Vlaanderen
is wetenschap

Handleiding package diameter-hoogtecurves (dhcurve)

Els Lommelen en Thierry Onkelinx

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Auteurs:

Els Lommelen en Thierry Onkelinx
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 Brussel
Herman Teirlinckgebouw
Havenlaan 88 bus 73
1000 Brussel
www.inbo.be

e-mail:

els.lommelen@inbo.be

Wijze van citeren:

Lommelen, E. en Onkelinx, T. (2018). Handleiding package diameter-hoogtecurves (dhcurve). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (66). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
DOI: doi.org/10.21436/inbor.14735637

D/2018/3241/186

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (66)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Maurice Hoffmann

Foto cover:

De hoogte van een beuk meten in een bos is niet eenvoudig. © L. Soerink / Vildaphoto

HANDLEIDING PACKAGE DIAMETER-HOOGTECURVES

(DHCURVE)

Els Lommelen en Thierry Onkelinx

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (66)
ANB besteknummer: ANB/BPM/2015/DH1

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
1 Inleiding	2
1.1 Situering	2
1.2 Doelstellingen	2
1.3 Definities	2
2 Praktische werkwijze	4
2.1 Vuistregels voor de metingen	4
2.1.1 Aantal op te meten bomen	4
2.1.2 Vuistregels voor selectie van de bomen	4
2.1.3 Proefvlak	5
2.1.4 Clusteren van boomsoorten en/of domeinen	5
2.2 Berekenen van curves	5
2.2.1 Initiatie	6
2.2.2 Fit	7
2.2.3 Validatie	8
2.2.4 outputIVANHO	10
2.2.5 resultaat	10
3 Standaardstramien voor berekeningen	12
3.1 Bruikbaar interval	12
3.1.1 Omtrekklassen	12
3.1.2 Scope voor omtrekklassen	12
3.1.3 Bruikbaar interval: Q5k en Q95k	13
3.1.4 Functie initiatie	13
3.2 Keuze van modellen	14
3.2.1 Algemeen	14
3.2.2 Basismodel	14
3.2.3 Afgeleid model	15
3.2.4 Lokaal model	16
3.3 Kwaliteitsbeoordeling	17
3.3.1 RMSE	17
3.3.2 Afwijkende metingen	17
3.3.3 Afwijkende curvevorm	18
3.4 Berekening resultaat	19
3.4.1 outputIVANHO	19
3.4.2 resultaat	19

1 INLEIDING

1.1 SITUERING

Een aanbeveling uit het KOBÉ-project ‘Meting na hamering’ uit 2012 was om het opmeten van boomhoogtes te vervangen door diameter-hoogtecurves opgesteld aan de hand van bestaande meetgegevens. Hiermee zou bij de volumeschatting van bomen een tijdswinst gerealiseerd kunnen worden zonder substantieel in te boeten aan nauwkeurigheid. Om deze aanbeveling in de praktijk te brengen, is in 2016-2017 het package dhcurve ontwikkeld.

1.2 DOELSTELLINGEN

Het package dhcurve bundelt een aantal functies die toelaten om ‘diameter-hoogtecurves’ op te stellen op basis van bestaande meetgegevens van bomen (omtrek en hoogte). Het eindresultaat is een dataset waarin per boomsoort, domein en omtrekklassie een geschatte hoogte wordt opgegeven, of een dataset met per boomsoort-domein-combinatie de parameters A, B en C van de curve $Hoogte = A + B \log(Omtrek) + C \log(Omtrek)^2$.

Het model dat gebruikt wordt om een curve op te stellen en/of de hoogteschattingen te maken, is afhankelijk van het aantal beschikbare metingen (zie [definities](#)). Om een betrouwbaar eindresultaat te bekomen, zijn de keuze van de op te meten bomen en de validatie van de gegevens belangrijk (zie [Praktische werkwijze](#)). Achtergrondinformatie over de in het package uitgewerkte berekeningswijze is opgenomen onder [Standaardstramien voor berekeningen](#).

1.3 DEFINITIES

Basismodel: Het meest uitgebreide en nauwkeurige model voor een boomsoort, bestaande uit een overkoepelend deel (= Vlaams model) en een domeinspecifiek deel dat corrigeert voor de standplaats. Dit model wordt berekend voor boomsoorten waarvoor meer dan 50 metingen beschikbaar zijn in minimum 6 domeinen (en enkel voor de domeinen waarvoor minimum 50 metingen beschikbaar zijn).

Vlaams model: Het overkoepelend deel van het basismodel, dus een ‘gemiddeld model’ op Vlaamse schaal voor een specifieke boomsoort. Zonder correctie voor de standplaats (domein) geeft dit model een minder accurate schatting.

Afgeleid model: Domeinspecifiek model waarbij het Vlaams model gecorrigeerd wordt voor de standplaats door de curve in hoogte te verschuiven, terwijl de curvevorm van het Vlaams model behouden wordt. Dit model wordt berekend voor domeinen waar 10 tot 50 metingen beschikbaar zijn op voorwaarde dat er een basismodel berekend is voor de boomsoort.

2 PRAKTISCHE WERKWIJZE

2.1 VUISTREGELS VOOR DE METINGEN

2.1.1 Aantal op te meten bomen

Het basismodel, dat het meest uitgebreide modeltype is, heeft enkele voordelen ten opzichte van de andere modeltypen:

- het basismodel wordt op het niveau van een boomsoort opgesteld, waardoor de domeinmodellen deels mee profiteren van de metingen van de boomsoort in andere domeinen (het globale soort-model 'corrigeert' de domeinmodellen waar nodig, bv. bij omtrekklassen waar weinig metingen beschikbaar zijn).
- het basismodel laat toe om afgeleide modellen te berekenen voor domeinen waarvoor minder metingen van de boomsoort beschikbaar zijn.

Vanwege deze voordelen wordt aangeraden om (voor relevante boomsoorten en domeinen) te streven naar voldoende metingen om dit modeltype te kunnen opstellen, zijnde:

- per domein en boomsoort minstens 50 bomen opmeten verdeeld over de aanwezige omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m, maar ook kleinere omtrekken opmeten
- minstens 6 domeinen met voldoende metingen

Zolang deze streefcijfers niet gehaald worden, moeten we terugvallen op de andere modeltypen. Omdat deze gebaseerd zijn op minder metingen, hebben deze een breder betrouwbaarheidsinterval (af te leiden van een hoger cijfer voor de RMSE), wat betekent dat de schatting minder precies is.

2.1.2 Vuistregels voor selectie van de bomen

Voor een betrouwbaar resultaat is het belangrijk dat de groep gemeten bomen representatief is voor alle bomen van die boomsoort en omtrekkasse die in dat domein staan, wat inhoudt dat ze willekeurig gekozen moeten worden. De geselecteerde bomen moeten *in de mate van het mogelijke* evenredig gespreid zijn over:

- de beschikbare omtrekklassen
- dominante en onderstandige bomen
- de verschillende leeftijdsklassen
- de bestanden binnen het domein die voor minimum de helft bestaan uit de boomsoort in kwestie, met een voorkeur voor homogene bestanden

De laatste voorwaarde houdt dus enerzijds in dat de voorkeur wordt gegeven aan metingen in homogene bestanden, omdat het bij een houtverkoop belangrijk is dat het volume van de dominant voorkomende boomsoort juist geschat is. Voor de sporadisch voorkomende bomen van een andere soort in dit bestand is een precieze schatting minder belangrijk, dus hiervoor volstaan schattingen op basis van metingen in een homogeen bestand van deze soort.

2.1.3 Proefvlak

2.1.4 Clusteren van boomsoorten en/of domeinen

Technisch kan - net zoals bij de boomsoorten - ook voor domeinen gespeeld worden met het samenvoegen of opsplitsen van domeinen: zodra gegevens eenzelfde domeinID hebben, worden ze bij de berekeningen als behorend tot eenzelfde domein beschouwd. Dit biedt dus ook de mogelijkheid om afwijkende bestanden in eenzelfde domein te beschouwen als afzonderlijke domeinen.

2.2 BEREKENEN VAN CURVES

De zogenaamde diameter-hoogte-curves, die in feite omtrek-hoogte-curves zijn, kunnen berekend worden door het hieronder weergegeven voorbeeldscript te runnen voor een opgegeven dataset Data (zie [initiatie](#)). Hierbij is het de bedoeling dat bij elke validatiestap een validatie gebeurt, waarna het script met de gevalideerde data opnieuw gerund wordt (zie [validatie](#)).

```
library(dhcurve)
#Eerst de gegevens uit de databank opladen (hier niet opgenomen)

Datalijst <- initiatie(Data)

Data.basis <- Datalijst[["Basis"]]
Data.afgeleid <- Datalijst[["Afgeleid"]]
Data.lokaal <- Datalijst[["Lokaal"]]
Data.rest <- Datalijst[["Rest"]]

Basismodel <- fit.basis(Data.basis)
AfwijkendeMetingen <- validatie.basis(Basismodel)
#metingen nakijken en vlaggen in de databank vooraleer verder te gaan!

Afgeleidmodel <- fit.afgeleid(Data.afgeleid, Basismodel)
AfwijkendeMetingen2 <- validatie.afgeleid(Basismodel, Afgeleidmodel)
#metingen nakijken en vlaggen in de databank vooraleer verder te gaan!

Lokaalmodel <- fit.lokaal(Data.lokaal)
AfwijkendeMetingen3 <- validatie.lokaal(Lokaalmodel, Data.lokaal)
#metingen nakijken en vlaggen in de databank vooraleer verder te gaan!

#om te gebruiken in IVANHO
OutputIvanho <-
  outputIVANHO(Basismodel, Afgeleidmodel, Lokaalmodel, Data.lokaal)
write.csv2(OutputIvanho, "IVANHO.csv")

#voor een lijst met de modelparameters en foutenmarge (RMSE):
Resultaat <-
  resultaat(Basismodel, Afgeleidmodel, Lokaalmodel, Data.lokaal)
write.csv2(Resultaat, "DHcurves.csv")
```

De stappen 'fit' en 'validatie' worden achtereenvolgens doorlopen voor de verschillende modeltypen (basismodel, afgeleid model en lokaal model). Deze stappen (inclusief de initiatiestap en de finale stappen) worden hieronder kort toegelicht vanuit praktisch oogpunt, met focus op de workflow en aandachtspunten. Voor meer informatie over het gebruik van de functies (om ze bv. buiten deze standaard workflow te gebruiken) verwijzen we naar de helpfunctie van de functie in kwestie (in R aan te roepen door ?<functienaam>), voor achtergrondinformatie over de achterliggende berekeningen verwijzen we naar het laatste deel van dit document: [Standaardstramien voor berekeningen](#).

2.2.1 Initiatie

De curves worden berekend op basis van een dataframe Data met metingen van bomen, die de volgende informatie moet bevatten:

- DOMEIN_ID: het identificatienummer van het domein
- BOS_BHI: de naam van het domein
- IDbms: het identificatienummer van de boomsoort
- BMS: de naam van de boomsoort

- C13: de omtrek van de boom in cm (gemeten op 130 cm hoogte)
- HOOGTE: de hoogte van de boom in meter
- Status: in hoeverre er foutcontrole op de meting gedaan is, mogelijke categorieën: 'Niet gecontroleerd', 'Te controleren', 'Goedgekeurd', 'Afgekeurd', 'Negeren', 'Aangepast',...

Bedoeling is dat gegevens met status anders dan 'Niet gecontroleerd', 'Te controleren' of 'Goedgekeurd' voor het uitvoeren van deze initiatiestap uit de dataset verwijderd worden.

Bij de initiatiestap wordt op basis van de omtrek C13 (in te voeren in cm!) een omtrekklassie berekend met eenheid in meter en alle verdere rekenstappen gebeuren in meter.

De hier berekende omtrekklassen komen overeen met deze in IVANHO¹ (gemeten op 1,3 m hoogte): ze gaan omhoog met stappen van 0,1 m (10 cm), bv. de klasse van 0,35 m bevat de bomen met omtrek tussen 0,3 en 0,4 m. Het klassemidden van de omtrekklassie (in het voorbeeld 0,35 m) wordt opgeslagen in de variabele Omtrek, in een finale fase wordt uit deze variabele het interval van de klassegrenzen afgeleid.

De verdere analyses gebeuren voornamelijk op basis van bomen met omtrek tussen 0,5 en 2,3 m, wat betekent dat de gegevens van zeer dunne en zeer dikke bomen niet gebruikt worden (zie [Standards-tramien voor berekeningen](#) voor meer achtergrondinformatie over deze keuze). Daarom worden bomen met omtrek kleiner dan 0,2 m en bomen met omtrek groter dan 2,4 m al tijdens deze initiatiestap uit de dataset verwijderd. Om enige controle te hebben over wat verwijderd wordt en eventuele fouten te kunnen rechtzetten, genereert de functie `initiatie` een overzichtsrapport met instructies hoe de grootste problemen gemakkelijk opgespoord kunnen worden. (Een potentiële fout hier is het gebruik van een verkeerde eenheid voor de metingen, en het ten onrechte verwijderen van een boom kan gevolgen hebben voor het al dan niet kunnen fitten van een bepaald modeltype.)

Behalve Omtrek berekent de functie `initiatie` nog enkele andere variabelen die nodig zijn voor de analysestappen. Daarna wordt de dataset opgesplitst in 4 delen in functie van de modeltypen waarvoor de gegevens gebruikt kunnen worden (waarbij de gegevens van elke boomsoort-domeincombinatie worden toegevoegd aan het meest ambitieuze modeltype dat haalbaar is):

- Basismodel (boomsoorten met > 50 metingen per domein in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m en ≥ 6 domeinen)
- Afgeleid model (domeinen met 10-50 metingen in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m voor boomsoorten waarvoor basismodel opgesteld is)
- Lokaal model (boomsoorten met > 50 metingen per domein in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m en < 6 domeinen)
- Rest (alle overblijvende gegevens, dus gegevens die niet gebruikt kunnen worden om een model te fitten)

De functie geeft een list terug met deze 4 datasets als items met namen 'Basis', 'Afgeleid', 'Lokaal' en 'Rest'. De 3 eerstgenoemde datasets kunnen gebruikt worden om de verschillende modeltypen te berekenen.

2.2.2 Fit

Voor elk van de drie hierboven geselecteerde datasets wordt een gepast model berekend of 'gefit' op basis van een voor dat modeltype specifieke functie. De output is voor elk modeltype verschillend; de functies waarbij deze modeltypen als parameter meegegeven moeten worden, zijn aangepast om met deze verschillen om te gaan (of zijn ook modelspecifiek).

¹ ANB databank met metingen voor houtverkoop

Als een lege dataset als parameter meegegeven wordt, zal de functie `fit.xxx` een foutmelding geven. Als de reden voor deze lege dataset onduidelijk is, is het aan te raden om het overzichtsrapport gegenereerd door de functie `initiatie` te bekijken. Om de berekeningen enkel te doen voor de andere modeltypen (waarvan de dataset niet leeg is), moet het hierboven weergegeven script aangepast worden door alles wat met deze functie te maken heeft, te verwijderen: het blokje script met `fit.xxx` en `validatie.xxx`, en onderaan de desbetreffende parameter(s) in de functies `outputIVANHO` en/of resultaat.

pagina 8 van 20 Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (66) www.inbo.be

```
# Lijst maken met alle id's (in dit geval 'rownames') van de records die aangepast moeten worden
IDafwijkendeMetingen <-
  paste(unique(AfwijkendeMetingen$rownames, na.rm = TRUE), collapse = "','")

# Deze lijst in de query plakken (sprintf vervangt %s in de string 'updatequeryBosdat' door de inhoud van IDafwijkendeMetingen)
query <- sprintf(updatequeryBosdat, IDafwijkendeMetingen)

#connecteren met de databank en de query uitvoeren
connectieGegs <- odbcConnectAccess2007(
  paste0(dbpath, "DiamHoogteMetingen.accdb")
)
Test <-
  sqlQuery(connectieGegs, query)
odbcClose(connectieGegs)
```

Na het 'verwijderen' (= als afgekeurd of negeren labelen) of aanpassen van gegevens is het belangrijk om de gegevens opnieuw in te laden en het model opnieuw te berekenen. Dit zal immers wijzigen, waardoor er mogelijk andere metingen als afwijkend aangeduid zullen worden.

Meermaals alle afwijkende metingen verwijderen zal tot gevolg hebben dat de foutenmarge smaller wordt (waardoor er telkens nieuwe afwijkende metingen aangeduid worden) en dat uiteindelijk enkel bomen met 'ideale verhoudingen' overblijven. Op dat moment zal het model geen reflectie meer zijn van een realistische situatie, omdat de natuurlijke variatie ontbreekt. In het slechtste geval worden afwijkende metingen verwijderd tot er niet meer genoeg gegevens overblijven om het gekozen modeltype te fitten. Het is dus geen goed idee om systematisch alle afwijkende metingen te verwijderen.

Het goedkeuren van afwijkende metingen zal sneller tot een stabiel model leiden (niets verwijderen verandert het model niet), al is het uiteraard wel de bedoeling dat foute of onbetrouwbare metingen verwijderd worden. Deze beïnvloeden immers het model in negatieve zin, zeker als ze sterk afwijken van de andere meetresultaten en/of in de hoogste of laagste omtrekklassen voorkomen.

Je mag pas verdergaan naar stap 2 als alle rode stippen uit het validatierapport verdwenen zijn.

2.2.3.2 Stap 2: afwijkende curves

Deze stap moet enkel gebeuren bij het basismodel en het lokaal model, niet bij het afgeleid model. (Dit omdat de curvevorm van het afgeleid overgenomen wordt van het basismodel en bijgevolg daar al gecontroleerd is.)

Bedoeling van deze tweede stap is om aan de hand van de curvevorm na te gaan of het model geen te sterke afwijkingen vertoont en dus bruikbaar is als model. Mogelijk afwijkende delen in de curves zijn in rood getekend.

Welke problemen kunnen optreden en hoe beoordelen?

- ‘curvevorm hol bij lage omtrekklassen’: dit is waarschijnlijk geen probleem als het rood gekleurde deel maar 1-2 omtrekklassen omvat of als de curve min of meer recht is. Wel problematisch zijn een U-vormige curve, een curve in de vorm van hockeystick of een S-vormige curve.
- ‘curve daalt terug bij hoge omtrekklassen’: dit is geen probleem als het rood gekleurde deel minder dan 5 omtrekklassen omvat, en het is wel een probleem als het gaat over een aanzienlijk deel van de curve. Houd bij de beoordeling in het achterhoofd dat voor de hoogteschattingen voor IVANHO de maximale hoogte van de curve zal gebruikt worden voor de (rood gekleurde) hogere omtrekklassen. De ‘curve’ zal hier met andere woorden niet dalen maar horizontaal lopen.

Wat met de probleemcurves? Deze curves zijn niet goed genoeg om te gebruiken als model in IVANHO (of elders), en er moeten bijkomende metingen uitgevoerd worden vooraleer dit model eventueel kan verbeteren. Dus tot deze extra metingen gebeurd zijn, willen we dit model eigenlijk niet gebruiken. Als het gaat over een berekend basismodel, kunnen de gegevens eventueel wel gebruikt worden om een afgeleid model te berekenen voor dit domein.

Praktisch pakken we dit aan door voor die specifieke domein-boomsoortcombinatie het minimum aantal bomen om een basismodel (of lokaal model) te berekenen, op te trekken. We raden aan om als nieuwe grenswaarde 10 bomen meer te nemen dan het huidige aantal bomen (met omtrek groter dan 0,5 m). Redenering: 1 extra gemeten boom zal de curve niet substantieel verbeteren, 10 misschien wel? In de functie *initiatie* is de mogelijkheid voorzien om als parameter een dataframe mee te geven met de uitzonderingen voor deze minimumwaarde van 50 bomen. Deze laat ook toe om de minimumwaarde voor het afgeleid model (standaard 10 bomen) op te trekken ingeval er problemen zijn met deze curve (bv. meetresultaten te verspreid).

Onderstaand voorbeeld toont hoe de limiet van het aantal bomen voor Zomereik in de Gavers opgetrokken wordt naar 65 bomen (momenteel zijn hier 55 bomen met omtrek groter dan 0,5 m opgemeten en stel dat we de curve niet betrouwbaar genoeg vinden omdat er te weinig bomen opgemeten zijn in de hogere omtrekklassen). De limiet voor het afgeleide model houden we bij 10 bomen (*min_afgeleid* = NA, dus we kennen hier geen waarde toe).

```
# dataframe aanmaken met nieuwe limiet(en)
Uitzonderingen <- data.frame(DOMEIN_ID = "DomWVL09033",
                             BMS = "Zomereik",
                             min_basis = 65, min_afgeleid = NA,
                             stringsAsFactors = FALSE)

Datalijst_nieuw <- initiatie(Data, Uitzonderingen)

#en met deze datasets de modellen opnieuw berekenen
```

Qua workflow zou het zinvol kunnen zijn om deze uitzonderingen op te slaan in een spreadsheet of databank, eerder dan dit hard te coderen in een script.

Als geen van de afwijkende (rode) curves in het validatierapport een probleem zijn, mag je verdergaan (ondanks het feit dat het validatierapport nog niet leeg is).

OPMERKING Er kunnen ook andere problemen optreden waarop niet expliciet wordt gevalideerd, bijvoorbeeld een slechte verdeling van de bomen over de verschillende omtrekklassen. Bij het basismodel gaat hier de curve sterk aanleunen tegen het Vlaams model, bij het lokaal model gaat hier de curve recht door de weinige aanwezige metingen (die niet per definitie ‘gemiddeld’ zijn). Ook hier kan beslist worden om het model voorlopig niet te gebruiken (in afwachting van meer metingen) door bovenstaande methode.

2.2.4 outputIVANHO

De functie *outputIVANHO* genereert op basis van de berekende (gefitte) modellen een tabel met per boomsoort-domein-combinatie en per diameterklasse een geschatte hoogte, om te gebruiken in IVANHO.

2.2.5 resultaat

De functie *resultaat* genereert op basis van de berekende (gefitte) modellen een tabel met volgende info:

- DomeinID

////////////////////////////////////

- [illegible]

3 STANDAARDSTRAMIEN VOOR BEREKENINGEN

Terwijl het vorige hoofdstuk eerder praktijkgericht was, behandelt dit hoofdstuk de achterliggende berekeningen van de verschillende functies, alsook de redenen waarom voor een bepaalde aanpak of berekeningswijze gekozen is.

Kort gezegd laat dit package toe om de hoogtes van bomen te schatten door middel van een model, dat we opstellen op basis van eerder uitgevoerde metingen per boomsoort-domeincombinatie. Een model is altijd een benadering van werkelijkheid, dat er liefst zo goed mogelijk bij aansluit (cfr. George Box: “All models are wrong, but some are useful”). Belangrijk is dat het model vooral een goede voorspelling geeft binnen de relevante scope. Hoe breder deze scope gedefinieerd wordt, hoe moeilijker het is om een model te vinden dat de werkelijkheid overal goed gaat benaderen en hoe groter de kans dat het model ergens meer afwijkt dan wenselijk. Hoe smaller de scope, hoe nauwkeuriger de voorspelling van het model, maar het model is dan ook enkel bruikbaar binnen deze scope. Om een optimaal model te vinden, komt het er dus op aan om deze scope zo goed mogelijk af te bakenen: niet te smal, maar ook niet te breed. Daarnaast moeten ook voor het model zelf afwegingen en keuzes gemaakt worden, o.a. met betrekking tot complexiteit en betrouwbaarheid. De keuzes die voor de modellen in dit package gemaakt zijn en de achterliggende redenen worden in dit hoofdstuk behandeld.

3.1 BRUIKBAAR INTERVAL

3.1.1 Omtrekklassen

De opdrachtgever verwacht als resultaat een hoogteschatting voor elke omtrekklassse (per stap van 0,1 m, bv. de klasse van 0,35 m bevat de omtrekken tussen 0,30 en 0,40 m). Bovendien is voor een deel van de aangeleverde gegevens de omtrek niet exact gemeten, maar weergegeven als omtrekklassen. Om deze redenen is gekozen om het model niet op te stellen op basis van een continue variabele omtrek, maar op basis van een discrete variabele ‘omtrekklassse’. Een continue variabele zou eerder een vals gevoel van nauwkeurigheid geven, want de gemeten omtrekken zijn afgerond tot op een bepaalde meeteenheid, dus het zijn sowieso discrete variabelen.

Als de omtrekklassen als categorische variabelen gedefinieerd zouden worden, zou het model louter bestaan uit een geschatte hoogte per omtrekklassse, waarbij het verband tussen omtrek(klasse) en hoogte niet in rekening gebracht kan worden. Het gevolg is dat ‘afwijkende’ hoogteschattingen binnen een model niet gecorrigeerd zouden worden op basis van hoogteschattingen van andere omtrekklassen. Als de omtrekklassen als discrete variabelen gedefinieerd worden, waar we hier voor gekozen hebben, kan het model wel opgesteld worden als een verband tussen omtrek(klasse) en hoogte.

Het feit dat de omtrekklassen gedefinieerd zijn als een discrete variabele, heeft als belangrijk gevolg dat **het model resulteert in een schatting per omtrekklassse en dus niet in een continu verband tussen omtrek en hoogte**. Dit is zeer belangrijk om rekening mee te houden bij de interpretatie van de gegevens.

- aantal bomen (nBomen), waarbij de bomen met omtrek > 2,4 m buiten beschouwing gelaten worden
- aantal bomen binnen bruikbaar interval (nBomenInterval)
- aantal bomen binnen bruikbaar interval met omtrek > 0,5 m (nBomenOmtrek05)

Op basis van het aantal bomen binnen het bruikbaar interval met omtrek > 0,5 m splitst de functie `initiatie` de dataset op in functie van de verschillende modeltypen (zie [initiatie onder praktische werkwijze](#)).

3.2 KEUZE VAN MODELLEN

3.2.1 Algemeen

Voor de keuze van de wiskundige vergelijking die binnen het bruikbaar interval een goede schatting geeft, hebben we 17 modellen uit de literatuur uitgetest. Voor de selecties hebben we ons voornamelijk gebaseerd op de [RMSE](#), die aangeeft hoe goed het model de metingen benadert. Bijkomend hebben we de curvevorm visueel beoordeeld, wat in feite een gelijkaardig resultaat gaf. We zijn in 4 fasen tewerk gegaan:

- alle modellen getest voor de metingen van beuk uit Zoniënwood en de slechtste modellen geschrapt
- de overblijvende modellen getest op de metingen van beuk van 4 andere domeinen met veel beuken
- de 5 beste modellen (geselecteerd in voorgaande stappen) ook getest voor grove den en zomereik (telkens voor de domeinen met het meeste metingen). Deze modellen zijn:

$$\begin{aligned}
 \text{Hoogte} &\sim A + B \cdot \text{Omtrek} + C \cdot \text{Omtrek}^2 \\
 \text{Hoogte} &\sim 1,3 + \frac{\text{Omtrek}^2}{A + B \cdot \text{Omtrek} + C \cdot \text{Omtrek}^2} \\
 \text{Hoogte} &\sim e^{(A + B \log(\text{Omtrek}) + C \log(\text{Omtrek})^2)} \\
 \text{Hoogte} &\sim A + B \log(\text{Omtrek}) \\
 \text{Hoogte} &\sim e^{(A + B \log(\text{Omtrek}) + C \cdot \text{Omtrek})}
 \end{aligned}$$

- een alternatief model met gelijkaardige karakteristieken dat in de oorspronkelijke lijst ontbrak, op dezelfde manier getest:

$$\text{Hoogte} \sim A + B \log(\text{Omtrek}) + C \log(\text{Omtrek})^2$$

Uiteindelijk hebben we uit deze 6 modellen 2 modellen gekozen die in al de geteste omstandigheden een goede schatting gaven: een exponentieel model ($\text{Hoogte} \sim e^{(A + B \log(\text{Omtrek}) + C \log(\text{Omtrek})^2)}$) en het zelf toegevoegde alternatief. Dit laatste heeft als voordeel dat het een lineair model is, wat een groot voordeel is voor de berekeningen (fitten van model) en de interpretatie van de parameters A, B en C. Vandaar dat we dit model gekozen hebben:

$$\text{Hoogte} \sim A + B \log(\text{Omtrek}) + C \log(\text{Omtrek})^2$$

3.2.2 Basismodel

Voor het basismodel starten we van het hierboven voorgestelde algemene model. Om eventuele afwijkingen bij boomsoort-domeincombinaties deels te corrigeren op boomsoortniveau, kiezen we om een mixed model te maken per boomsoort waarin voor elk domein een extra parameter toegevoegd wordt. De notatie hiervan is als volgt:

$$Hoogte_{basis} \sim A_{Vlaams} + A_{domein} + (B_{Vlaams} + B_{domein}) \log(Omtrek) + (C_{Vlaams} + C_{domein}) \log(Omtrek)^2$$

Dit model bevat dus een soortspecifiek overkoepelend model met parameters A_{Vlaams} , B_{Vlaams} en C_{Vlaams} (in vaktermen *fixed factor* genoemd), wat we definiëren als ‘**Vlaams model**’. Daarnaast bevat het model de domeinspecifieke parameters A_{domein} , B_{domein} en C_{domein} (in vaktermen *random factor* genoemd), die gesommeerd met de overkoepelende parameters de parameters voor het domeinspecifieke model geven.

Dit overkoepelend Vlaams model wordt berekend op basis van alle gegevens, waarbij domeinen met veel gegevens zwaarder doorwegen op het eindresultaat. De domeinspecifieke modellen worden grotendeels berekend op basis van de gegevens van dat domein, maar er wordt ook gecorrigeerd op basis van het overkoepelende Vlaams model. Hierbij zal de invloed van het Vlaams model zwaarder doorwegen in domeinen en/of specifieke omtrekklassen waar niet veel domeinspecifieke gegevens beschikbaar zijn. Als er voldoende domeinspecifieke gegevens beschikbaar zijn, zal het domeinmodel vooral daarop gebaseerd zijn.

Dit betekent dus dat het Vlaams model de domeinspecifieke modellen corrigeert waar onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, wat vaak resulteert in een ‘beter’ model dat het nauwer aansluit bij het Vlaams model (dat meestal een goede curvevorm heeft is omdat het gebaseerd is op veel gegevens).

Voorwaarde om goede modellen te bekomen op basis van dit mixed model, is dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn. Op basis van ervaring met het gebruik van deze statistische modellen en op basis van eerste testresultaten hebben we volgende voorwaarden voor het basismodel vastgelegd:

- boomsoorten met > 50 metingen per domein in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m en ≥ 6 domeinen
- lagere omtrekklassen worden niet meegeteld maar wel meegenomen om het model te fitten (zie [Bruikbaar interval/Scope voor omtrekklassen](#))

3.2.3 Afgeleid model

Wat als er niet genoeg metingen zijn om een basismodel te berekenen? Een eerste idee was om ‘vergelijkbare’ domeinen te clusteren, zodat niet voor elk domein een apart model moest opgesteld worden en modellen van ‘vergelijkbare’ domeinen zouden kunnen gebruikt worden om hoogtes te schatten voor domeinen met weinig metingen. Maar wat is ‘vergelijkbaar’, op basis van welke variabele kunnen we de domeinen clusteren? Hiervoor hebben we gezocht naar een correlatie tussen karakteristieken van de opgestelde modellen enerzijds (parameters A, B en C, en hoogteschattingen voor bepaalde omtrekklassen) en potentiële verklarende variabelen anderzijds: bodemtype, ecoregio, provincie (~ beheermethode) en ruimtelijke spreiding (getest door resultaten op kaart weer te geven). Er bleek een vaag verband te zijn met bodemtype en ecoregio in de zin dat parameter A en de hoogteschattingen bij (ecoregio’s met) rijkere bodemtypen over het algemeen een hogere waarde hebben (wat intuïtief te verwachten was), maar hierbij was nog veel onverklaarbare variatie aanwezig. Zo hadden dicht bij elkaar gelegen bossen soms afwijkende modellen terwijl we hier geen verklaring voor vonden. Dit idee hebben we verlaten bij gebrek aan een duidelijke verklarende variabele voor de variatie tussen de modellen.

Wat wel een zinvolle methode bleek ingeval van te weinig metingen, is de curve van het Vlaams model (het overkoepelende soortspecifieke model van het basismodel) in hoogte te verschuiven zodat ze terechtkomt in de puntenwolk van de opgemeten punten van het domein. Dit levert het volgende model op:

$$\begin{aligned} \text{Hoogte}_{\text{afgeleid}} &\sim \delta A + \text{Hoogte}_{\text{Vlaams}} \\ &= \delta A + A_{\text{Vlaams}} + B_{\text{Vlaams}} \log(\text{Omtrek}) + C_{\text{Vlaams}} \log(\text{Omtrek})^2 \\ &= A_{\text{domein}} + A_{\text{Vlaams}} + B_{\text{Vlaams}} \log(\text{Omtrek}) + C_{\text{Vlaams}} \log(\text{Omtrek})^2 \end{aligned}$$

Wat in feite gebeurt, is dat de gemiddelde afstand tussen de meetpunten van het domein en de Vlaamse curve berekend wordt, en dat de Vlaamse curve vertikaal over deze hoogte verschoven wordt. Deze 'verschuiving' is een domeinspecifieke parameter A_{domein} die corrigeert voor de standplaats (arm/rijk) op basis van effectieve metingen van dat domein; de andere parameters zijn overgenomen uit het Vlaams model. De curvevorm wordt dus overgenomen van het Vlaams model, dat berekend is op basis van een groot aantal gegevens uit verschillende domeinen.

Om een zo goed mogelijk model te bekomen voor de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m, wordt het model berekend op basis van enkel de gegevens binnen deze omtrekklassen. Het meenemen van lagere omtrekklassen kan immers als gevolg hebben dat het model een minder goede benadering geeft voor de omtrekklassen boven 0,5 m omdat de lagere omtrekklassen dan ook de gemiddelde afstand beïnvloeden.

Omdat de curvevorm berekend is op basis van het Vlaams model en de domeinspecifieke gegevens enkel nodig zijn om de verschuiving te berekenen, volstaan 10 metingen voor het berekenen van een afgeleid model.

Dus samengevat: de voorwaarden voor een afgeleid model zijn:

- onvoldoende metingen om deel uit te maken van een basismodel
- domeinen met minstens 10 metingen in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m
- lagere omtrekklassen worden niet meegenomen om het model te berekenen

3.2.4 Lokaal model

Wat als er voor een boomsoort geen 6 domeinen zijn om een basismodel te berekenen? Als er minder dan 6 domeinen zijn met genoeg gegevens om een basismodel te berekenen (> 50 metingen), dan is de kans groot dat het overkoepelende model (Vlaams model) sterk beïnvloed gaat worden door een of enkele domeinen met veel gegevens en bijgevolg niet representatief gaat zijn voor domeinen over heel Vlaanderen. Dit heeft negatieve gevolgen voor zowel het basismodel zelf (het overkoepelend model gaat de modellen van de domeinen met minder gegevens sterk beïnvloeden) als de afgeleide modellen die hieruit berekend worden (deze worden rechtstreeks afgeleid uit dat minder representatieve Vlaams model).

In geval er van minder dan 6 domeinen voldoende gegevens zijn, is het basismodel onder de vorm van een mixed model bijgevolg niet aangewezen. Voor de domeinen met meer dan 50 metingen, kan echter wel een 'gewoon' lineair model (fixed model zonder random factor) berekend worden op basis van enkel de gegevens van dat domein. Hierbij vallen dan wel de voordelen weg dat het model gecorrigeerd wordt waar er weinig gegevens zijn (zie [basismodel](#)) en dat er voor deze boomsoort afgeleide modellen berekend kunnen worden. Dit model, wat we lokaal model noemen, ziet er als volgt uit:

$$\text{Hoogte}_{\text{lokaal}} \sim A_{\text{domein}} + B_{\text{domein}} \log(\text{Omtrek}) + C_{\text{domein}} \log(\text{Omtrek})^2$$

De voorwaarden voor dit lokaal model zijn:

- geen basismodel

- minstens 50 metingen per domein in de omtrekklassen tussen 0,5 en 2,3 m
- lagere omtrekklassen worden meegenomen om het model te berekenen (zie [Bruikbaar interval/Scope voor omtrekklassen](#))

3.3 KWALITEITSBEOORDELING

De kwaliteitsbeoordeling of validatie richt zich enerzijds op afwijkende metingen en anderzijds op afwijkende curvevormen. Als error om het betrouwbaarheidsinterval te berekenen met het oog op het selecteren van de afwijkende metingen, gebruiken we de *root mean square error* (RMSE), die we eerst behandelen.

3.3.1 RMSE

RMSE of *root mean square error* is een maat voor de spreiding van de metingen t.o.v. de opgestelde modelcurve. Deze error is qua principe vergelijkbaar met een standaard error voor individuele gemiddelden (gebaseerd op een som van gekwadrateerde afstanden tussen meting en schatting) en kan dus gebruikt worden om betrouwbaarheidsintervallen te berekenen.

Omgekeerd geeft deze spreidingsmaat informatie over de ligging van de modelcurve ten opzichte van de metingen, waardoor deze waarde ook gebruikt kan worden om modellen te beoordelen of te vergelijken. Zo hebben we voor de keuze van ons model (wiskundige vergelijking, zie [keuze van modellen](#)) verschillende modellen opgesteld op basis van dezelfde dataset en op basis van de RMSE de ‘beste’ modellen geselecteerd (= modellen die de metingen het dichtst benaderen).

We berekenen de RMSE voor het **basismodel** en het **lokaal model** door cross-validatie op basis van 6 subsets (dit gebeurt in de functie `rmse.basis`). Meer specifiek doorlopen we volgende stappen:

- dataset opsplitsen in 6 gelijke delen door de dataset te sorteren volgens boomsoort, domein, omtrekklassse en hoogte en aan de rijen alternerend de nummers 1 tot 6 toe te kennen
- model opstellen op basis van 5 delen
- model toepassen op de records van het 6de deel, dus de hoogte schatten op basis van de gemeten omtrekklassse en het opgestelde model
- de twee voorgaande stappen 6x herhalen zodat elk record een schatting heeft
- maat voor fit berekenen:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Hoogte_{gemeten} - Hoogte_{geschat})^2}{n - 2}}$$

Voor het **afgeleid model**, dat een verschuiving van het Vlaams model is, wordt voor de RMSE beide toegepaste modellen in rekening gebracht:

$$RMSE = \sqrt{RMSE_{Vlaams}^2 + RMSE_{Verschuiving}^2}$$

Hierbij wordt $RMSE_{Vlaams}$ berekend volgens de hierboven beschreven methode (waarbij de hoogte geschat wordt op basis van het Vlaams model en alle metingen die gebruikt zijn om het basismodel in kwestie op te stellen). Voor $RMSE_{Verschuiving}$ wordt omwille van het beperkt aantal records voor de boomsoort-domeincombinatie voor elk punt een schatting gemaakt op basis van van een model dat opgesteld is op basis van de dataset zonder dat ene punt, waarna de RMSE op dezelfde manier berekend wordt. (Voor deze laatste berekening is de functie `rmse.verschuiving` ontwikkeld.)