekapt of gedund werd en in door windworp getroffen bestanden. Van een actieve bestandskeuze was geen sprake in dit onderzoek.

De dataverzameling concentreerde zich vooral in de openbare bossen (via contacten met de houtvesters en boswachters) maar daarnaast werd ook een deel van de dataset in privébossen (via de ambtenaar privé-bos of via de bosgroepen) verzameld.

Als basis voor de proefvlakselectie werd hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de houtcatalogi van de houtvesterijen. Elk jaar worden in de domeinbossen bomen gemerkt die te koop aangeboden worden. Per houtvesterij worden digitale overzichtslijsten gemaakt van de te koop staande loten. In deze lijsten staat, naast een verdeling van de bomen over de verschillende omtrekklassen, ook de locatie vermeld, zodat geïnteresseerde kopers de bomen ter plaatse kunnen bekijken.

De proefvlakselectie via de catalogi was aanbod-bepaald. Er werden in eerste instantie loten geselecteerd op basis van boomsoort en omtrek (vooral zware). Voor de kleinere omtrekklassen kon ook het criterium 'fytogeografisch district' gebruikt worden. Indien die keuze bestond, werden de proefvlakken zo verspreid mogelijk gekozen binnen een fyto regio, om zo een voldoende vertegenwoordiging van verschillende bodemseries in de dataset te verkrijgen.

Om te kunnen werken met de loten uit de houtcatalogi, was een goede samenwerking met de boswachters en houtexploitanten noodzakelijk. Dit hield in dat:

- in de houtcatalogi loten werden geselecteerd op basis van boomsoort, het fytogeografisch district, voorkomende omtrekklassen, ...;
- de boswachter op de hoogte werd gesteld van de interesse om in zijn lot bomen afkomstig van de toekomstige kappingen te meten;
- de boswachter of het meetteam contact opnam met de houtexploitant en deze inlichtte over de bedoelingen en werkwijze;
- de houtexploitant via de boswachter of rechtstreeks een sein gaf wanneer de kappingen begonnen en hoeveel tijd er zou zijn voor de metingen (dit is de tijd tussen het omzagen en het aftoppen van de boom).

In de praktijk is gebleken dat zo een samenwerking moet groeien. In het begin ging ze vaak gepaard met moeilijkheden doordat:

- houtexploitanten vaak weinig enthousiast waren over onze activiteiten. De metingen zorgden voor tijdverlies en uit veiligheidsoverwegingen is het beter dat zo weinig mogelijk personen bij de kappingen aanwezig zijn;
- dikwijls werd vergeten ons te verwittigen wanneer een lot gekapt of gedund zou worden;
- de boswachter in de meeste gevallen slechts enkele dagen op voorhand wist wanneer de kappingen van start zouden gaan;
- houtexploitanten niet werken met een vast schema, zodat voorafgaandelijke planning van de metingen zelden mogelijk was;
- er meestal bijna geen tijd is tussen het omzagen en het aftoppen van de bomen, zodat het vaak onmogelijk was de boom in zijn geheel te meten.

Na een 'inrijperiode' verliep de samenwerking met de exploitanten over het algemeen echter wel vlot. Hoewel sommigen aanvankelijk nogal sceptisch stonden tegenover het project en

vreesden dat de metingen voor tijdverlies zouden zorgen, werd het meestal een prettige samenwerking. Vooral de samenwerking met firma's Lannaux Gustaaf, Lannaux Peter, Declercq-Bourdeau-D'hui en Helsen was bijzonder productief.

#### **4.1.2 Boomselectie**

Voor het opstellen van de tarieven werd enkel gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van liggende bomen.

Gezien de afhankelijkheid van de exploitanten voor het uitvoeren van de metingen, de uitgebreide metingen en de relatief korte duur van het project, lag het streefgetal van te meten bomen lager dan door Rondeux opgegeven voor een regio. Er werd gestreefd naar 600 bomen per boomsoort.

De staalname was afhankelijk van het beoogde bereik van het te ontwikkelen tarief, waarbij de nadruk lag op grote afmetingen (omtrek > 250 cm). Opdat het betrouwbaarheidsinterval zo klein mogelijk zou zijn binnen het geldigheidsbereik van het uiteindelijke tarief, werd getracht een zo uniform mogelijke verdeling van de steekproefeenheden over de verschillende diameterklassen te bekomen. Dit wil zeggen dat voor elk van de omtrekkategorieën eenzelfde aantal bemonsterde bomen nagestreefd werd. Rekening houdend met de stamtalverdeling van Eik en Beuk (Figuur 3-2) werd er dus proportioneel meer bemonsterd in de zwaardere diameterklassen.

De zeer zware afmetingen komen binnen elk standplaatstype slechts lokaal voor. Dit maakt een random bemonstering in de hoogste omtrekklassen onmogelijk. Deze bomen werden dus selectief bemonsterd. Dit houdt in dat de steekproef tweeledig was: een random-selectie van bomen uit veel voorkomende omtrekklassen en een selectieve keuze in de minst vertegenwoordigde, vaak zwaardere, omtrekklassen.

##### **4.1.2.1 Windval in Zoniënwoud (Beuk)**

Eind oktober 2002 was er een zware storm die heel wat windval veroorzaakte. In Zoniënwoud zijn toen in totaal ongeveer 1100 beuken omgewaaid. Dit had als voordeel dat de terreinploeg heel efficiënt kon werken vermits er een grote concentratie aan bomen was. Er werd getracht de op te meten bomen op een zo objectief mogelijke, liefst willekeurige manier te selecteren.

#### **4.1.3 Gemeten variabelen**

##### **4.1.3.1 Proefvlakgegevens**

In de literatuur wordt gesteld dat het belangrijk is de populaties waarvoor het tarief is bedoeld, voldoende te definiëren (zie hoger onder hoofdstuk 3). Dit wordt voor een groot deel verwezenlijkt door de bestandsfiche.

Het proefvlak en de erin voorkomende populatie wordt er gekarakteriseerd (variatie in soortensamenstelling, leeftijdsopbouw, bedrijfstvorm, bestandsdichtheid, bodemkarakteristieken, enz...).

Bij het ontwerp van de bestandsfiche werd uitgegaan van het inventarisatieformulier 'Formulier I1: bosbeheersplannen domeinbossen, Inventarisatie: algemene kenmerken' van de voormalige afdeling Bos en Groen. De voor het tarievenproject interessante gegevenstypen uit dit formulier werden overgenomen en eventueel aangepast, de minder noodzakelijke weggelaten.

De bestandsfiche (zie Bijlagen) bestaat uit drie onderdelen die overeenkomen met verschillende gegevens betreffende het bestand: identiteitsgegevens, standplaatsgegevens en bestandsgegevens.

(1) Onder de titel "**identiteit**" worden volgende gegevens ingevuld: bosnaam, gemeente, datum van opname, perceelnummer en bestandsnummer, de gemeten soort(en), de foto-codes, de GPS-code en de naam van de opnamer(s).

- (2) Onder de titel "**standplaats**" worden enkele kenmerken van de standplaats samengevat: het reliëftype, het hellingstype, de hellingshoek, de expositie, de vochtigheid en de aanwezigheid van greppels.
- (3) Onder de titel "**bestand**" worden de bestandskenmerken ingevuld: bedrijfsvorm, mengingsvorm, bestandstype, grondvlak van Eik, grondvlak van Beuk, totaal grondvlak, leeftijdsopbouw, soortensamenstelling. Er is ook voldoende plaats voorzien voor bijkomende opmerkingen. Opmerking vooraf: deze kenmerken hebben betrekking op de huidige situatie, zo ook de leeftijdsopbouw. Het is echter mogelijk – zeker wat de zware afmetingen betreft – dat zij niet onder deze leeftijdsopbouw opgegroeid zijn. Zo worden verschillende bestanden in het Zoniënwood als ongelijkjarig gekarakteriseerd (zie Bestandskarakterisatie in Bijlage) terwijl we weten dat deze bestanden in gelijkjarige groepen werden aangeplant.

In elk bemonsterd bestand werd daarnaast ook een gps-meting uitgevoerd. Aan de hand van deze positie konden met behulp van de Bodemkaart van België de bodemeigenschappen bepaald worden. Meerbepaald werd de kernserie van de bestandsondergrond geïdentificeerd, met informatie over de textuurklasse, drainageklasse en profielontwikkelingsklasse. Door de kernserie vervolgens te koppelen aan het programma BOBO, konden we een uitspraak doen over de productiegerichte bodemgeschiktheid van het bestand.

#### 4.1.3.2 Boomgegevens

In het opnameformulier (zie Bijlagen) voor liggende bomen zijn alle relevante boomkenmerken samengevat. In de hoofding van het formulier wordt de bosnaam, het bestandsnummer en de datum van opname ingevuld.

Het eigenlijke boomformulier bestaat uit vier onderdelen: identiteit, boomparameters, kroon (afkorting voor kroonbeschrijving) en uitwendige stamkwaliteit.

- (1) De noemer "**identiteit**" bevat de volgende gegevens: het boomnummer, de GPS-code en de valrichting (in geval van windworp-bomen), de naam van de aflezer, de boomsoort, het gemeten gedeelte en de aard (windworp, dunning, eindkap)
- (2) Onder de titel "**boomparameters**" worden de volgende gegevens ingevuld:
  - de verschillende hoogtes: totale hoogte, hoogte van de kroonaanzet, hoogte van de eerste zware tak, en in voorkomend geval hoogte van de vork;
  - de omtrek op 1,30 m (2X), de omtrek op 1,50 m en het bestandsgrondvlak.

Om redenen van efficiëntie werd gebruik gemaakt van de kubeermethode op basis van absolute stamstuklengten. Er werd geopteerd om de boomstam en zijn verlengde in de boomkroon, op te delen in stukken van 1m. Uit [Figuur 3-3](#) (p.22) blijkt dat deze methode een zeer hoge nauwkeurigheid waarborgt. Het verschil in afwijking is groter bij de kubeermethode met stamstukken van 2 m (methode 10), maar ook tegenover de methode 12 (methode gelijkend op die van Dagnelie) ligt de nauwkeurigheid duidelijk hoger.

Diameters werden automatisch opgeslagen met de Mantax-meetklem: de diameter net boven de wortelaanloop, op 0.50 m, op 1.30 m, op 1.50 m, daarna om de meter tot een aftopdiameter van 7 cm.

- (3) Onder de noemer "**kroon**" worden de volgende kenmerken ingevuld: de kroondimensie, de graad van vertakking en de doorlopendheid van de stam. Alleen in het eerste jaar, bij windvalbomen werden kroonvolumes opgemeten. Dit gebeurde bij 327 beuken (23%) en 145 eiken (18%).
- (4) Onder "**uitwendige stamkwaliteit**" wordt het onderste gedeelte van de stam beoordeeld voor enkele uitwendige kwaliteitskenmerken: de stamvorm, de draaigroei per meter, de takkigheid, het verloop, de beschadigingsgraad, de beschadigingstypen en de vorm van de stamdoorsnede.

In de bijlagen worden de meest voorkomende beschadigingen alsook de courante problemen bij het meten kort besproken en gedocumenteerd.

#### **4.1.4 Berekende variabelen**

##### **4.1.4.1 Volume**

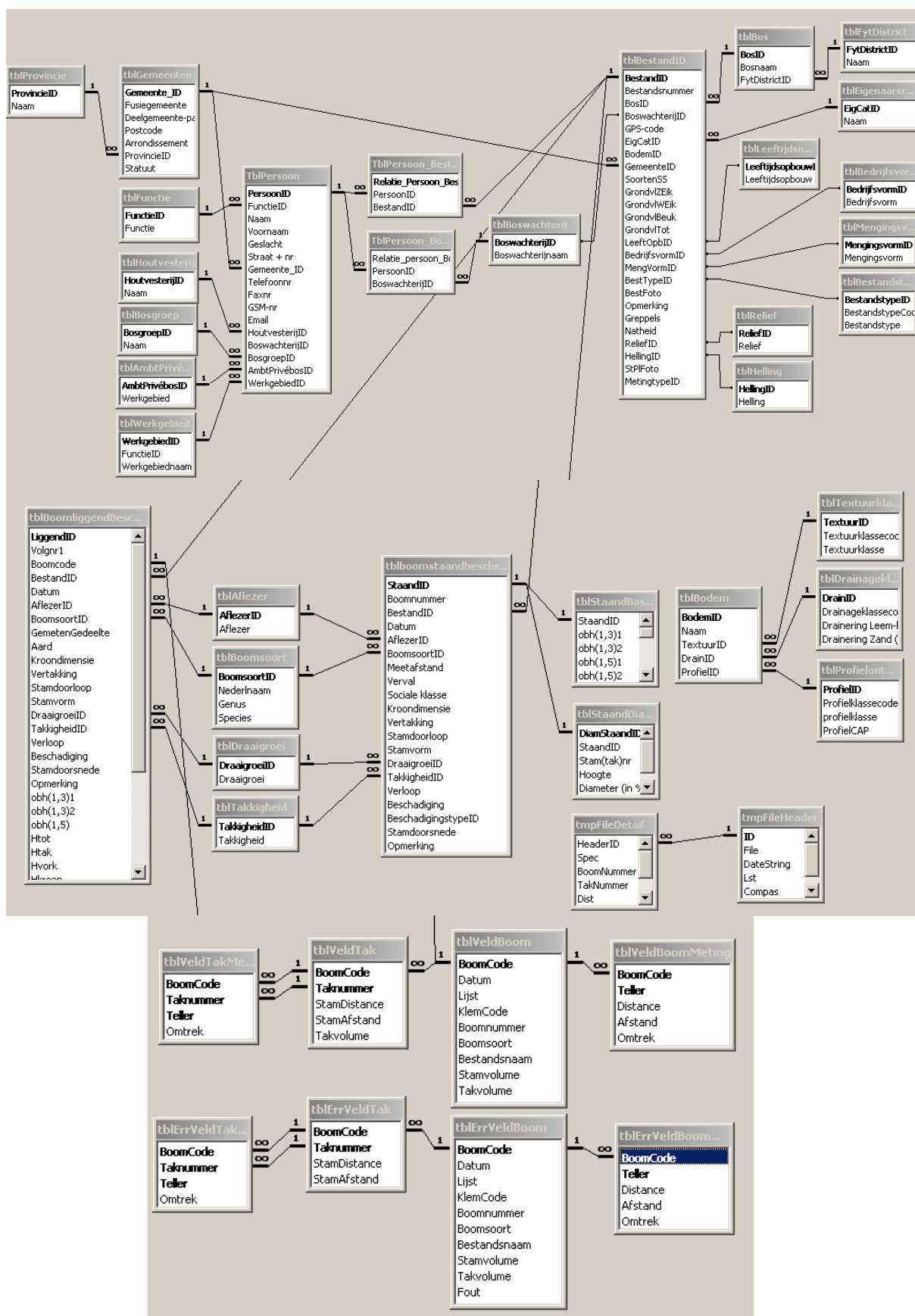
De volumebepaling van de spil gebeurde volgens de sectiegewijze kuberingsmethode met de formule van Simpson. Dit wil dus zeggen dat op elke sequentie van drie metingen de formule van Newton werd toegepast. Deze kubeermethode blijkt immers de beste resultaten te geven voor alle theoretische stammodellen (Tabel 3, p.20). Daarenboven blijkt de formule van Simpson ook in de praktijk de beste resultaten te geven (zie verder: alinea 4.3.3.3, p45). Indien op het einde een stamstuk overblijft van slechts twee secties wordt dit gekubeerd met de formule van "tronc de cône".

## **4.2 Gegevensopslag: de tarieven-databank**

### **4.2.1 Structuur van de databank**

De gegevens werden gegroepeerd onder verschillende noemers. Op basis van deze gegevensgroepen werden tabellen ontworpen waarbij elke tabel informatie over slechts één onderwerp bevat en dezelfde informatie niet in verschillende tabellen voorkomt.

In een volgende stap werden de tabellen met elkaar verbonden via relaties. Dit geheel van tabellen en relaties vormt de databankstructuur. Deze wordt weergegeven in [Figuur 4-1](#). Op basis van deze structuur moet het mogelijk zijn op eender welke vraag betreffende het project te antwoorden.



Figuur 4-1: structuur van de tarieven-databank

### **4.2.2 Gegevensinvoer**

Gegevens van de formulieren werden manueel ingevoerd.

De omtrekgegevens werden opgeslagen in de digitale meetklem, en werden via een macro ingelezen in de databank. Deze macro zorgde ervoor dat:

- de gegevenslijsten uit de meetklem werden omgevormd in een voor Access compatibele tabel;
- fouten in de gegevenslijst op eenvoudige wijze konden gedetecteerd en gecorrigeerd worden;
- het berekenen van de stam- en kroonvolumes geautomatiseerd kon worden zodat menselijke fouten ten gevolge van handmatige berekeningen beperkt werden;
- de resultaten van de kubering automatisch in een voor Access compatibele tabel werden geplaatst.

GPS-metingen werden eveneens automatisch (via een macro) ingelezen in de databank.

Bodemgegevens en gegevens over de ecoregio werden bepaald op basis van deze GPS-coördinaten.

## **4.3 Kwaliteitscontrole**

### **4.3.1 Principe**

Het is erg belangrijk dat de metingen correct gebeuren (Chevrou, 1988), want meetfouten compenseren nooit; ze vertalen zich alleen in afwijkende gegevens met systematische afwijkingen of in een verlies aan precisie m.a.w. een verhoging van de residuele variantie.

Ervaring leert dat regelmatige controle zorgt voor een merkbare verhoging van de kwaliteit van de metingen, zelfs wanneer deze controle slechts op een klein percentage van de metingen wordt uitgevoerd.

In het bestek was een duidelijke vraag naar het waarborgen van de kwaliteit.

Dit gebeurde op verschillende niveaus:

- werken met protocols en procedures
- verifiëren van de bruikbaarheid van de methode via proefmetingen
- doorgevoerde controle van meetgegevens

### **4.3.2 Werken met protocols en formulieren**

#### **4.3.2.1 Protocols**

Binnen het project moesten tal van metingen verricht worden. Om deze op een gestructureerde en gestandaardiseerde manier te laten verlopen, werden er een aantal regels opgesteld. Deze regels zijn per domein vervat in een protocol.

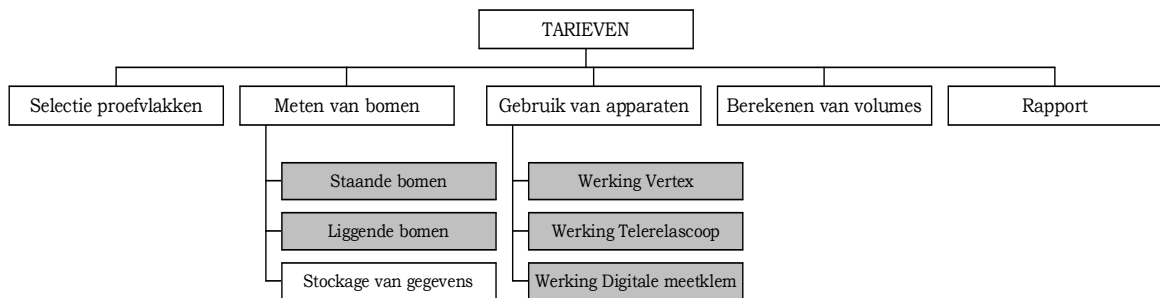
Procedures zorgen voor herhaalbaarheid: een gestructureerde handleiding per werkgebied laat toe steeds op dezelfde manier beslissingen te nemen.

Procedures informeren het personeel en verschaffen een gestandaardiseerde referentie. Zij leggen tevens uit hoe iets moet gedaan worden zodat procedures kwaliteit, kostenbeheersing, een snellere doorstroomtijd en de controle achteraf in de hand werken. Procedures zijn een goede trainingsbron (stagiairs). Een voorwaarde is wel dat zij actueel gehouden worden.

In principe is de projectleider verantwoordelijk voor de uitgifte van procedures met betrekking tot zijn verantwoordelijkheidsgebied. In het project werden de protocollen over de werking van instrumenten opgemaakt door de technici.

Speciale aandacht ging naar het opstellen van een foutenbronnenanalyse en, voor de protocols met betrekking tot het gebruik van meettoestellen, het ijken.

**Figuur 4-2** geeft de belangrijkste onderdelen van het project weer. Een aantal op te stellen protocollen zijn ook in het schema weergegeven.



**Figuur 4-2:** Belangrijkste projectfases en protocollen binnen het tarievenproject

Een overzicht van de gebruikte protocols is te vinden in Bijlage 2 van het deel “Bijlagen”.

#### 4.3.2.2 Opname- en invoer formulieren

Om de metingen op een gestandaardiseerde manier te laten verlopen en de gegevens op een ordelijke manier te verzamelen, werden opnameformulieren ontworpen. Er werden twee verschillende opnameformulieren aangemaakt: een bestandsfiche en een boomformulier voor staande en liggende bomen (bijlage 3).

Bij het ontwerp van de formulieren werd extra aandacht besteed aan de lay-out. Om de verschillende onderdelen van het formulier te accentueren werden er kleurschakeringen aangebracht. Om te voorkomen dat men bepaalde gegevens zou vergeten in te vullen, werd de invulruimte van deze gegevens extra omkaderd. Er werd ook aandacht besteed aan de gebruiksvriendelijkheid van de formulieren: voor de niet-kwantitatieve gegevens werd zoveel mogelijk gewerkt met aanvinkvakjes.

Om het ingeven van de veldformulieren te vergemakkelijken, werden in de databank formulieren aangemaakt, met een gelijkaardige opbouw en volgorde van de gegevens. Om het invullen te bespoedigen en te standaardiseren, werd zoveel mogelijk gewerkt met keuzelijsten.

### 4.3.3 Controle van de meetmethode

#### 4.3.3.1 Variatie tussen uitvoerders

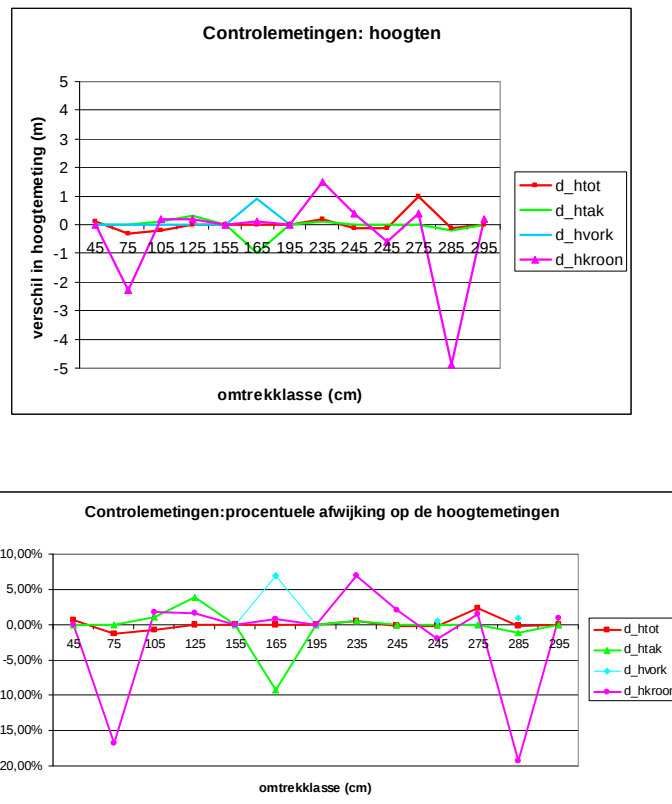
Om zicht te krijgen op de variatie tussen uitvoerders, werd het volgende controlesysteem ingevoerd: op vaste tijdstippen wordt een boom gekozen die tweemaal wordt opgemeten (in het meetseizoen éénmaal om de twee weken) door verschillende personen. De eerste persoon vult het opnameformulier in terwijl de andere persoon de boom opmeet met de digitale meetklem. Daarna wordt er gewisseld. Zo verkrijgen we een “controleboom” waarvan het resultaat van het stamvolume en de opnameformulieren met elkaar wordt vergeleken. Analyse van de resultaten geeft informatie waarmee de meettechnieken beter op elkaar kunnen afgestemd worden.

Bij het bepalen van enkele variabelen die de basis vormen voor onze tarieven, merkten we op dat er soms meetverschillen optraden tussen de individuen die de bomen opmeten.

Uit de analyse van deze controlegegevens (zie **Figuur 4-3**), kunnen we concluderen dat er twee groepen variabelen zijn:

- (1) één groep waarvoor slechts kleine verschillen vastgesteld werden bij de controlemetingen. Het gaat om vorkaanzet ( $d_{h_{vork}}$ ), de totale lengte ( $d_{h_{tot}}$ ) en de lengte tot de eerste zware tak ( $d_{h_{tak}}$ ). Dit zijn vrij objectieve variabelen. De verschillen blijven binnen de 5% afwijking.

(2) bij een andere groep (kroonaanzet -  $d_{h_{kroon}}$ ) zijn de verschillen aanzienlijk. De definitie is dan ook meer subjectief.



Figuur 4-3 a en b: resultaat controlemetingen

Door de onafhankelijke metingen met elkaar te vergelijken hebben we vastgesteld dat er afwijkingen kunnen ontstaan door verkeerde interpretatie van bepaalde begrippen (wat is de eerste zware tak?; wat is precies kroonaanzet?; wanneer spreek je van stamhout of kroonhout bij gevorkte bomen?).

Bij een kleine boom is een parameter zoals eerste zware zijtak geen duidelijke parameter. Een zware tak beschouwen we als een tak met een doorsnede van minimum zeven centimeter. Afgestorven takken worden niet meegenomen als eerste tak. Bij kleine bomen zal de doorsnede van de zwaarste takken dikwijls kleiner zijn dan zeven centimeter. Dit geeft enige verschillen weer in de grafiek.

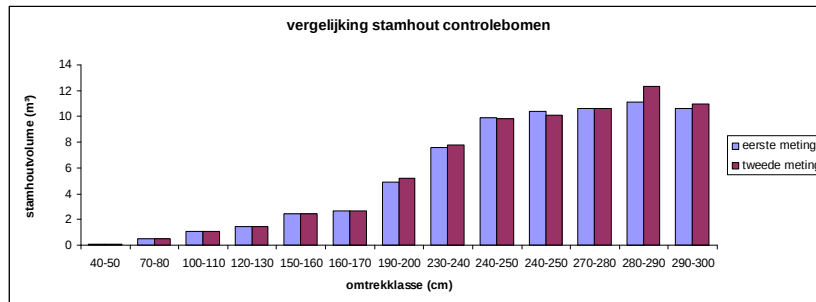
Dit is ook het geval bij de bepaling van de kroonaanzet, waarbij het niet altijd duidelijk is waar deze begint. De kroonaanzet situeert zich waar de eerste bladontwikkeling op levende, zware takken in de kroon begint. Soms gebeurt het dat er een tak lager of hoger genomen wordt door de andere aflezer.

Voor de bepaling van de totale lengte is er over het algemeen geen probleem. Zoals men kan afleiden uit de grafiek geeft dit weinig verschillen. Het is ook de makkelijkst te bepalen parameter, waarbij weinig keuzes moeten gemaakt worden.

Ook de vorken blijken niet echt een probleem te zijn. Een twijfelgeval kan zich echter wel voordoen. Zo is wat voor de ene een vork is voor de andere soms een zware tak. Dan wordt meestal naar de dikte van de stam ten opzichte van deze vork of tak gekeken. Soms kan een

vork als stamhout mee verrekend worden. Als de tweede tak van de vork gelijkwaardig is van dikte kan deze ook als stamvolume meegerekend worden.

Wat de variabiliteit van deze opnames betekent voor het uiteindelijk volume, is te zien in [Figuur 4-4](#).



Figuur 4-4: effect aflezer op het volume van de controlebomen

Uit de grafiek kunnen we afleiden dat de verschillen bij het berekenen van het stamhoutvolume vrij klein zijn. Wel valt op dat, naarmate de omtrekklass stijgt, grotere afwijkingen voorkomen. Dit is te wijten aan een meer frequent voorkomen van onregelmatigheden in de boomvorm. Bij dikkere bomen heb je vaker vorken, onregelmatig gevormde bomen, ... Er komen dus meer van de hiervoor subjectief genoemde variabelen voor. Het resultaat in stamhoutvolume hangt dan ook sterk af van welke vorken als stamhout meegerekend worden (zie grafiek: omtrekklass 280-290. Dit was een gevorkte boom).

#### 4.3.3.2 Hoogtemeting versus lengtemeting

De kubeertabellen hebben omtrek op borsthoogte en totale hoogte als ingangsvariabelen. Op basis van deze twee dendrometrische kenmerken moet het stamvolume zo nauwkeurig mogelijk geschat worden. De afwijking op het werkelijke stamvolume zal in belangrijke mate afhangen van de nauwkeurigheid van de metingen op terrein.

Bij het hameren van te kappen bomen wordt normaliter de omtrek op borsthoogte en de totale hoogte bepaald. Op basis van deze meetwaarden worden de individuele stamvolumes afgeleid. De omtrekmetingen gebeuren met behulp van een meetlint of meetklem. Van deze metingen wordt verondersteld dat ze een hoge graad van nauwkeurigheid hebben. De bepaling van de totale hoogte gebeurt met allerlei hoogtemeters en is omslachtiger: dikwijls is de boomtop niet goed zichtbaar door voorhangend gebladerte of takken. Dit is vooral zo bij loofbomen die in blad staan. Hierdoor treden er vaak fouten op de hoogtemeting op die een invloed kunnen hebben op het geschatte volume.

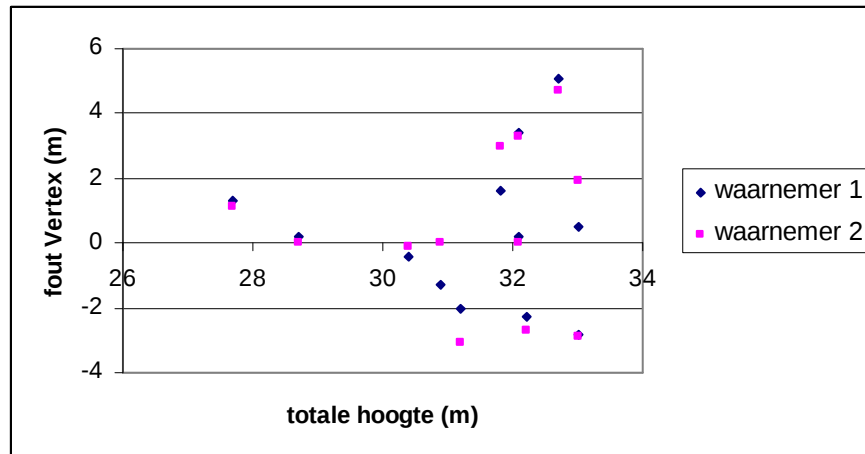
Hoe groot is nu de fout op de hoogtemeting en van welke grootteorde is de daaruit voortvloeiende fout op het stamvolume? Om dit na te gaan werd een kleine test gedaan op enkele te vellen bomen. Van deze bomen werd in eerste instantie de hoogte staand bepaald met behulp van een Vertex. Dit meettoestel waarborgt een hoge graad van nauwkeurigheid, hoger dan de meeste types hoogtemeters.

De metingen gebeurden conform het protocol "Metingen". Na de velling werd de meting herhaald met de rolmeter. Er wordt van uitgegaan dat de fout op deze laatste metingen minimaal is (grootteorde decimeter). Het verschil in meetwaarde tussen de hoogtewaarden bekomen met de twee meetmethoden geeft dan de fout tengevolge de meting met de Vertex.

De proef werd uitgevoerd voor twee hoogten, nl. de totale hoogte en de hoogte van de eerste zware tak, en werd uitgevoerd door twee waarnemers. [Figuur 4-5](#) geeft afwijkingen in hoogtewaarde ten opzichte van de totale hoogte zoals bepaald met de rolmeter. Uit de figuur is af te leiden dat de grootteorde van de meetfout op de totale hoogte vaak in de grootteorde van

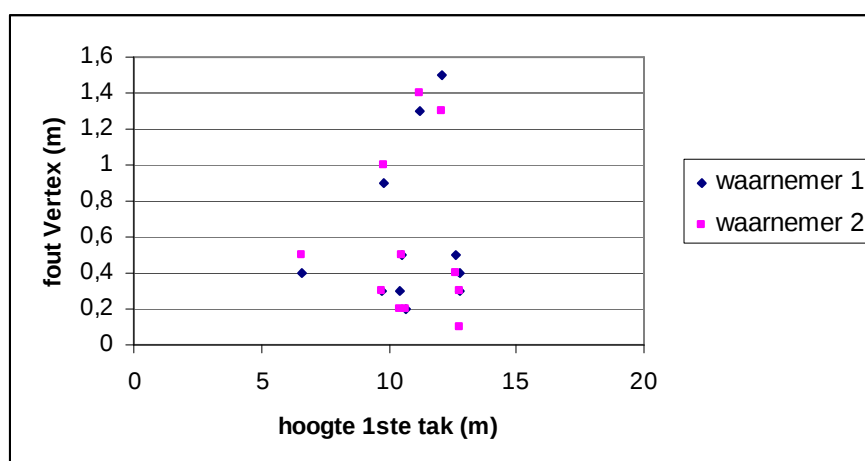
meters ligt. In slechts de helft van de gevallen is de meetfout kleiner dan twee meter. De grootste afwijkingen liggen tussen de vier à vijf meter. Deze waarden zijn zeer groot vergeleken met de nauwkeurigheid van de Vertex. De verschillen tussen de twee waarnemers zijn, op twee gevallen na, kleiner dan een meter. Dit doet vermoeden dat een groot gedeelte van de fout op de hoogtemeting veroorzaakt wordt door de slechte zichtbaarheid van de boomtop.

De grootte van de meetfout lijkt groter te worden met toenemende boomhoogte. Wegens het kleine steekproefaantal is deze gevolgtrekking echter nog onder voorbehoud.



Figuur 4-5: meetfouten op de waarde van de totale boomhoogte als gevolg van meting met de Vertex

Figuur 4-6 geeft de afwijking in hoogte van de eerste tak ten opzichte van de werkelijke hoogte van de eerste tak zoals bepaald met de rolmeter. Het valt meteen op dat de afwijkingen hier over het algemeen kleiner zijn. Hun grootte situeert zich tussen de 0 en 1,6 m. Op vier metingen na, zijn de afwijkingen kleiner dan één meter. De verschillen tussen de twee waarnemers zijn ook veel kleiner. Opvallend is wel dat de afwijkingen telkens positief zijn. Dit houdt in dat de meting met de Vertex de werkelijke hoogte overschat.

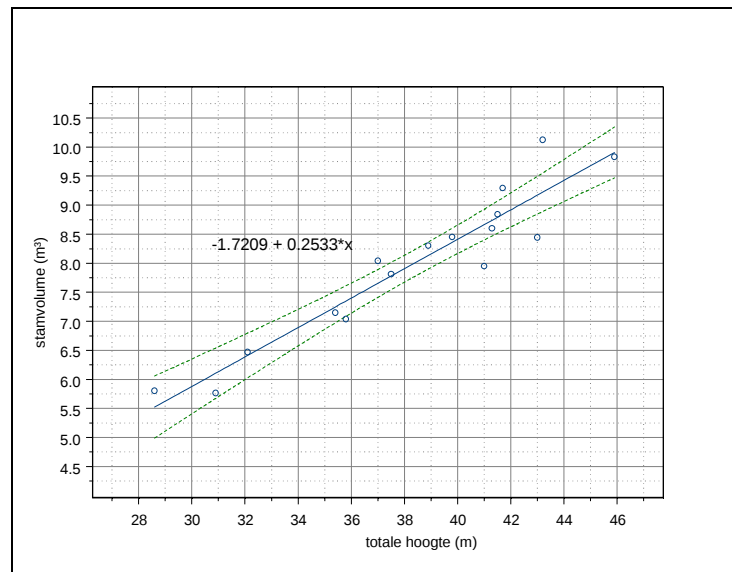


Figuur 4-6: meetfouten op de waarde van de hoogte van de eerste tak als gevolg van meting met de Vertex

Uit de vergelijking van de twee testen kan afgeleid worden dat een belangrijk gedeelte van de meetfout op de totale hoogte het gevolg is van de gebrekkige zichtbaarheid van de boomtop: metingen op duidelijk zichtbare punten (vb. eerste zware tak) gaan gepaard met veel kleinere meetfouten.

Wat is vervolgens de grootteorde van de fout op het geschatte volume tengevolge van een meetfout op de boomhoogte?

Om hierop een antwoord te kunnen bieden hernemen we [Figuur 3-7](#) welke voor Beuk het stamvolume uitzet t.o.v. de totale hoogte. Nemen we bijvoorbeeld de grafiek voor omtrekkklasse 255cm. In deze grafiek komt duidelijk naar voor dat de relatie tussen stamvolume en totale hoogte nagenoeg lineair is. Als we op de puntenwolk een linear fit toepassen, dan bekomen we [Figuur 4-7](#). Aan de figuur zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen en de vergelijking van de regressierechte toegevoegd.



Figuur 4-7: lineaire relatie tussen de totale hoogte en het stamvolume bij Beuk (omtrekkklasse 255cm)

De vergelijking van de regressierechte laat de relatie tussen de boomhoogte en het stamvolume als volgt schrijven:

$$\text{Stamvolume(m}^3\text{)} = -1.7209 + 0.2533 \cdot \text{boomhoogte(m)}$$

Op basis van deze vergelijking is het mogelijk het effect van een foutieve meting van de boomhoogte op het stamvolume na te gaan. Zo zal een meetfout in de hoogtemeting van 2m., aanleiding geven tot een verschil in stamvolume van  $2 \cdot 0,2533 \text{ m}^3 = 0,5066 \text{ m}^3$ . Meetfouten van 3m en van 4m geven volumeverschillen van respectievelijk  $0,7599 \text{ m}^3$  en  $1,0132 \text{ m}^3$ .

Een gemiddelde boom met een hoogte van 38 m heeft een volume van  $7,9 \text{ m}^3$ . Bij zo een boom, en uitgaande van bovenstaand lineair model, zullen meetfouten in de totale hoogte van 2m, 3m en 4m aanleiding geven tot procentuele verschillen in het stamvolume van respectievelijk 6,4%, 9,6% en 12,8%!

#### 4.3.3.3 Conclusie

Het is duidelijk dat fouten op de hoogtemeting onaanvaardbaar grote verschillen in het geschatte stamvolume kunnen veroorzaken. Om de grootte van de afwijking te beperken moet de hoogtemeting zo nauwkeurig mogelijk worden uitgevoerd. Dit houdt onder meer in dat:

- de metingen dienen te gebeuren aan bomen in wintertoestand;
- de metingen moeten gebeuren met een toestel dat nauwkeurig genoeg werkt (Vertex);
- gewerkt moet worden volgens een waterdicht protocol (cfr. Protocol "Metingen").

Met behulp van deze maatregelen moet het mogelijk zijn de fout op de totale hoogte drastisch te beperken.

De moeilijk te bepalen variabelen (waar afwijkingen groter dan 5% bestaan) moeten in de toekomst nog correcter gemeten worden. Dit kan door meer overleg tijdens het meten; en door het verder uitwerken van de meetprotocollen waar nodig.

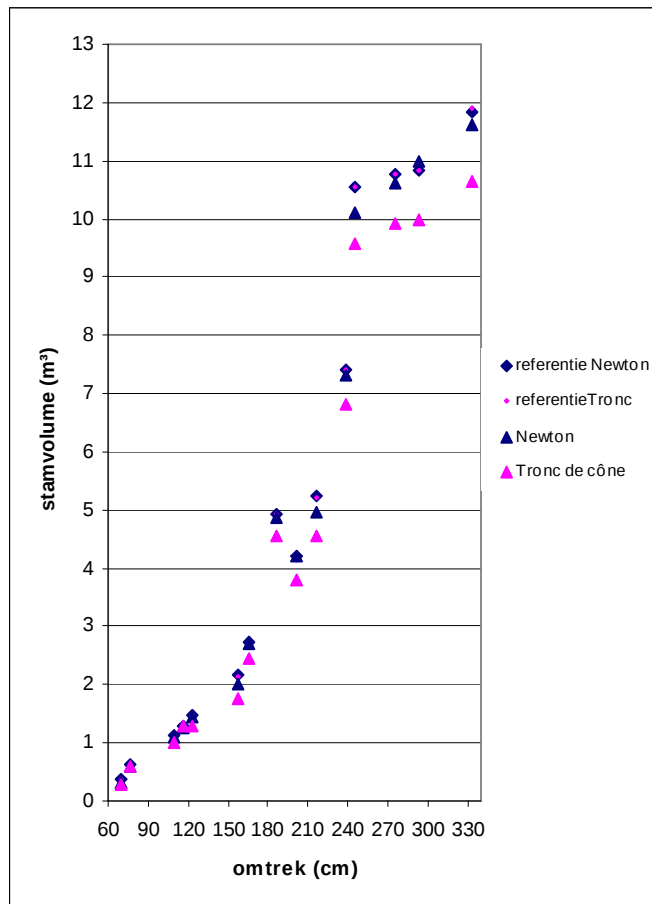
Aangezien hoogtemetingen over het algemeen weinig nauwkeurig zijn, is het belangrijk om de hoogte in het model minimaliseren.

#### **4.3.4 Kubeermethode: formule van Newton versus formule van 'tronc de cône'**

Voor het bepalen van de staminhoud is volgens Rondeux (1993) de formule van Newton de beste kubeerformule. Ze is namelijk exact voor alle theoretische stammodellen, d.w.z. zowel voor het cilindrisch, het parabolisch, het conisch als voor het neloïde stammodel. De formule van 'tronc de cône' (conische stam) daarentegen geeft een onderschatting van het volume van de parabolische en neloïde stamvorm. Dagnelie werkte voor het opstellen van zijn tarieven nochtans met de formule van 'tronc de cône'.

De formule van Newton bepaalt het volume van een stamstuk aan de hand van drie omtrekwaarden. De formule van 'tronc de cône' slechts met twee. De metingen aan de stam gebeuren op vaste afstand, namelijk om de meter. Dat maakt dat wanneer de formule van Newton op de meetgegevens wordt toegepast, er gewerkt wordt met elementaire stamstukken van 2m. Indien de formule van 'tronc de cône' wordt toegepast bedraagt de lengte van een elementair stamstuk 1m.

Alhoewel de formule van Newton voor theoretische stammodellen het meest exact is, werd het toch nuttig geacht ook voor enkele praktijkgevallen de vergelijking te maken met de formule van 'tronc de cône'. Hiertoe werden vijftien bomen, verspreid over het volledige bereik van de omtrekken, eerst om de 30 cm opgemeten en vervolgens om de meter. Met behulp van deze metingen werden vier stamvolumes berekend: twee referentievolumes op basis van de metingen om de 30 cm (één aan de hand van de formule van Newton en één aan de hand van de formule van 'tronc de cône'), en twee stamvolumes op basis van de metingen om de meter (ook één aan de hand van de formule van Newton en één met behulp van de formule van 'tronc de cône').



Figuur 4-8: vergelijking van het volume obv de formule van Newton en het volume obv de formule van tronc de cône tegenover de referentievolumes (één op basis van Newton, één op basis van tronc de cône)

Figuur 4-8 toont voor de vijftien bomen de vier berekende volumes. Uit deze Figuur is af te leiden dat de twee referentievolumes in alle gevallen nagenoeg gelijk zijn. Bij gebruik van zeer kleine stamstukken heeft de kubeerformule bijgevolg weinig invloed op het berekende volume. Een tweede vaststelling is dat het stamvolume op basis van de formule van Newton het best aansluit bij de referentievolumes. De afwijkingen ten gevolge van de formule van 'tronc de cône' zijn in alle gevallen groter.

De afwijkingen ten opzichte van het referentievolume zijn daarenboven het kleinst bij de kleinste bomen en nemen over het algemeen toe met de omtrek. De grootte van de afwijkingen ligt voor de formule van Newton steeds onder de  $0,25\text{m}^3$ , daar waar de formule van 'tronc de cône' tot afwijkingen leidt die soms groter zijn dan  $1\text{ m}^3$ .

Op basis van deze resultaten werd besloten om voor het berekenen van het stamvolume de methode uit het aanvangsverslag aan te houden en verder te werken met de formule van Newton.

#### 4.3.5 Gegevensinvoer

De sectiegewijze metingen van de stamomtrek gebeurden met de Mantax digitale meetklem. Om de meter werd een diametermeting uitgevoerd die meteen geconverteerd werd naar omtrek en digitaal werd opgeslagen. De hoogte waarop de meting gebeurde, werd als 'Distance' geregistreerd: Distance 1 op 0,5m van de stamvoet, Distance 2 op 1,5m, Distance 3 op 2,5m, enz...

Naast tijdswinst heeft deze meettechniek het grote voordeel dat de kans op schrijffouten nihil is. Toch kunnen er ook bij het verzamelen van deze gegevens nog een aantal fouten optreden:

- De registratie van elke meting gaat gepaard met een bieptoon. In sommige gevallen (bvb. door omgevingslawaai (motorzaag)) bestaat de kans dat deze bieptoon niet gehoord wordt door de aflezer en er bijgevolg twee keer gemeten wordt bij eenzelfde distance.
- Het uitvoeren van de omtrekmetingen is vaak een heel karwei. Er moet heel wat worden geklauterd tussen de takken van de liggende boom. Daardoor bestaat de kans dat er bij het manoeuvreren accidenteel een meting gebeurt. Doordat de meetklem tijdens het manoeuvreren gemakkelijkshalve wordt toegeschoven, is de waarde van deze meting steeds zeer klein.
- Door de val is het bovenste gedeelte van de boom dikwijls versplinterd, waardoor de reconstructie van de boomstam in de kroon heel wat puzzelwerk vergt. Het komt ook voor dat het verlengde van de stam zich onder de takkenmassa bevindt en onbereikbaar is met de meetklem. Daardoor is het soms onmogelijk de boomspil op te meten tot een omtrekwaarde van 22cm.
- Fouten bij de manuele invoer van de takcode waardoor dubbele codes voor eenzelfde takpositie ontstaan.

De omtrekgegevens van de sectiegewijze metingen worden automatisch ingevoerd via een speciaal daarvoor ontworpen programma. Tijdens de digitale invoer worden de gegevens onderworpen aan enkele criteria. Zo worden bijvoorbeeld enkel bomen met een voldoende aantal metingen effectief geïmporteerd door het programma. Toch biedt deze eerste controle geen absolute zekerheid en bestaat de mogelijkheid dat er alsnog fouten in de dataset sluipen.

## 4.4 Gegevensverwerking

De eerste stap vooraleer men kan beginnen met de gegevensverwerking, is de datacleaning. Vervolgens wordt een verkennende data-analyse uitgevoerd, waarna de eigenlijke modellering plaats kan vinden. De verkennende data-analyse en de modellering worden meer in detail beschreven in deel 3 van dit rapport.

### 4.4.1 Datacleaning

De kwaliteit van het model, en daaraan gekoppeld de nauwkeurigheid van de uiteindelijke kubeertabel, wordt in grote mate bepaald door de kwaliteit van de onderliggende gegevens. Het is daarom van groot belang dat wordt uitgegaan van een gezuiverde dataset. Dit wil zeggen dat de gegevens grondig moeten worden geanalyseerd op afwijkende of foutieve gegevens.

#### 4.4.1.1 Fouten en outliers

Ondanks de gedane inspanningen om de kwaliteit van de gegevens te waarborgen (zie 4.3) kunnen fouten niet uitgesloten worden.

In eerste instantie werden de gegevens afkomstig van de opnameformulieren aan een algemene screening onderworpen. De kans bestaat namelijk dat er gedurende de verschillende fases van de gegevensverzameling en gegevensopslag menselijke fouten optreden: afleesfouten van de meetwaarden, schrijffouten bij het noteren op het opnameformulier, tikfouten bij de invoer van de gegevens in de databank, ...

Deze fouten kunnen ondermeer leiden tot:

- merkwaardige combinaties van omtrek en totale hoogte: vb. bomen met een geringe omtrek en een zeer grote boomhoogte, of omgekeerd.
- merkwaardige combinaties van de opgemeten hoogten: zijn takvrije hoogte, kroonhoogte en hoogte vork steeds kleiner dan de totale hoogte?
- ontbrekende gegevens: zijn alle gegevens in het opnameformulier ingevuld?

In deze stap van datacleaning wordt de dataset klaargemaakt voor modelconstructie. Door het grote aantal metingen (meer dan 36.500) was het niet mogelijk elke omtrekmeting afzonderlijk te controleren. Er moest met andere woorden gezocht worden naar geautomatiseerde methoden voor het opsporen van meetfouten en ontbrekende gegevens (vaak grondvlak, GPS-gegevens, bodemgegevens). Deze laatste werden in de mate van het mogelijke aangevuld.

Er werden criteria ontworpen waarmee afwijkende meetwaarden en verdachte combinaties van meetwaarden automatisch konden worden opgespoord. Deze criteria steunen op een aantal variabelen die elk een indicatie kunnen geven van een mogelijke fout: absoluut en relatief hoogteverschil tussen de totale hoogte en de hoogte van de laatste omtrekmeting, omtrekwaarde van de laatste meting, absoluut en relatief maximaal omtrekverschil tussen twee opeenvolgende omtrekmetingen.

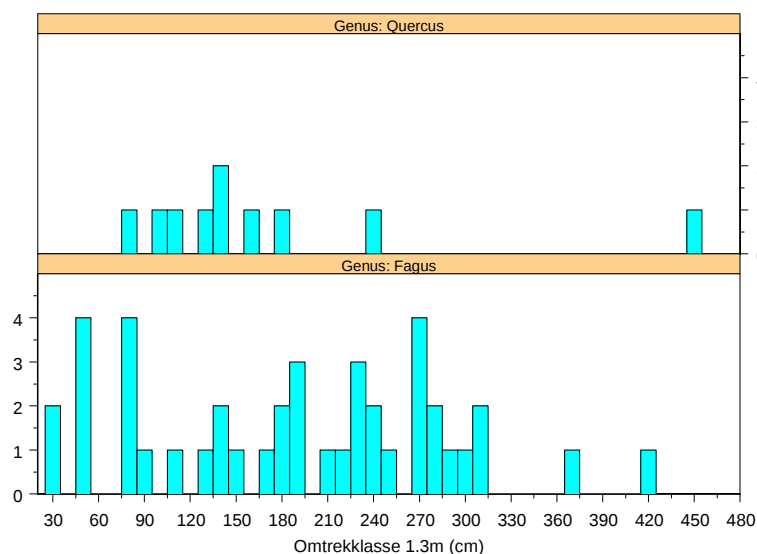
Aan de hand van histogrammen en scatterplots werden volgende criteria voor het opsporen van fouten en outliers opgesteld:

- Criterium 1: de boomhoogte, zoals die werd opgeschreven op het opnameformulier, moet steeds groter zijn dan de hoogte waarop de laatste omtrekmeting gebeurde. Het hoogteverschil tussen de totale hoogte en de hoogte van de laatste meting moet m.a.w. steeds positief zijn. Bomen met een negatief hoogteverschil moeten worden verwijderd.
- Criterium 2: bij kleine bomen mag het hoogteverschil tussen de totale hoogte en de aftophoogte bij 22cm omtrek nooit groter zijn dan 9m.
- Criterium 3: de meetwaarden van bomen waarbij het relatief hoogteverschil tussen de totale hoogte en de aftophoogte bij 22cm omtrek groter is dan 40% moeten worden gecontroleerd.
- Criterium 4: de aftopgrens voor de laatste omtrekmeting is 22cm. Het importeerprogramma weerhoudt bijgevolg enkel meetwaarden groter dan deze 22cm. Hierdoor is de laatst toegelaten meetwaarde vaak groter dan 22cm. Bomen waarvan de laatste meting echter groter dan 40cm is, moeten worden gecontroleerd.
- Criterium 5: het omtrekverschil tussen twee opeenvolgende metingen mag maximaal 70cm zijn. De meetwaarden van bomen waarbij grotere omtrekverschillen voorkomen, moeten worden nagekeken.
- Criterium 6: de meetgegevens van de punten die in de scatterplots als outlier naar voor komen, moeten worden nagekeken.

Fouten en outliers werden opgespoord, en eventueel gecorrigeerd; meestal echter werd de observatie weggelaten uit de analyse.

Aan de hand van de hierboven beschreven criteria werden in totaal 110 van de 1538 bomen (7.15%) als kandidaat-outlier geïdentificeerd. Van deze bomen werden zowel de genoteerde gegevens van het opnameformulier als de digitale gegevens uit de meetklem met een kritisch oog bekeken. 52 bomen werden weerhouden als outlier en werden verwijderd uit de dataset. De overige bomen werden behouden omdat de afwijkingen naar ons oordeel niet te wijten waren aan foutieve metingen.

Onderstaande figuur (Figuur 4-9) geeft de omtrekverdeling van de verwijderde bomen weer. Het gaat om 10 eiken en 42 beuken. Jammer genoeg gaat het hier ook om enkele zeer zware exemplaren.



Figuur 4-9: omtrekverdeling van de verwijderde bomen

#### 4.4.1.2 Vorken

Voor het bepalen van het stamvolume wordt over de gehele stamlengte de stamomtrek om de meter opgemeten tot een minimumomtrek van 22cm bereikt wordt. Deze spil wordt gekubeerd als zijnde het stamvolume van de boom. Bij gevorkte bomen loopt de stam niet door tot het einde, maar wordt hij op een bepaalde hoogte (hoogte vork) opgesplitst in twee zware 'stamtakken'. In dit geval wordt de zwaarste van de twee als stam verder opgemeten; de tweede tak wordt als zijtak aanzien. De stamomtrek net boven de vork is meestal een aanzienlijk stuk lager dan de stamomtrek net onder de vork. Bij een gewone zijtak daarentegen neemt de omtrek van de stam doorgaans meer geleidelijk aan af. Er wordt dus verwacht dat het stamvolume, zoals wij het meten, van gevorkte bomen lager is dan dat van niet gevorkte bomen met dezelfde dimensies. Hoe lager de vork zich bevindt, hoe sneller het sterke verloop zich voordoet. Daarom veronderstellen we dat het verschil in stamvolume groter wordt naarmate de vorkhoogte afneemt.

Bij de soorten Eik en vooral Beuk zijn gevorkte stammen geen uitzondering. In de natuur komen een groot aantal gevorkte eiken en beuken voor. Dit wordt duidelijk weerspiegeld in onze dataset: van de 961 Beuken in de gekuiste dataset zijn er 257 of 26.7% gevorkt. Bij Eik is het percentage gevorkte bomen iets kleiner: 76 van de 526 eiken, ofwel 14.4%.

Aangezien ze zo veel voorkomen, moet er bij het opstellen van de tarieven zeker rekening gehouden worden met gevorkte bomen. Er bestaan echter gradaties in het 'gevorkt-zijn'. De hoogte waarop de vork zich bevindt, is daarbij een belangrijke karakteristiek. Naast de absolute waarde van de hoogte waarop de vork zich bevindt, is ook de relatieve vorkhoogte ( $H_{vork}/H_{tot} \cdot 100$ ) van belang. De relatieve vorkhoogte zegt namelijk iets meer over de boomvorm. Als bijvoorbeeld een lage en een hoge boom een vork hebben op dezelfde hoogte, zullen zij wel degelijk verschillen in boomvorm. Dit wordt weerspiegeld door de relatieve vorkhoogte: twee bomen met een relatieve vorkhoogte hebben, wat de positie van de vork betreft, dezelfde boomvorm.

Om na te gaan hoe en in welke mate het voorkomen van vorken de waarde van het gemeten stamvolume beïnvloedt, werden figuren aangemaakt. Op basis van de variabelen "absolute vorkhoogte" en "relatieve vorkhoogte" werd nagegaan hoe de verschillende gradaties gevorkte

bomen verschillen van de niet-gevorkte. Hiertoe werd de relatie omtrek-stamvolume bestudeerd voor vier gelijke klassen van de variabelen.

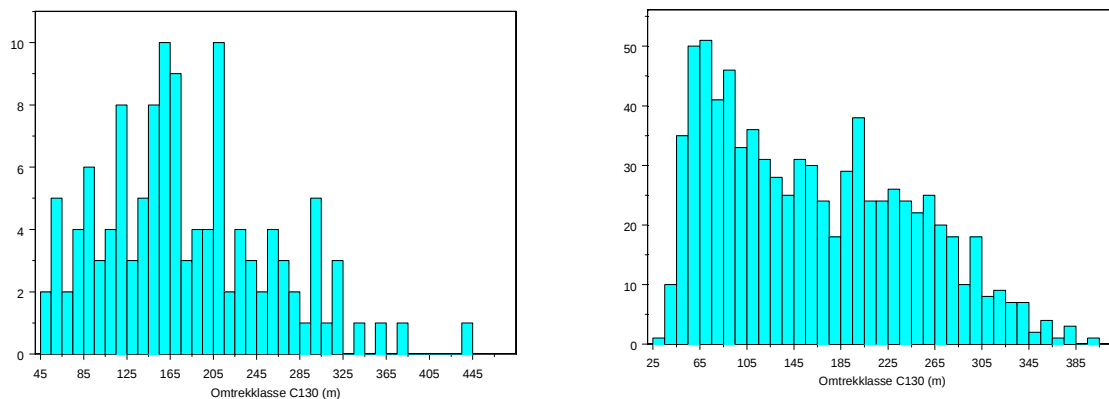
Om het effect van de variabelen op deze relatie over het ganse omtrekbereik te kunnen visualiseren, werden twee soorten figuren gemaakt. De eerste soort zijn figuren geconstrueerd met ongetransformeerde variabelen. Deze figuren accentueren vooral de verschillen in de hogere omtrekklassen. In het lagere omtrekbereik zijn op deze figuren nauwelijks verschillen te onderscheiden. Om toch een beeld te krijgen van de gedragingen in het lagere omtrekbereik, werd een tweede soort figuren aangemaakt: met de log-getransformeerde variabelen LogC130 en LogStamvolume. De resultaten van deze analyse staan beschreven onder 4.4.2 Dendrometrische studie.

Uit de analyse blijkt dat gevorkte beuken een afwijkend gedrag kunnen vertonen in vergelijking met de niet-gevorkte bomen: het stamvolume van laaggevorkte bomen is duidelijk minder groot dan dat van niet-gevorkte.

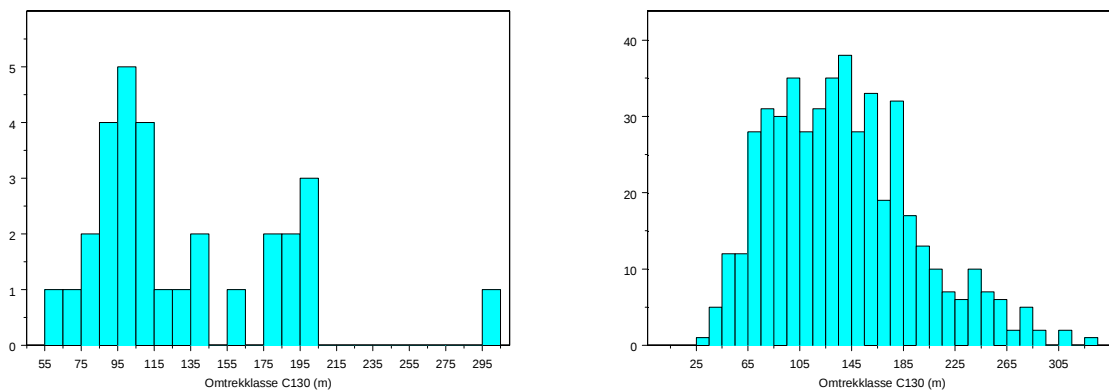
Bij de beslissing om gevorkte bomen al dan niet te behouden in de dataset moet de afweging gemaakt worden tussen representativiteit en voorspellende waarde van het model: gevorkte bomen zijn een realiteit en moeten in het model kunnen meegenomen worden. Anderzijds zorgen té fel gevorkte bomen voor een dusdanige spreiding dat de voorspellende waarde van het model gehypothekeerd zou worden.

Een deel van de gevorkte beuken en eiken werd dan ook uit de dataset verwijderd. In eertse instantie werden gevorkte bomen verwijderd op basis van de waarde van de relatieve vorkhoogte. Van de overblijvende bomen werd nog een aantal verwijderd op basis van hun absolute vorkhoogte:

- beuken met vorken op minder dan 43,7% van de totale hoogte werden verwijderd;
- beuken met een absolute vorkhoogte lager dan 13,3m werden verwijderd;
- eiken met vorken op minder dan 44,5% van de totale hoogte werden verwijderd;
- eiken waarvan de vork lager zit dan 7m werden verwijderd;



Figuur 18: omtrekverdeling van de verwijderde sterk-gevorkte beuken (a) en de overblijvende beuken (b)



Figuur 19: omtrekverdeling van de verwijderde sterk-gevorkte eiken (a) en de overblijvende eiken (b)

Aan de hand van bovenstaande criteria werd een selectie gemaakt van sterk-gevorkte bomen. Bomen die voldeden aan deze criteria, werden uit de dataset voor dit rapport verwijderd. De figuren 18 en 19 geven de stamtalverdeling van de sterk-gevorkte beuken en eiken die uit de dataset werden verwijderd, alsook de stamtalverdeling van de overblijvende bomen.

#### 4.4.2 Dendrometrische studie: Bepaling van de variabiliteit van de gegevens en validatie

Eerst werd de interne variabiliteit van de gegevens onderzocht. In plaats van te betrouwen op variabiliteit uit externe experimenten werd de variabiliteit bepaald in functie van diverse variabelen. Onder meer de variabiliteit van het stamvolume in functie van de diameter op borsthoogte, de variabiliteit van het stamvolume in functie van de boomhoogte en het effect van de verschillende standplaatstypes op de verschillende vormen van variabiliteit werden nagegaan.

Vervolgens werd de consistentie nagegaan ten opzichte van de bestaande tarieven. Hierbij werden voor elk (diameter op borsthoogte, hoogte)-koppel de gemeten volumes vergeleken met de volumes afgeleid uit de bestaande tarieven. Hierbij werd aandacht geschonken aan beleidsrelevante factoren zoals mengingsgraad en ongelijkjarigheid. Het merendeel van de vroegere tarieven werd immers opgemaakt voor gelijkjarige en meestal homogene bestanden. Het Vlaams bosbeleid is, naast het stimuleren van oudere bomen, ook gericht op het

bevorderen van ongelijkjarige en gemengde bestanden. Er moet bijgevolg worden nagegaan of metingen in deze omstandigheden verschillend zijn van deze in homogene gelijkjarige omstandigheden.

#### **4.4.3 Regressie**

De gebruikte regressiemethode wordt uitvoerig besproken in deel 3 van dit rapport.

## 5 Activiteiten en personeelsinzet

Tabel 5: Overzicht activiteiten

| Jaar →              | 2002 |   |   |   | 2003 |   |   |   | 2004 |   |   |   | 2005 |   |
|---------------------|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|
| Kwartaal →          | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 |
| Activiteit ↓        |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Projectorganisatie  |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Literatuur          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Conceptualiseren    |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Proefvlakselectie   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Gegevensverzameling |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Gegevensverwerking  |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Kwaliteitscontrole  |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Modelconstructie    |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Rapportage          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |

Tabel 6: personeelsinzet in het project

| Jaar →              |              | 2002 |   |   |   | 2003 |   |   |   | 2004 |   |   |   | 2005 |   |
|---------------------|--------------|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|
| Kwartaal →          |              | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 |
| Personeelslid       | Financiering |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Beatrijs Van der Aa | IBW          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Paul Quataert       | IBW          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| David Van Roy       | Tarieven     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Pieter Vershelde    | IBW          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| David De Lignie     | Tarieven     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Stefaan Goessens    | IBW          |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Gery Van Israel     | Tarieven     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Bart Praet          | Tarieven     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |
| Jurgen Van Isveldt  | Stagiair     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |

## 6 Referenties

- Batias, A. 1958. Construction d'un tarif de cubage approprié. Rev. For. Franç. 1958(2):109-118.
- Berben, J., Baeyens, L., Palm, R., Dendrometrische studie van de Corsikaanse den. Genk, Centrum voor Bosbiologisch Onderzoek, s.a., 59p.
- Bitterlich, W. 1974. Stammkubierung mit dem Tele-Relaskop. AFZ
- Bouchon, J. 1982. Tarifs de cubage à deux entrées pour le hêtre en France. S.I., Revue Forestier Française, 34-3, p.225-236
- Bouchon, J. 1974. Les tarifs de cubage. E.N.G.R.E.F. – Nancy.57pp+bijlagen.
- Brack, C. and Wood, G.B. 1998. Forest measurement and modelling. [www.charlotte.anu.edu.au/Forestry/mensuration](http://www.charlotte.anu.edu.au/Forestry/mensuration).
- Chevrou, B. 1967. Les tarifs de cubage dans la foresterie moderne. Rev. For. Franç. 1967 :33-39.
- Chevrou, R.B. 1988. Construction et utilisation d'un tarif de cubage. Les cahiers techniques de l'inventaire forestier national.
- Coetzee J. en Nalcker S., 1995. Tree volume and taper equations for *Eucalyptus smithii*. Institute for Commercial Forestry Research, South Africa.
- Collection de Terminologie forestière Multilingue, 1975
- Courbet, F. 1991.Tarif de cubage à deux entrées pour le cèdre de l'Atlas en France. S.I., Revue Forestier Française, 43-3 p.215-226.
- Cunia, T. 1964. Least squares estimates and parabolic regression with restricted location for the stationary point. Journal of the American Statistical Association, Vol. 59, No. 306 (Jun., 1964), pp. 564-571.
- Dagnelie, P. J. Rondeux, A. Thill. 1969. Etude dendrométrique du frêne commun. Bull. Rech. Agron. Gembloux 4(3-4) :378-410.
- Dagnelie, P., R. Palm, J. Rondeux, A. Thill. 1985. Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux.
- De Vos, B. 2000. BOBO versie 1.0 - Bodemgeschiedenis voor bomen. Computerprogramma. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- De Wulf R., 1997. Cursus Dendrometrie en Bosinventarisatie. Faculteit Toegepaste Landbouwkundige en Biologische Wetenschappen, Gent.
- De Wulf, R. 1999. Cursus Bosproductie en boswaardeleer. Universiteit Gent. Faculteit Toegepaste Landbouwkundige en Biologische Wetenschappen, Gent.
- Decourt, N. 1973. Remarque sur deux modes de cubage des peuplements mesures directes ou tarif moyen ? Revue forestière française XXV(4) :308-311
- Delevoy, G. 1936. Considérations sur le cubage sur pied des peuplements de chêne de taillis-sous-futaie Bulletin de la Société Forestière Belgique 43(4) :129-141 en 43(5) :198-216.
- Delvaux, J. 1972. Dendrometrie. Enquête sur le chêne. Intern document Proefstation Groenendaal.
- Dhôte, J.-F., E. Hatsch, D. Rittié. 2000. Forme de la tige, tarifs de cubage et ventilation de la production en volume chez le chêne sessile. Ann. For. Sci. 57(2000):121-142.
- Dik E.J., 1984. De schatting van het houtvolume van staande bomen van een aantal in de bosbouw gebruikte soorten. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw 'De Dorschkamp', Wageningen.
- Dik E.J., 1996. Herziene spilhout-volume functies van enkele boomsoorten. IBN Rapport 223. IBN-DLO Wageningen.
- Dufrane, F., Van De Genachte, G. 1997. Kubeertabel met 2 ingangen: Zomereik. S.I., s.e., 1p.
- Fonweban en Houllier, 1997. Tarif de cubage et fonctions de défilement pour *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Annales des Sciences Forestières.
- Gaertner, G. 1990. The sensitivity of measurement error in stand volume estimation. Canadian Journal of Forest Research, 20, pp. 800-804.
- Gerrard, D.J. 1966. The construction of standard tree volume tables by weighted multiple regression. Toronto|University of Toronto:1966-6-35. Faculty of Forestry Technical report 05439.

- Gofas, A. 1966. Comparison between volume measured by sections and volume estimated by spiegelrelascop on standing trees. 2. internationale Ertragskundetagung. Wien. 1966.
- Grayet, 1977. Comparaison de différentes méthodes de cubage des branches d'arbres abattus. Bull. Rech. Agron. Gembloux (1977)12(3):205-214
- Grundner, Schwappach. 1952. Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. Paul Parey. Berlin-Hamburg.
- In, K., J. Rondeux, A. Thill. 1973. Etude dendrométrique de l'érable sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) et du merisier (*Prunus avium* L.). Bull. Rech. Agron. Gembloux VII(1-4):134-190.
- Jain R.C. et al, 1991. Application of "piecewise fitting of a model" technique in construction of volume tables. Resource survey and management division, forest research institute, Dehra Dun (India).
- LABINON, J et AL. 1998. Flora van België het Groothertogdom Luxemburg, Noord-Frankrijk en de aangrenzende gebieden. Nationale plantentuin van België, Meise.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. and Haller, K.E. 1973. Forest inventory, Volume II. BLV Verlagsgesellschaft Composition, Printing GBR. PARCUS KG.
- Meiresonne, L., J. Van Slycken. 1996. Aangepaste opbrengsttabellen voor 'Beaupré' en 'Ghoy'. IBW Bv R. 96.05.
- Meuleman, B. 1988. Verwerking produktiegegevens Populier. Wetenschappelijk komitee Bosbouw, Lisec.
- Nedialkov, S. et al. 1963. Tarifs de cubage, coefficients de forme et assortiments pour le chêne, le hêtre et le peuplier. 3 documenten. Sofia, Todor Dimitrov. (referentie uit Bouchon, 1974)
- Otoul C. en Rondeux J., 1988. Construction d'un tarif de cubage à l'aide d'un micro-ordinateur. Revue Forestière Française, Nancy.
- Palm R. & J. Rondeux (1976) A propos de deux problèmes rencontrés dans la construction de tarifs de cubage : le choix des équations de régression et d'échantillonnage des arbres. Bull. Rech. Agron. Gembloux (Belgique) 11, 243-258)
- Palm R., 1981. Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tables de cubage et d'assortiments. Faculté de Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux.
- Pardé, J. 1956. Le mouvement forestier à l'étranger. Les tarifs de cubage récents. Rev. For. Franç. 1956(2) :108-114.
- Pauwels D., Rondeux J., 2002. Les cahiers forestiers de Gembloux. Revue Forestière Française, Nancy.
- Pauwels, D., R. Rondeux. 1999. Tarif de cubage "peuplement" pour les mélèzes en Belgique méridionale. Rev. For. Fr. 5(1999):605-611.
- Philip, M. S. 1994. Measuring trees and forests. University Press, Cambridge.
- Pregent, G., Savard, F., Desaulniers, G. 2001. Tarif de cubage à diamètre et longueur variables d'utilisation pour le gris en plantation au Québec. Mémoire de recherche, nr. 139, 41p.
- Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 644pp.
- Roda, J.M. 1999. Tarif de cubage Peuplier. AFOCEL
- Rondeux, J. 1973. Principes de construction des tarifs de cubage mathématiques et de traitement automatique d'observations dendrométriques. Bull. Soc. For. 80(4):165-187.
- Rondeux, J. 1975. Pour une définition du volume du bois d'oeuvre de nos principales essences forestières feuillus. Interne nota. 10p.
- Rondeux, J. 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux. 521p.
- Schulting R. 2002. Richtlijnen voor het meten van inlands rondhout ten behoeve van de verkoop. Het Boschap, Zeist.
- Sterba, H. 1976. Fehlerstudie zur Stammkubierung mit dem Telerelaskop. Centralblatt f\*ur das gesamte Forstwesen 93(1):39-59.
- Thibaut, A., Rondeux, J., Claessens, H. 1998. Tarifs de cubage pour l'aulne glutineux en Belgique méridionale. Revue forestier Française. 50 -3 :244-250.

- Thill, A. en J.P. Grayet. 1978. Etude dendrométrique du hêtre commun. Notes techniques du Centre d'Écologie forestière, n° 32, 1978, 79 p.
- Unnikrishnan K.P. en Ravendra S., 1984. Construction of volume tables – a generalised approach. Forest research institute and colleges, Dehra Dun (India).
- VAN HEMELRIJCK, I. 2003. Verklarende analyse van windworp bij Beuk (*Fagus Sylvatica* L.) in het Zoniënwoud. Eindwerk Bioingenieur. Universiteit Leuven.
- Verbeke, W., 2004. Lesnota's boomarchitectuur. Cursus boomverzorging. Educatief Bosbouwcentrum, Groenendaal.
- AFDELING BOS & GROEN. 2001. De bosinventarisatie van het Vlaamse Gewest. Resultaten van de eerste inventarisatie 1997-1999. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

## Lijst van figuren

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 3-1: Weergave van verschillende volumes .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9  |
| Figuur 3-2:     stamtalverdeling (gemiddeld aantal/ha bos in Vlaanderen) voor Beuk, Zomer-<br>en Wintereik in Vlaanderen (gegevens Vlaamse bosinventarisatie 1997-1999, Bos<br>en Groen) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 13 |
| Figuur 3-3:     Vergelijking van de nauwkeurigheid van verschillende kubeermethodes op<br>basis van cilindrische                         stamstukken van verschillende lengte<br>Beschrijving van de kubeermethodes: 1. Kubering op basis van 100 stamstukken<br>van relatieve lengte (= referentiemethode) 2. Kubering op basis van 50<br>stamstukken van relatieve lengte 3. Kubering op basis van 25 stamstukken van<br>relatieve lengte 4. Kubering op basis van 15 stamsukken van relatieve lengte 5.<br>Kubering op basis van 10 stamsukken van relatieve lengte 6. Kubering op basis van<br>5 stamsukken van relatieve lengte 7. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in drie<br>stamstukken van dezelfde lengte; het resterende 4/5     verdeeld in vier<br>stamstukken van dezelfde lengte. 8. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in vijf<br>stamstukken van dezelfde lengte; het resterende 4/5 verdeeld in vier stamstukken<br>van dezelfde lengte. 9. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in vijf stamstukken<br>van dezelfde lengte; het laatste vijfde verdeeld in twee stamstukken van dezelfde<br>lengte; het centrale gedeelte verdeeld in drie stamstukken van dezelfde lengte. 10.<br>Kubering op basis van stamstukken van 2 m lengte. 11. Kubering op basis van<br>stamstukken van 1 m lengte. 12. Het eerste vijfde van de stam verdeeld in<br>stamstukken van 1 m; het resterende 4/5 verdeeld in stamstukken van 2m..... | 22 |
| Figuur 3-4:     Relatie tussen de dbh en het stamvolume voor verschillende boomhoogten<br>(Loetsch, 1973) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 25 |
| Figuur 3-5:     Voorbeeld van site index curven voor Pinus pinaster (uit De Wulf, 1999) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 26 |
| Figuur 3-6:     Grafische voorstelling van verschillende tarieven voor Fijnspar in Noorwegen<br>(Loetsch, 1973) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27 |
| Figuur 3-7:     Overzicht van het stamvolume van Beuk (hoogte = 22 m) en de variabiliteit<br>in functie van de diameter (Bron gegevens: volumetabel Bouchon, 1982). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 28 |
| Figuur 4-1: structuur van de tarieven-databank .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 39 |
| Figuur 4-2: Belangrijkste projectfases en protocollen binnen het tarievenproject.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 41 |
| Figuur 4-3 a en b: resultaat controlemetingen .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 42 |
| Figuur 4-4: effect aflezer op het volume van de controlebomen .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 43 |
| Figuur 4-5: meetfouten op de waarde van de totale boomhoogte als gevolg van meting met<br>de Vertex .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 44 |
| Figuur 4-6: meetfouten op de waarde van de hoogte van de eerste tak als gevolg van meting<br>met de Vertex.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 44 |
| Figuur 4-7: lineaire relatie tussen de totale hoogte en het stamvolume bij Beuk<br>(onttrekkklasse 255cm) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 45 |
| Figuur 4-8: vergelijking van het volume obv de formule van Newton en het volume obv de<br>formule van tronc de cône tegenover de referentievolumes (één op basis van<br>Newton, één op basis van tronc de cône) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 47 |
| Figuur 4-9: omtrekverdeling van de verwijderde bomen.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 50 |

## Lijst van tabellen

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1: Overzicht bestaande tarieven (de tarieven voor Eik en Beuk zijn grijs gemarkeerd) ..                                                             | 11 |
| Tabel 2: Steekproefopzet van verschillende kubeertabellen .....                                                                                           | 15 |
| Tabel 3: Kwaliteit van de schattingen volgens de verschillende kubeerformules en voor de<br>verschillende theoretische stammodellen (Rondeux, 1993) ..... | 20 |
| Tabel 4: overzicht van regressievergelijkingen voor stamvolume .....                                                                                      | 29 |
| Tabel 5: Overzicht activiteiten .....                                                                                                                     | 54 |
| Tabel 6: personeelsinzet in het project .....                                                                                                             | 54 |