



Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen

Academiejaar 2012 – 2013

Groeidynamiek van berk op arme zandgronden

Ben Spiessens

Promotor: Prof. dr. ir. Kris Verheyen

Co-promotor: Prof. dr. ir. Joris Van Acker

Tutor: dr. ir. Margot Vanhellemont

Masterproef voorgedragen tot het behalen van de graad van
Master in de bio-ingenieurswetenschappen: bos- en natuurbeheer

De auteur en promotoren geven de toelating deze scriptie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze scriptie.

The autor and promotors give the permission to use this thesis for consultation and to copy parts of it for personal use. Every other use is subject to the copyright laws, more specifically the source must be extensively specified when using from this thesis.

De promotoren:

De auteur:

Prof. dr. ir. Kris Verheyen, Prof. dr. ir. Joris Van Acker

Ben Spiessens

Woord vooraf

Het einde is in zicht. Na heel wat jaren zwoegen en zweten zijn we aan ons laatste schooljaar aanbeland. Deze thesis is een werk dat een hoofdstuk van mijn leven afsluit. Dit is dan ook het geschikte moment om iedereen te bedanken die mij gesteund heeft. Allereerst uiteraard mijn ouders, die het mogelijk hebben gemaakt mij op kot te laten gaan en zo deze opleiding te kunnen volbrengen. Samen met Liesbeth zijn jullie mij blijven steunen, ook wanneer het wat minder ging. Jullie zijn mijn kracht geweest om na mindere resultaten toch te blijven doorzetten. Liesbeth wil ik extra bedanken om enkele keren mee op stap te gaan om veldmetingen uit te voeren. Dit doorbrak de wekelijkse eenzame meetdagen in de bossen van de Kempen. Ook Wim Buysse wil ik bedanken voor het mogen deelnemen aan de excursie van het ANB over QD-beheer gericht op berk.

Deze thesis had niet geweest wat het nu is zonder de steun en hulp van de mensen rondom mij. In het bijzonder wil ik mijn promotoren Kris Verheyen en Joris Van Acker bedanken voor de informatie die zij mij hebben verschaft. Na een eerste samenwerking met Kris voor de bachelorproef ben ik blij dat ik hem opnieuw als promotor mocht hebben voor mijn eindwerk. Daarnaast verdient Margot Vanhellemont als mijn begeleider meer dan enkel een vermelding. Zij is mee de draaischijf geweest tot het volbrengen van dit werk. Specifiek voor de hulp bij de statistische dataverwerking en de werking van R wil ik Margot bedanken. De snelle hulp bij problemen hebben er voor gezorgd dat ik tijdig mijn resultaten kon bekomen en de thesis in eerste zit kon afronden. Maar ook het nalezen van mijn teksten en de diepgaande verbeteringen en bedenkingen hebben ervoor gezorgd dat het werk enkel maar beter werd.

Inhoudsopgave

Lijst met afkortingen

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Samenvatting

Inleiding	1
1 Berk, een inheemse boomsoort	2
1.1 Taxonomie	2
1.2 Verspreiding	2
1.2.1 Geografische verspreiding.....	2
1.2.2 Algemene habitatvoorkeur	2
1.3 Morfologie	3
1.4 Ecologie	4
1.4.1 Microklimaat	4
1.4.1.1 Licht	4
1.4.1.2 Temperatuur.....	5
1.4.1.3 Water.....	5
1.4.2 Bodem	5
1.5 Groei	6
1.5.1 Wortelontwikkeling.....	6
1.5.2 Groeipotentie	7
1.5.2.1 Competitie	9
1.5.2.2 Ziektes en plagen.....	10
1.5.2.3 Symbiotische relaties.....	11
1.5.2.4 Bodemfauna	11
1.6 Verjonging	12
1.6.1 Seksuele reproductie.....	12

1.6.1.1	Bloei en zaadproductie.....	12
1.6.1.2	Zaadverbreiding.....	12
1.6.1.3	Kieming.....	12
1.6.2	Vegetatieve reproductie.....	13
1.7	Bosbeheer.....	13
1.7.1	Verjonging	13
1.7.2	Snoei	15
1.7.3	Dunning	16
1.7.4	Berk in gemengde opstanden.....	20
1.7.5	Berk als wijkers.....	20
1.8	Berkenhout.....	21
1.8.1	Kenmerken en eigenschappen	21
1.8.2	Toepassingen.....	21
2	Doelstellingen en hypothesen.....	22
3	Materiaal en methoden	23
3.1	Studiegebied.....	23
3.1.1	Geografische ligging	23
3.1.2	Klimaat.....	23
3.1.3	Bodem	24
3.2	Gegevensverzameling.....	24
3.2.1	Boomvariabelen	24
3.2.2	Groeivariabelen	26
3.2.2.1	Jaarringanalyse.....	26
3.2.2.2	Groeipatroon.....	27
3.2.3	Bodemkarakterisatie	28
3.2.4	Opstandskennmerken	29
3.3	Statistische dataverwerking	30

4	Resultaten.....	32
4.1	Algemene dataverkenning	32
4.2	Groeipatroon	35
4.3	Meervoudige lineaire regressieanalyse.....	38
5	Discussie	41
5.1	Algemene datakenmerken	41
5.2	Groeipatroon	42
5.3	Impact van boom- en opstandsvariabelen.....	42
5.4	Impact van bodemvariabelen.....	42
5.5	Richtlijnen voor beheer	43
6	Conclusie	44
7	Verder onderzoek.....	45
	Literatuurlijst	46
	Bijlagen	52

Lijst met afkortingen

AGIV	Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen
AIC	<i>Akaike's Information Criterion</i>
BAI	<i>Basal Area Increment</i>
c	omtrek
CI	competitie-index
D1	grootste kroon diameter
D2	kroon diameter loodrecht op D1
D	gemiddelde kroon diameter
dbh	diameter stam op borsthoogte
d_i	diameter op borsthoogte concurrerende boom
d_j	diameter op borsthoogte doelboom
$dist_{ij}$	afstand tussen doelboom j en concurrerende boom i
h	uur
K_{gem}	gemiddelde kwaliteitsscore voor volledige takvrije stamlengte
K_i	kwaliteitsscore stamdeel i
L	totale takvrije stamlengte
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
l_i	lengte stamdeel i
N	noorderbreedte
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
QD	<i>Qualifizierung - Dimensionierung</i>
R^2	<i>adjusted R-squared</i>
R_{gem}	responsvariabele 1; gemiddelde diameter groei
R_{5j}	responsvariabele 2; gemiddelde diameter groei van de laatste 5 jaar
R_{L30}	responsvariabele 3; leeftijd waarop een diameter van 30 cm bereikt werd
SLA	<i>Specific Leaf Area</i>
TSAP	<i>Time Series Analysis and Presentation</i>
WUE	<i>Water Use Efficiency</i>

Lijst van figuren

Figuur 1: Natuurlijk verspreidingsareaal van (a) ruwe berk en (b) zachte berk (Ministère de la Région Wallone, 1991)	2
Figuur 2: De stam, het blad en de vruchten van ruwe berk (<i>Betula pendula</i>)	4
Figuur 3: Weergave van de totale hoogte (H _{tot}) in relatie tot leeftijdsklassen, gemeten op een vrijstaande ruwe berk (<i>Betula pendula</i>) (Lemaire, 2004).	8
Figuur 4: De lopende jaarlijkse volumeaanwas (CAI) van ruwe berk (<i>Betula pendula</i>) opstanden volgens verschillende opbrengsttabellen en boniteiten. YC staat voor <i>Yield Curve</i> , H30 en H50 zijn de dominante hoogtes op respectievelijk een 30-jarige en 50-jarige leeftijd. OMT is het <i>Oxalis-Myrtillus</i> type (Ferm, 1993).	9
Figuur 5: Gesimuleerde waarschijnlijkheid van kernverkleuring bij berk in relatie tot de boomleeftijd (stippellijn = 95 % betrouwbaarheidsinterval) (Hein et al., 2009)	11
Figuur 6: Verschil in toename van de kroonoppervlakte tussen gedunde en niet-gedunde opstanden de eerste vijf jaar na de dunning. In opstanden van 30-40 jaar oud werd 25-35 % van het volume gedund. De toename van de kroonoppervlakte in de niet-gedunde opstanden bedroeg 0,13 m ² /jaar voor berk (Juodvalkis et al., 2005).....	17
Figuur 7: Verschil in toename van de diameter op borsthoogte tussen gedunde en niet-gedunde opstanden de eerste vijf jaar na de dunning. In opstanden van 30-40 jaar oud werd 25-35 % van het volume gedund. De toename van de diameter op borsthoogte in de niet-gedunde opstanden bedroeg 2,8 mm/jaar voor berk (Juodvalkis et al., 2005).	17
Figuur 8: Maximaal verschil in toename van het staand volume tussen gedunde en niet-gedunde opstanden. De toename van het staand volume in de niet-gedunde opstanden op de verschillende leeftijden bedroeg 2,6-8 m ³ /ha/jaar voor berk (gemiddeld 5,3) (Juodvalkis et al., 2005).....	18
Figuur 9: Dunningsgraad waarbij er een maximale volumetoename optreedt in relatie tot de opstandleeftijd voor verschillende boomsoorten (Juodvalkis et al., 2005).	18
Figuur 10: Locatie van de potentiële meetlocaties binnen Vlaanderen. Sommige locaties (gele punten) zijn niet opgenomen in de dataset door het ontbreken van een geschikte doelboom. De vijf locaties in Oost- en West-Vlaanderen werden niet bezocht. De bruine punten (34) zijn de locaties waar een doelboom is opgemeten.	23
Figuur 11: Klimatogram van Deurne (provincie Antwerpen) en Kleine Brogel (provincie Limburg) (bron: KMI)	24
Figuur 12: Resultaat van de jaarringregistratie van de twee boorstalen van een 63 jaar oude berk m.b.v. de LINTAB en het softwareprogramma TSAPWin. Op de y-as staat de jaarringbreedte in 1/100 mm aangegeven, op de x-as is een tijdlijn weergegeven.....	27
Figuur 13: Schematische beschrijving van de verschillende terrestrische humushorizonten OL, OF en OH (Ponge et al., 1995; Den Ouden et al., 2010)	28

Figuur 14: Foto van een bodemstaal. De lintmeter laat toe om aan de hand van de foto de diepte van gleyverschijnselen te controleren. Op dit staal zijn de eerste roestplekken vanaf een diepte van 30 cm zichtbaar aanwezig.	29
Figuur 15: Bodemvariabelen in relatie met de eerste twee assen van een PCA-analyse. De nummers duiden de ligging van de meetlocaties aan in relatie tot beide assen.	31
Figuur 16: Verdeling van textuurklassen van de meetlocaties. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleiig zand) en L (zandleem).	34
Figuur 17: Verdeling van de drainageklassen van de meetlocaties. De voorkomende drainageklassen op de meetlocaties gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).	35
Figuur 18: Houtverkleuring bij berk	35
Figuur 19: Boxplots van de gemiddelde jaarringbreedte per leeftijdsklasse van 5 jaar. De lijn verbindt het gemiddelde van de bomen per leeftijdsklasse. De dataset is opgebouwd uit 34 bomen met een leeftijd tussen 35 en 84 jaar.	36
Figuur 20: Groeiverloop van groep 1 per boom weergegeven als de gemiddelde BAI (<i>Basal Area Increment</i>) per leeftijdsklasse van 10 jaar.	37
Figuur 21: Groeiverloop van groep 2 per boom weergegeven als de gemiddelde BAI (<i>Basal Area Increment</i>) per leeftijdsklasse van 10 jaar.	37
Figuur 22: Boxplots van de gemiddelde diametergroei (R_{gem}) voor de verschillende textuurklassen en drainageklassen. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleiig zand) en L (zandleem). De drainageklassen gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).	39
Figuur 23: Boxplots van de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm bereikt heeft (R_{L30}) voor de verschillende textuurklassen en drainageklassen in de dataset. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleiig zand) en L (zandleem). De drainageklassen gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).	41

Lijst van tabellen

Tabel 1: Taxonomische indeling van de familie <i>Betulaceae</i> (Lambinon et al., 1998)	2
Tabel 2: Gemiddelde, minimum en maximum voor de opgemeten boomvariabelen.....	32
Tabel 3: Gemiddelde, minimum en maximum voor de kwalitatieve boomvariabelen.....	33
Tabel 4: Gemiddelde, minimum en maximum van de opstandsvariabelen.....	33
Tabel 5: Gemiddelde, minimum en maximum voor de bodemvariabelen voor de bodemstalen van 0-20 cm en 20-40 cm diepte.....	34
Tabel 6: Gemiddelde, minimum en maximum van de drie responsvariabelen. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm bereikt heeft.	38
Tabel 7: De regressiecoëfficiënten (β_i) met standaardfout (s.e.) voor de meervoudige lineaire regressiemodellen met R_{gem} als responsvariabelen en PC1, PC2, drainageklassen en textuurklassen als verklarende variabelen. PC1 en PC2 zijn de eerste twee assen uit de PCA-analyse met alle bodemnutriënten en de pH KCl. R^2 is de <i>adjusted R-squared</i> . Codes voor significantie: $p < 0,001$ '***', $p < 0,01$ '**' en $p < 0,05$ '*'	39
Tabel 8: De regressiecoëfficiënten (β_i) met standaardfout (s.e.) voor de meervoudige lineaire regressiemodellen met R_{gem} en R_{L30} als responsvariabelen en P_{Olsen} , drainageklassen en textuurklassen als verklarende variabelen. R^2 is de <i>adjusted R-squared</i> . Codes voor significantie: $p < 0,001$ '***', $p < 0,01$ '**' en $p < 0,05$ '*'	40

Samenvatting

De zandgronden van de Kempen zijn volgeplant met naaldbossen, terwijl de natuurlijke vegetatie op deze plaatsen gemengd loofbos is. In de beheervisies om de naaldbossen om te vormen naar gemengde loofbossen komt berk naar voor als potentieel interessante soort. De kennis over de groei van oudere berken is echter nog beperkt. Het is bekend dat deze pioniersoort een goede en snelle jeugdgroei heeft, maar kan berk ook kwaliteitsvol hout van aanvaardbare dimensies leveren?

Deze thesis is uitgewerkt op basis van een dataset van 34 berken, verspreid opgemeten over de Kempische zandgronden. De doelbomen werden uitgekozen a.d.h.v. enkel selectiecriteria, waaronder aanwezigheid in de dominante klasse. Naast een aantal boomvariabelen werden eveneens opstands- en bodemvariabelen opgemeten. De leeftijd van de bomen werd bepaald door het nemen van boorstalen. De leeftijd, de opgemeten jaarringbreedtes en de diameter hebben toegelaten om drie variabelen af te leiden die de groei van elke boom weerspiegelen: de gemiddelde diametergroei, de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en de leeftijd waarop een diameter van 30 cm bereikt werd.

Op basis van het verloop van de *Basal Area Increment* werden in de dataset twee groepen onderscheiden met een duidelijk verschillend groeipatroon. De eerste groep vertoont het verwachte groeipatroon met een vroege culminatie voor de leeftijd van 30 jaar, gevolgd door een daling die langzaam uitloopt in een stagnerende trage groei. De tweede groep vertoont een afwijkend patroon, met een trage maar langer durende stijging zonder een echt culminatiepunt te bereiken binnen de leeftijd van de opgemeten bomen.

De dataset vertoonde een grote spreiding voor alle opgemeten variabelen. Met een meervoudige regressieanalyse is gezocht naar relaties tussen de drie groeivariabelen en de boom-, opstands- en bodemvariabelen. Er werden geen verbanden gevonden tussen de groeivariabelen en de boom- of opstandsvariabelen. Relaties met bodemvariabelen werden aangetoond in twee lineaire regressiemodellen, met als verklarende variabelen de drainage- en textuurklassen en (1) de eerste twee principale componenten van een PCA-analyse o.b.v. de chemische bodemkarakteristieken of (2) de concentratie plantbeschikbaar fosfor (P_{Olsen}). Er was een positieve relatie tussen de P-concentratie en de groei van berk, zoals in eerdere onderzoeken al meermaals werd aangetoond. De groei was optimaal op kleiige of lemige zandbodem en minder op zand- of zandleembodem. Berk groeide het best bij een voldoende vochtvoorziening. Op droge bodems was de groeisnelheid lager. Bodems die tijdelijk nat worden (stuwwater) waren ook negatief voor de groei.

Deze relaties hebben implicaties voor de doelstellingen van het beheer. Bij de beste bodemcondities kunnen mits goede vrijstelling vermoedelijk doeldiameters van 45-50 cm bekomen worden. Op drogere, fosfor-gelimiteerde bodems met een sub-optimale textuur moeten kleinere doeldimensies nagestreefd worden.

Inleiding

Vanaf 1850 zijn de arme zandgronden in Vlaanderen massaal beplant met grove den (*Pinus sylvestris* L.) en Corsicaanse den (*Pinus nigra* subsp. *laricio* Maire), die dienden als stuthout voor de mijnbouw. Terwijl de mijnbouw intussen volledig verdwenen is, bestaat het overgrote deel van het bosareaal op deze gronden nog steeds uit voormalige dennenplantages. In de huidige beheervisie is het de bedoeling deze dennenbossen om te vormen naar meer gemengde bostypes (Afdeling Bos & Groen, 2001a; Spiecker et al., 2004). De natuurlijke succesie van grovedennenbossen op arme zandgronden verloopt richting een menging van berk en eik, eventueel met grove den (Wijdeven et al., 2000). Dit is een traag proces, dat door middel van het juiste beheer versneld kan worden.

Berk (*Betula* L.) werd tot voor kort als een hinderende soort beschouwd, een soort die de groei van meer gewenste boomsoorten als eik (*Quercus* spp.) en den belemmerde. Berk heeft omwille van de geringe eisen aan groeiplaats, de hoge tolerantie tegen weersextremen en de vroege en hoge productie van lichte zaden een pionierskarakter. Dit maakt berk een interessante boomsoort om de dennenbossen op een natuurlijke wijze om te vormen tot loofbos. De vestiging van gewenste loofboomsoorten als eik is een traag proces en vaak moeilijk te bewerkstelligen. Aanplanting is bij deze boomsoorten meestal de enige optie als de omgeving niet voldoende volwassen zaadbomen bevat. Op arme gronden is de kost van bosverjonging een belangrijke aandachtfactor. Een natuurlijke verjonging met berk kan dan ook een goedkope oplossing vormen. Bovendien kan met een aangepast beheer kwaliteitsvol berkenhout verkregen worden, zoals de teelt van kwaliteitsvol berkenhout in de Scandinavische landen aantoont. Berk kan kwaliteitshout leveren op een relatief korte bedrijfstijd. Lemaire (2004) spreekt van een bedrijfstijd van 35-55 jaar, maar voor het bereiken van de doeldiameter van 45-50 cm wordt eerder een bedrijfstijd tot 60 jaar vooropgesteld. Door het inzetten van berk kan een natuurlijke omvorming naar gemengd loofhout op relatief korte termijn plaatsvinden.

Naast zijn inzetbaarheid voor omvorming van naaldbos naar een gemengd loofbos wordt berk ook steeds meer naar waarde geschat als bron voor biodiversiteit (De Silva et al., 2008). Gezien de inzetbaarheid van berk in de Scandinavische houtverwerkende industrie, kan aangenomen worden dat ook in West-Europa een afzetmarkt aanwezig zal zijn wanneer het aanbod van lokaal kwaliteitsvol berkenhout stijgt.

De kennis over de groei van berk in relatie tot omgevingsfactoren is nog zeer beperkt. De resultaten van kwaliteitshoutproductie met berk uit de Scandinavische landen spreken voor zich, maar hoe zit dit in Vlaanderen? Is de soort in staat een voldoende hoge productie van hout met een aanvaardbare kwaliteit te leveren op zandige bodems onder het Vlaamse klimaat? De jeugdgroei van berk is over het algemeen goed beschreven, maar de groei op latere leeftijd kent nog veel vraagtekens. Hoe evolueert de groei naarmate de boom ouder wordt en wat zijn de drijvende factoren achter dit groeiverhaal? Dit zijn vragen die een antwoord verlangen om het beheer van berk te kunnen optimaliseren en de soort in waarde te doen stijgen bij bosbeheerkeuzes.

1 Berk, een inheemse boomsoort

1.1 Taxonomie

In België komen twee berkensoorten van nature voor, ruwe berk (*Betula pendula* Roth) en zachte berk (*Betula pubescens* Ehrh.). Deze Euraziatische berken zijn een opsplitsing van de oude benaming, witte berk (*Betula alba* L.). Er kunnen lokaal veel hybridevormen voorkomen (Endtmann, 2000). Het geslacht *Betula* behoort tot de familie van de *Betulaceae*, de berkenfamilie. De taxonomische indeling van de *Betulaceae* wordt weergegeven in Tabel 1.

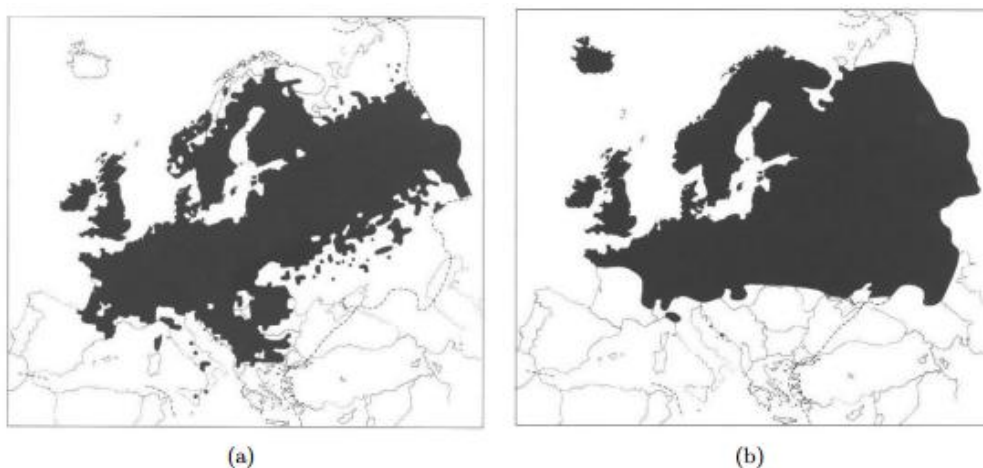
Tabel 1: Taxonomische indeling van de familie *Betulaceae* (Lambinon et al., 1998)

Afdeling	<i>Spermatophyta</i>
Onderafdeling	<i>Angiospermae</i>
Klasse	<i>Dicotyledonae</i>
Subklasse	<i>Hamalididae</i>
Orde	<i>Fagales</i>
Familie	<i>Betulaceae</i>

1.2 Verspreiding

1.2.1 Geografische verspreiding

De Euraziatische berk stelt relatief weinig eisen aan de omgeving. Dit maakt dat de soort een groot verspreidingsareaal heeft dat meerdere klimaatsklassen omvat, gaande van de Atlantische oceaan tot Oost-Siberië (Hynynen et al., 2010). De Euraziatische berken komen voor tot aan de noordelijke boomgrens. Zachte berk groeit meer noordelijk dan ruwe berk (Perala & Alm, 1990a). Zachte berk is dan weer afwezig in de meeste mediterrane gebieden waar ruwe berk nog wel gedijt (Hynynen et al., 2010). Figuur 1 toont de verspreiding van beide soorten binnen Europa en Azië. Ruwe berk groeit ook in een beperkt aantal Noord-Amerikaanse gebieden, maar is daar niet inheems (Flora of North America).



Figuur 1: Natuurlijk verspreidingsareaal van (a) ruwe berk en (b) zachte berk (Ministère de la Région Wallone, 1991)

1.2.2 Algemene habitatvoorkeur

Berk is een pioniersoort die snel open plekken koloniseert na menselijke activiteit (kaalkap) of na natuurlijke verstoring (o.a. bosbrand). De soort tolereert geen schaduw. De belangrijkste eisen zijn

een goede water- en zuurstofvoorziening in de bodem (Hynynen & Niemistö, 2009). Zachte berk groeit eerder op vochtige gronden, terwijl ruwe berk meer op drogere bodems voorkomt. Ruwe berk groeit goed op arme gronden, maar goed gedraineerde licht minerale bodems zijn optimaal (Van Tuyll, 2003). Een belangrijk voordeel van berken is dat ze een grote tolerantie hebben tegen zomerhitte en strenge koude winters (Dong et al., 2009). In Centraal- en Zuid-Europa vormt berk maar een klein percentage van het staand volume. Hier komt het merendeel van de berken voor in gemengde opstanden, voornamelijk gedomineerd door naaldbomen. Berken groeien echter ook goed in monoculturen, zoals bv. in Noord-Europa (Hynynen et al., 2010).

Dit onderzoek is toegespitst op berk op droge tot frisse zandgronden in de Kempen. Er wordt van uitgegaan dat we onder deze omstandigheden te maken hebben met ruwe berk. Dit werk focust dan ook op ruwe berk. In de rest van dit werk verstaan we onder 'berk' de ruwe berk.

1.3 Morfologie

Stam

Berkenbomen worden tot 30 m hoog (Van der Meijden, 2005). Jonge bomen hebben een glanzend roodbruine schors die snel wit verkleurt. Een typisch kenmerk is de witte stam met horizontale lenticellen en zwarte, vaak ruitvormige groeven (Figuur 2). Naarmate de boom ouder wordt, neemt het aandeel van deze groeven toe, tot de gehele onderstam donker en ruig is (Johnson & More, 2005).

Kroon

Berk heeft een sympodiale groei. Jonge scheuten zijn purperbruin met witte wratachtige lenticellen en zijn spoedig kaal. De twijgen van oudere bomen zijn hangend (Van der Meijden, 2005). De bladeren van ruwe berk zijn niet behaard en worden 3-7 cm lang. De vorm is ruitvormig tot eirond met een dubbelgezaagde bladrand (Figuur 2) (Johnson & More, 2005).

Bloemen en vruchten

Berk is éénhuizig, met de bloeiwijzen in afzonderlijke mannelijke en vrouwelijke geelachtige katjes. De mannelijke katjes worden 3-6 cm lang en zijn hangend. De vrouwelijke katjes blijven kleiner (1,5-3 cm) en zijn rechtopstaand. Berkenzaad is gevleugeld. De vruchtvluggel is 2-3 keer zo breed als het zaadje (Figuur 2) (Van der Meijden, 2005).



Figuur 2: De stam, het blad en de vruchten van ruwe berk (*Betula pendula*)

1.4 Ecologie

Deze paragraaf gaat dieper in op de specifieke groeiplaatsvereisten van berk.

1.4.1 Microklimaat

1.4.1.1 Licht

Berk is een uitgesproken lichtboomsoort. Onder ideale bodemcondities is de schaduwtolerantie beperkt tot 10-15 % beschaduwing (Perala & Alm, 1990a). Zaailingen hebben een hogere schaduwtolerantie en groeien volgens Helliwel & Harrison (1979, in Perala & Alm, 1990a) zelfs het best bij 43 % schaduw en kunnen overleven tot 90 % schaduw. De beschikbaarheid van nutriënten en water zijn bepalende factoren in de schaduwtolerantie (Ferm, 1993). Berk heeft een maximale fotosynthetische efficiëntie bij 10-50 % van vol zonlicht (Tsel'niker, 1978, in Ferm, 1993). Voor het behouden van een goede vitaliteit en een sterke groei dient berk in de dominante klasse aanwezig te zijn, met voldoende groeiruimte en zo min mogelijke (licht-)competitie met buurbomen (Hynynen et al., 2010).

Fotoperiodiciteit

De fotoperiodiciteit is een belangrijke factor in de groei van berk. De minimale kritische daglengte voor een continue groei van de bovengrondse delen tijdens het groeiseizoen wordt geschat op acht uur. Vanaf een bepaalde combinatie van temperatuur en fotoperiode stopt de groei (Perala & Alm, 1990a). Berkenpopulaties zijn aangepast aan de lokale daglengte. Naarmate de breedtegraad en/of de hoogteligging toeneemt, neemt ook de benodigde minimale fotoperiode voor groei toe (van 14 h op 56 °N tot 20 h op 70 °N) (Pelham et al., 1984). Worden de dagen te kort, dan stopt de bovengrondse groei. De wortels groeien onafhankelijk van de fotoperiode (Kelly & Mecklenburg, 1980).

1.4.1.2 Temperatuur

Berk is bestand tegen warme zomers en is eveneens aangepast om te overleven in koude klimaten. De groei van berk wordt voornamelijk gereguleerd door de luchttemperatuur. De bodemtemperatuur is in mindere mate bepalend, behalve bij lage temperaturen. De groei stopt namelijk wanneer de som van de lucht- en bodemtemperatuur onder een bepaalde waarde zakt (drempel van 5 °C), afhankelijk van de fotoperiode (Koski & Sievänen, 1985, in Ferm, 1993). Nieuwe scheuten kunnen temperaturen tolereren tot -5 °C in het groeiseizoen (Christersson et al., 1983, in Perala & Alm, 1990a). Bij terugkerende lage temperaturen in de noordelijkste streken beperkt de groei zich tot de vorming van een struikvorm. Bij extreme koude temperaturen kunnen reeds verhoutte scheuten namelijk afsterven, waardoor dormante knoppen aan de stambasis gedwongen worden om uit te groeien. De groei is optimaal bij een bodem- en luchttemperatuur van 18-22 °C (Perala & Alm, 1990a).

1.4.1.3 Water

Berk groeit optimaal bij vochtige bodemcondities, maar komt evengoed voor op drogere groeiplaatsen (Ellenberg, 1996). Onder zowel extreme droogte als bij overstroming ondervindt berk wel problemen. De bodemtextuur is bepalend in de waterhuishouding van de bodem. De in dit onderzoek voorkomende zand- en zandlemige bodems hebben tijdens een droogteperiode minder goede bodemwatercondities dan humus en klei- of leembodems (Perala & Alm, 1990a).

Berk is inefficiënt op vlak van watergebruik. De transpiratie per eenheid bladmassa is hoog (514 kg water/kg bladmassa per jaar) en is onafhankelijk van de boomleeftijd (Rudakov, 1973, in Perala & Alm, 1990a). Berken reageren zeer snel op de beschikbaarheid van bodemwater door de transpiratie te regelen (Gartner et al., 2009). Bij hogere (meer negatieve) bodemwaterpotentialen kan berk, in tegenstelling tot andere soorten als *Quercus*, de turgor enkel behouden door het sluiten van de stomata (Osonubi & Davies, 1978). Bij een interne waterpotentiaal van -15 MPa zijn de stomata van berk reeds gedeeltelijk gesloten. Dit is vroeg in vergelijking met andere boomsoorten als *Populus*, *Quercus* en *Prunus* (-17 MPa tot -23 MPa) (Federer, 1977, in Perala & Alm, 1990a). In droge omstandigheden zijn fotosynthese, stomatale geleidbaarheid en transpiratie het laagst en is de *Water Use Efficiency* (WUE) het grootst. Onder droge omstandigheden vormt berk bovendien kleinere bladeren en is de totale *leaf area index* (LAI) en *specific leaf area* (SLA) kleiner (Possen et al., 2011). Op deze manier wordt de transpiratie eveneens gereduceerd.

Zaailingen zijn gevoeliger voor droogte dan volwassen bomen. De intolerantie voor droogte is het grootst wanneer de kiemwortel slechts 5-15 mm lang is (Vaartaja, 1954, in Perala & Alm, 1990a). Bij bodemwaterpotentialen lager dan -0,16 MPa neemt sterfte bij zaailingen aanzienlijk toe (Humphries et al., 1982).

1.4.2 Bodem

Berk stelt relatief weinig eisen aan de bodem. Voldoende vocht- en zeker luchtvoorziening zijn belangrijke factoren voor de groei (Hynynen & Niemistö, 2009). Voor zandgronden betekent een adequate vochtvoorziening dat er voldoende organische stof of leem aanwezig moet zijn in het bewortelde profiel (Oosterbaan & Polman, 2007). Bij toenemende bulkdensiteiten, van 0,9 tot 1,5 g

cm⁻³, neemt de groei op zandige bodems significant af door een afnemende luchtvoorziening (Berben, 1972, in Perala & Alm, 1990a). Een klei- of leembodem is vaak te compact en moeilijk te penetreren voor berkenwortels (Karlsson et al., 1998; Hynynen & Niemistö, 2009). Dit maakt dat berk voornamelijk op zandige tot lemige bodems en veengronden voorkomt. De optimale pH ligt rond 4-5 (Perala & Alm, 1990a).

Op matig nutriëntenrijke bodems is de groei optimaal, maar groei is eveneens mogelijk op nutriëntenarme (zand-)gronden (Hynynen & Niemistö, 2009). De relatie tussen de groei van berk en de beschikbaarheid van nutriënten is voor de meeste nutriënten nog niet goed gedefinieerd. Verschillende onderzoekers hebben wel een positief verband aangetoond tussen de aanwezigheid van fosfor (P) en de groei. Een minder sterk positief verband is er met de beschikbaarheid van stikstof (N) en soms met kalium (K) (Perala & Alm, 1990a). Door een sterke genetische variabiliteit (zie 1.6.1.1) reageert elke berk anders op de aanwezigheid van nutriënten. Zo weet men dat er P-tolerante en P-intolerante varianten zijn die meer of minder P vereisen voor hun groei (Pelham et al., 1984). Wel is het zo dat een verhoogde beschikbaarheid van P de droogteresistentie van de boom verhoogt (Perala & Alm, 1990a). Zaailingen hebben een verhoogde gevoeligheid voor N, waarbij een limitatie of een overvloed de groei verlaagt (Ingestad, 1977, in Perala & Alm, 1990a).

De effecten van de beschikbaarheid van andere nutriënten op de groei van berk zijn minder goed gekend. Volgens Ingestad (1975, in Perala & Alm, 1990a) zorgt een tekort aan K voor een ijzer (Fe) deficiëntie en chlorose. Uit de resultaten van Helliwel & Harrison (1979, in Perala & Alm, 1990a) blijkt dat zaailingen trager groeien als de concentratie aan calcium (Ca) toeneemt van 24 tot 910 mg/100 g bodem en dat ze best groeien bij 0,28 mg P en 14 mg K per 100 g.

Berk treedt op als een bodemverbeterende soort, voornamelijk op onvruchtbare bodems (Ferm, 1993). De decompositie van berkenstrooisel is snel (< 1 jaar), waardoor de nutriënten uit dit strooisel snel weer beschikbaar komen (Ovington & Madgwick, 1959). Door een snellere nutriëntencyclus dan bij naaldbomen en het transporteren van zuurstof naar de wortels verbetert hij de bodem voor zijn eigen groei en deze van buurbomen en toekomstige generaties (Perala & Alm, 1990a). In vergelijking met grove den kennen voornamelijk N, P en K een versnelde cyclus. Dit komt door de hogere concentratie van deze nutriënten in de bladmassa en het strooisel van berk tegenover deze in de naalden van grove den en de snellere strooiselafbraak (De Schrijver et al., 2009). Ook de bodemstructuur (porositeit) en de daarmee gepaard gaande permeabiliteit verbeteren door een snelle afbraak van dode wortels (Hynynen & Niemistö, 2009).

1.5 Groei

1.5.1 Wortelontwikkeling

Wortels vervullen algemeen meerdere taken voor de boom. Zo zorgen ze voor de verankering, de opname van water en nutriënten en als secundaire functie ook voor nutriëntenopslag. Berk vormt onder normale omstandigheden een hartvormig wortelsysteem. Naast de vorming van een oppervlakkig wortelsysteem worden er eveneens zinkwortels gevormd (Uri et al., 2007; Kalliokoski et al., 2008). Het wortelsysteem van berk kent een sterke vertakking (Mauer & Palátová, 2003). Deze wortelstructuur laat toe de bodem op een zeer efficiënte manier te exploiteren.

Berk heeft een wortelstelsel met een hoge plasticiteit waardoor de wortelstructuur optimaal is aangepast aan de groeiplaats (Ostonen et al., 2007). Onder arme bodemcondities is de totale wortellengte hoog (exploratie), in nutriëntenrijke bodems is de elongatie minder en verhoogt de vertakkingsintensiteit (exploitatie) (Kalliokoski et al., 2008). De grootste concentratie aan wortels wordt teruggevonden in de rijkste horizonten. Kalliokoski et al. (2008) vonden dat de verticale wortels zich voornamelijk in de B-horizont bevinden. Op zandbodems vormt berk een sterke wortelconcurrentie voor andere bomen (Dong et al., 2009). Ook de luchtvoorziening heeft een effect op de wortelstructuur, met een verhoogde exploratie in anaërobe bodems. De bodemvochtigheid heeft eveneens een invloed op de wortelmorfologie. Onder droge omstandigheden is de wortellengte per eenheid droge massa hoger (Aspelmeier & Leuschner, 2005; Possen et al., 2011). De vertakkingsintensiteit is lager doordat de fijne vertakkingen afsterven of de vorming ervan gereduceerd wordt. Aspelmeier & Leuschner (2005) vermelden verhoogde cavitatie als een mogelijke verklaring hiervoor. Door droogtestress in de bodem ontstaat een sterke onderdrukgradiënt in het xyleem. Dit kan leiden tot luchtbellen die uitzetten en zo xyleemvaten blokkeren (geëmboliseerde vaten). Volgens Hacke et al. (2000) zijn fijne wortels gevoeliger voor dit verschijnsel. Een verschuiving van fijne wortels naar wortels met grotere diameters kan helpen om de hydraulische geleidbaarheid van de wortels beter in stand te houden bij droogtestress. Bij een te hoge bodemvochtigheid wordt de wortelgroei ook geremd.

De groeiplaatsproductiviteit heeft een positief effect op het aantal proximale en adventiefwortels die gevormd worden. Het aandeel proximale wortels dat verticaal georiënteerd is, is groter dan bij *Picea abies* en *P. sylvestris*. De gemiddelde hellingshoek tussen de wortels van berk en het maaiveld (26°) is groter dan bij de vernoemde naaldbomen (Kalliokoski et al., 2008). Berk oefent een sterke wortelcompetitie uit op naaldbomen door een hogere biomassa van de fijne wortels en de grotere horizontale bezetting door de wortels (Kalliokoski et al., 2008).

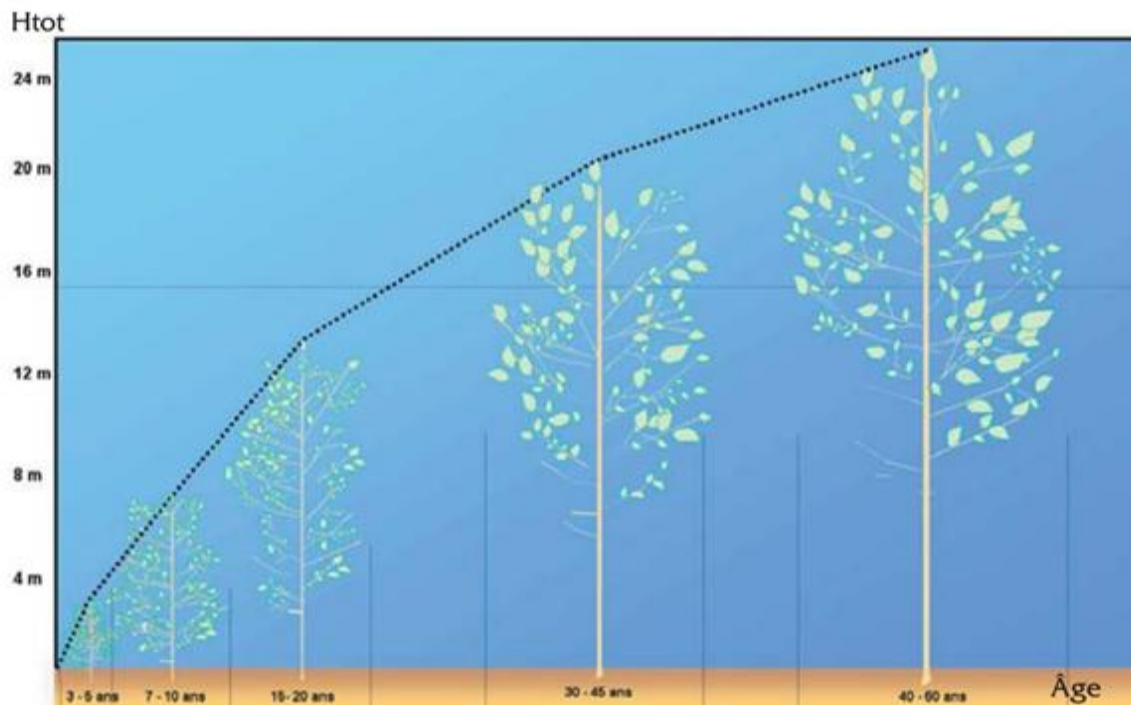
De zaailingen van berk hebben een matig tot goede vorming van nieuwe worteldelen (Perala & Alm, 1990a). Tijdens het ontwikkelingsproces van zaailing tot volwassen boom blijft de vorm van het wortelsysteem vrij constant (Kalliokoski et al., 2008).

1.5.2 Groeipotentie

Veel literatuur is afkomstig van de meer noordelijk gelegen landen, voornamelijk Finland. Hier heerst een ander klimaat dan ons gematigd klimaat, waardoor de resultaten van deze onderzoeken kunnen afwijken van de groei die we in België kunnen verwachten.

Berk kent een snelle jeugdgroei. Op een leeftijd van 15 jaar kan een natuurlijke verjonging reeds een dominante hoogte van 15 m en een diameter van 20 cm bereiken (Dong et al., 2009). In het eerste jaar is de hoogtegroeï nog beperkt, met zaailingen van 5-12 cm hoog tot maximaal 20-42 cm hoog, maar neemt dan sterk toe. Vanaf een leeftijd van 13-15 jaar daalt de hoogteaanas (Figuur 3) en de kroondiametergroei aanzienlijk (Lemaire, 2004). Bij veldmetingen in Duitsland vond men reeds een culminatie van de hoogteaanas op 11-jarige leeftijd (Hein et al., 2009). Op de slechtste groeiplaatsen, waar de eindhoogte 15 m bedraagt, werd een maximale hoogteaanas van 57 cm per jaar bekomen. Op de beste groeiplaatsen bedroeg dit 96 cm per jaar, en werd een eindhoogte van 30 m bereikt. Vanaf een leeftijd van 50-58 jaar was de hoogteaanas met slechts 5 cm per jaar

nagenoeg stilgevallen. De diameteraanwas is sterk afhankelijk van de aanwezige competitie. Uit veldmetingen van Dong et al. (2009) bleek dat berk tussen 13 en 18 jaar een gemiddelde jaarlijkse diameteraanwas tot 8,8 mm vertoonde in percelen die gedund werden. In percelen met nulbeheer was de diameteraanwas iets lager (7,4 mm). Tussen 18 en 23 jaar werd een gemiddelde jaarlijkse diameteraanwas van 8,0 mm vastgesteld. Bomen in het perceel met nulbeheer kenden in deze leeftijdsklasse reeds een veel lagere groei die slechts de helft bedroeg (4,4 mm). De diametergroei van een solitaire berk (50 cm op 50 jaar, kroonbreedte 9 m) vergeleken met een berk uit een bosomgeving (50 cm op 90 jaar, kroonbreedte 5 m) geeft de verlaagde diametergroei bij concurrentie weer (Stahl & Gauckler, 2009). Deze vergelijking moet met enige voorzichtigheid bekeken worden, aangezien niet vermeld is of de groeiplaatsomstandigheden voor beide bomen gelijk zijn. De lagere diametergroei staat rechtstreeks in verband met de kleinere kronen en de daarmee samenhangende lagere fotosynthesecapaciteit. De kroon- en takvorming van berk wordt sterk beïnvloed door naburige bomen (Jones, 1985 in Ferm, 1993).



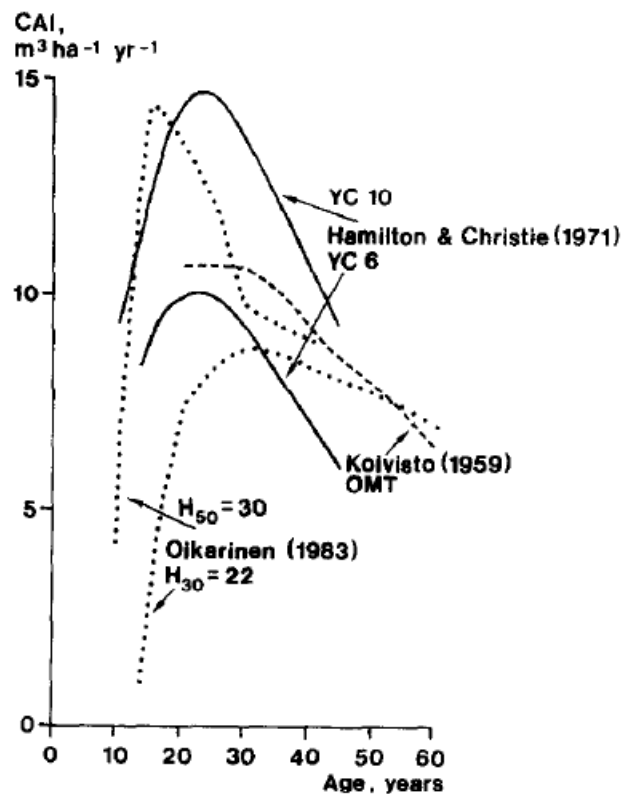
Figuur 3: Weergave van de totale hoogte (Htot) in relatie tot leeftijdsclasses, gemeten op een vrijstaande ruwe berk (*Betula pendula*) (Lemaire, 2004).

De hoogtegroeï van berk is weinig afhankelijk van eventueel beheer. In een opstand, gedund of niet gedund, verschilt deze niet significant van de hoogtegroeï van een solitaire berk (Dong et al., 2009; Stahl & Gauckler, 2009). Samen met de culminatie van de hoogtegroeï neemt ook het kroonexpansievermogen sterk af (Lemaire, 2004). Dit is een belangrijke factor om rekening mee te houden in het beheer, specifiek voor de tijdige kroonvrijstelling.

Afhankelijk van de groeiplaats culmineert de jaarlijkse bovengrondse aanwas op een leeftijd van 15-30 jaar. Berk kent een sterke groei tot een leeftijd van 40-50 jaar. Nadien neemt de groei en de vitaliteit van de boom sterk af en wordt hij gevoeliger voor stamrot en andere defecten (Ferm, 1993). Er zijn geen opbrengsttabellen voor België; gewoonlijk worden de Nederlandse opbrengsttabellen van Jansen et al. (1996) gebruikt. Voor berk is hierin echter rechtstreeks de Noorse opbrengsttabel

van Braadstad (1967, in Jansen et al., 1996) overgenomen. De groei van berk in onze contreien zal afwijken van de groei in de Scandinavische landen waardoor deze opbrengsttabel slechts beperkt bruikbaar is. Lockow (1996, in Lockow, 2000) heeft opbrengsttabellen opgemaakt voor berk in Noordoost-Duitsland. Deze geven een sterkere groei weer dan de Noorse opbrengsttabellen, met een maximale volumebijgroei van bijna 10 m³/ha/j bij een hoge boniteit. Andere onderzoekers spreken van maximale waarden van 8-15 m³/ha (Figuur 4) (Ferm, 1993).

Berk bereikt een leeftijd van 80-120 jaar, maar zelden heeft een berk van 100 jaar nog een gezonde stam (Ebert, 2001 in Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2008a).



Figuur 4: De lopende jaarlijkse volumeaanwas (CAI) van ruwe berk (*Betula pendula*) opstanden volgens verschillende opbrengsttabellen en boniteiten. YC staat voor *Yield Curve*, H₃₀ en H₅₀ zijn de dominante hoogtes op respectievelijk een 30-jarige en 50-jarige leeftijd. OMT is het *Oxalis-Myrtilus* type (Ferm, 1993).

De groei van bomen wordt beïnvloed door verschillende biotische en abiotische factoren. De belangrijkste beïnvloedende biotische factoren worden verder besproken in vier groepen: competitie, ziektes en plagen, symbiotische relaties en bodemfauna.

1.5.2.1 Competitie

De groei van bomen wordt, naast de groeiplaats, sterk beïnvloed door de competitie met andere planten en bomen. De aanwezigheid van een struik- en boomlaag heeft een negatieve invloed op de verjonging en de groei van berkenzaailingen. Te sterke (licht-)concurrentie tijdens de jeugdgroei zorgt ervoor dat de kroon onvoldoende kan ontwikkelen. Omwille van het beperkte kroonexpansievermogen van berk zal dit, ook bij latere vrijstelling, een blijvend negatief gevolg hebben op de groei (Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2008b).

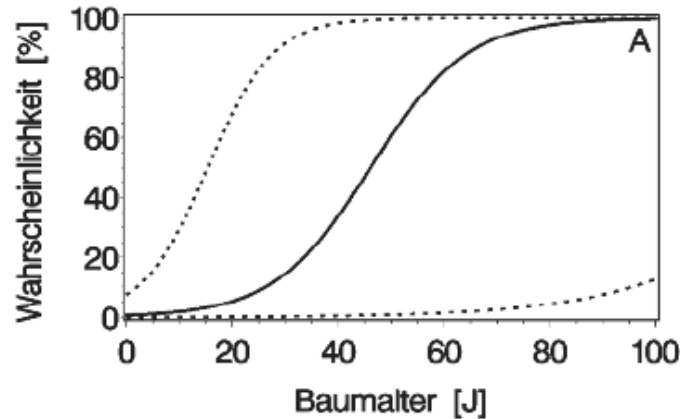
1.5.2.2 Ziektes en plagen

Kleine zaailingen kunnen afgedood worden door verschillende herbivoren. Grotere zaailingen kunnen herbivorie overleven, maar beschadigingen verhogen de kans op een slechte stamvorm, verrotting en verkleuring van het hout (Ferm, 1993). In Finland worden de veldmuis, de haas en rendieren aanzien als de voornaamste beschadigers. In onze contreien veroorzaken ook reëen en herten vraat aan zaailingen. Over het algemeen is berk wel minder vraatgevoelig dan vele andere boomsoorten. Heel wat van deze dieren worden aangetrokken door onkruid dat tussen de zaailingen aanwezig is. Onkruidbestrijding tijdens de verjongingsfase verlaagt dan ook de kans op beschadigingen door vraat (Ferm et al., 1994). Het voordeel van berk is dat er meestal een hoog aantal zaailingen aanwezig zijn, waardoor de schade in het geheel beperkt blijft. Bij een geslaagde natuurlijke verjonging zullen er voldoende onbeschadigde berken kunnen doorgroeien (Uri et al., 2007).

Uit een groeionderzoek van Levanič & Eggertsson (2008) blijkt dat er een ernstige groeidepressie van 3-6 jaar kan optreden ten gevolge van een insectenplaag. De mineervlieg *Phytobia betulae* is één van de belangrijkste insectenplagen en infecteert berken van alle leeftijden. De larve van de mineervlieg maakt gangen in het xyleem nabij het cambium. De boom vult deze gangen op met bruin parenchymweefsel (Ylioja et al., 2002). Dit verlaagt de esthetische waarde van het hout.

Berk is gevoelig voor enkele schimmelaantastingen (Dong et al., 2009). Over het gehele verspreidingsgebied zijn de meeste berken geïnfecteerd door de bladroest *Melampsorium betulinum* (Ferm, 1993). De roest veroorzaakt gele vlekken op het blad en een vervroegde bladval. Pathogenen die stamrot veroorzaken zijn de voornaamste oorzaken van het volledig afsterven van een boom. Stamrot is echter vaak een secundaire aantasting, die volgt op wortelaantastingen, insectenschade en negatieve groeicondities, voornamelijk droogte (Bennel & Millar, 1984, in Ferm, 1993). De schimmel *Taphrina betulina* veroorzaakt de vorming van zogenaamde heksenbezems. Door aantasting met deze schimmel lopen plaatselijk de slapende knoppen uit met een woekering van takken tot gevolg. Deze schimmel komt meer voor op zachte berk en heeft weinig effect op de groei van de boom (Cameron, 1996). Berk is gevoelig aan stamlaesies en kankers. Stamlaesies worden door verschillende schimmels veroorzaakt, waaronder *Godronia multispora*, *Fusarium avenaceum*, *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* en *Phytophthora cactorum* (Viherä-Aarnio & Velling, 2001). Vaak zijn mechanische wonden de plaats voor aantasting. De twee meest voorkomende zwammen op berk zijn de tonderzwam (*Fomes fomentarius*), een witrotter, en *Piptoporus betulinus*, een bruinrotter (Dong et al., 2009).

Naarmate een boom ouder wordt, lijkt de kans op houtverkleuring en daaropvolgend bruin hartrot toe te nemen. Het merendeel (70 %) van hartrot bij berk begint vanuit de wortels. Dit komt door een afnemende resistentie tegen afbraakfungi (Heräjärvi, 2001). Andere (stam)beschadigingen zoals hollen van spechten vormen ook een bron voor verval. Heräjärvi (2001) vond in zijn onderzoek (261 bomen ouder dan 60 jaar) bij 80 % van de bomen tekenen van verval in het onderste stamdeel. Hein et al. (2009) spreken van 100 % kans bij een leeftijd vanaf 80 jaar. Het aantal bomen aanwezig in de leeftijdsklasse van 70-90 jaar in de verschillende opstanden was wel zeer beperkt (1-4 bomen). Voor de oudere leeftijden is de onzekerheid en dus de mogelijke fout op de resultaten dan ook groter. Figuur 5 geeft het model weer van de waarschijnlijkheid op houtverkleuring in relatie tot de leeftijd dat afgeleid werd uit veldmetingen van Hein et al. (2009). Er dient opgemerkt te worden dat op dit model een grote onzekerheid zit.



Figuur 5: Gesimuleerde waarschijnlijkheid van kernverkleuring bij berk in relatie tot de boomleeftijd (stippellijn = 95 % betrouwbaarheidsinterval) (Hein et al., 2009)

1.5.2.3 Symbiotische relaties

De groei van berk wordt ondersteund door de symbiose met mycorrhizaschimmels. Mycorrhizaschimmels in de bodem zorgen, reeds voor ze de wortels infecteren, voor een verbeterde ontwikkeling van berkenzaailingen. Door het vrijmaken van P en N uit het bodemorganisch materiaal verhoogt de beschikbaarheid van deze nutriënten voor de plant (Ferm, 1993). Hierdoor vergemakkelijkt de kieming en verbetert de groei ook op minder geschikte bodems. Berkenzaailingen die in symbiose leven met mycorrhizaschimmels vertonen een verhoogde groei en betere overlevingskansen door een verhoogde nutriëntenopname, voornamelijk van P (Perala & Alm, 1990a). Mycorrhizaschimmels kunnen organisch N opnemen dat voor planten niet beschikbaar is (Ferm, 1993). Dit verhoogt via de symbioserelatie de hoeveelheid N voor de plant aanzienlijk. De morfologie, fysiologie en de grootte van zaailingen worden positief beïnvloed en de weerstand tegen stress verhoogt (Perala & Alm, 1990a). De ontwikkeling van mycorrhizae is ook afhankelijk van de omgevingscondities. Zo vermindert de kwantiteit en de diversiteit van mycorrhizaschimmels bij een verhoogde bodemcompactie. Lage lichtintensiteiten en acute tekorten aan P vormen eveneens limiterende factoren voor de vorming van mycorrhizaschimmels (Perala & Alm, 1990a). Naast mycorrhizaschimmels die instaan voor een verbeterde nutriëntenopname, zijn er eveneens mycorrhizaschimmels die ervoor zorgen dat de tolerantie voor bepaalde schadelijke nutriënten verhoogt. Zo verhoogt *Paxillus involutus* de zinktolerantie van berk door zink te absorberen in zijn hyphae en zo het transport naar de wortels af te remmen (Perala & Alm, 1990a)

Op ruwe berk vindt een soort van successie plaats in de symbiose met verschillende mycorrhizaschimmels (Mason et al., 1984, in Ferm, 1993). Zo wordt een initiële infectie door *Hebeloma crustuliniforme* gevolgd door *Laccaria laccata*, *Lactarius pubescens* en *Inocybe* spp. Deze kunnen op hun beurt opgevolgd worden door *Hebeloma fragilipes* en *Leccinum* spp., en na ongeveer 12 jaar volgen *Cortinarius* spp. en *Russula 'grisea'*.

1.5.2.4 Bodemfauna

Er is een duidelijke positieve relatie tussen de aanwezigheid van bodemfauna, zoals regenwormen, en de groei van berk. Bodemfauna verhogen de hoeveelheid beschikbare nutriënten en verbeteren

de bodemstructuur (Setälä & Huhta, 1991). Naast een snellere groei is er ook een verhoogde N- en P-concentratie in de bladeren. Dit zorgt voor een verhoogde kwaliteit van het strooisel.

1.6 Verjonging

1.6.1 Seksuele reproductie

1.6.1.1 Bloei en zaadproductie

Vanaf een leeftijd van 5-10 jaar kan berk reeds in bloei komen (Lemaire, 2004). Berk in serres vertoonde reeds bloei en de productie van kiemkrachtige zaden na acht maand (Lepistö, 1973, in Ferm, 1993). Dit laat vermoeden dat door de klimaatsverandering de bloei van berk in de toekomst nog eerder zal optreden. Tijdens de lente bloeit berk gelijktijdig met de bladontwikkeling, wat nauw samenhangt met de temperatuuraccumulatie voor de bloei. Tijdens een warme lente beperkt de bloei zich tot een paar dagen. Zijn de temperaturen laag, dan kan de bloei weken duren (Rousi et al., 2011). Lage voorjaarstemperaturen zorgen voor een minder goede pollenproductie. Er worden grote hoeveelheden fijne stuifmeelkorrels geproduceerd in de bloemen, die door de wind over grote afstanden verspreid kunnen worden (Hjelmroos, 1991). Berk heeft een biochemische zelfincompatibiliteit waardoor kruisbestuiving noodzakelijk is voor de vorming van zaden (Hagman, 1971, in Hynynen et al., 2010). De zaadproductie is enorm, tot 10 miljoen zaden per boom (Lemaire, 2004). Ferm (1993) spreekt van zaadproductie vanaf een leeftijd van 15-20 jaar. De rijping van de zaden vindt plaats in juli en augustus (Perala & Alm, 1990a). Berkenbomen produceren een groot aantal zaden. Om de 2-3 jaar is er een mastjaar (Hynynen et al., 2010).

1.6.1.2 Zaadverbreiding

Doordat berkenzaad klein, licht en dubbelgevleugeld is, kan het over grote afstanden door de wind verspreid worden (Hynynen et al., 2010). Het grootste deel van de zaden wordt verspreid in september en oktober (Cameron, 1996). Sarvas (1948, in Perala & Alm, 1990a) vond een valsnelheid van 0,52 m/s. Bij een windsnelheid van 5 m/s zou dit een theoretische maximale verspreiding van 192 m betekenen als de zaadboom 20 m hoog is. Het grote verspreidingsgebied van berk, het kruisen tussen bomen en populaties en de verre verspreiding zorgen voor een grote genetische variatie tussen en binnen populaties (Hamrick et al., 1992). Berkenzaad overleeft slecht; slechts 5-10 % overleeft het eerste jaar (Lemaire, 2004). In een Zweedse studie wordt gesproken van 6 % na het eerste jaar, 3 % na twee jaar en nog slechts 1 % na drie jaar (Granstöröm & Fries, 1985, in Perala & Alm, 1990a).

1.6.1.3 Kieming

Het tijdstip van kieming wordt gereguleerd door de interactie van fotoperiode en temperatuur. Ook de vochtigheid is een bepalende factor (Hynynen et al., 2010). Dit kan verklaard worden door de aanwezigheid van een wateroplosbare substantie in de zaadhuid welke een inhiberende werking op de kieming heeft. De zuurstof- en lichtvereisten voor de kieming van het embryo worden door deze substantie verhoogd (Perala & Alm, 1990a). Bij temperaturen tussen de 25 °C en 35 °C vindt kieming zowel in lichte als donkere omstandigheden plaats. Daalt de temperatuur onder de 25 °C, dan wordt de kieming afhankelijk van de fotoperiode (Vaartaja, 1959, in Perala & Alm, 1990a). De benodigde

fotoperiode loopt bij een temperatuur van 10-20 °C op tot 18 h (Perala & Alm, 1990a). De kieming wordt eveneens beïnvloed door de lichtkwaliteit. Voornamelijk de blauwgroene en de rode golflengtes bevorderen de kieming. Bestaat het invallende licht voornamelijk uit de blauwe en de ver-rode golflengtes, dan werkt dit inhiberend op de kieming (Valanne, 1973, in Perala & Alm, 1990a). Uit verjongingstesten via zaaien bleek dat de kieming beter was wanneer in de zomer gezaaid werd, dan wanneer dit reeds in de lente gebeurde (Mork, 1944, in Perala & Alm, 1990a).

Via natuurlijke verjonging kunnen zeer hoge stamtallen gehaald worden. Lemaire (2004) spreekt van densiteiten tot 100-200 zaailingen per m². Op een leeftijd van 10 jaar kan dit nog steeds 10.000 berken per ha opleveren en dus voldoende keuze voor kwaliteitsbomen. Zaden afkomstig van bomen uit warmere klimaten kiemen over een bredere temperatuurrange dan zaden afkomstig uit koudere, noordelijkere klimaten (Perala & Alm, 1990a).

1.6.2 Vegetatieve reproductie

Vegetatieve verjonging is mogelijk door de aanwezigheid van voornamelijk slapende knoppen, maar soms ook van adventiefknoppen. Deze lopen uit wanneer de apicale dominantie van de hoofdscheut verzwakt of verwijderd wordt (Hynynen et al., 2010). De leeftijd, de groeiplaats, de stomphoogte en het tijdstip van vellen bepalen het aantal slapende knoppen die zullen uitgroeien (Ferm & Kauppi, 1990, in Hynynen et al., 2010). Wanneer de stomp een diameter van 13-15 cm overschrijdt, verhoogt het aandeel stompen dat niet meer uitschiet aanzienlijk (Ferm, 1993). De verjonging van berk via een hakhoutstelsel kent het meeste succes wanneer gekapt wordt in de herfst of tijdens het voorjaar (Perala & Alm, 1990a). De temperatuur en de lichtintensiteit tijdens het groeiseizoen na de kapping zijn bepalend voor de scheutgrootte. Bij een temperatuur lager dan 10 °C vindt geen scheutgroei plaats (Johansson, 1986). Naarmate de temperatuur toeneemt, wordt ook een hogere scheutlengte waargenomen (temperatuurrange van 6-24 °C). Met de lichtintensiteit werd eveneens een positief verband aangetoond, waarbij de meest vitale scheuten bij 100 % zonlicht voorkwamen. Johansson (1986) onderzocht tevens de scheutgroei bij verschillende afzethoogtes. Berk afgezet op 10 cm hoogte vormde meer scheuten dan wanneer deze lager afgezet werd. Ondanks de sterke scheutgroei in de eerste jaren wordt berkenhakhout niet aanzien als een winstgevend proces in een intensief korterrotatiebeheer (rotatie < 10 jaar), noch op basis van biomassa-productie noch op economisch vlak (Ferm, 1993).

1.7 Bosbeheer

1.7.1 Verjonging

Mogelijkheden

Er zijn verschillende verjongingsmogelijkheden voor berk. In korterrotatiebosbouw kan berk als hakhout ingezet worden (zie 1.6.2). Het uitzaaien van berk is een mogelijkheid, maar dit wordt nagenoeg niet toegepast. Zaaien van ruwe berk is het effectiefst tijdens de zomer (Perala & Alm, 1990a). Waar het bosbeheer gericht is op het voortbrengen van kwaliteitshout krijgt planten de voorkeur. Bij aanplanten kan best gekozen worden voor uitgangsmateriaal met goede genetische eigenschappen (rechte, doorgaande spil en lichte betakking) voor het verkrijgen van kwaliteitsberkenhout (Oosterbaan & Polman, 2007). Via selectie van plusbomen die moeten instaan

voor de verjonging kan de kwaliteit van berk sterk verhoogd worden t.o.v. aanwezig niet-geselecteerde materiaal (Viherä-Aarnio & Velling, 1999). Omwille van het pionierskarakter van berk is een natuurlijke verjonging via natuurlijke zaadverbreiding in veel gevallen echter een goede en goedkope oplossing. Op de meeste groeiplaatsen kan deze natuurlijke verjonging succesvol zijn met een groot aantal zaailingen. In dit geval wordt gewerkt met de genetische pool die aanwezig is in het gebied. De grote aantallen zaailingen die hier meestal uit voortkomen, laten bij de dunningen een selectie van voldoende kwaliteitsvolle bomen toe (Lemaire, 2004).

Budget is een belangrijke factor in de beheerkeuze. Planten geeft de grootste zekerheid op het voortbrengen van een voldoende aantal kwaliteitsbomen, maar is ook de duurste optie. Bij verjonging uit zaad vormt de competitie met bodemvegetatie een risicofactor en dus een eventuele extra beheerkost (Ferm et al., 1994). Zeker op armere gronden, waar de opbrengsten lager blijven of pas na een (veel) langere bedrijfstijd bekomen worden, is een lage kostprijs van verjonging aangeraden (Perala & Alm, 1990b). Natuurlijke zaadverbreiding is dan ook de meest voor de hand liggende manier voor verjonging op de Kempische zandgronden.

Op open plekken

Natuurlijke verjonging gebeurt voornamelijk op open plekken, ontstaan door een kaalkap of na natuurlijke verstoringen als brand of windval (Hynynen et al., 2010). Dit levert een gelijkjarige opstand op. De grootte en de vorm van de kaalkap zijn een afweging tussen de lichtbehoefte en de zaadvoorziening (Cameron, 1996). Kleine kaalkapperdelen ondervinden schaduweffecten van de naastliggende bestanden, maar de afstand met de zaadbronnen blijft klein waardoor een voldoende aantal zaden per oppervlakte terecht kan komen. In grote kaalkapperdelen is schaduw geen probleem meer, maar is de afstand die zaden moeten afleggen groter. Het klimaat is een sturende factor in de verjonging. Koele, vochtige klimaten laten een goede verjonging toe, waardoor een kapvlakte van 50 m doorsnede geen problemen geeft. In warmere, droge klimaten blijven de kapvlaktes best kleiner dan 50 m doorsnede (Perala & Alm, 1990b). In een studie in Nederland werd de natuurlijke verjonging bestudeerd van onder andere berk in groepenkappen met diameter van 10-120 m. De resultaten tonen een significante voorkeur voor de grotere kapvlaktes (> 50 m diameter) (Jonášová et al., 2006).

Onder (ijl) scherm

Bij grote oppervlaktes wordt vaak gewerkt met overstaanders, die als zaadbomen moeten dienen. Te veel overstaanders verlagen dan weer de overlevingskansen van de verjonging. Als overstaanders moeten bomen van hoge kwaliteit uitgekozen worden (Perala & Alm, 1990b). Op deze manier wordt gestuurd naar een generatie met betere genetische kwaliteitskenmerken. In de literatuur worden verschillende aantallen van zaadbomen aangeraden voor succesvolle verjonging van berk. Cameron (1996) raad aan 20-40 overstaanders per ha te behouden, terwijl andere onderzoekers spreken van slechts 7-12 overstaanders per ha (Perala & Alm, 1990b). Om jonge berken optimaal te laten groeien moeten deze overstaanders tijdig, van zodra de nieuwe generatie zich succesvol heeft gevestigd, verwijderd worden (Oosterbaan & Polman, 2007).

Overstaanders worden niet noodzakelijk enkel behouden als zaadbron, maar kunnen ook optreden als bescherming van de nieuwe generatie (schermkap). Na een reeks dunningen blijft een scherm van overstaanders over, die het microklimaat enigszins behouden voor een verbeterde verjonging

(Mohren et al., 2010). Bovendien zorgt de schaduwwerking voor een verminderde groei van onkruid en dus een verminderde competitie voor de zaailingen (Jonášová et al., 2006). Het doel van dit systeem is eveneens een min of meer gelijkjarige nieuwe opstand te verkrijgen via natuurlijke verjonging. Uit veldtesten door Jonášová et al. (2006) blijkt dat berk zeer goed verjongt in groepenkappen, maar nauwelijks onder een scherm met 40-70 % sluitingsgraad. Dit toont aan dat de keuze van het percentage kroonbedekking dat behouden wordt bij dit systeem uiterst belangrijk is en zeker niet te hoog mag zijn.

Bodemvoorbereiding

Omwillen van de beperkte hoogtegroei in het eerste jaar vormt bodemvegetatie een sterke concurrentie voor berkenzaailingen (Ferm et al., 1994; Karlsson, 2002). De competitie om licht is belangrijk, maar voornamelijk de competitie om nutriënten en water heeft een sterk effect op de groeikracht en overlevingskansen van berkenzaailingen. Onkruidbestrijding verhoogt de hoogtegroei, de LAI en de bovengrondse biomassa van berkenzaailingen aanzienlijk (Ferm et al., 1994). Andere vormen van bodemvoorbereiding hebben eveneens vaak een positief effect op de kieming en op de groei van berkenzaailingen (Raulo, 1978; Karlsson et al., 1998). Voorbereiding kan gebeuren door branden, bescherming tegen vraat (omrastering), bemesting, mulchen en verschillende mechanische bewerkingen zoals ploegen, schoffelen en kulteren (Perala & Alm, 1990b). Siipiletho (2001) vond een significant positief effect van mulchen met houtsnippers op de groei van berkenzaailingen. Bemesting van voornamelijk N toevoegen aan de bodem rondom zaailingen zorgt voor een sterk verhoogde hoogtegroei, waardoor de competitie met bodemvegetatie snel minder belangrijk wordt (Raulo, 1978). Bodemvoorbereiding vergt arbeid en kosten, maar het vereenvoudigt het planten en vermindert de nood voor het bestrijden van competitieve bodemvegetatie tijdens de eerste groeiseizoenen (Raulo, 1978).

1.7.2 Snoei

In de literatuur wordt bij snoei van berk nagenoeg altijd verwezen naar opsnoei en minder naar vormsnoei. Dit komt omdat vormsnoei door de groeivorm van berk minder nodig is. Ten gevolge van lichttekorten stopt de groei van de onderste berkentakken relatief snel. Deze takken blijven nog 3-4 jaar in leven, maar sterven dan af (Mäkinen, 2002). Naarmate de dichtheid van de opstand hoger is, neemt de hoogte van de eerste levende tak toe. Het afvallen van dode takken verloopt echter relatief traag en is trager in meer dichte opstanden (Hein et al., 2009; Hynynen & Niemistö, 2009). Voor het bereiken van topkwaliteit berkenhout is opsnoei dan ook aangeraden. Door tijdige opsnoei vergroot het percentage noestvrije mantel die geschikt is voor fineer. De kroonlengte moet te allen tijde minimaal 50 % van de totale boomhoogte bedragen opdat de groei van berk maximaal kan zijn (Hynynen et al., 2010). Berkenbomen kunnen op goede groeiplaatsen meer dan 30 m hoog worden, maar om praktische en economische redenen wordt gewoonlijk gestreefd naar een takvrije stamlengte van 5-7 m (Stahl & Gauckler, 2009).

Bij berkenbomen wordt opsnoei in twee fases aangeraden. In een eerste fase wordt bij een totale boomhoogte van 6-7 m opgesnoeid tot een hoogte van 2,5-3 m. Dit gebeurt best niet op alle bomen om de kosten te besparen, maar op de 600-700 bomen per hectare die de beste kwaliteit kunnen voortbrengen. De tweede fase vindt plaats wanneer een totale boomhoogte van meer dan 10 m bereikt is, waarbij de stam takvrij wordt gemaakt tot een hoogte van 5 tot 7 m. Bij deze tweede

snoeibeurt zouden de bomen reeds goed opgegroeid moeten zijn en is het duidelijker welke bomen de beste kwaliteit kunnen voortbrengen. De snoei kan dan ook beperkt worden tot 400-500 bomen per hectare, waaruit de nodige kwaliteitsstammen kunnen voortkomen (Hynynen & Niemistö, 2009). Dong et al. (2009) wachten echter tot de bomen een hoogte bereikt hebben van 10-12 m alvorens te starten met de opsnoei. Op deze leeftijd zijn de verschillen in groeikracht beter zichtbaar en kan de snoei beperkt worden tot 150 toekomstbomen per hectare. In de QD-beheermethode (*Qualifizierung und Dimensionierung*) ligt dit aantal nog lager. Hier gebeurt eventuele opsnoei enkel op het maximaal aantal toekomstbomen, zonder enige reserve. Het aantal toekomstbomen wordt bepaald aan de hand van de kroonoppervlakte die nodig is om een maximale diktegroei te krijgen (Buysse, 2012). Voor berk betekent dit, afhankelijk van de groeiplaatskwaliteit, een maximum van 40-60 toekomstbomen per hectare. Voor fineer worden standaard stamstukken van 2,5 m lang beoogd. Door een takvrije stamlengte van 6-7 m na te streven kan dit twee fineerblokken opleveren, waarbij ruimte is om een eventuele fout en wortelverbreding te ontwijken.

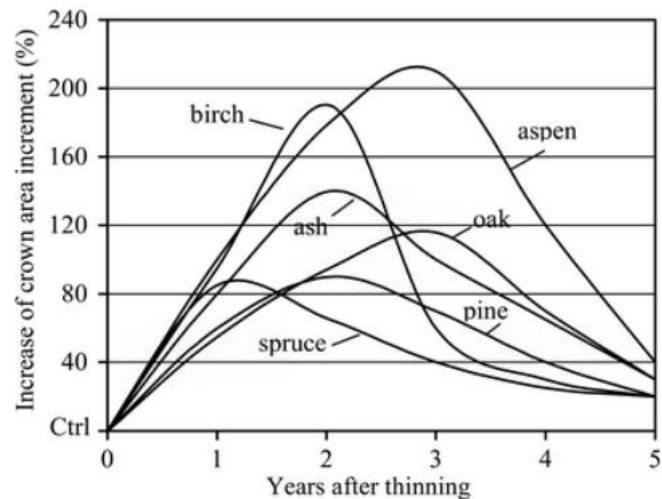
De snoei gebeurt best tijdens het groeiseizoen, of voldoende voor de start van het groeiseizoen. Om de kans op infecties zo laag mogelijk te houden wordt gestreefd naar een maximale takdiameter van 2 cm om de wondes klein te houden (Hein et al., 2009). Grotere snoeiwondes worden te traag overgroeid en verhogen de kans op houtverkleuring. Het gebruik van een snoeischaar geniet de voorkeur ten opzichte van een zaag. Een zaag zorgt immers voor een ruwer oppervlak en dus meer kans op infectiehaarden. De snoei moet zorgvuldig gebeuren, aangezien houtverkleuring het sterkst aanwezig is op plaatsen waar de schors of basale knoppen beschadigd zijn door de snoei (Schatz et al., 2008).

1.7.3 Dunning

De kans op houtverkleuring of stamrot vergroot reeds op vroege leeftijd (Figuur 5). Om kwaliteitsverlies hierdoor te vermijden kunnen rotaties best afgewerkt worden binnen een leeftijd van 50-60 jaar (Hein et al., 2009). Gerichte dunningen moeten een brede kroonontwikkeling en daarmee gepaard gaande snelle radiale groei van de toekomstbomen mogelijk maken.

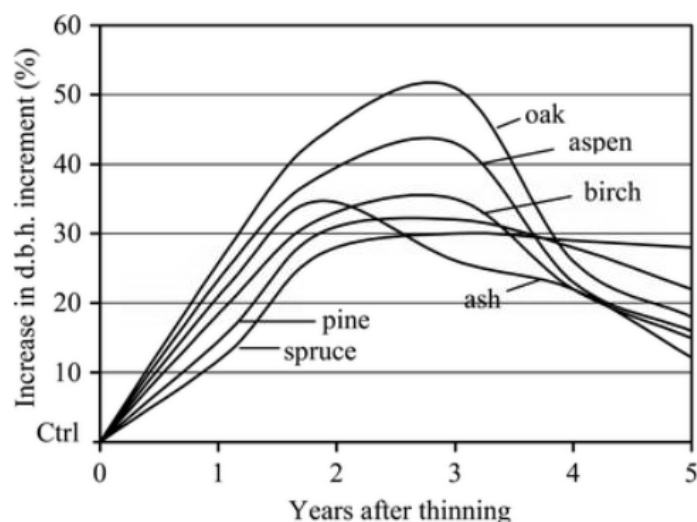
Groeirespons

Hein et al. (2009) spreken van een goed kroonexpansievermogen tot een leeftijd van 25 jaar, nadien is het kroonexpansievermogen nog slechts zeer beperkt. Omwille van dit beperkte kroonexpansievermogen van berk is het noodzakelijk vroegtijdig met beheer te starten. Sterk dunnen is aangeraden om een volledige en permanente vrijstelling van de kroon te behouden. Dit laat toe een maximale einddimensie te bekomen. In een onderzoek van Juodvalkis et al. (2005) komt duidelijk naar voor dat berk snel reageert op kroonvrijstelling met een sterke kroonexpansie in de eerste twee jaar na dunning. Figuur 6 geeft de kroonexpansie weer bij dunningen in een opstand van 30-40 jaar. Dit duidt aan dat ook op deze leeftijd er nog kroonexpansie optreedt, maar er werd een duidelijk lagere kroonexpansie gevonden in oudere opstanden in vergelijking met jonge opstanden (leeftijdswaarde van de bestudeerde opstanden is 10-50 jaar). Als gevolg van dunningen werden kroontoenames tot drie keer zo hoog als deze in ongedunde opstanden waargenomen. Dit zorgt er voor dat 4 tot 7 jaar na de dunning de totale kroonoppervlakte in een gedunde opstand reeds even groot of groter is dan in ongedunde opstanden. Intensere dunningen leverden een snellere kroonexpansie op.



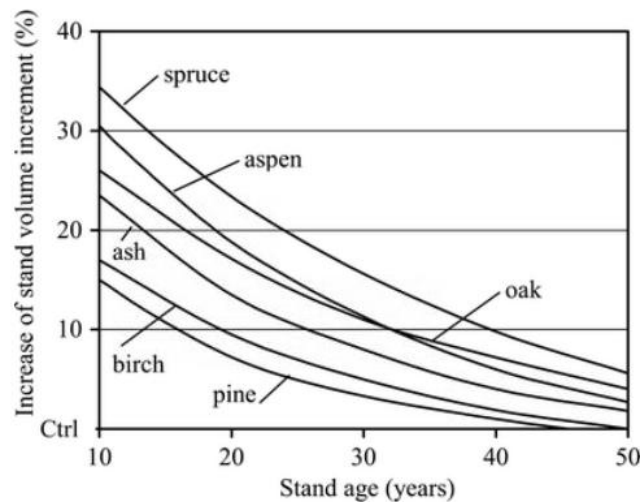
Figuur 6: Verschil in toename van de kroonoppervlakte tussen gedunde en niet-gedunde opstanden de eerste vijf jaar na de dunning. In opstanden van 30-40 jaar oud werd 25-35 % van het volume gedund. De toename van de kroonoppervlakte in de niet-gedunde opstanden bedroeg 0,13 m²/jaar voor berk (Juodvalkis et al., 2005).

De toename in diameter op borsthoogte is minder sterk, maar kent toch een belangrijke toename met een maximum 2-3 jaar na de dunning (Figuur 7). Zeven tot acht jaar na dunning is de diameter toename opnieuw op het niveau van een ongedunde opstand. Deze effecten zijn echter niet constant doorheen de tijd. Uit veldmetingen in Johanniskreuz door Dong et al. (2009) blijkt dat tot een leeftijd van 18 jaar eventuele dunningen weinig impact hebben op de diameter groei. Na de jeugd groei is de diameter groei wel significant groter bij vrijgestelde kronen. Rytter & Werner (2007) vonden echter bij meerdere proefopstanden van 5-10 jaar oud reeds 1 jaar na dunning een significant effect op de diameter groei. Uit een simulatie van de groei over 15 jaar na deze dunningen, bleek het effect van een dunning groter te zijn op de meer vruchtbare bodems.

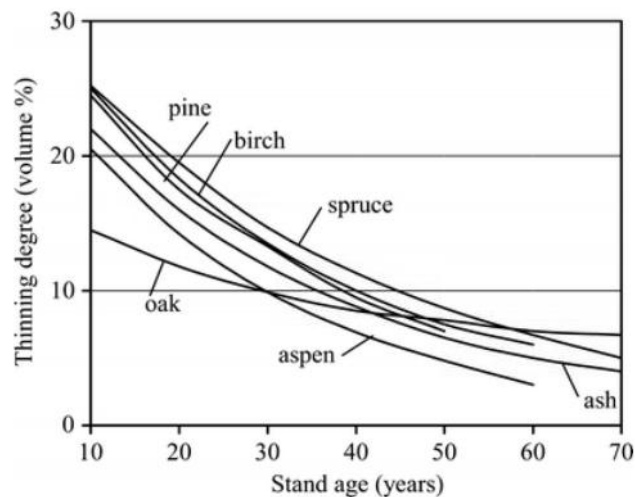


Figuur 7: Verschil in toename van de diameter op borsthoogte tussen gedunde en niet-gedunde opstanden de eerste vijf jaar na de dunning. In opstanden van 30-40 jaar oud werd 25-35 % van het volume gedund. De toename van de diameter op borsthoogte in de niet-gedunde opstanden bedroeg 2,8 mm/jaar voor berk (Juodvalkis et al., 2005).

Het effect van dunningen op de groei is algemeen sterk leeftijdsafhankelijk (Figuur 8). De sterke daling in volumetoename is gerelateerd aan het afnemend kroonexpansievermogen bij toenemende boomleeftijd. Tevens levert een pre-commerciële dunning bij densiteiten van meer dan 2000 bomen per hectare een verhoogd stand volume op in de toekomstige opstand (Zālītis & Zālītis, 2007). De dunningsgraad waarbij een maximale volumetoename wordt bereikt, is in deze studie eerder licht tot matig, variërend van 15-25 % van het volume (Figuur 9).



Figuur 8: Maximaal verschil in toename van het staand volume tussen gedunde en niet-gedunde opstanden. De toename van het staand volume in de niet-gedunde opstanden op de verschillende leeftijden bedroeg 2,6-8 m³/ha/jaar voor berk (gemiddeld 5,3) (Juodvalkis et al., 2005).



Figuur 9: Dunningsgraad waarbij er een maximale volumetoename optreedt in relatie tot de opstandsleeftijd voor verschillende boomsoorten (Juodvalkis et al., 2005).

In tegenstelling tot wat bij naaldhout het geval is, heeft de jaarringopbouw geen effect op de mechanische kwaliteit voor het gebruik van berkenhout. De kwaliteit van berkenhout daalt dan ook niet significant bij een snelle groei (Dunham et al., 1999). Zonder dunning komt bij een te hoog

stamtal de stabiliteit van berk in gedrang door een te grote hoogte/diameter-verhouding (Dong et al., 2009).

Pre-commerciële dunningen

Dunningen hebben hun effect, maar wanneer en hoe sterk moet er dan gedund worden? Bij natuurlijke verjonging kan het initiële stamtal zeer hoog zijn. In deze gevallen worden reeds pre-commerciële dunningen aangeraden alvorens een hoogte van 5 m bereikt wordt, om de onderlinge competitie te verlagen (Hynynen et al., 2010). In andere studies laat men een dichtstand langer ongemoeid waardoor de natuurlijke takreiniging en de fijntakvigheid verhoogt. Deze dichtstand zorgt voor een natuurlijke selectie van potentiële toekomstbomen. Push et al. (2004) schrijven om de eerste dunningen uit te voeren bij een hoogte van 9-15 m. Dit stemt ongeveer overeen met het omslagpunt van berk (afhankelijk van de groeiplaats), een concept dat tevens gebruikt wordt in de QD-methode om te starten met vrijstelling (Buysse, 2012). Dit komt neer op een takvrije stamlengte (met opsnoei of door volledige natuurlijke takreiniging) van 2/5 van de te verwachten totale eindhoogte. Afhankelijk van de dichtstand en de site-index moet eerder ingegrepen worden om een vitale kroon te behouden. Vanaf een leeftijd van 10 jaar zou de kroon 50 % van de totale boomhoogte moeten bedragen (Hynynen et al., 2010).

In Noord-Europa wordt een stamtal van 1500-2000 bomen per hectare nagestreefd na eventuele pre-commerciële dunningen. Er is echter een tendens aanwezig naar lagere stamtallen met doel de productie van dikkere fineerstammen (Ferm, 1993). In aanplanten is het initiële stamtal lager en kan deze dunning overgeslagen worden.

Commerciële dunningen

Na een eventuele pre-commerciële dunning volgen er meerdere commerciële dunningen om de kroon vrij te stellen en zo de diametergroei te promoten. Het tijdstip van de eerste commerciële dunning wordt bepaald door de takvrije stamlengte, de hoogte of de leeftijd van de opstand. De eerste commerciële dunning moet zeker plaatsgrijpen vooraleer de kroonlengte van de dominante bomen onder de 50 % van de totale boomlengte zakt en de accumulatie van het staand volume afneemt (Hynynen et al., 2010; Zālītis & Zālītis, 2007). Tijdens deze dunningen worden best relatief hoge volumepercentages van 30-40 % weggenomen waarbij de toekomstbomen volledig vrijgesteld worden (Hynynen et al., 2010). Voor de vrijstelling van berk is er een vuistregel die stelt dat, in een straal van 25 % van de boomhoogte bij een volgende dunning, alle concurrenten verwijderd moeten worden (Lemaire, 2004). Dit moet er voor zorgen dat na een dunning de kruin rondom minimaal één meter vrije ruimte heeft. Deze vuistregel wordt toegepast tot een totale boomhoogte van 15 m bereikt is; nadien daalt de intensiteit van de dunning. Hynynen & Niemistö (2009) spreken van slechts twee commerciële dunningen. Na een eerste commerciële dunning bij een hoogte van 13-15 m wordt het stamtal gereduceerd tot ongeveer 700 bomen per ha. Een tweede dunning volgt 15 jaar later, waarbij het stamtal verder gereduceerd wordt tot 350-400 bomen per ha. Dong et al. (2009) raden aan vaker te dunnen. De eerste dunningen worden met een relatief korte dunningsomloop van 5 jaar uitgevoerd. Op latere leeftijd vergroot deze terugkeerperiode naar 8-10 jaar. Ook Cameron (1996) spreekt van relatief korte terugkeerperiode van 5-7 jaar, waarbij de eerste dunning bij een gemiddelde opstandshoogte van 8-10 m wordt uitgevoerd. Dunningen zijn niet meer nodig vanaf het moment dat de kroon van de toekomstbomen tot aan de eindkap voldoende vrijgesteld blijft.

Juodvalkis et al. (2005) hebben een grafiek opgesteld die in relatie tot de opstandslleeftijd de dunningsintensiteit weergeeft waarbij een maximale volumetoename optreedt (Figuur 9). In hun studiegebied bedraagt bij een leeftijd van 10 jaar de dunningsintensiteit ongeveer 25 % van het volume en neemt dan gradueel af met de leeftijd. Het na te streven stamtal op het moment van de eindkap varieert in de literatuur sterk. Grotere aantallen van 300-500 bomen per hectare worden voorgesteld, waarbij maximaal 100-150 toekomstbomen worden aangeduid voor vrijstelling (Cameron, 1996). Echter zoals vermeld in 1.7.2 ligt dit aantal (40-60) in de QD-methode dan weer zeer laag. Met deze methode wordt door de sterke vrijstelling een maximale diametergroei beoogd voor de productie van hoogwaardig fineer. Hein et al. (2009) gebruiken de kroonbreedte, de diameteraanwas en de boomleeftijd om het aantal toekomstbomen te bepalen. Wanneer tijdig en sterk gedund wordt, kan een gemiddelde radiaalaanwas van 4-5 mm per jaar bekomen worden. Met een gewenste doeldiameter van 45-50 cm betekent dit dat er 95-120 toekomstbomen per hectare aangeduid kunnen worden die op een bedrijfstijd van 50-55 jaar kaprijp zijn. Toch bemerken Hein et al. (2009) dat het mogelijk is om op goede groeiplaatsen een hogere radiaalaanwas en daarmee gepaard gaande kortere bedrijfstijd te bekomen, waarbij ook de kroonbreedte groter is. Dit leidt tot een kleiner aantal toekomstbomen per hectare.

1.7.4 Berk in gemengde opstanden

Berk kent een snellere hoogtegroei dan naaldbomen (o.a. *Pinus*, *Larix* en *Pseudotsuga*) en zal dus niet onderdrukt worden door deze soortengroep (Dekker et al., 2007). In menging met naaldboomsoorten kunnen berken doorheen de volledige rotatieperiode hun vitaliteit behouden en hebben ze bovendien vaak een hogere stamkwaliteit dan in monocultuur berk (Hynynen & Niemistö, 2009). Ook voor naaldbomen is een menging met berk positief. Met uitzondering van grove den en lork (Dekker et al., 2007) zijn naaldbomen schaduwverdragend en ondervinden ze in de jeugdfase weinig groei problemen onder de hogere berken. In een menging van berk met fijnspar is de volumeproductie van de fijnspar lager. Het totale staand volume van een menging is echter hoger dan in een monocultuur naalddhout. Ook de stamkwaliteit van naalddhout in menging met berk is beter dan in monoculturen (Cameron, 1996). Dit zorgt voor een verhoogde economische opbrengst van een menging in vergelijking met monocultuur (Ferm, 1993; Cameron, 1996). Doordat berk als zaailing nog schaduwverdragend is kan berk zich vestigen en opgroeien onder een scherm van grove den. Gedurende de eerste 15 jaar verloopt de hoogtegroei volgens deze van monoculturen; daarna zwakt deze af.

Berk kan optreden als verplegende soort, waarbij het de naaldbomen beschermt tegen vorst en bovendien de bodem verbetert door een snelle nutriëntencyclus.

1.7.5 Berk als wijkers

Berk is een ideale boomsoort om als wijkers op te treden. Tijdens de jonge fase zorgt berk met een licht scherm voor een schaduwwerking die positief is voor de groei van meer gewenste soorten als eik en beuk (*Fagus* spp.) (Dong et al., 2009). Bovendien zorgt de aanwezigheid van de berkenverjonging voor een gunstiger microklimaat: temperatuur, straling, lucht- en bodemvochtigheid, wind en weersextremen (Lockow, 2000).

1.8 Berkenhout

1.8.1 Kenmerken en eigenschappen

Berkenhout is zeer licht van kleur en is over het algemeen recht van draad en fijn van nerf. Het is een diffuusporige houtsoort. Esthetisch wordt berkenhout als mooi aanzien. Berk is middelzwaar tot zwaar hout met een gemiddelde dichtheid van 530 kg/m³ (Cameron, 1996). Tot een leeftijd van 40 jaar neemt het volumegewicht toe; daarna vlakt het af. Het hout is sterk en elastisch, waarbij de buigsterkte en de elasticiteitsmodulus toeneemt van de kern naar de schors en afneemt van de stamvoet naar de top (Oosterbaan & Polman, 2007).

De berkenmineervlieg (*Phytobia betulae*) veroorzaakt bruin parenchymweefsel (pitjes) in berkenhout. Houtverkleuring is ook vaak voorkomend. Dit heeft geen negatief effect op de sterkte, maar esthetisch is dit niet gewenst (Oosterbaan & Polman, 2007).

1.8.2 Toepassingen

Berkenhout wordt vaak gebruikt voor meubelen en vloeren, maar ook voor lijsten en handgereedschappen. Noestvrij berkenhout wordt vaak als snijfineer of schilfineer toegepast in meubelen en plaatmaterialen (o.a. multiplex) (Oosterbaan & Polman, 2007). Massieve toepassingen in de meubelindustrie komen eveneens voor (Ebert, 2001, in Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2008a). Stammen van mindere kwaliteit vinden hun toepassing in de papier- en vezelindustrie of als brandhout omwille van de hoge calorische waarde.

Naast het hout hebben ook de twijgen en het berkensap hun toepassingen. De twijgen werden vroeger gebruikt om bezems te maken. Het berkensap wordt dan weer gebruikt in cosmetica (bv. shampoo). Bovendien is het sap drinkbaar en wordt het verwerkt in wijn en bier (Ebert, 2001, in Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2008a).

2 Doelstellingen en hypothesen

Deze thesis heeft tot **doel** inzicht te verwerven in de groei en de productie van kwaliteitshout van ruwe berk (*Betula pendula* Roth) in relatie tot een aantal omgevingsfactoren. Aan de hand van metingen op berken op verschillende groeiplaatsen zal de groei van berk gevisualiseerd worden. Berk kent een snelle jeugdgroei, maar de trend bij oudere bomen is nog onvoldoende gekend. We spitsen ons toe op bomen met een doeldiameter van 45-50 cm om specifiek te kijken naar groei bij oudere berkenbomen.

De data-analyse zal gebruikt worden om enkele **hypothesen** te staven. Deze hypothesen zijn algemeen gebaseerd op vermoedens rond het groeiverloop en de verbanden tussen groei en boom-, opstands- en bodemkenmerken.

Groeiverloop:

- Op basis van het pionierskarakter van berk en het afnemend kroonexpansievermogen met de leeftijd van de boom wordt een vroege culminatie van de volumegroei verwacht.
- Er wordt verondersteld dat éénmaal de groei stilvalt na de jeugdfase, deze niet meer kan hervatten. Dit omwille van het slechte kroonexpansievermogen vanaf een leeftijd van 25 jaar (Hein et al., 2009).

Factoren die groei beïnvloeden:

- Er wordt een positieve relatie verwacht tussen de concentratie aan fosfor in de bodem en de groei van berk, zoals reeds in meerdere studies werd aangetoond (Perala & Alm, 1990a).
- De groei van berk is vermoedelijk gelimiteerd op drogere bodems o.w.v. de lage *Water Use Efficiency* van berk (Perala & Alm, 1990a).
- Karakteristieken van de opstand zoals stamtal en grondvlak bepalen de huidige concurrentie voor de doelboom. Er wordt verwacht dat deze negatief gerelateerd zijn met de groei van de boom tijdens de laatste 5 jaar.
- De kroonmanteloppervlakte bepaalt de hoeveelheid bladeren die aan fotosynthese kunnen doen en bijgevolg de groei. Bovendien is de manteloppervlakte een weerspiegeling van het vroegere beheer en concurrentie (mate van vrijstelling). Een lagere vrijstelling resulteert in een kleinere manteloppervlakte en dus een lagere groei.

De resultaten van de dataverwerking kunnen gebruikt worden om **richtlijnen voor het beheer** van berk te formuleren. De richtlijnen zullen enerzijds gebaseerd zijn op de productie van kwaliteitshout en anderzijds kaderen in de omvorming van naaldhoutbossen naar gemengde loofhoutbossen met berk als sturende boomsoort van de omvorming.

3 Materiaal en methoden

3.1 Studiegebied

3.1.1 Geografische ligging

Het studiegebied beperkt zich tot de zandige bodems in Vlaanderen. De eerste Vlaamse bosinventarisatie (1997 – 1999) deed dienst als vertrekbasis voor het bepalen van potentiële meetplaatsen. Deze databank is opgebouwd uit veldmetingen die systematisch verzameld zijn op de kruispunten van een grid van 1 km x 0,5 km die in bosgebied liggen (Afdeling Bos & Groen, 2001b). De focus in dit onderzoek ligt op berkenbomen in de dominante klasse in bossen op zandbodems die liefst de gewenste doeldiameter van 45-50 cm benaderen. Op basis van deze voorwaarden zijn geschikte locaties uit de databank gefilterd. Om een aanvaardbaar aantal meetplaatsen over te houden, werd de minimale diameter op 15 cm vastgelegd. Dit leverde 41 locaties op, verspreid in de provincies Antwerpen, Limburg en Vlaams Brabant (Figuur 10 **Error! Reference source not found.**). Vijf geschikte locaties in Oost- en West-Vlaanderen zijn buiten beschouwing gelaten. Bij de zoektocht naar een geschikte doelboom is er geen onderscheid gemaakt tussen zachte berk en ruwe berk, maar gezien de groeiplaats kan er van uitgegaan worden dat we te maken hebben met ruwe berk. Het aantal locaties werd gereduceerd tot 34 doordat tijdens het terreinbezoek niet overal een geschikte doelboom (beschrijving 'doelboom' in 3.2) aanwezig bleek te zijn.

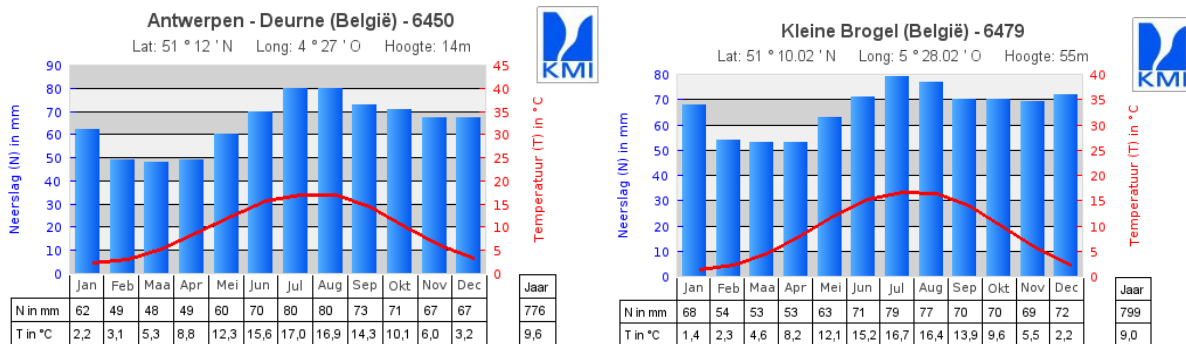


Figuur 10: Locatie van de potentiële meetlocaties binnen Vlaanderen. Sommige locaties (gele punten) zijn niet opgenomen in de dataset door het ontbreken van een geschikte doelboom. De vijf locaties in Oost- en West-Vlaanderen werden niet bezocht. De bruine punten (34) zijn de locaties waar een doelboom is opgemeten.

3.1.2 Klimaat

Het klimaat in Vlaanderen wordt beïnvloed door de nabijheid van de Noordzee. Met relatief milde winters en milde zomers, samen met neerslag gedurende het hele jaar, wordt het klimaat volgens de klimaatsclassificatie van Köppen-Geiger gedefinieerd als een gematigd zeeklimaat (Kottek et al., 2006). Vlaanderen kent slechts een kleine klimatologische en topografische variatie, waardoor de site-index voornamelijk zal bepaald worden door bodemkenmerken; concentratie aan bodemnutriënten, pH, textuur en drainage. Figuur 11 geeft het klimatogram van Deurne (nabij Antwerpen) en Kleine Brogel (provincie Limburg) weer. De gemiddelde jaarlijkse temperatuur in

Antwerpen is 9,6 °C en de gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid bedraagt 776 mm. Voor Kleine Brogel is dit respectievelijk 9,0 °C en 799 mm. De klimatologische verschillen binnen het studiegebied zijn dus minimaal.



Figuur 11: Klimatogram van Deurne (provincie Antwerpen) en Kleine Brogel (provincie Limburg) (bron: KMI)

3.1.3 Bodem

Het lokaliseren van de meetlocaties op de Vlaamse bodemkaart (Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen, AGIV) geeft een eerste idee van de range van textuur- en vochtclassen in de dataset. De bezochte locaties omvatten een spreiding in bodemcondities gaande van zand tot zandleem en van zeer droog tot nat. Deze spreiding laat toe de effecten van bodemcondities op de groei van berk te onderzoeken.

3.2 Gegevensverzameling

Op de geselecteerde locaties is telkens één geschikte doelboom uitgekozen om de nodige metingen op uit te voeren. De doelbomen moesten aan enkele voorwaarden voldoen. Zo dient de berk tot de dominante klasse te behoren en moet deze minimaal 9 m van de rand van het bestand staan om randeffecten te vermijden. Berken die de doeldiameter van 45-50 cm benaderen krijgen de voorkeur. In Bijlage 1 is het invulblad terug te vinden dat gebruikt werd om de veldmetingen te noteren.

3.2.1 Boomvariabelen

Boomhoogte

De totale boomhoogte is bepaald met een vertex (Vertex III en Transponder T3, Haglöf). Aangezien de (menselijke) fout op metingen met een vertex relatief groot kan zijn, is er een gemiddelde van drie meetwaarden genomen. Waar mogelijk werden deze drie metingen vanuit verschillende richtingen uitgevoerd.

Takvrije stamlengte

Met de vertex werd ook de takvrije stamlengte bepaald. Hiervoor werd slechts één meting uitgevoerd aangezien het punt van kroonaanzet, eens bepaald, meestal duidelijk zichtbaar is. De takvrije stamlengte is een belangrijke variabele in het beheer naar kwaliteitshout.

Stamdiameter

Om diktegroei weer te geven wordt standaard de diameter gebruikt. Er is geopteerd om de omtrek (c [cm]) op borsthoogte (1,3 m) op te meten met een lintmeter en deze om te rekenen tot de diameter op borsthoogte (dbh [cm]) (Formule 1).

$$dbh = \frac{c}{\pi} \quad \text{Formule 1}$$

Manteloppervlakte kroon

Aangezien de kroonontwikkeling bij berk een belangrijke invloed heeft op de groeipotenties werd aan de hand van een loodrechte projectie een inschatting gemaakt van de grootste kroondiameter (D1 [m]) en de kroondiameter loodrecht hierop (D2 [m]). Omwille van het beperkte kroonexpansievermogen van berk vormt de kroonbreedte een maat voor het gevoerde beheer en de daarmee gepaard gaande competitie die de boom in het verleden heeft ondervonden. Aan de hand van de formule voor de manteloppervlakte van een paraboloid kan een inschatting van de manteloppervlakte van de kroon verkregen worden (Formule 2). De kroonlengte (L [m]) kan afgeleid worden uit de totale boomhoogte en de takvrije stamlengte. Voor de kroondiameter (D [m]) wordt het gemiddelde van D1 en D2 gebruikt.

$$Opp = \frac{\pi \cdot D}{12 \cdot L^2} \cdot \left(\frac{D^2}{4} + 4 \cdot L^2 \right)^{1.5} - \frac{D^3}{8} \quad \text{Formule 2}$$

Score van Kraft

De score van Kraft geeft de sociale positie van de doelboom binnen het bestand weer (Kraft, 1884 in Verheyen et al., 2010). Omwille van de opgelegde voorwaarden voor de selectie van de opgemeten bomen beperkt deze score zich tot 1 (dominant) of 2 (co-dominant). Overstaanders kwamen niet voor tussen de gekozen doelbomen.

Vitaliteits- en kwaliteitsklasse

De vitaliteit van de doelboom werd visueel bepaald. Hiervoor werd gekeken naar de kroonontwikkeling. De kroon staat bij een vitale boom goed in blad (enkel bruikbaar kenmerk in het groeiseizoen) en heeft sterk vertakte twijgen. Daarnaast zijn zichtbare gebreken zoals wildschade of aantasting tevens een factor die de vitaliteit bepaalt. De vitaliteitscore werd op basis van deze kenmerken toegekend:

- 1: vitaal; geen zichtbare gebreken en goed ontwikkelde kroon
- 2: matig vitaal; enkele zichtbare gebreken of minder goed ontwikkelde kroon
- 3: weinig vitaal; zichtbare gebreken en minder goed ontwikkelde kroon

Daarnaast werd het takvrije stamgedeelte ingedeeld in kwaliteitsklassen conform de beoordelingscriteria voor het keuren van rondhout van de Unie van bosgroepen: Klasse F, A, B of C (Bijlage 2) (Unie van de bosgroepen, 2003). Deze indeling gebeurt door een visuele inschatting van enkele kwaliteitsvariabelen: kromming, draaigroei, stamverloop, vorm dwarsdoorsnede, waterloten, noestigheid, taklittekens en stambeschadigingen. Klasse F kwam niet voor bij berk op de bezochte locaties. Aangezien berk wellicht nooit in de aandacht stond bij een eventueel beheer in deze bossen is dit hier een logisch gevolg van. De andere klassen kregen een waarde toegekend: klasse A = 3, klasse B = 2 en klasse C = 1. De takvrije stam (L [m]) kan onderverdeeld worden in N afzonderlijke lengtes (l_i [m]) behorende tot een verschillende kwaliteitsklasse (K_i). Nadien werd per boom een gemiddelde waarde (K_{gem}) berekend (Formule 3).

$$K_{gem} = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{L} \cdot K_i \quad \text{Formule 3}$$

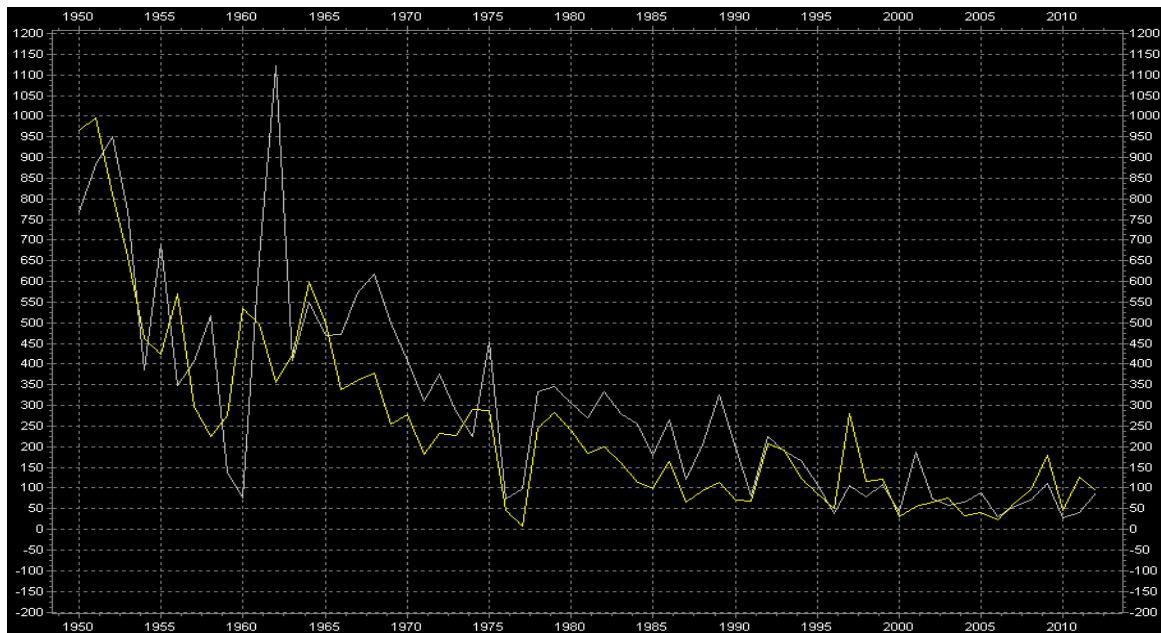
3.2.2 Groeivariabelen

3.2.2.1 Jaarringanalyse

Om de leeftijd van de doelboom te kunnen bepalen, zijn met behulp van een presslerboor boorstalen genomen. Aangezien bij berk de jaarringen niet altijd even duidelijk zichtbaar zijn, werden per boom twee boorstalen loodrecht op elkaar genomen. Dit laat toe de jaarringpatronen van beide stalen met elkaar te vergelijken om de leeftijd zo correct mogelijk te bepalen. De boorstalen werden op een hoogte van 30 cm genomen. Op deze hoogte worden de wortelaanlopen vermeden. De boorspanen werden bewaard in voorgezaagde gleuven in houten planken. Na drogen aan de lucht werden de boorspanen vastgelijmd om verdere bewerkingen mogelijk te maken.

De boorspanen werden machinaal geschuurd om een glad oppervlak te verkrijgen waarop de jaarringen duidelijker zichtbaar zijn. Hiervoor werd een reeks van schuurpapier gebruikt, gaande van grof tot zeer fijn schuurpapier: P120, P150, P320, P400, P600, P800, P1200. Onder de stereomicroscop werden de jaarringen aangeduid. Elke groeiring werd als jaarring beschouwd gezien het klimaat van het studiegebied. Berk is een diffuusporige soort met relatief moeilijk zichtbare jaarringgrenzen. Op de stalen waar de zichtbaarheid van de jaarringgrenzen niet voldoende was, zijn deze beter zichtbaar gemaakt door de stalen licht te bevochtigen met water. De breedte van de groeiringen werd met behulp van een lijntafel (LINTAB) geregistreerd. Het softwareprogramma TSAPWin (*Time Series Analysis and Presentation*) laat toe deze gegevens op te slaan en te verwerken. Het registreren van de jaarringen gebeurt via een standaardwerkwijze. Er werd telkens gewerkt vanuit het merg naar de schors toe. Het centrum van het merg diende als nulpunt geselecteerd te worden. Wanneer het boorstaal perfect door het centrum van het merg loopt is dit eenvoudig. Is het boorstaal niet perfect door het centrum van de boom genomen, of wanneer de groei van de boom niet mooi concentrisch verloopt, dan is het merg niet zichtbaar en moet het aantal niet zichtbare jaarringen geschat worden voor het bepalen van de leeftijd van de boom. Na

het lokaliseren van het nulpunt werd met de microschoef de lijntafel verplaatst tot de volgende jaarring samenvalt met de kruisdraad in de binoculair. De jaarring werd geregistreerd en de tafel werd opnieuw verschoven naar de volgende jaarring. Dit proces werd herhaald tot de schors bereikt is. De grens van spint naar schors werd als jaarring aangeduid voor het groeiseizoen waarin de metingen plaatsvonden (2012). De LINTAB werd ingesteld op een nauwkeurigheid van 1/100 mm. Figuur 12 toont het resultaat van de opgemeten jaarringen van twee boorstalen afkomstig van eenzelfde boom.



Figuur 12: Resultaat van de jaarringregistratie van de twee boorstalen van een 63 jaar oude berk m.b.v. de LINTAB en het softwareprogramma TSAPWin. Op de y-as staat de jaarringbreedte in 1/100 mm aangegeven, op de x-as is een tijdlijn weergegeven.

3.2.2.2 Groeipatroon

De jaarringanalyse laat toe de groei van elke berk afzonderlijk te bestuderen. De verandering in jaarringbreedte in combinatie met de corresponderende leeftijd van de boom laat toe na te gaan wanneer de diametergroei optimaal is en wanneer deze begint stil te vallen. De groei wordt niet enkel door de abiotische factoren van de groeiplaats bepaald, maar eveneens door competitie met buurbomen welke het resultaat zijn van het gevoerde beheer (bv. vrijstelling) en factoren zoals windworp van concurrenten. Dit kan bepaalde pieken in de jaarringbreedte verklaren en is specifiek voor een bepaalde boom.

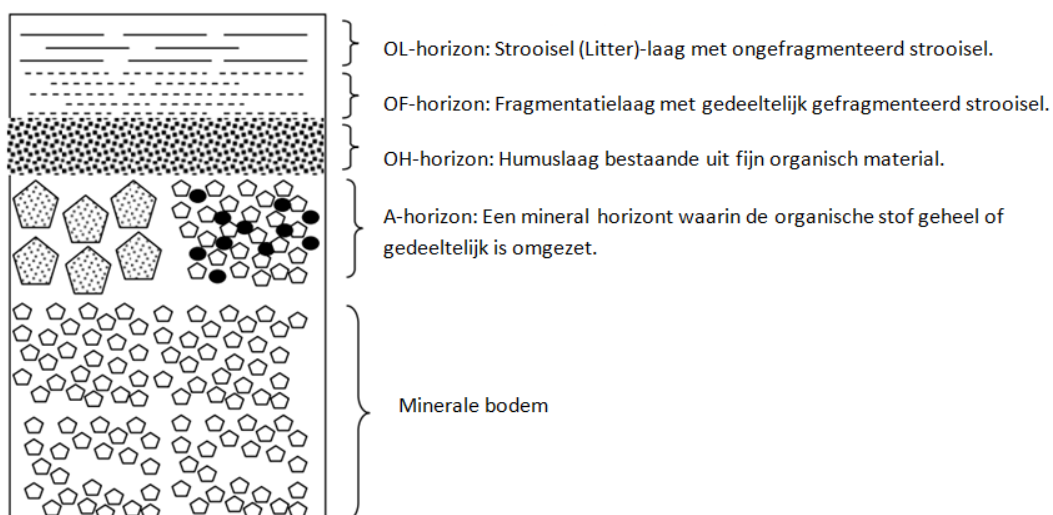
De opgemeten jaarringbreedtes zijn gebruikt om de *Basal Area Increment* (BAI) te bepalen. De gemiddelde jaarringbreedte van de twee stalen per boom is gebruikt in de berekeningen. De idee achter het gebruiken van de BAI voor het bestuderen van het groeipatroon in plaats van de jaarringbreedtes is dat de BAI een jaarlijkse volumeaanwas weergeeft. Eenzelfde jaarringbreedte bij een dikkere boom betekent meer volumeaanwas dan bij een dunnere boom. De volumeaanwas is immers niet enkel afhankelijk van de jaarringbreedte, maar ook van de diameter van de boom. Het pakket *dpIR (Dendrochronology Program Library, Andrew et al., 2012)* voor R bevat twee functies die gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de BAI uitgaande van de jaarringbreedtes. Met *bai_in* wordt de BAI bepaald, vertrekkende vanuit het merg naar de schors toe. Dit is een goede methode

wanneer het merg aanwezig is in het boorstaal. De referentiediameter is hierbij de dubbele lengte van het centrum tot de bast van het boorstaal. In slechts 7 van de 68 stalen loopt het boorstaal door de kern. Daardoor is het correcter om gebruik te maken van de functie *bai_out*. Deze berekent de BAI vertrekkende van de schors naar het centrum toe en gebruikt de opgemeten diameter (zonder de dikte van de schors) als referentie.

Een variabele die sterk bepaald wordt door de groeikracht is de leeftijd waarop de boom een bepaalde dimensie bereikt. Per boom is de leeftijd bepaald waarop deze een diameter van 30 cm bereikt heeft. Er zijn 7 bomen die deze dimensie nog (net) niet bereikt hadden op het moment van de metingen. De groei van deze bomen is geëxtrapoleerd tot aan een diameter van 30 cm. Hiervoor is de gemiddelde jaarringbreedte van de laatste 5 jaar gebruikt. Hierbij is er vanuit gegaan dat de groei de eerstkomende jaren het patroon van de laatste 5 groeijaren blijft volgen.

3.2.3 Bodemkarakterisatie

Rondom elke doelboom werden vier bodemstaalnames uitgevoerd in de vier hoofdwindrichtingen op 2,5 m van de doelboom. Alvorens een bodemstaal te nemen, werd de dikte van de humushorizonten OL, OF en OH bepaald. Figuur 13 verduidelijkt de betekenis van elk van deze humushorizonten.



Figuur 13: Schematische beschrijving van de verschillende terrestrische humushorizonten OL, OF en OH (Ponge et al., 1995; Den Ouden et al., 2010)

Het humustype werd bepaald volgens de methode van Ponge et al. (1995). De bodemstalen, bekomen met een gutsboor, werden gebruikt om de diepte van de gleyverschijnselen en een eventueel reductiehorizont te bepalen. Er werd tot een diepte van 80 cm geboord om deze verschijnselen te lokaliseren. Van elke locatie werd minstens één bodemstaal gefotografeerd, een voorbeeld is weergegeven in Figuur 14. De bepaling van het humustype en de gley- en reductieverschijnselen is gedaan voor het karakteriseren van de sites, maar deze zijn verder niet gebruikt in de verwerking.



Figuur 14: Foto van een bodemstaal. De lintmeter laat toe om aan de hand van de foto de diepte van gleyverschijnselen te controleren. Op dit staal zijn de eerste roestplekken vanaf een diepte van 30 cm zichtbaar aanwezig.

Er werden twee mengstalen gemaakt op basis van de vier bemonsterpunten: voor de fractie 0-20 cm en 20-40 cm afzonderlijk. De bodemstalen werden gedroogd bij 40 °C. De gedroogde stalen zijn met een mortier fijngemalen en gezeefd om eventuele biomassaresten en steentjes te verwijderen. In het labo zijn deze stalen chemisch geanalyseerd.

Het totale stikstofgehalte (N) en koolstofgehalte (C) werden bepaald op de droge gemalen grond met de vario MACRO cube van Elementar (CNS analyzer met argon als dragergas). Voor de bepaling van de concentratie aan kationen (K, Ca, Mg, Al, Na) is een destructie van de droge bodem uitgevoerd met perchloorzuur, HNO_3 en H_2SO_4 . Hierop is met een atomaire spectrometer (de SpectrAA 220FS van Varian) de concentratie van deze kationen bepaald. Voor de bepaling van het totaal fosforgehalte (P_{tot}) werd eerst een destructie uitgevoerd met perchloorzuur. Met de Cary 50 Probe spectrofotometer van Varian kan de totale hoeveelheid fosfor hierop bepaald worden. Het opmeten van de hoeveelheid plantbeschikbare fosfor (P_{olsen}) gebeurde met dezelfde spectrofotometer, maar werd vooraf gegaan door een extractie volgens de methode ISO 11263:1994.

De pH KCl werd gemeten volgens een methode gebaseerd op de Nederlandse Norm NEN5750. De bodem wordt geëxtraheerd met KCl (volumeverhouding 1:5) en de pH KCl wordt op die suspensie gemeten met een pH-electrode (Orion pH/ISE Meter Model 920A).

3.2.4 Opstandskennmerken

Binnen een cirkelplot met straal 9 m rond de doelboom werd van elke boom de soort en omtrek bepaald. Hierbij werd conform de Vlaamse bosinventarisatie een onderdiameter van 7 cm gehanteerd (Afdeling Bos & Groen, 2001b). De afstand van elke boom tot de doelboom werd eveneens bepaald. Dit gebeurde met behulp van de vertex. Bij hakhout werd de meetmethode van de Vlaamse bosinventarisatie gehanteerd: de afstand tot de doelboom wordt bepaald vanuit het centrum van de stoof, de omtrek van elke telg wordt opgemeten en er wordt duidelijk genoteerd welke telgen tot dezelfde stoof behoren (Afdeling Bos & Groen, 2001b). Ook hierbij werd de onderdiameter van 7 cm in acht genomen. Met deze gegevens kan een inschatting gemaakt worden van het stamtal en grondvlak van de opstand.

Tevens kan voor elke doelboom een competitie-index (CI) bepaald worden. Hier werd gebruik gemaakt van de competitie-index volgens Hegyi (1974) (Formule 4). Dit is een afstandsafhankelijke competitie-index gebaseerd op de ratio van de diameters op borsthoogte. De filosofie achter deze formule is dat een dikke doelboom minder competitie zal ondervinden van zijn burens dan een dunne doelboom. Verder is de competitie groter naarmate de buurbomen dikker zijn en de afstand tussen de buurboom en doelboom kleiner is.

$$CI_i = \sum_{j=1}^{N_i} \frac{d_j}{dist_{ij}} \quad \text{Formule 4}$$

De variabelen die deze competitie-index bepalen, zijn de diameter van de doelboom (d_i), de diameter van de buurbomen (d_j), de afstand tussen de respectievelijke buurboom en doelboom ($dist_{ij}$) en het aantal buurbomen (N_i). Het aantal buurbomen is in deze thesis het aantal bomen dat binnen de straal van 9 m van de doelboom gelegen zijn. Er werd uitgegaan van het feit dat bomen op een grotere afstand geen noemenswaardige concurrenten zijn van de doelboom.

3.3 Statistische dataverwerking

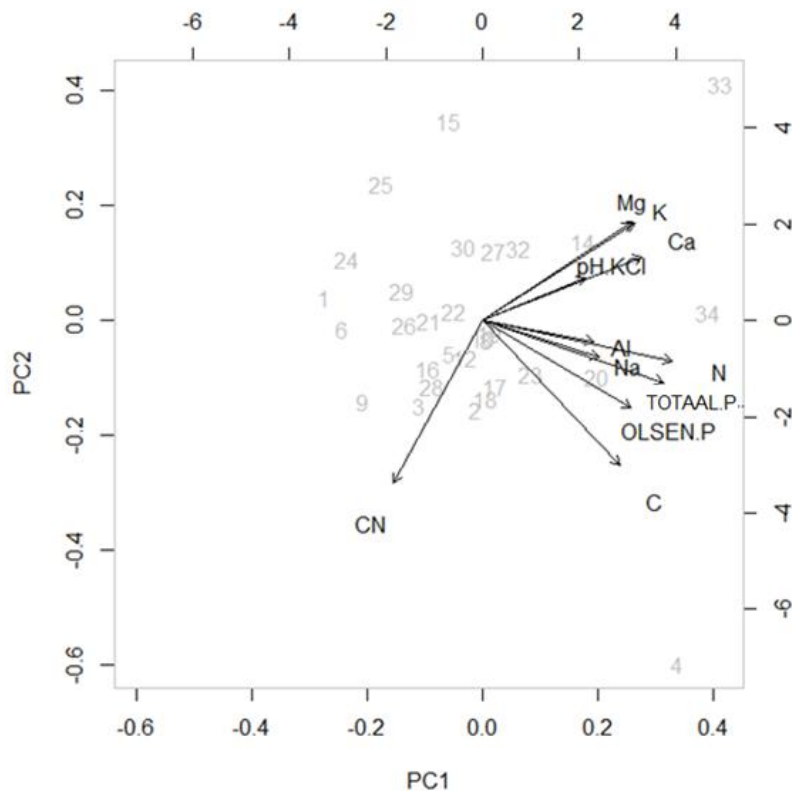
De statistische dataverwerking is gebeurd met behulp van R 2.15.2 (R Core Team, 2012). Een belangrijk doel van deze thesis is het zoeken naar verbanden tussen de groei van berk en de verschillende opgemeten boom-, opstands- en bodemvariabelen. Meervoudige lineaire regressie zal hiervoor gebruikt worden. Er worden drie responsvariabelen (R) die de groei weerspiegelen vooropgesteld, waarvoor wordt nagegaan of er significante verbanden aanwezig zijn met de verschillende verklarende variabelen:

- 1: Gemiddelde diametergroei over de gehele levensloop van de boom (R_{gem})
- 2: Gemiddelde diametergroei van de laatste 5 volledige jaren (2007-2011) (R_{5j})
- 3: De leeftijd waarbij de bomen een diameter bereikt hebben van 30 cm (R_{L30})

De belangrijkste boomvariabelen die een invloed kunnen hebben op de groei zijn de opgemeten diameter, de hoogte, de leeftijd en de manteloppervlakte. De responsvariabelen die we zullen gebruiken om de regressie mee op te stellen zijn groeivariabelen die afgeleid worden uit de opgemeten diameter en leeftijd. Het is dan ook logisch dat hiertussen een sterk verband aanwezig zal zijn, waardoor er besloten is deze twee variabelen uit de regressie weg te laten. De beschikbare opstandsvariabelen zijn het grondvlak, het stamtal en de competitie-index. Voor de bodemvariabelen wordt eerst een PCA uitgevoerd voor alle opgemeten bodemnutriënten en de pH KCl. Naast de eerste twee principale componenten (PC1 en PC2) die hieruit voortkomen, worden de textuurklasse en drainageklasse volgens de bodemkaart meegenomen in de regressie-analyse. Aangezien de literatuur een sterke relatie van de groei van berk met fosfor aangeeft, zal een aparte regressie met de plantbeschikbare P_{Olsen} , de textuurklassen en de drainageklassen als verklarende variabelen opgesteld worden.

Voor de bodemvariabelen toont Figuur 15 de relaties tussen de eerste twee assen van de PCA en de bodemnutriëntenconcentraties en pH. Samen verklaren de eerste twee assen 61% van de totale variantie van de bodemdataset. De meeste nutriënten zijn positief gecorreleerd met PC1 (variantie =

0,443), met de grootste eigenwaarden voor N (0,40) en P_{tot} (0,38). De eigenwaarden van K, Mg, Ca en P_{Olsen} liggen tussen de 0,31 en 0,34. Enkel CN heeft een negatieve eigenwaarde, maar deze is te laag om van een correlatie te kunnen spreken (-0,19). PC2 (variantie = 0,174) verklaart voornamelijk de negatieve relatie met C/N (-0,55) en C (-0,49). De eigenwaardes van K en Mg zijn beide 0,33, dus PC2 is ook nog deels gecorreleerd met deze nutriënten.



Figuur 15: Bodemvariabelen in relatie met de eerste twee assen van een PCA-analyse. De nummers duiden de ligging van de meetlocaties aan in relatie tot beide assen.

Om de meervoudige lineaire relaties op te stellen wordt een stappenplan gevolgd (Zuur et al., 2007). In een eerste stap worden de data gecontroleerd op outliers, collineariteit tussen de verklarende variabelen en eventuele relaties tussen de responsvariabele en de verklarende variabelen. Waar nodig kunnen outliers uit de dataset weggelaten worden, of wordt door middel van een transformatie een betere spreiding van de data verkregen. Verklarende variabelen die sterk gecorreleerd zijn dienen niet beide in het model opgenomen te worden. De variabele die het belangrijkste is in functie van de doelstelling wordt opgenomen in het model. Eventuele relaties met de responsvariabele geven aan welke verklarende variabelen bepalend zullen zijn in de regressie-analyse.

In de tweede stap wordt de eigenlijke regressie-analyse uitgevoerd. Er is geopteerd om te starten vanuit een model zonder interacties. Een validatie van het uiteindelijke model moet aangeven of het toevoegen van een interactieterm noodzakelijk is voor een goed model. Dit is zo wanneer er een patroon te vinden is in de *residuals* t.o.v. de *fitted values*. Om tot het optimale model te komen, uitgaande van alle verklarende variabelen, wordt het AIC-criterium (*Akaike's Information Criterion*) gebruikt. De AIC gaat na hoeveel elke variabele bijdraagt aan *goodness of fit* en weegt deze bijdrage af t.o.v. de verhoogde modelcomplexiteit die een extra variabele met zich brengt. Niet-significante variabelen worden door het criterium uit het model gefilterd. De *adjusted R-squared* (R^2) van het

uiteindelijke model wordt gebruikt om de *goodness of fit* na te gaan. Ook de plots van de *residuals* t.o.v. de gemeten waarden van de opgenomen variabelen worden bekeken om na te gaan of hier zeker geen duidelijk verband tussen is. Anders is transformatie van de respons- of verklarende variabelen aangewezen. Als laatste worden de residuals t.o.v. de gemeten variabelen die niet in het model zijn opgenomen uitgezet. Is hiertussen toch een verband terug te vinden, dient de variabele alsnog in het model opgenomen te worden.

4 Resultaten

4.1 Algemene dataverkenning

Heel wat variabelen werden opgemeten tijdens de veldbezoeken. Een algemeen overzicht geeft meer inzicht over de kenmerken van zowel de opgemeten boomkarakteristieken, als de opstands- en bodemkenmerken van de meetlocaties. Er dient opgemerkt te worden dat het selectie criterium 'dominante boom' ervoor zorgt dat de metingen zijn uitgevoerd in de bovenste staart van een te verwachten normale verdeling wat betreft de groeikracht en dus dimensies van berkenbomen in de desbetreffende opstanden.

Boomvariabelen

Er is een redelijk grote spreiding aanwezig in zowel de diameter als de leeftijd van de bomen in de dataset (Tabel 2). Ook de totale boomhoogte en het manteloppervlakte vertonen een grote spreiding.

Tabel 2: Gemiddelde, minimum en maximum voor de opgemeten boomvariabelen

	leeftijd (j)	diameter (cm)	hoogte (m)	manteloppervlakte (m ²)
Min.	35	28,3	17,3	110
Gem.	53	35,4	23,3	155
Max.	84	44,6	31,6	260

De opgemeten bomen kregen scores toegekend voor de kwaliteit van de stam en de vitaliteit en de sociale positie van de boom in het bestand (Tabel 3). Deze waarden werden puur visueel toegekend. Omwille van de selectiecriteria zijn de scores van Kraft beperkt gebleven tot 1 (dominant) of 2 (codominant). De kwaliteitsindeling varieert tussen 1,00 en 2,56 met een gemiddelde van 1,60. Hoe hoger de kwaliteitsscore, des te beter de stamkwaliteit. Dit betekent dat de gemiddelde boom tussen kwaliteitsklasse B (score 2) en C (score 1) ligt. Geen enkele opgemeten boom voldoet over de gehele stamlengte aan alle criteria om volledig in kwaliteitsklasse A (score 3) ingedeeld te worden. De meeste doelbomen bevonden zich in een vitale toestand (score 1). Geen enkele van de opgemeten bomen was in een weinig vitale toestand (score 3). De variabelen uit Tabel 3 zijn minder van belang in de verdere analyse. Een deel van de doelstelling van deze thesis is wel het bepalen van deze factoren die een hoge stamkwaliteit mogelijk maken, maar aangezien de sturing hiervan voornamelijk gebaseerd is op het beheer, en dit beheer voor de opgemeten bomen niet gekend is, is ook deze variabele weinig verklarend en eerder een waarneming van de huidige stamkwaliteit van berk in de bossen op arme zandgronden.

Tabel 3: Gemiddelde, minimum en maximum voor de kwalitatieve boomvariabelen

	kwaliteitsindeling	score van Kraft	vitaliteitscore
Min.	1,00	1,00	1,00
Gem.	1,60	1,47	1,24
Max.	2,56	2,00	2,00

Opstandsvariabelen

Aan de hand van metingen in een cirkelplot rondom de doelboom zijn enkele opstandsvariabelen afgeleid die een invloed kunnen hebben op de groei van de doelboom (Tabel 4). De drie variabelen tonen een zeer grote spreiding. Deze spreiding wordt vooral bepaald door outliers; maximum competitie-index zonder outlier 4,22 en minimum grondvlak zonder outliers 16,79 m².

Tabel 4: Gemiddelde, minimum en maximum van de opstandsvariabelen

	competitie-index	stamtal (/ha)	grondvlak (m ² /ha)
Min.	0,61	236	8,95
Gem.	1,90	634	25,52
Max.	5,18	1218	41,74

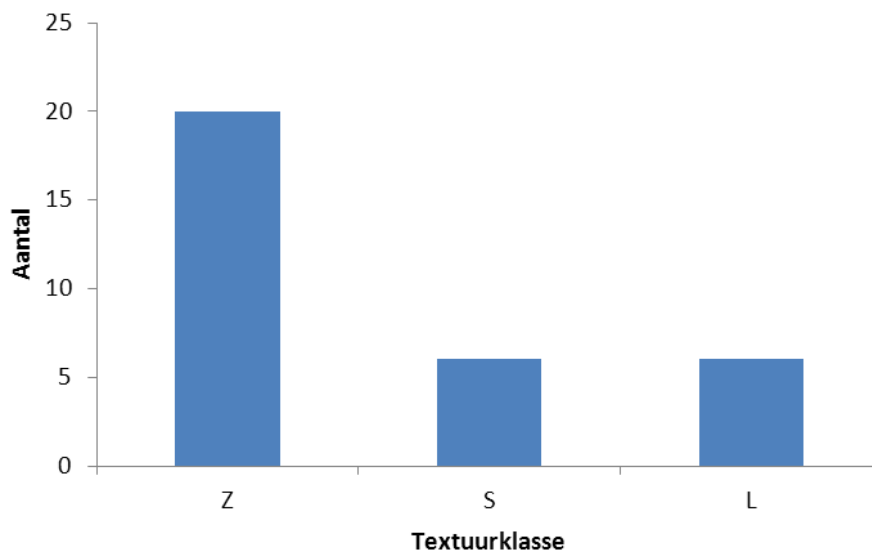
Bodemvariabelen

De genomen bodemstalen zijn geanalyseerd op de concentratie van de voornaamste nutriënten en de pH in de bovenste 20 cm en de bodemlaag van 20-40 cm diepte (Tabel 5). Er dient opgemerkt te worden dat er twee stalen niet mee opgenomen zijn in deze tabellen. Het bodemstaal afkomstig van plotnummer 85146 vertoonde een abnormaal hoge P_{tot}-concentratie (2783 mg/kg) en Ca-concentratie (1032 mg/kg). Een tweede staal dat niet opgenomen werd in de verdere verwerking is afkomstig van plotnummer 187100. Hier werd een extreem hoge Mg-concentratie (117 mg/kg) en Ca-concentratie (1821 mg/kg) gevonden. Een mogelijke verklaring voor deze hoge waarden zou de aanwezigheid van bakstenen in de bodem kunnen zijn. Er werden wel geen bakstenen waargenomen tijdens de veldmetingen, dus zekerheid hieromtrent is er niet.

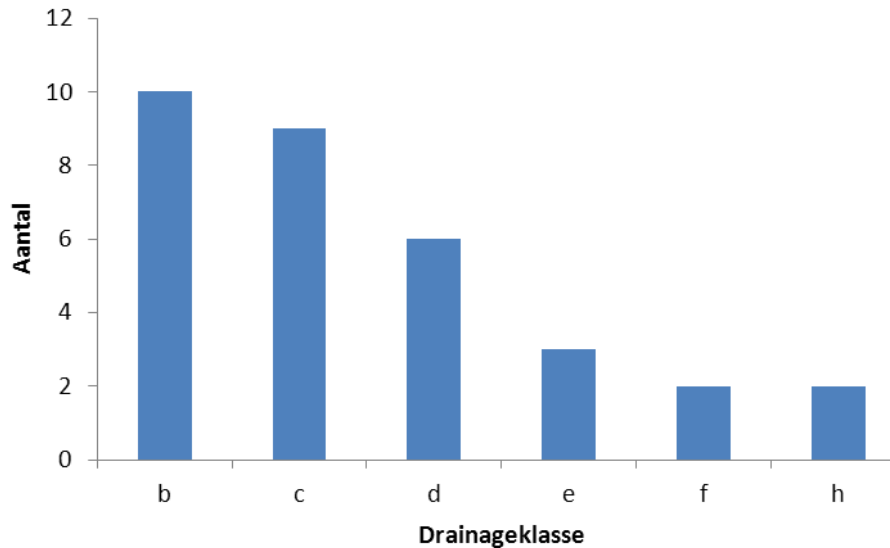
Tabel 5: Gemiddelde, minimum en maximum voor de bodemvariabelen voor de bodemstalen van 0-20 cm en 20-40 cm diepte

	0-20 cm			20-40 cm		
	Min.	Gem.	Max.	Min.	Gem.	Max.
pH KCl	2,92	3,45	4,15	3,30	4,04	6,70
pH H ₂ O	3,86	4,23	5,10	3,97	4,52	6,90
K (mg/kg)	6,07	26,93	90,50	2,01	13,90	40,36
Mg (mg/kg)	2,29	12,63	47,69	0,61	4,13	26,01
Ca (mg/kg)	10,0	104,4	581,5	1,3	63,4	736,7
Al (mg/kg)	41	212	504	36	191	453
Na (mg/kg)	0,39	7,07	33,14	0,05	5,80	41,55
P _{tot} (mg/kg)	21,9	193,8	873,4	12,5	139,1	776,6
P _{Olsen} (mg/kg)	2,27	23,46	161,76	0,48	18,04	139,32
%N	0,05	0,17	0,29	0,05	0,10	0,21
%C	0,87	2,63	5,68	0,35	1,25	2,90
C/N	9,40	15,87	21,27	4,31	12,88	21,69

Als extra bodemvariabelen worden in de verdere dataverwerking ook de textuur- en drainageklassen volgens de Vlaamse bodemkaart (AGIV) meegenomen. Figuur 16 en Figuur 17 geven respectievelijk de verdeling over de textuur- en drainageklassen weer van de meetlocaties. De locaties met plotnummers 85146 en 187100 zijn niet mee opgenomen in deze figuren, aangezien de textuur- en drainageklassen verder samen met de bodemvariabelen verwerkt zullen worden en deze meetlocaties uit de dataset gefilterd werden omwille van de sterk afwijkende nutriëntenconcentraties. De meeste opstanden staan op een zandbodem. De overige opstanden bevinden zich op lemig of kleig zand en zandleem. In de drainageklassen is er een sterke spreiding aanwezig, gaande van droog tot tijdelijk nat.



Figuur 16: Verdeling van textuurklassen van de meetlocaties. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleig zand) en L (zandleem).



Figuur 17: Verdeling van de drainageklassen van de meetlocaties. De voorkomende drainageklassen op de meetlocaties gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).

Houtverkleuring en bruin hartrot

Van de 34 bomen vertoonden 7 bomen houtverkleuring (zie bv. Figuur 18). De jongste boom waarbij houtverkleuring aanwezig is, is slechts 37 jaar. De andere bomen zijn 46 jaar, 55 jaar en vier bomen zijn ouder dan 60 jaar (61-75 jaar). Houtverkleuring kan dus op vroege leeftijd reeds optreden. Hartrot werd in geen van de opgemeten bomen waargenomen.

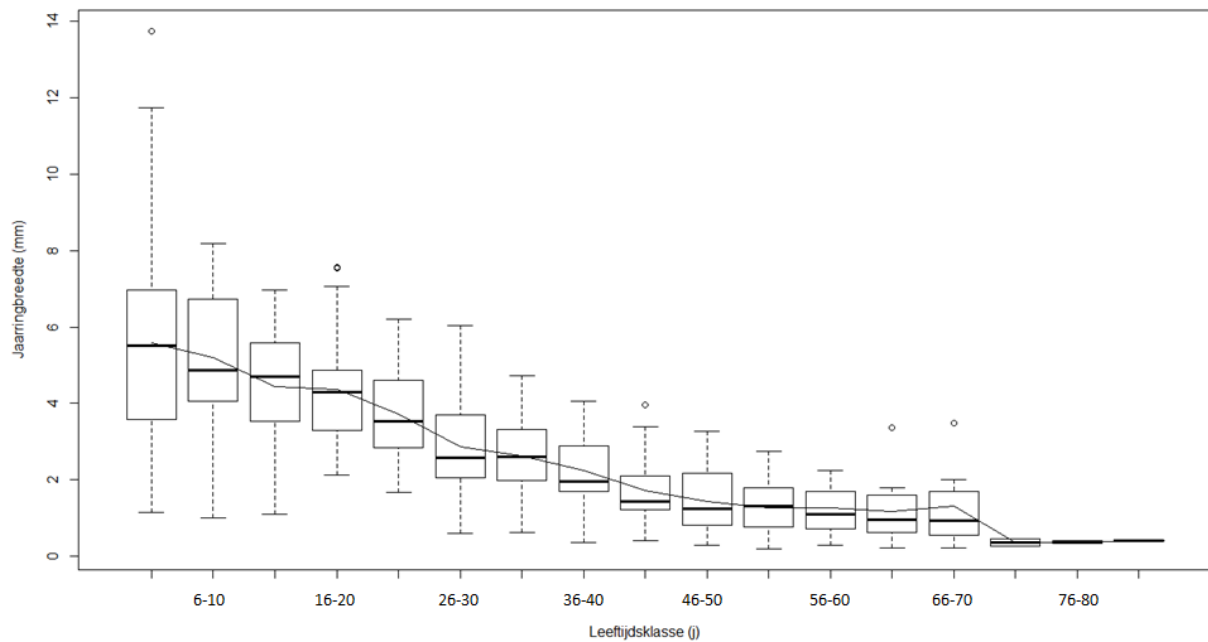


Figuur 18: Houtverkleuring bij berk

4.2 Groeipatroon

Jaarringbreedte

De jaarringbreedtes geven een eerste indicatie van het groeipatroon van de opgemeten bomen. De gemiddelde radiale groei was duidelijk het grootst in de eerste 10 jaar en daalde tot de leeftijdsklasse van 41-50 jaar significant. Werde de gemiddelde jaarringbreedte per 5 jaar bepaald, daalde deze van 5,5 mm in de eerste 5 jaar tot 1,2 mm vanaf de leeftijdsklasse van 51-55 jaar (Figuur 19).

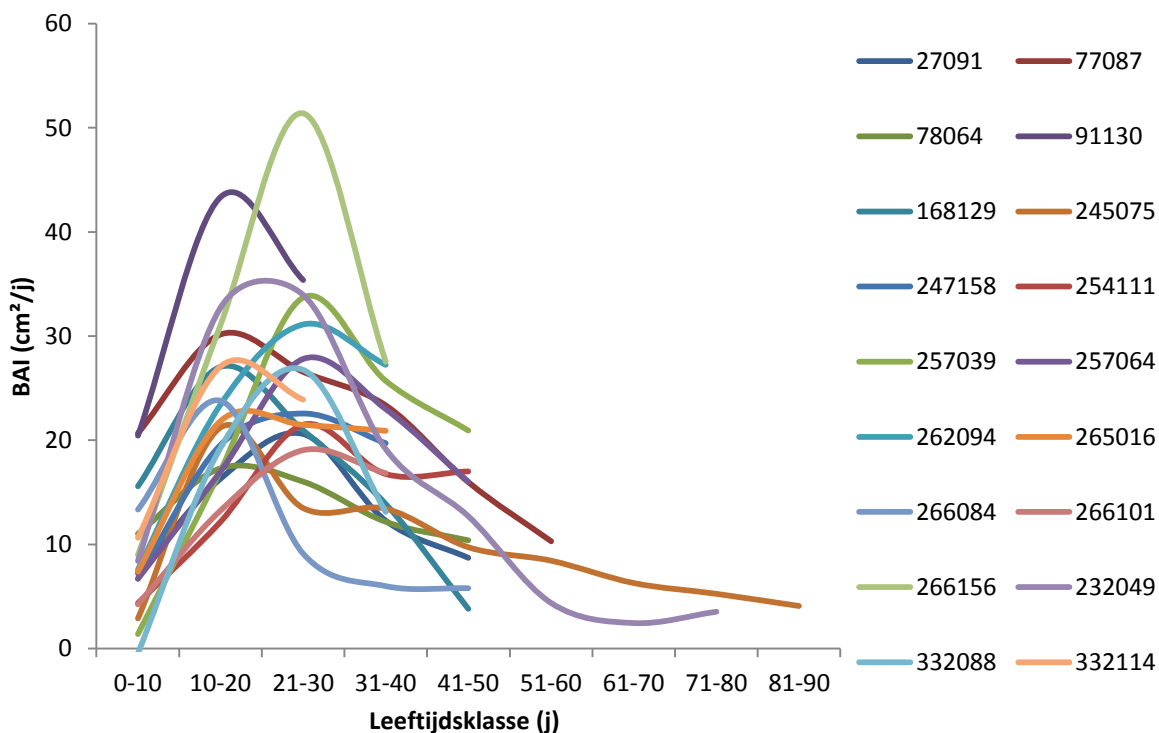


Figuur 19: Boxplots van de gemiddelde jaarringbreedte per leeftijdsklasse van 5 jaar. De lijn verbindt het gemiddelde van de bomen per leeftijdsklasse. De dataset is opgebouwd uit 34 bomen met een leeftijd tussen 35 en 84 jaar.

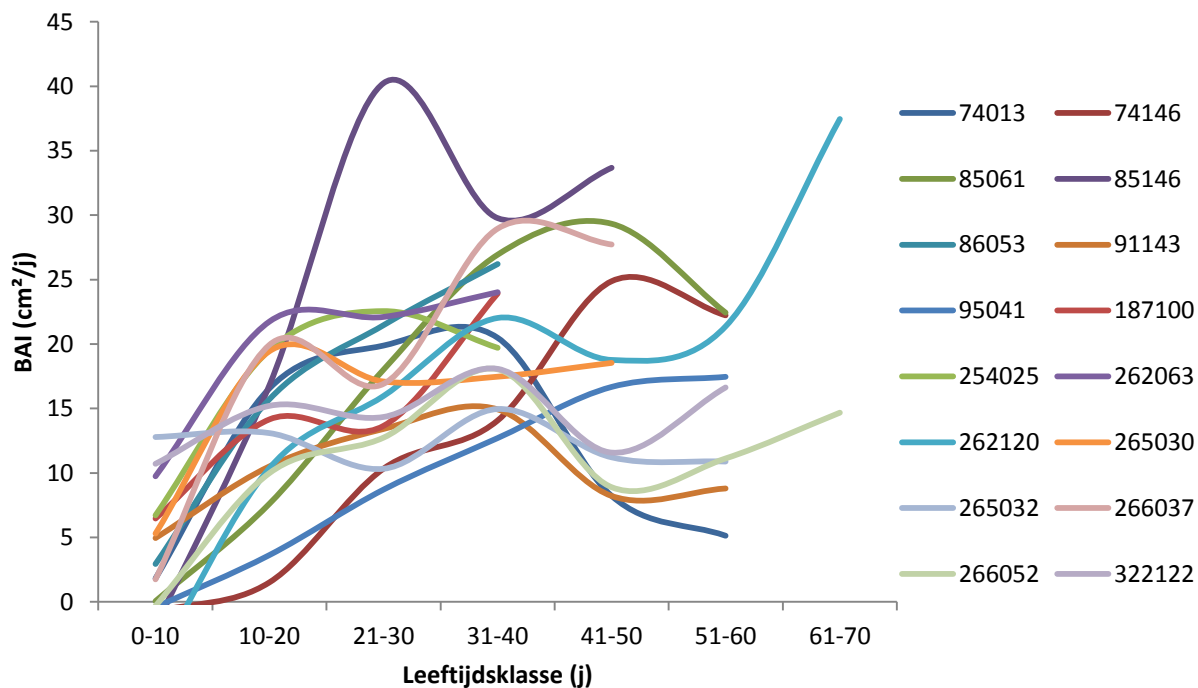
Basal area increment

De BAI is een betere variabele dan de gemiddelde jaarringbreedte om de (volume-)groei weer te geven. In de dataset zijn visueel duidelijk twee groepen te onderscheiden met een verschillend groeipatroon. Het BAI-verloop van de eerste groep wordt weergegeven in Figuur 20. De bomen die tot deze groep behoren, vertoonden een vroege en sterke groei die resulteerde in een groeipeik voor de leeftijd van 30 jaar. Na de groeipeik daalde de BAI met ongeveer dezelfde snelheid als de groeitoename voor de piek. De bomen die samengenomen zijn tot een tweede groep vertoonden een sterk afwijkend groeipatroon t.o.v. groep 1: de groei kwam trager op gang, maar bleef langer toenemen. Deze bomen kennen geen of een minder duidelijke groeipeik (Figuur 21). Het aantal opgemeten bomen dat tot beide groepen behoort, is redelijk goed verdeeld, namelijk 18 bomen behoorden met hun groeipatroon tot groep 1, en 16 bomen tot groep 2. Het BAI-verloop van elke boom afzonderlijk is terug te vinden in Bijlage 3.

Er is gezocht naar een mogelijke verklaring waarom deze twee groepen te onderscheiden zijn. Per groep is het gemiddelde van alle opgemeten variabelen uit Tabel 2 - Tabel 5 berekend. Omwille van de kleine dataset per groep en de niet-normaliteit diende een niet-parametrische test gebruikt te worden om gemiddeldes te vergelijken. Aan de hand van de niet-parametrische Mann-Whitney U test is gekeken naar significante verschillen tussen beide groepen. Echter voor geen enkele boom-, bestands- of bodemvariabele werd een significant verschil tussen de twee groepen gevonden. Met de gegevens die verzameld zijn voor deze thesis kan er geen verklaring gevonden worden voor het optreden van twee duidelijk verschillende groeipatronen van berk. We kunnen enkel vermoeden dat het beheer een voorname rol speelt in het groeipatroon.



Figuur 20: Groeiverloop van groep 1 per boom weergegeven als de gemiddelde BAI (*Basal Area Increment*) per leeftijdsklasse van 10 jaar.



Figuur 21: Groeiverloop van groep 2 per boom weergegeven als de gemiddelde BAI (*Basal Area Increment*) per leeftijdsklasse van 10 jaar.

Groei-responsvariabelen

De responsvariabelen die de groei moeten weerspiegelen, vertonen een goede spreiding, wat belangrijk is om verbanden te kunnen vinden met eventuele verklarende variabelen. Het minimum van R_{5j} (0,13) ligt duidelijk lager dan het minimum van R_{gem} (0,42) wat ook te verwachten was, maar ook het maximum ligt duidelijk hoger (Tabel 6). Er zijn bomen die reeds op 26-jarige leeftijd een dbh van 30 cm bereiken, andere bomen doen er tot 87 jaar over. Voor geen enkele van deze responsvariabelen is er een significant verschil tussen groep 1 en groep 2 gevonden.

Tabel 6: Gemiddelde, minimum en maximum van de drie responsvariabelen. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm bereikt heeft.

	R_{gem} (mm/j)	R_{5j} (mm/j)	R_{L30} (j)
Min.	0,42	0,13	26
Gem.	0,69	1,14	47
Max.	1,10	3,45	87

4.3 Meervoudige lineaire regressieanalyse

Tijdens de dataexploratie bleek dat er enkele outliers aanwezig waren in de boomvariabelen. Echter zijn de boomvariabelen een rechtstreekse weergave van de groei. Om deze reden is besloten deze outliers in de dataset te behouden. De collineariteit tussen de verklarende variabelen onderling en tussen de verklarende variabelen en de responsvariabelen werden nagegaan (Bijlage 4 – 6). Bij de opstandsvariabelen vertoonde de competitie-index een sterke correlatie ($r = 0,8$) met het stamtal. Aangezien de competitie-index een betere weergave is van de concurrentie op de doelboom, wordt deze behouden en zal stamtal niet meegenomen worden in de meervoudige lineaire regressie. Doordat de bodemnutriënten en de pH KCl samengenomen zijn in de PCA, blijven eventuele bodemvariabelen met hoge correlaties onrechtstreeks toch in het model zitten.

Boom- en opstandsvariabelen

Er is geen enkel verband gevonden tussen de boomvariabelen en één van de responsvariabelen. De opgemeten boomvariabelen kunnen dus niet gebruikt worden om de groei van berk te verklaren of te voorspellen. Ook voor de opstandsvariabelen werden geen verklarende lineaire regressievergelijkingen overgehouden. De verklarende variabele 'competitie-index' werd wel overgehouden door het AIC-criterium met R_{L30} als responsvariabele, maar de beste fit ($R^2 = 0,059$) die gevonden werd door een log-transformatie van zowel de respons- als de verklarende variabele is te laag om te gebruiken.

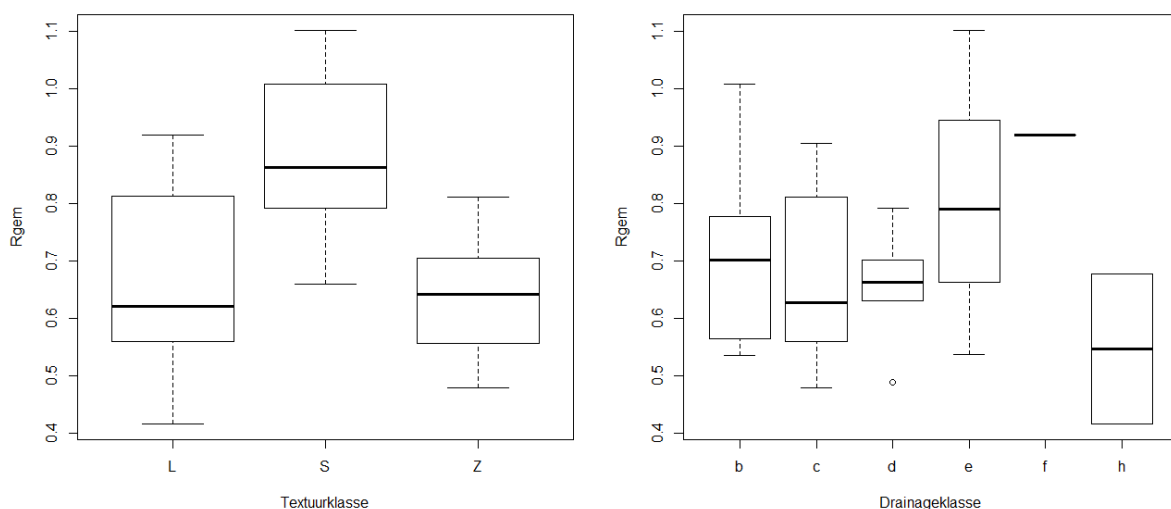
Bodemvariabelen

Voor R_{gem} en R_{L30} zijn, met PC1, PC2, textuurklassen en drainageklassen als verklarende variabelen, lineaire regressievergelijkingen gevonden die bepaalde bodemvariabelen in verband brengen met de groei van berk. Met R_{5j} werden geen regressievergelijkingen overgehouden. Op R_{L30} moest een log-transformatie uitgevoerd worden om een relatie met de textuurklassen te bekomen. Omwille van de zeer lage R^2 (0,09) is dit model echter niet bruikbaar. Voor R_{gem} werd de beste fit ($R^2 = 0,47$) gevonden met de drainageklassen en textuurklassen als verklarende variabelen (Tabel 7). Enkel de

textuurklasse is hierbij significant. Textuurklasse L is als referentie aangenomen in het model. R_{gem} zal gemiddeld 0,256 mm/jaar hoger zijn op lemig of kleilig zand (textuur S) dan wanneer de boom op zandleem (textuur L) groeit. De R_{gem} bij bomen op zandbodems (textuur Z) is niet significant groter dan deze op zandleembodems (textuur L). Dit volgt ook duidelijk uit Figuur 22, waarbij de boxplot van textuurklasse Z volledig overlapt met deze van textuurklasse L. Tabel 7 geeft geen significante verschillen in R_{gem} weer voor de verschillende drainageklassen (c-h) in vergelijking met drainageklasse b. Wordt er abstractie gemaakt van drainageklasse h, welke slechts 2 metingen bevat en dus weinig betrouwbaar is, dan is er een stijgende R_{gem} waar te nemen van drainageklasse c naar drainageklasse f (Figuur 22). Drainageklasse f bevat eveneens slechts 2 metingen. Bij drainageklasse b ligt R_{gem} opnieuw hoger. De principale componenten PC1 en PC2, die de nutriëntenrijkdom van de bodem weerspiegelen (zie 3.3), komen in geen enkel model naar voor als verklarende variabelen voor de groeivariabelen.

Tabel 7: De regressiecoëfficiënten (β_i) met standaardfout (s.e.) voor de meervoudige lineaire regressiemodellen met R_{gem} als responsvariabelen en PC1, PC2, drainageklassen en textuurklassen als verklarende variabelen. PC1 en PC2 zijn de eerste twee assen uit de PCA-analyse met alle bodemnutriënten en de pH KCl. R^2 is de *adjusted R-squared*. Codes voor significantie: $p < 0,001$ '*', $p < 0,01$ '**' en $p < 0,05$ '*'**

	β_i	R_{gem} s.e.	p
Intercept	0,678	0,070	0,000***
drainage c	-0,098	0,056	0,091
drainage d	-0,068	0,062	0,289
drainage e	0,043	0,079	0,589
drainage f	0,240	0,136	0,091
drainage h	-0,131	0,108	0,240
textuur S	0,256	0,086	0,007**
textuur Z	0,004	0,075	0,959
R^2		0,45	



Figuur 22: Boxplots van de gemiddelde diametergroei (R_{gem}) voor de verschillende textuurklassen en drainageklassen. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleilig zand) en L (zandleem). De drainageklassen gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).

Wanneer de textuurklassen en drainageklassen samen met P_{Olsen} in een model worden gestopt, dan werden voor R_{gem} en R_{L30} regressievergelijkingen gevonden (Tabel 8). Opnieuw leverde R_{Sj} als responsvariabele geen significante verbanden op.

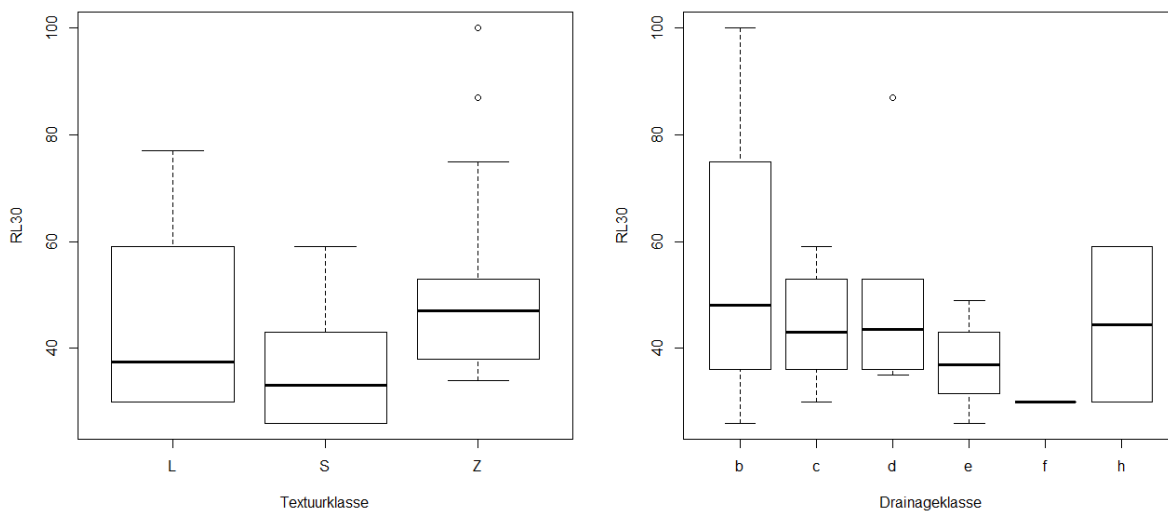
Met R_{gem} als responsvariabele bleven de drie opgenomen verklarende variabelen in het model behouden. Dit model verklaarde 47 % van de variantie van de gemiddelde diametergroei. Een hogere concentratie aan P_{Olsen} beïnvloedde R_{gem} positief ($\beta_i = 0,002$). Enkel de textuurklasse was een significant verklarende variabele in het model. Textuurklasse L is als referentie aangenomen in het model. Op basis van dit model was R_{gem} gemiddeld 0,264 mm/jaar hoger op lemig of kleilig zand (textuur S) dan op zandleem (textuur L). Ook hier was er geen significant verschil in R_{gem} tussen bomen op een zandbodem (textuur Z) en een zandleembodem. De drainageklassen vertoonden dezelfde niet-significante relatie met groei als in het model met de principale componenten, waarbij R_{gem} steeg naarmate de bodem vochtiger werd (drainageklasse c tot f).

Met de log-transformatie van R_{L30} werd de beste fit ($R^2 = 0,22$) gevonden tussen de verklarende variabelen en de groeivariabele. De textuurklasse is een niet-significant verklarende variabele in dit model. P_{Olsen} is wel een significant verklarende variabele voor R_{L30} . De drainageklassen werden niet opgenomen. Textuurklasse L is als referentie genomen in het model. R_{L30} was niet-significant lager ($\beta_i = -0,288$) voor bomen op lemig of kleilig zand (textuur S) dan op zandleem (textuur L). Het verschil in R_{L30} bij bomen op zandbodems (textuur Z) was niet significant verschillend met deze op zandleembodems. De concentratie aan P_{Olsen} was negatief gerelateerd aan R_{L30} ($\beta_i = -0,007$), dus bij een hogere concentratie P_{Olsen} bereikte een boom sneller een diameter van 30 cm.

Figuur 23 toont een relatie tussen R_{L30} en de drainageklassen. Met abstractie van drainageklasse h nam R_{L30} af naarmate de boom op een vochtigere grond groeide. Dit patroon bleek minder bepalend voor deze groeivariabele dan de textuurklasse en P_{Olsen} , want het werd niet behouden in het model.

Tabel 8: De regressiecoëfficiënten (β_i) met standaardfout (s.e.) voor de meervoudige lineaire regressiemodellen met R_{gem} en R_{L30} als responsvariabelen en P_{Olsen} , drainageklassen en textuurklassen als verklarende variabelen. R^2 is de *adjusted R-squared*. Codes voor significantie: $p < 0,001$ '*', $p < 0,01$ '**' en $p < 0,05$ '*'**

	R_{gem}			R_{L30}		
	β_i	s.e.	p	β_i	s.e.	p
intercept	0,665	0,069	0,000***	3,916	0,142	0,000***
P_{Olsen}	0,002	0,001	0,162	-0,007	0,003	0,024*
drainage c	-0,113	0,055	0,053			
drainage d	-0,084	0,062	0,189			
drainage e	0,018	0,079	0,826			
drainage f	0,152	0,147	0,312			
drainage h	-0,175	0,110	0,126			
textuur S	0,264	0,085	0,005**	-0,288	0,178	0,117
textuur Z	-0,008	0,074	0,918	0,108	0,141	0,450
R^2		0,47			0,22	



Figuur 23: Boxplots van de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm bereikt heeft (R_{L30}) voor de verschillende textuurklassen en drainageklassen in de dataset. De voorkomende textuurklassen op de meetlocaties zijn Z (zandbodem), S (lemig of kleig zand) en L (zandleem). De drainageklassen gaan van b (droog) tot h (tijdelijk nat).

5 Discussie

5.1 Algemene datakenmerken

Op alle meetlocaties werd op basis van de selectiecriteria naar gelijkaardige doelbomen gezocht. Er is een grote spreiding aanwezig in de meetdata, onder meer in de relatie tussen de leeftijd en de diameter. Dit toont aan dat er een optimalisatie van de groei mogelijk is. De vraag is welke factoren een optimale groei kunnen bewerkstelligen.

Geen enkele opgemeten boom (gemiddelde leeftijd 53 jaar) heeft de doeldiameter van 45-50 cm bereikt (Tabel 2). Ook de kwaliteit van de stam is overwegend ondermaats en voldoet niet aan de wensen voor kwaliteitshout dat berk zou kunnen voortbrengen. Hieruit volgt duidelijk dat berk een gericht beheer nodig heeft om de gewenste doeldiameter binnen een leeftijd van 50-60 jaar te kunnen bereiken met een stam van kwaliteitsklasse A of zelfs F (fineer) (Unie van de bosgroepen, 2003). Dat de doeldiameter haalbaar is, wordt bevestigd door de leeftijd waarop de verschillende bomen een diameter van 30 cm bereikt hebben. De bomen met de snelste radiale groei bereikten deze dimensie reeds op 26-jarige leeftijd. Voorwaarde is wel dat deze bomen na dit punt nog blijven doorgroeien en dus bij voorkeur het groeiverloop van groep 2 vertonen.

Uit de visuele waarneming van houtverkleuring op de boorstalen volgt dat houtverkleuring reeds op vroege leeftijd mogelijk is. Dit gaf het onderzoek van Hein et al. (2009) ook al aan (Figuur 5). Een bedrijfstijd van 60 jaar is echter aanvaardbaar. De houtverkleuring die reeds op vroege leeftijd aanwezig is bij sommige bomen is vermoedelijk veroorzaakt door beschadigingen. Mits goed beheer (o.a. zorgvuldige snoei) kunnen deze beschadigingen vermeden worden (Schatz et al., 2008). Bovendien heeft berkenhout met houtverkleuring nog steeds een goede mechanische kwaliteit (Oosterbaan & Polman, 2007). Hartrot kwam nog niet voor in de genomen boorstalen.

5.2 Groeipatroon

Het algemeen verloop van de jaarringbreedte toonde een continue afname van de radiale groei naarmate de boom ouder werd. Wanneer naar de BAI gekeken wordt, is het duidelijk dat er in de dataset twee groepen onderscheiden kunnen worden (Figuur 20 en Figuur 21). Alle bomen kenden een stijgende BAI gedurende de eerste 20-30 jaar. De bomen die gedurende deze jeugdfase snel groeiden, kenden duidelijk een vroege culminatie gevolgd door een groei-afname. Dit zou verklaard kunnen worden doordat deze bomen voldoende groeiruimte hadden, waardoor de kroon snel kon uitzetten. Vanaf het punt waar het kroonexpansievermogen afnam of de kroonexpansie stilviel, daalde de BAI opnieuw. De tweede groep, de bomen die geen culminatie vertoonden en bleven doorgroeien, zouden meer geleidelijk groeiruimte hebben gekregen. Echter stelt de literatuur dat het kroonexpansievermogen van berk reeds snel afneemt (Hein et al., 2009), wat ook bij deze bomen zou moeten resulteren in een groeidaling naarmate de boom ouder wordt. Dit vonden we hier niet terug. Bovendien werden geen significant verschillen in boom-, opstands- of bodemvariabelen gevonden voor de twee groepen, waardoor er geen eenduidige verklaring kan gegeven worden voor deze observatie.

De tweede hypothese, waarbij verondersteld werd dat de groei niet meer kan hervatten na een groeistilstand kan niet ontkracht worden. Sommige bomen in groep 1 kenden een duidelijke stagnatie van de groei bij een lage groeisnelheid, zoals de boom op plotnummer 266084 die op 25 jarige leeftijd nagenoeg gestopt is met groeien (zie Figuur 20 en Bijlage 3). Het optreden van een groeistop is geen vast gegeven. De bomen uit groep 2 geven duidelijk aan dat een groeistop niet noodzakelijk het geval dient te zijn. Bovendien kan de groeistop van sommige bomen in groep 1 het gevolg zijn van onvoldoende vrijstelling. Mits aandacht voor vrijstelling van de bomen in het beheer, kan verwacht worden dat zeker na de jeugdgroei de algemene volumeaanwas hoger zal zijn dan waargenomen in onze dataset. Zoals de literatuur ook reeds aangeeft, moet door middel van een gericht beheer de groei van berk sterk gestimuleerd kunnen worden (Hynynen et al., 2010).

5.3 Impact van boom- en opstandsvariabelen

Er werden geen verbanden gevonden tussen de groeivariabelen en de boom- of opstandsvariabelen. Er werd een positief verband met de manteloppervlakte verwacht. De kroon is immers de basis voor de volumeaanwas van de stam. Bovendien is de manteloppervlakte de variabele die de competitie en het beheer in het verleden van de boom, die in dit onderzoek niet gekend zijn, het beste weerspiegelt. De intensiteit en het tijdstip van dunningen zijn namelijk de sturende factoren voor de concurrentie en daarmee de kroonexpansie van berk (Hein et al., 2009). De opstandsvariabelen geven eveneens de competitie weer, echter enkel de competitie die de boom op het moment van de metingen ondervond. De impact van de opstandsvariabelen hebben dan ook voornamelijk betekenis voor de groei gedurende de laatste jaren. Er werd voor geen enkele verklarende variabele een verband gevonden met de gemiddelde jaarlijkse diametergroei van de laatste 5 jaar.

5.4 Impact van bodemvariabelen

Met de bodemvariabelen werden wel verbanden teruggevonden. Zoals de literatuur ook vermeldt (Perala & Alm, 1990a), reageerde de gemiddelde diametergroei positief op een hogere P-

concentratie (P_{Olsen} in **Error! Reference source not found.**). Ook de negatieve relatie van P_{Olsen} met de leeftijd waarop een diameter van 30 cm bereikt werd, duidt op een snellere groei bij een hogere P_{Olsen} -concentratie. De diameter van 30 cm werd namelijk bij een lagere leeftijd bereikt op groeiplaatsen met een hogere P_{Olsen} -concentratie. Bij de regressies met de eerste twee principale componenten van de PCA werd noch PC1, noch PC2 opgenomen in één van de modellen. Er konden dus geen verbanden met een meer synthetische maat van de nutriëntenrijkdom van de bodem aangetoond worden. De textuurklassen en drainageklassen leveren interessante verbanden op. Op gronden met stuwwater (drainageklasse h) was de groei laag. Deze drainageklasse omvatte echter slechts twee metingen waardoor de betrouwbaarheid hiervan relatief laag is. Met abstractie van drainageklasse h was er een trend aanwezig met een hogere groei op vochtigere bodems. De hypothese dat de groei gelimiteerd wordt op drogere gronden kan hierdoor slechts deels bevestigd worden. Er was duidelijk een snellere groei van berk op lemig of kleiig zand dan op zandleem of zandbodem. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een bodem met textuurklasse S beter vocht kan ophouden en een vochtigere bodem beïnvloedt, zoals vermeld, de groei positief. Oosterbaan & Polman (2007) gaven ook reeds aan dat voor zandgronden een adequate vochtvoorziening betekent dat er voldoende organische stof of leem aanwezig moet zijn in het bewortelde profiel.

De resultaten afkomstig van deze regressies moeten echter met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. De dataset die gebruikt is om de regressievergelijkingen op te stellen bestaat immers slechts uit 34 bomen. Voor de variabelen textuur en drainage levert dit maar een beperkt aantal bomen per 'klasse' op voor elke variabele. Bovendien wordt verwacht dat elke boom een verschillend beheer heeft gekend. Beheer wordt verondersteld één van de belangrijkste bepalende factoren voor groei te zijn (Hynynen et al., 2010). Aangezien geen van de variabelen het verleden beheer voldoende weerspiegelt, kan het ontbreken van deze variabele belangrijke afwijkende resultaten opleveren in de analyse.

5.5 Richtlijnen voor beheer

Om kwaliteitshout met gewenste dimensies te kunnen voortbrengen, dient voor berk reeds vroeg met beheer gestart te worden (Cameron, 1996). Het afnemend kroonexpansievermogen is één van de belangrijkste factoren waarop het beheer gericht moet zijn. Ondanks het feit dat er in deze thesis geen relatie is aangetoond tussen de groei en de manteloppervlakte, is voldoende vrijstelling van de toekomstbomen toch belangrijk. Tijdig beginnen met vrijstellen is vermoedelijk bepalend om ook op latere leeftijd een sterke groei te behouden (groeipatroon groep 2). Bovendien werden in deze thesis geen significante verbanden gevonden tussen de opgemeten opstandsvariabelen en de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar. Aangezien de opstandsvariabelen de huidige concurrentie weerspiegelen, doet dit vermoeden dat de groeiverschillen als gevolg van concurrentie voornamelijk in de jeugdfase bepaald worden. Aangezien het kroonexpansievermogen volgens Hein et al. (2009) reeds op 25-jarige leeftijd sterk achteruit gaat, moeten de doelbomen op deze leeftijd al een aanzienlijke kroon ontwikkeld hebben. Hierbij moet een afweging gemaakt worden tussen een vroege vrijstelling voor de kroonontwikkeling en een langere dichtstand voor de ontwikkeling van fijnakkigheid en een verhoogde natuurlijke takreiniging. Sommige onderzoekers raden een langere dichtstand ook aan voor een sterkere hoogtegroeï. Echter wordt de hoogtegroeï van berk niet zozeer bepaald door het beheer, maar door de groeiplaatskarakteristieken (Dong et al., 2009). De fijnakkigheid en natuurlijke takreiniging zijn interessant, maar door middel van opsnoei kan het

beheer evengoed voor een takvrije stam zorgen. De vrijstelling van de kroon verdient dus de hoogste prioriteit.

De beheerder kan de vrijstelling eenvoudig toepassen, de bodemcondities daarentegen zijn niet, tot zeer moeilijk, bij te sturen met regulier bosbeheer. Er zijn geen verbanden aangetoond tussen de groei van berk en de principale componenten (PC1 geeft een synthetische maat voor de nutriëntenrijkdom weer). Aanwezigheid van fosfor was wel positief gerelateerd aan de groei. Ook de bodemvochtigheid en de bodemtextuur waren bepalend. Op te droge bodems zal ondanks een geschikt beheer de groeisnelheid niet voldoende hoog zijn om de einddimensies te bekomen. Bodems die periodisch te nat zijn (stuwwater), zijn eveneens niet geschikt om de gewenste dimensies te bereiken. Kleiige tot lemige zandbodems die voldoende vochtig zijn, vormen de ideale bodemcondities om een optimale groei van berk te bewerkstelligen. Van de 34 opgemeten bomen zijn er 5 bomen die op bodems met textuur S en drainage c-f groeien. Wordt de diameter van deze 5 bomen geëxtrapoleerd met de gemiddelde diametergroei van de respectievelijke bomen, bereiken 4 van de 5 bomen een diameter groter dan 45 cm (47 cm - 66 cm). Gebeurt de extrapolatie echter met de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar bereikt geen enkele van deze bomen een diameter van 45 cm (35-44 cm). Met een gericht beheer kan de groeisnelheid op latere leeftijd van de opgemeten bomen hoger blijven, maar de voorgaande extrapolaties tonen aan dat een doeldiameter van minimaal 45 cm enkel bereikt zal kunnen worden op de beste gronden in de Kempen. Op de drogere zandleem- of zandbodems zal een doeldiameter van 40 cm een betere doelstelling zijn. Heeft de beheerder voor ogen om het hout voor hoogwaardige esthetische toepassingen te verkopen, dan is het aangeraden een kortere bedrijfstijd van bv. 50 jaar na te streven om de kans op houtverkleuring te verminderen. De doelstellingen zullen dan, vooral wat betreft de dimensies, bijgesteld moeten worden.

Op veel plaatsen in de Kempen is het bekomen van gemengd loofbos een belangrijke beheerdoelstelling. De beheerinstellingen die grote oppervlaktes beheren (bv. het Agentschap voor Natuur en Bos), kunnen de bodemcondities mee in rekening brengen in de toewijzing van bossen die via natuurlijke processen met berk omgevormd zullen worden.

6 Conclusie

De groei van de berken in deze thesis vertoonde een grote variabiliteit. Een interessant resultaat is de aanwezigheid van twee groepen, die een sterk verschillend groeipatroon vertonen. De eerste groep vertoonde een vroege groeipiek. De tweede groep vertoonde een langzamer toenemende aanwas zonder groeipiek. Deze tweede groep bewijst dat de groei van berk niet noodzakelijk reeds op jonge leeftijd zal stilvallen.

De boom- en opstandsvariabelen konden de groeivariatie tussen de berken (waarvan het beheer niet gekend is) niet verklaren. Er werd ook geen verband gevonden tussen de groeivariabelen en de algemene nutriëntenrijkdom van de bodem (principale componenten van een PCA-analyse). De gemiddelde diametergroei werd (niet significant) positief beïnvloed door de concentratie aan plantbeschikbaar fosfor (P_{Olsen}) in de bodem. Met de leeftijd waarop een diameter van 30 cm werd bereikt, werd een (niet significant) negatief verband gevonden met P_{Olsen} , wat de snellere groei bevestigde. De textuurklasse kwam naar voor als de enige significant verklarende variabele van de

gemiddelde diametergroei. De groei was het sterkst op een kleiige of lemige zandbodem. Dit hangt vermoedelijk samen met de relatie die aanwezig is tussen de groei van berk en het bodemvochtgehalte. De groei was groter op vochtigere bodems, behalve op de tijdelijk natte (stuwwater)bodems. Een gelijkaardig onderzoek met een grotere dataset, een gedetailleerde analyse van de textuur en vochtdynamiek en een goede kennis van het verleden beheer zal de betrouwbaarheid van de verkregen verbanden verhogen.

7 Verder onderzoek

De dataset waarmee in deze thesis is gewerkt, is beperkt (34 metingen). De metingen gaven een goede spreiding over de verschillende variabelen, maar omwille van het beperkt aantal metingen kunnen foutieve metingen of meetwaarden die afwijken van de normale situatie afwijkende eindresultaten opleveren. Een belangrijke variabele die in deze thesis niet gekend was, is het beheer dat de doelbomen hebben ondervonden. Onderzoek naar de groei van berk waarbij het verleden beheer gekend is, zou dan ook zeer interessante en meer praktijkgerichte resultaten kunnen opleveren. Hierbij kan het interessant zijn solitaire bomen mee op te nemen in het onderzoek, om de groei van bomen zonder concurrentie te vergelijken met deze van bomen die verschillende intensiteiten van concurrentie ondervinden. Daarnaast is gedetailleerder onderzoek naar de bodemtextuur en de bodemvochtdynamiek aangewezen om de relaties van deze twee factoren met de groei te optimaliseren. In deze thesis is gebruik gemaakt van de drainage- en textuurklassen van de Vlaamse bodemkaart; een textuuranalyse en bepaling van de vochtdynamiek van de bodems op de meetlocaties zou meer nauwkeurige informatie kunnen opleveren.

Er werden geen verklaringen gevonden voor het optreden van twee verschillende groepen wanneer naar het groeipatroon werd gekeken. Verder onderzoek is aangewezen om na te gaan onder welke omstandigheden de groei van berk op latere leeftijd nog hoge waarden kan behouden in plaats van te stagneren op een zeer laag niveau.

Literatuurlijst

Afdeling Bos & Groen, 2001a. Beheervisie voor de openbare bossen. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 98 pg.

Afdeling Bos & Groen, 2001b. De Bosinventarisatie van het Vlaams Gewest. Resultaten van de eerste inventarisatie 1997-1999. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 500 pg.

Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen. Bodemkaart. <http://geo-vlaanderen.agiv.be/geo-vlaanderen/bodemkaart/>. [Datum van raadpleging 10/09/2012].

Andrew, G. Bunn, Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Mérian, P., Qeadan, F. & Zang, C. 2012. dplR: Dendrochronology Program Library in R. R package version 1.5.6. <http://CRAN.R-project.org/package=dplR>.

Aspelmeier, S. & Leuschner C., 2005. Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula* Roth): leaf and root morphology and carbon partitioning. *Trees* 20: 42-52.

Buyse, W. 2012. Kwalificeren-Dimensioneren: een kadee die opnieuw schwing brengt in bosbeheer. *Bosrevue* 41: 1-5.

Cameron, A. D. 1996. Managing birch woodlands for the production of quality timber. *Forestry* 69: 357-371.

De Schrijver, A., Geudens, L., Wuyts, K., Staelens, J. & Verheyen, K. 2009. Comparison of nutrient cycling in two continuous cover scenarios for forest conversion of pine plantations on sandy soil. I. Nutrient cycling via aboveground tree biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 441-452.

De Silva, H., Green, S. & Woodward, S. 2008. Incidence and biology of *Anisogramma virgultorum* on birch in Scotland. *RSFS Scottish forestry* 62(4): 22-28.

Den Ouden, J., Mohren, F., De Waal, R., De Schrijver, A. 2010. Groeiplaats en bodem. In: Den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F. & Verheyen, K. 2010. *Bosecologie en Bosbeheer*, 133-150.

Dekker, M., Van Breugel, M. & Sterck, F. J. 2007. Effective height development of four co-occurring species in the gap-phase regeneration of Douglas fir monocultures under nature-oriented conversion. *Forest Ecology and Management* 238: 189-198.

Dong, P.H., Tabel, U., Ehrhart, H.-P. & Eder, W. 2009. Birken-Anbau-Versuch im Forstamt Johanniskreuz. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* 67(9): 56-74.

Dunham, R. A., Cameron, A. D. & Petty, J. A. 1999. The effect of growth rate on the strength properties of sawn beams of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 18-26.

Ellenberg, H. 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Stark veränd. U. verb. Aufl., Stuttgart: Ulmer, 1095 S.

Endtmann, K. J. 2000. Beiträge zur Biodiversität der Sandbirke (*Betula pendula* Roth) und verwanter Sippen. In: Landesforstanstalt Eberswalde, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und

Raumordnung, Brandenburg: Die Birke im Nordostdeutschen Tiefland – Eberswalder Forschungsergebnisse zum Baum des Jahres 2000: 8-25.

Ferm, A. 1993. Birch production and utilization for energy. *Biomass and Bioenergy* 4: 391-404.

Ferm, A., Hytönen, J., Lilja, S. & Jylhä, P. 1994. Effects of weed control on the early growth of *Betula pendula* established on an agricultural field. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 347-359.

Flora of North America. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=200006160. [Datum van raadpleging: 20/04/2013].

Gartner, K., Nadezhdina, N., Englisch, M., Čermak, J. & Leitgeb, E. 2009. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management* 258: 590-599.

Hacke, U. G., Sperry, J. S. & Pittermann, J. 2000. Drought experience and cavitation resistance in six shrubs from the Great Basin, Utah. *Basic and Applied Ecology* 1: 31-41.

Hamrick, J.L., Godt, M.J.W. & Sherman-Broyles, S.L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95-124.

Hein, S., Winterhalter, D., Wilhelm, G.J. & Kohnle, U. 2009. Wertholzproduktion mit der Sandbirke (*Betula pendula* Roth): waldbauliche Möglichkeiten und Grenzen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 180: 206-219.

Hegyí, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. In: *Growth models for tree and stand simulation*. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden, pp 74–90.

Heräjärvi, H. 2001. Technical Properties of Mature Birch (*Betula pendula* and *B. pubescens*) for Saw Milling in Finland. *Silva Fennica* 35: 469-485.

Hjelmroos, M. 1991. Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen. *Grana* 30: 215-228.

Humphries, R.N., Jordan, M.A. & Guarino, L., 1982. The effect of water stress on the mortality of *Betula pendula* Roth and *Buddleia davidii* Franch. seedlings. *Plant and Soil* 45: 172-175.

Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-aarnio, A., Brunner, A., Hein, S. & Velling, P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 83: 103-119.

Hynynen, J. & Niemistö, P. 2009. Waldbau mit Birke in Finnland. *AFZ-DerWald* 64: 709-711.

Jansen, J.J., Sevenster, J. & Faber, P.J. 1996. Opbrengsttabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. Wageningen, IBN-DLO. 240 pg.

Johansson, T. 1986. Development of suckers by two-year-old birch (*Betula pendula* Roth) at different temperatures and light intensities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 17-26.

Johnson, O. & More, D. 2005. ANWB bomengids van Europa. Den Haag, ANWB bv, 464 pg.

- Jonášová, M., Van Hees, A. & Prach, K. 2006. Rehabilitation of monotonous exotic coniferous plantations: A case study of spontaneous establishment of different tree species. *Ecological Engineering* 28: 141-148.
- Juodvalkis, A., Kairiukstis, L. & Vasiliauskas, R. 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *European Journal of Forest Research* 124(3): 187-192.
- Kalliokoski, T., Nygren, P. & Sievänen, R. 2008. Coarse root architecture of three boreal tree species growing in mixed stands. *Silva Fennica* 42: 189-210.
- Karlsson, A., Albrektson, A., Forsgren, A. & Svensson, L. 1998. An analysis of successful natural regeneration of downy and silver birch on abandoned farmland in Sweden. *Silva Fennica* 32: 229-240.
- Karlsson, A. 2002. Site preparation of abandoned fields and early establishment of planted small-sized seedlings of silver birch. *New Forests* 23: 159-175.
- Kelly, R.J. & Mecklenburg, R.A. 1980. Growth response of European birch seedlings to daylength and root pruning. *HortScience* 15: 828-829.
- Koninklijk Meteorologisch Instituut. Klimatogrammen. <http://www.meteo.be/meteo/view/nl/6042865-Klimaat+in+de+wereld.html>. [Datum van raadpleging: 15/02/2013].
- Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging. 2008a. De berk, behandeling voor kwaliteitshout [online]. Beschikbaar op <http://www.knbv.nl/artikelen/de-berk-behandeling-voor-kwaliteitshout>. [datum van opzoeking: 05/03/2013].
- Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging. 2008b. Ruimte voor de berk [online]. Beschikbaar op <http://www.knbv.nl/artikelen/ruimte-voor-de-berk>. [datum van opzoeking: 05/03/2013].
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologisch Zeitschrift* 15: 259-263.
- Lambinon, J., De Langhe, J.E., Delvosalle, L. & Duvigneaud, J. 1998. Flora van België, het groothertogdom Luxemburg, noord-Frankrijk en de aangrenzende gebieden (Pteridofyten en Spermofyten) 3rd ed. Nationale Plantentuin van België: Meise. 1092 pp.
- Lemaire, J. 2004. Culture d'arbre et détournement du bouleau verruqueux. *Forêt-entreprise* 159: 14-18.
- Levanič, T. & Eggertsson, O. 2008. Climatic effect on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fňjoskadalur valley, northern Iceland. *Dendrochronologica* 25: 135-143.
- Lockow, K.-W. 2000. Ertragsleistung, Bestandesbehandlung und Eignung der Sandbirke für den Waldumbau. In: Landesforstanstalt Eberswalde (Hrsg.): Die Birke im Nordostdeutschen Tiefland - Eberswalder Forschungsergebnisse zum Baum des Jahres 2000. Eberswalde: 40-52.
- Mäkinen, H. 2002. Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth) in central Finland. *Trees* 16: 346-353.
- Mauer, O. & Palátová, E. 2003. The role of root system in silver birch (*Betula pendula* Roth) dieback in the air-polluted area of Krušné hory Mts. *Journal of Forest Science* 49: 191-199.

- Ministère de la Région Wallone. 1991. Le fichier écologique des essences [online]. Beschikbaar op http://environnement.wallonie.be/publi/dnf/fichier_ecolo_essence2.pdf. [Datum van opzoeking 23/02/2013].
- Mohren, F., Muys, B., Van der Aa, B. & Verheyen, K. 2010. Hooghout. In: Den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F. & Verheyen, K. 2010. Bosecologie en Bosbeheer, 325-340.
- Oosterbaan, A. & Polman, H. 2007. Meer met berk. Vakblad NBL 4(9): 24-27.
- Osonubi, O. & Davies, W.J. 1978. Solute accumulation in leaves and roots of woody plants subjected to water stress. *Oecologia* 32: 323-332
- Ostonen I., Lõhmus, K., Helmisaari, H.S., Truu, J. & Meel S. 2007. Fine root morphological adaptations in Scots pine, Norway spruce and silver birch along a latitudinal gradient in boreal forests. *Tree Physiology* 27: 1627-1634.
- Ovington, J.D. & Madgwick, H.A.I. 1959. The growth and composition of natural stands of birch : II. The uptake of mineral nutrients. *Plant and Soil* 4: 389-400.
- Pelham, J., Kinnaird, J.W., Gardiner, A.S. & Last, F.T. 1984. Variation in, and reproductive capacity of, *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 85B: 28-41
- Perala, D.A. & Alm, A.A. 1990a. Reproductive ecology of birch: a review. *Forest Ecology and Management* 32: 1-38.
- Perala, D.A. & Alm, A.A. 1990b. Regeneration silviculture of birch: a review. *Forest Ecology and Management* 32: 39-77
- Ponge, J., Brethes, A., Brun, J.J., Jabiol, B. & Toutain, F. 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Annals of Forest Science* 52: 535-546.
- Possen, B.J.J.M., Oksanen, E., Rousi, M., Ruhanen, H., Ahonen, V., Tervahauta, A., Heinonen, J., Heiskanen, J., Kärenlampi, S. & Vapaavuori, E. 2011. Adaptability of birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.) genotypes to different soil moisture conditions. *Forest Ecology and Management* 262: 1378-1399.
- Pusch, A., Bremus, K.H., Behn, R. & Pampe, A. 2004. Pflege und Entwicklung von Roterle, Birke und anderen Weichlaubbbäumen. Niedersächsisches Forstplanungsamt. 28pg.
- R Core Team 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Raulo, J. 1978. Forestation chain for birch (*Betula pendula* Roth) in Finland. *Silva Fennica* 12: 17-24.
- Rousi, M., Heinonen, J. & Neuvonen, S. 2011. Intrapopulation variation in flowering phenology and fecundity of silver birch, implications for adaptability to changing climate. *Forest Ecology and Management* 262: 2378-2385.
- Rytter, L. & Werner, M. 2007. Influence of early thinning in broadleaved stands on development of remaining stems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 198-210.

- Schatz, U., Heräjärvi, H., Kannisto, K. & Rantatalo, M. 2008. Influence of saw and secateur pruning on stem discolouration, wound cicatrisation and diameter growth of *Betula pendula*. *Silva Fennica* 42: 295-305.
- De Schrijver, A., Geudens, G., Wuyts, K., Staelens, J., Gielis, L. & Verheyen, K. 2009. Nutrient cycling in two continuous cover scenarios for forest conversion of pine plantations on sandy soil, I: nutrient cycling via aboveground tree biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 441-452.
- Setälä, H. & Huhta, V. 1991. Soil fauna increase *Betula pendula* growth: laboratory experiments with coniferous forest floor. *Ecology* 72: 665-671.
- Siipiletho, J. 2001. Effect of weed control with fibre mulches and herbicides on the initial development of spruce, birch and aspen seedlings on abandoned farmland. *Silva Fennica* 35: 403-414.
- Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J. P., Sterba, H. & von Teuffel, K. 2004. Norway spruce conversion. Brill, Leiden. 269 pg.
- Stahl, S. & Gauckler, S. 2009. Die Birke – Kind des Lichts und der Katastrophe. *AFZ-DerWald* 64: 700-704.
- Unie van de bosgroepen. 2003. Beoordelingscriteria voor het keuren van rondhout. 18 pg.
- Uri, V., Löhmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R. & Vildo, M. 2007. Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth) stand growing on abandoned agricultural land. *European Journal of Forest Research* 126: 495-506.
- Van der Meijden, R. 2005. Heukels' Flora van Nederland, Wolters-Noordhoff, Groningen/Houten, 685 pg.
- Van Tuyll, F.W. 2003. Kwaliteitshout en Geïntegreerd Bosbeheer: automatisme of toch vakwerk? Staatsbosbeheer, 91 pg.
- Verheyen, K., Den Ouden, J., Muys, B. & Aerts, R. 2010. Populatiodynamiek. In: Den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F. & Verheyen, K. *Bosecologie en Bosbeheer*, 103-122.
- Viherä-Aarnio, A. & Velling, P. 1999. Growth and stem quality of mature birches in a combined species and progeny trial. *Silva Fennica* 33: 225-234.
- Viherä-Aarnio, A. & Velling, P. 2001. Micropropagated silver birches (*Betula pendula*) in the field – performance and clonal differences. *Silva Fennica* 35: 385-401.
- Wijdeven, S.M.J., Oosterbaan, A., Van den Berg, C. & Van Jole, M. 2000. Groei van ongelijkjarige mengingen van grove den en berk op arme zandgronden; Resultaten van metingen in 22 opstanden op de Veluwe en de Sallandse Heuvelrug. Wageningen, ALTErrA, Research instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 014, 33 pg.
- Ylloja, T., Hinkkanen, S., Roininen, H. & Rousi, M. 2002. Oviposition and mining by *Phytobia betulae* (Diptera: Agromyzidae) in genotypes of European white birch (*Betula pendula*). *Agricultural and Forest Entomology* 4: 11-20.

Zālītis, T. & Zālītis, P. 2007. Growth of young stands of silver birch (*Betula pendula* Roth) depending on pre-commercial thinning intensity. *Baltic Forestry* 13(1): 61-67.

Zuur, A., Ieno, E.N. & Smith, G.M. 2007. *Analysing Ecological Data*. Appendix A: Required pre-knowledge: A linear regression and additive modeling example, pg 531-552.

Bijlagen

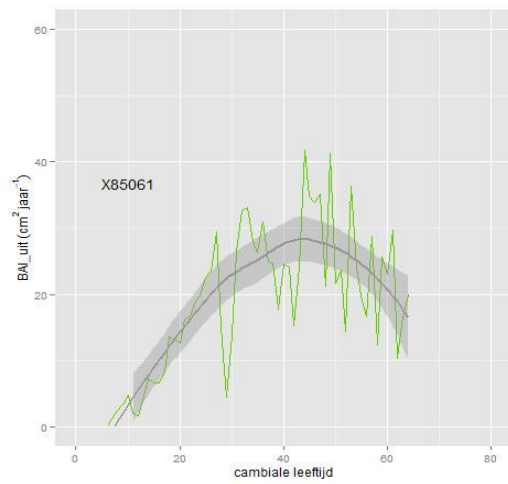
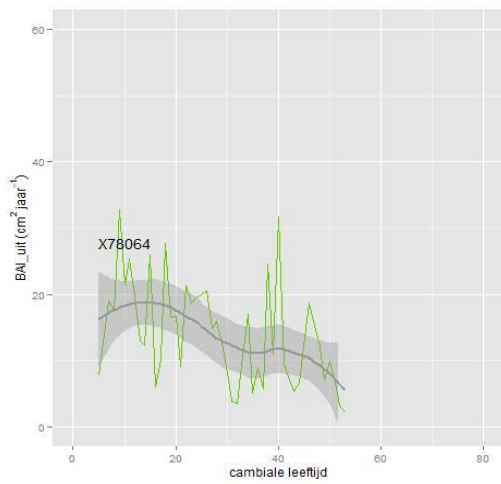
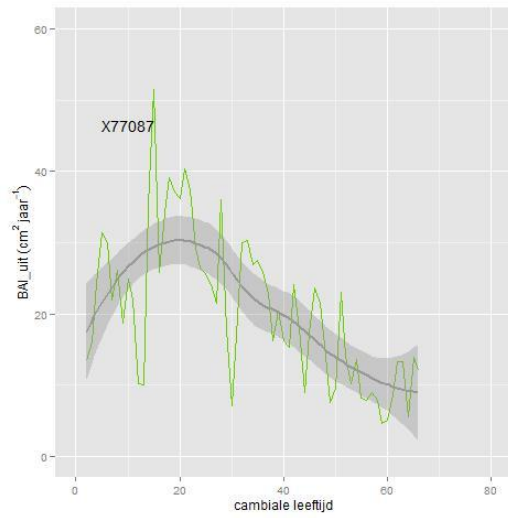
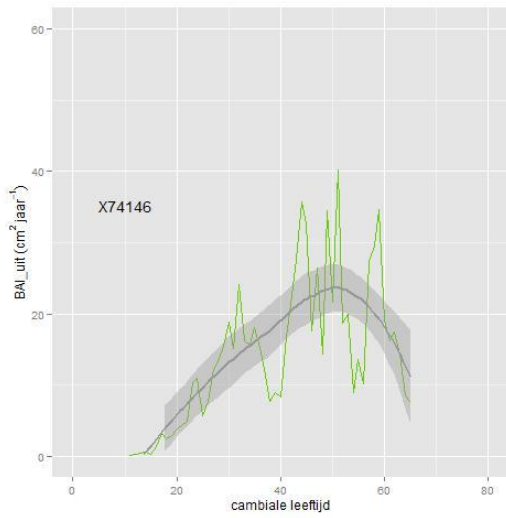
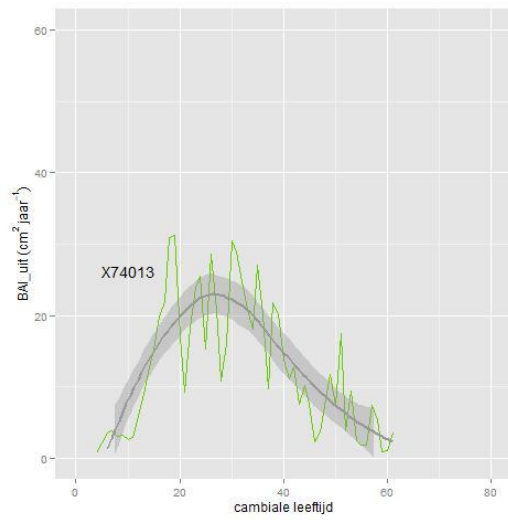
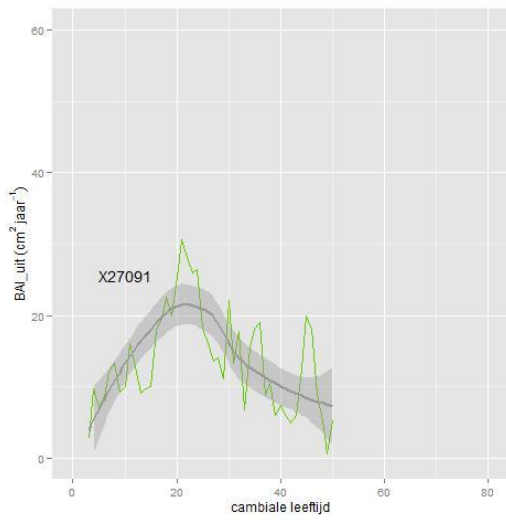
Bijlage 1: invulblad veldmetingen

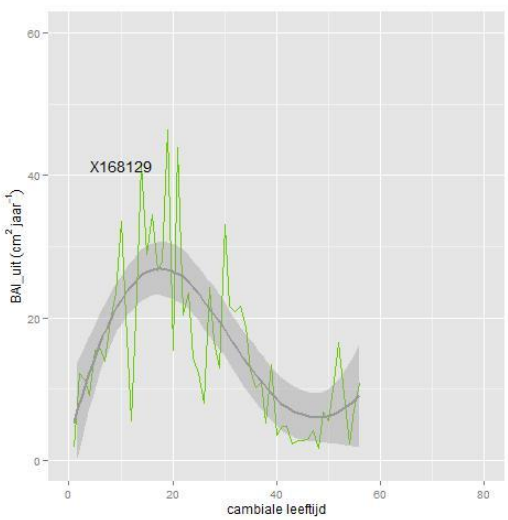
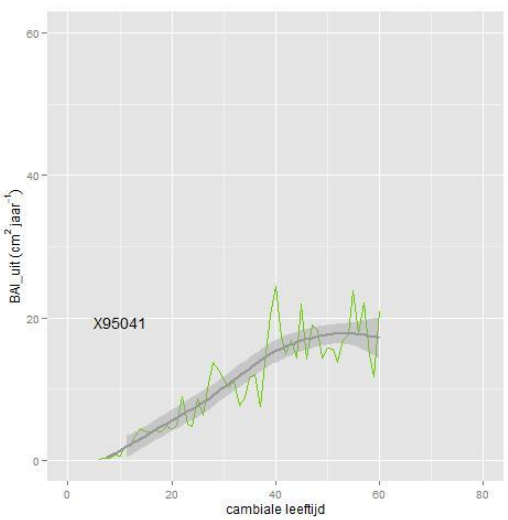
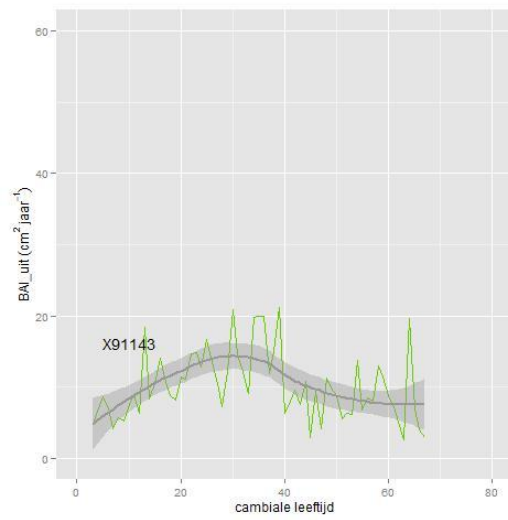
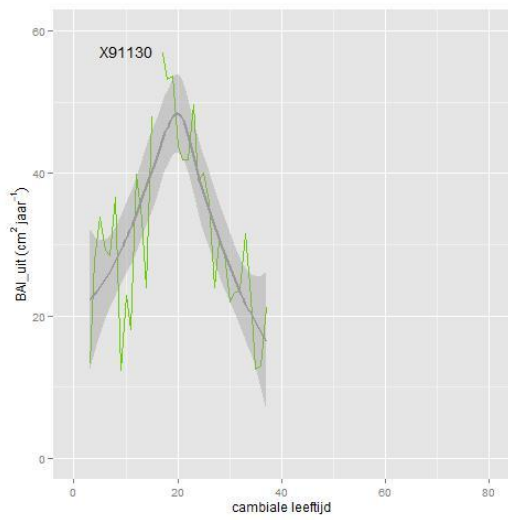
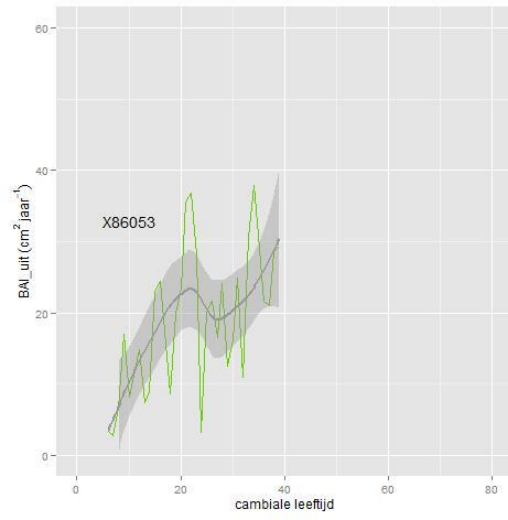
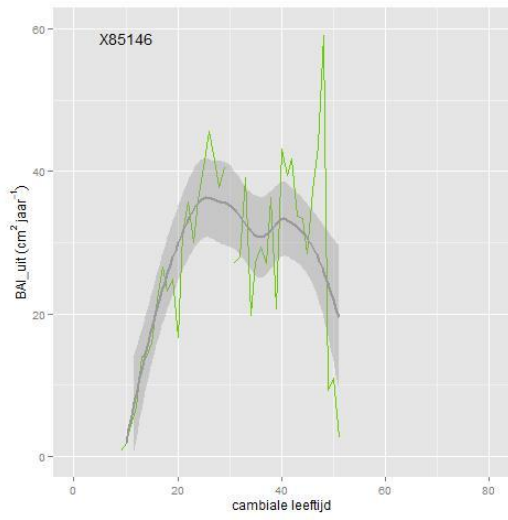
Locatie						
Plotnr	Gemeente	Eigenaar				
Boomkenmerken modelboom						
Hoogte 1 (m)	Hoogte 2 (m)	Hoogte 3 (m)	Gem. hoogte (m)	Omtrek (cm)	Hoogte kroonaanzet (m)	Kroon diameter (m)
					Kleinste:	Grootste:
Kwaliteitsklasse (F, A, B, C)						
Vitaliteitsscore						
1: vitaal, geen zichtbare gebreken en goed ontwikkelde kroon						
2: matig vitaal: enkele zichtbare gebreken of minder goed ontwikkelde kroon						
3: weinig vitaal: zichtbare gebreken en minder goed ontwikkelde kroon						
Cirkelplot 9 m = metingen boomlaag en struiklaag (ondergrens dbh = 7 cm omtrek = 22cm)						
Soort						
Afstand (m)						
Omtrek (cm)						
Soort						
Afstand (m)						
Omtrek (cm)						
Proefvlak 5x5m = metingen kruidlaag						
Soort						
Bedekkingsgraad (%)						
Soort						
Bedekkingsgraad (%)						
Tot. bedekkingsgraad (%)	strooiseillaag	moslaag	kale grond	kruidlaag	struiklaag	boomlaag
Bodemkenmerken						
staalnamepositie	Humustype	Dikte humushorizonten (cm)		Diepte gley (cm)	Diepte reductiehorizont (cm)	
N		OL:	OF:	OH:		
O		OL:	OF:	OH:		
Z		OL:	OF:	OH:		
W		OL:	OF:	OH:		

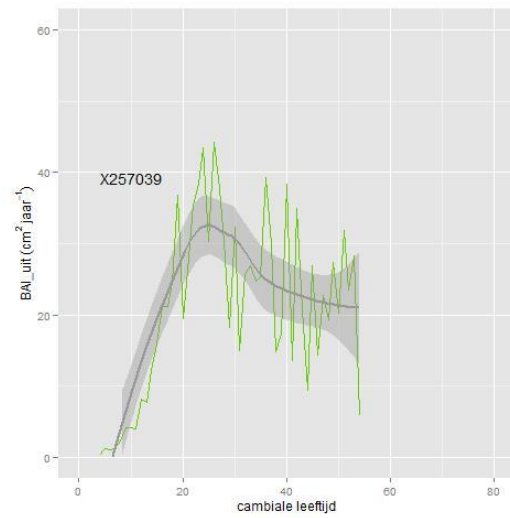
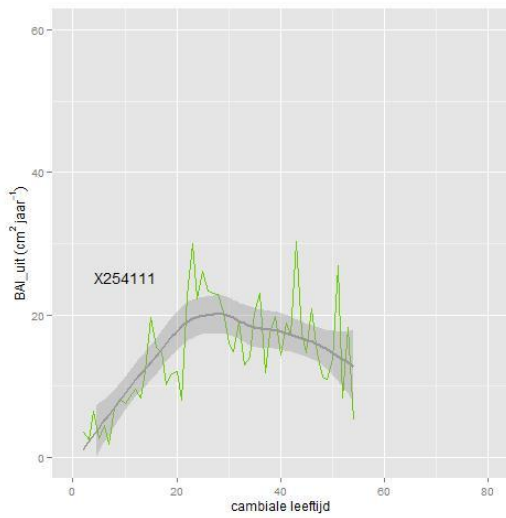
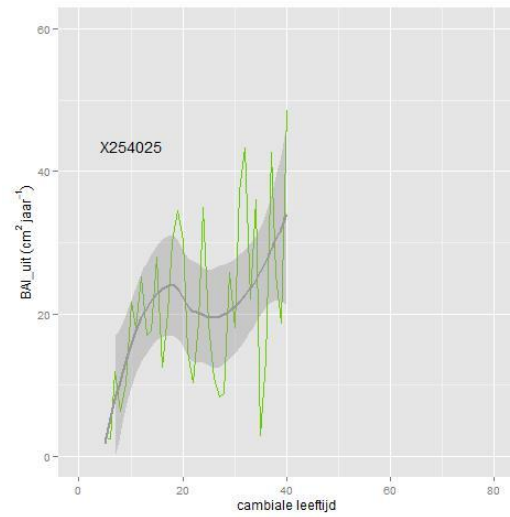
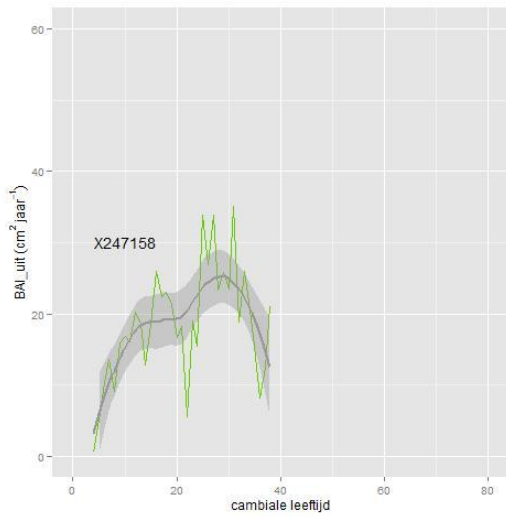
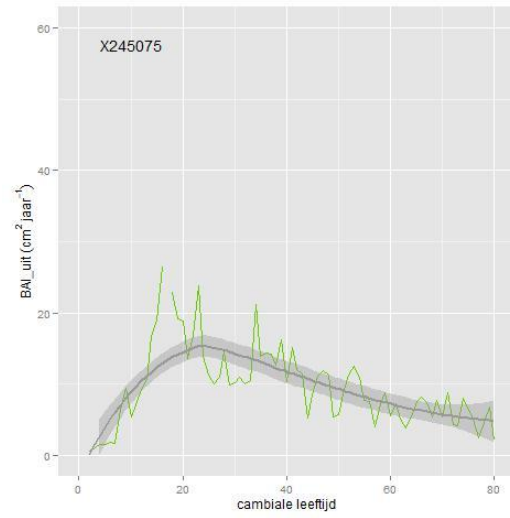
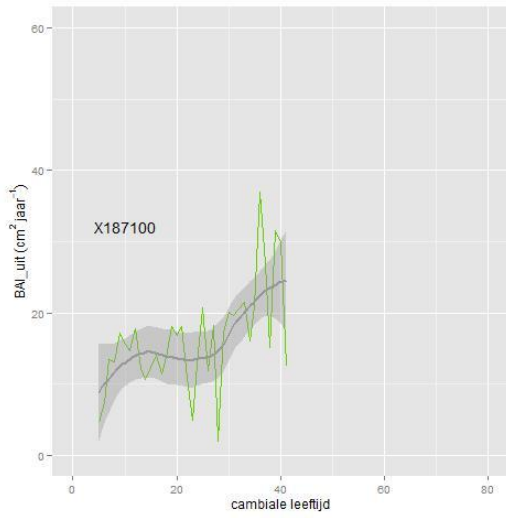
Bijlage 2: Beoordelingscriteria kwaliteitsindeling (Unie van de Bosgroepen, 2003)

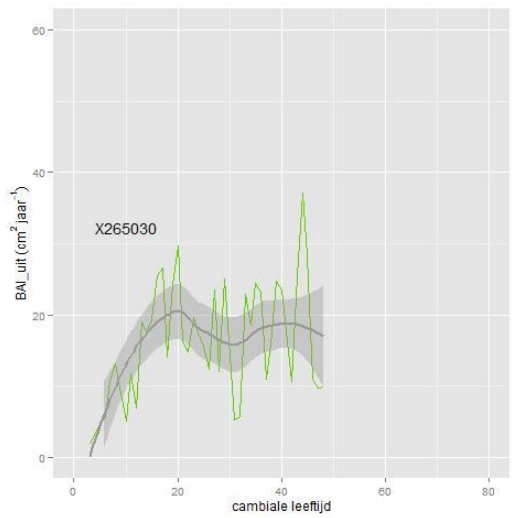
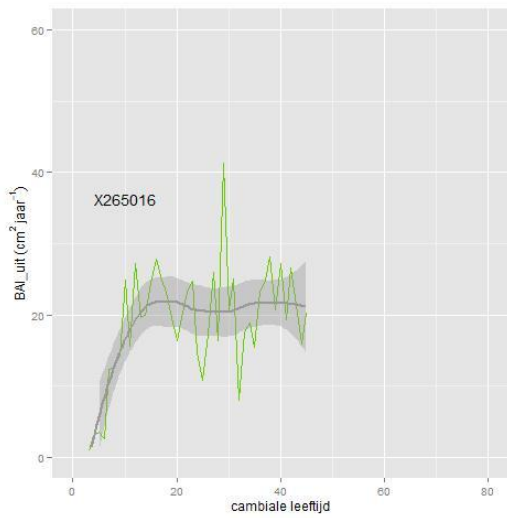
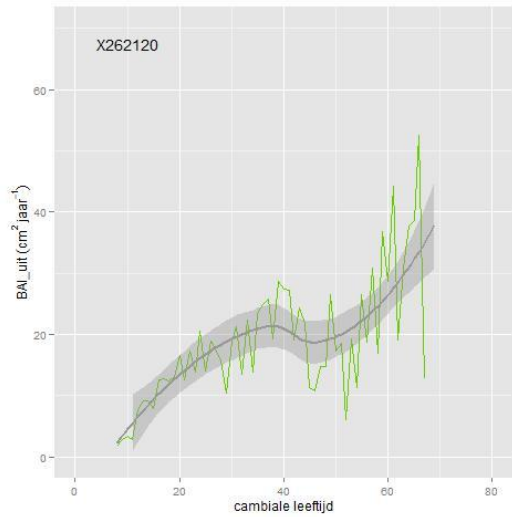
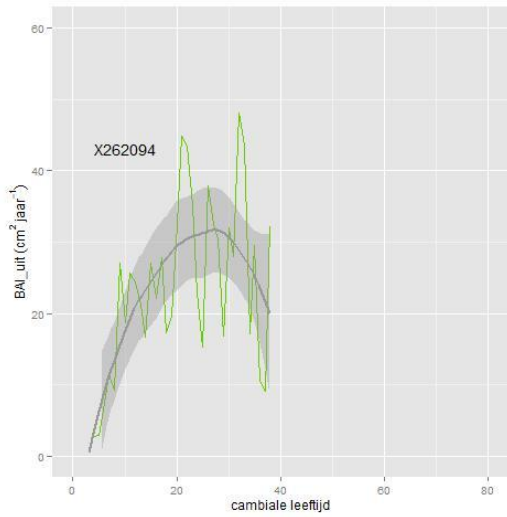
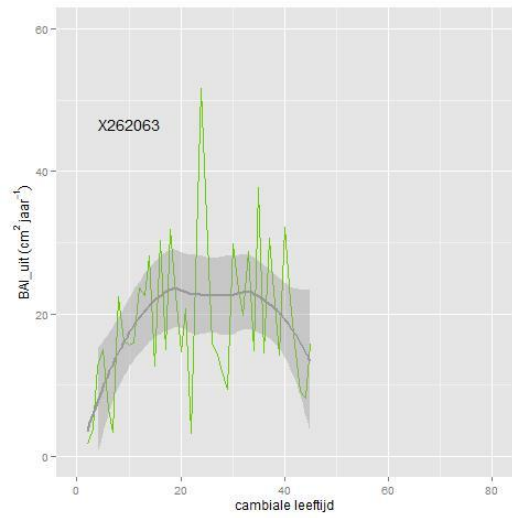
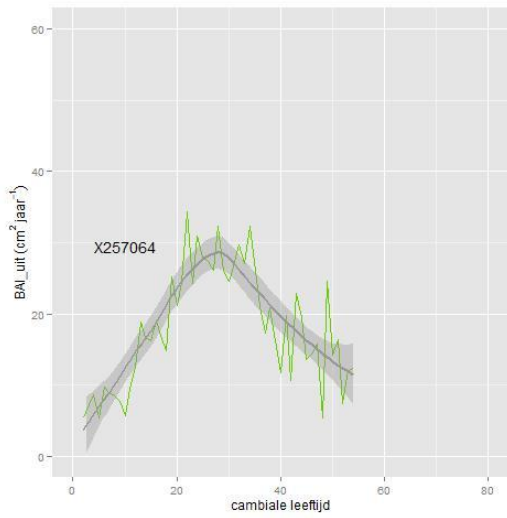
	Klasse F	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Noestigheid	Geen noesten toegestaan	Max. 1 gezonde noest per 4 strekkende meter. met een maximale noestdiameter van 3 cm	Max. 2 gezonde noesten per strekkende m. met een max. noestdiameter van 10 cm. Max. één dode noest tot 8 cm doorsnede per 4 strekkende meter	Gezonde en dode noesten zonder inrotting met max. noestdiameter 15 cm onbegrensd, almede een enkele dickere noest
Taklittkens	Niet toegestaan	Max. 1 taklittken per 1,6 strekkende meter	Max. 3 taklittkens per strekkende meter, indien aan een kant minstens 80 cm. takvrij	Grote taklittkens toegestaan
Vorm van de dwarsdoorsnede	Rond	Maximale verhouding tussen grootste en kleinste diam. 1:1,2	Geen beperkingen	Geen beperkingen
Krommingen	Tot 1 cm per strekkende meter in één vlak	Tot 2 cm per strekkende meter in één vlak	Tot 5 cm per strekkende meter in één vlak	Tot 8 cm per strekkende meter in één vlak
Draaigroei	Niet toegestaan	Maximaal 3 cm per strekkende meter	Maximaal 8 cm per strekkende meter	Geen beperkingen
Dikteverloop	Max. 1 cm per strekkende meter	Max. 1 cm per strekkende meter	Max. 3 cm per strekkende meter	Max. 5 cm per strekkende meter
Stambeschadiging	Niet toegestaan	Alleen oppervlakkige stambeschadiging toegestaan	Geen beperkingen	Geen beperkingen
Gezondheid	Gezond, (geen stamdroog hout)	Stamdroging zonder secundaire aantastingen	Stamdroging zonder ernstige gevolgen toegestaan. Kleine rotte plekken, ook in de wortelaanlopen, toegestaan	Enige aantasting van insecten of schimmels toegestaan
Kleurveranderingen	Niet toegestaan	In het binnenste derde deel van het zaagvlak of dicht aan het stamoppervlak	Kleine verkleuringen toegestaan	Geen beperkingen
Excentriciteit van de kern	Kern in het midden	Verschil tussen grootste en kleinste straal tot 1/5 van de diameter	Verschil tussen grootste en kleinste straal tot 1/3 van de diameter	Geen beperkingen
Reactiehout, jaarringopbouw	Reactiehout niet toegestaan. Gelijkmatige jaarringopbouw	Geen reactiehoutvorming, gelijkmatige jaarringopbouw, jaarringbreedte afhankelijk van de houtsoort	Tot 1/3 van de diameter reactiehoutvorming toegestaan	Geen beperkingen
Scheurvorming	Niet toegestaan	In het binnenste derde deel van het zaagvlak, en aan de alkortelinden	Als A	Geen beperkingen, combinatie van ring- en sterscheuren niet toegestaan (spinneweb)

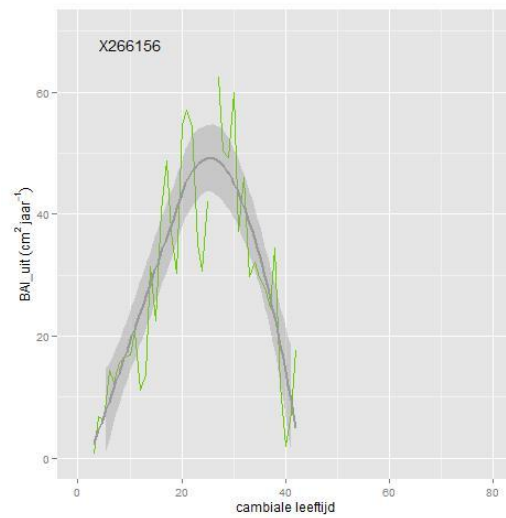
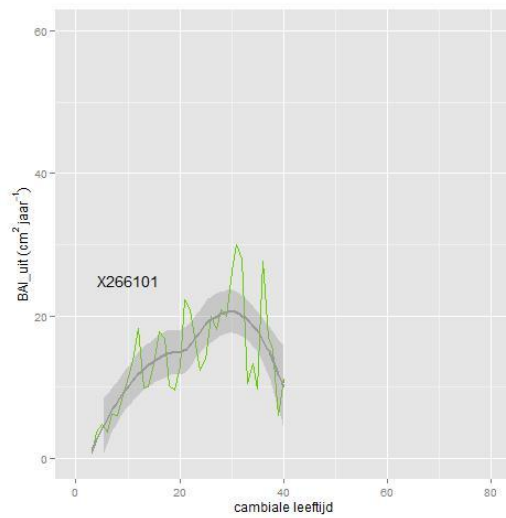
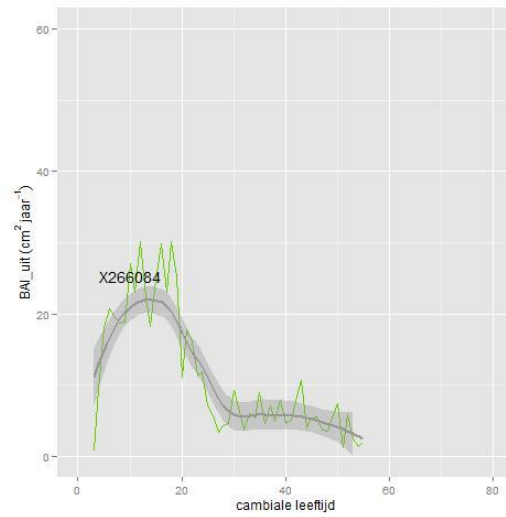
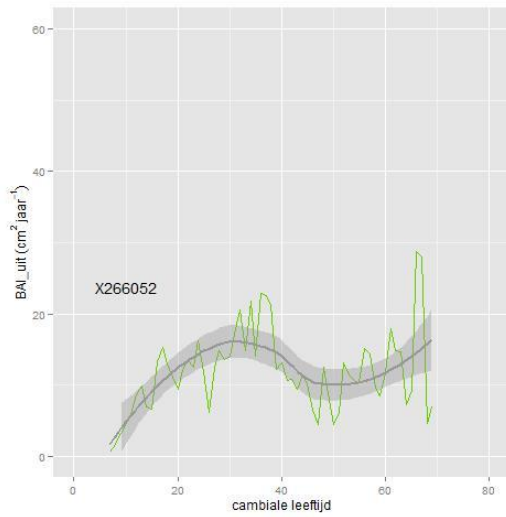
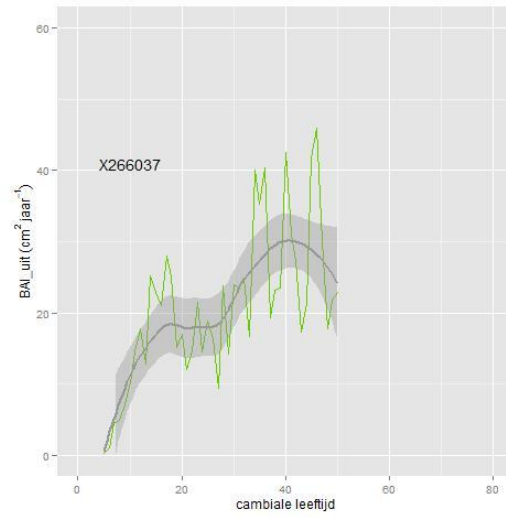
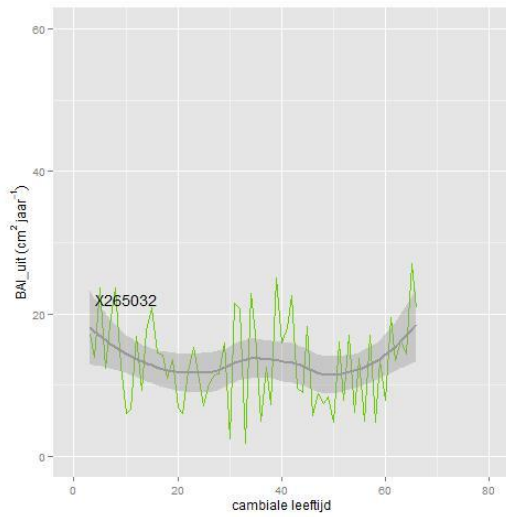
Bijlage 3: BAI-verloop van de opgemeten bomen met vermelding van het plotnummer

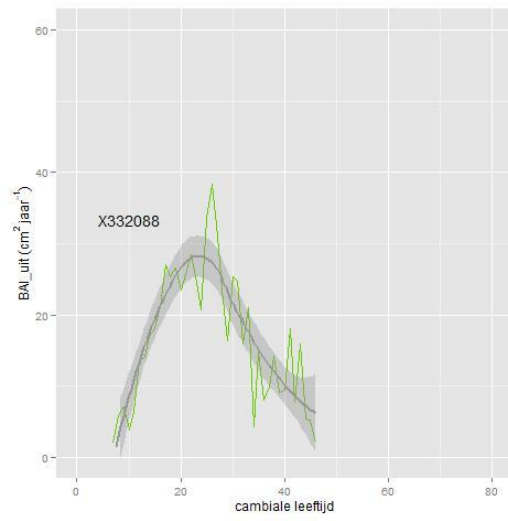
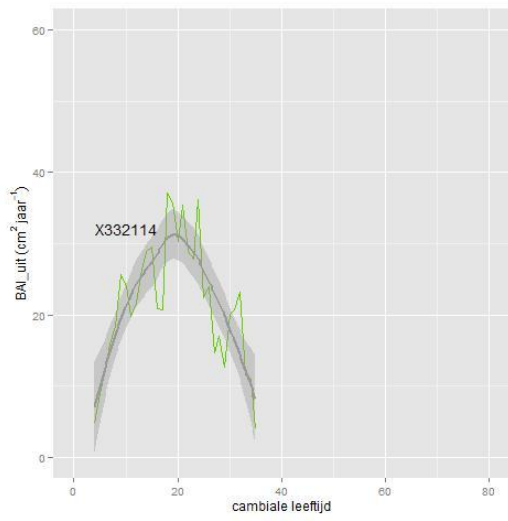
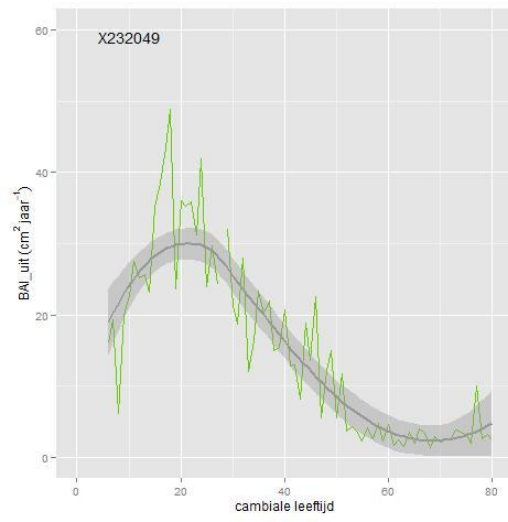
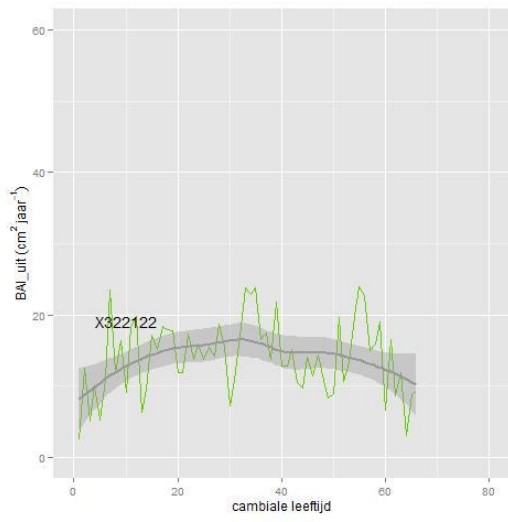




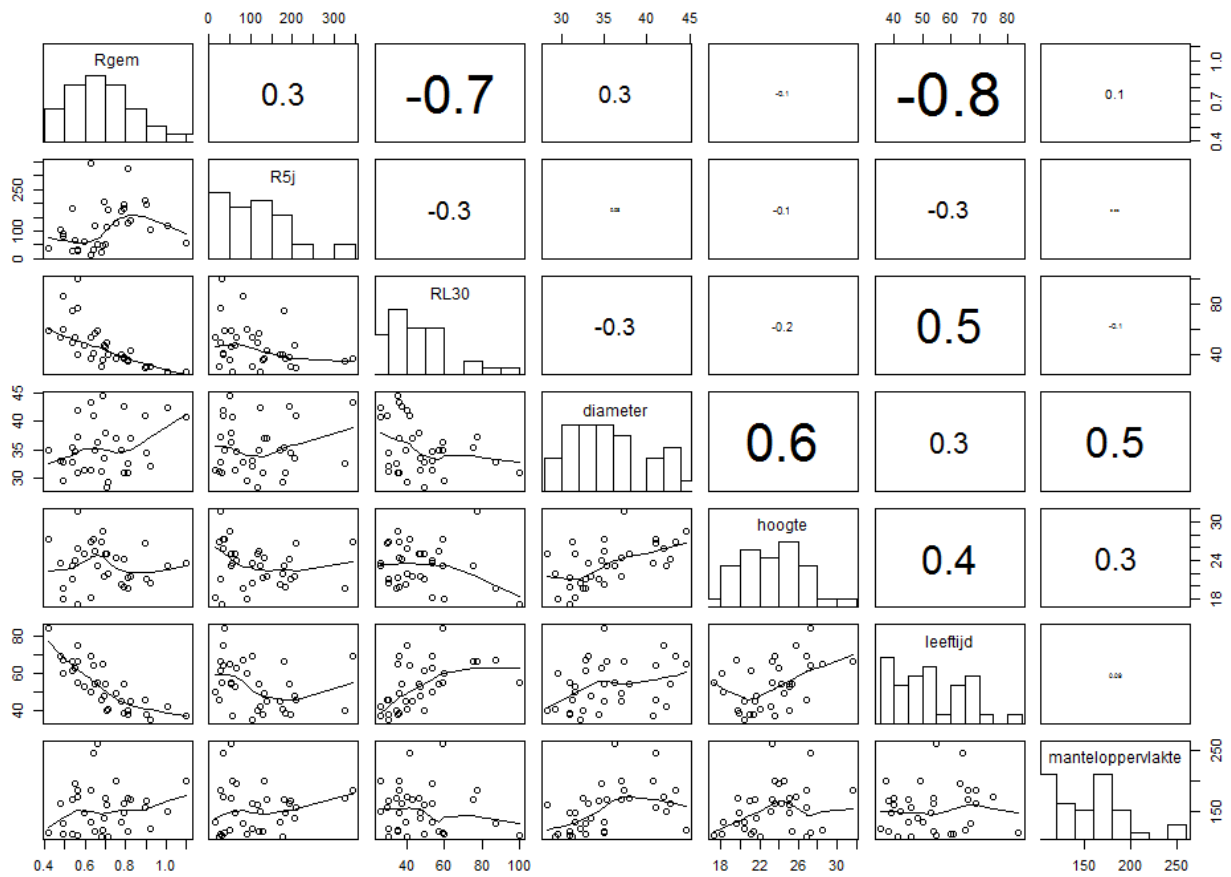




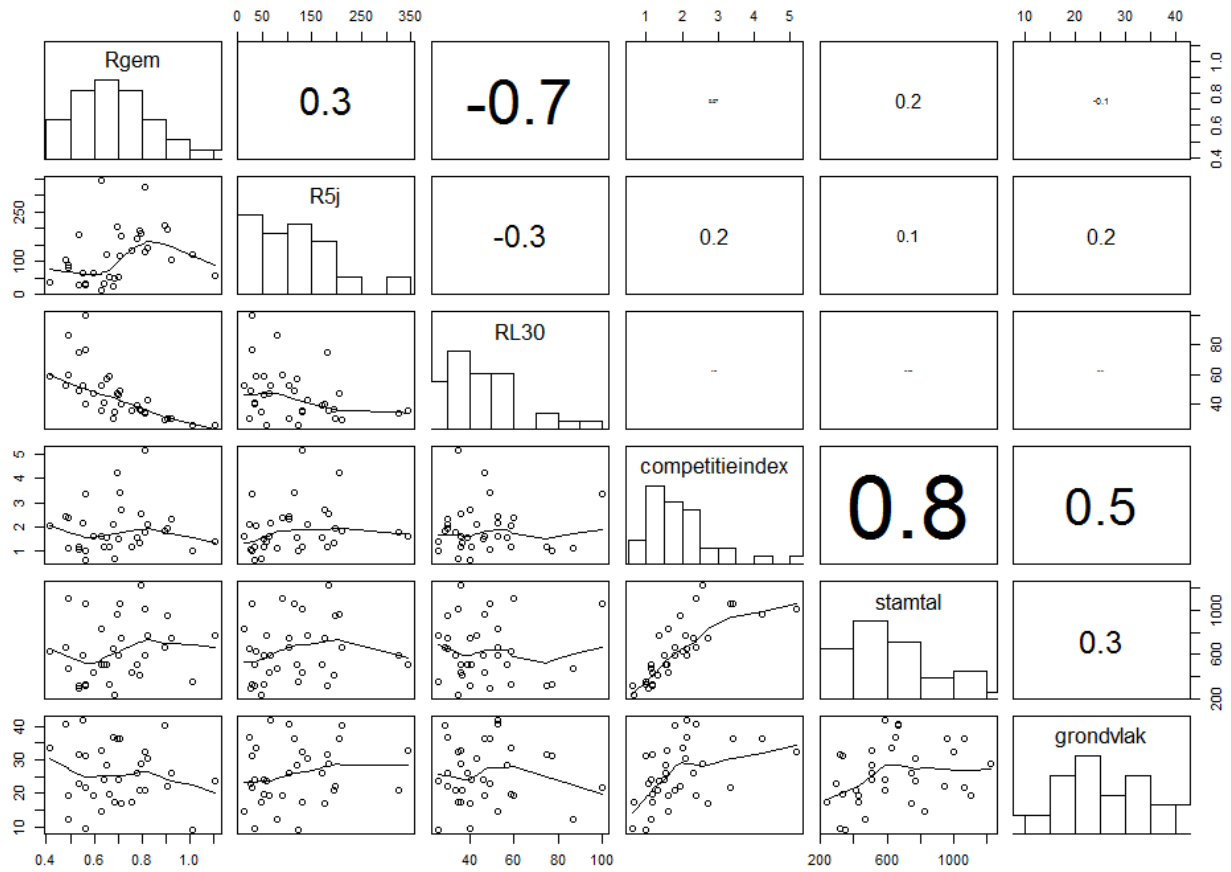




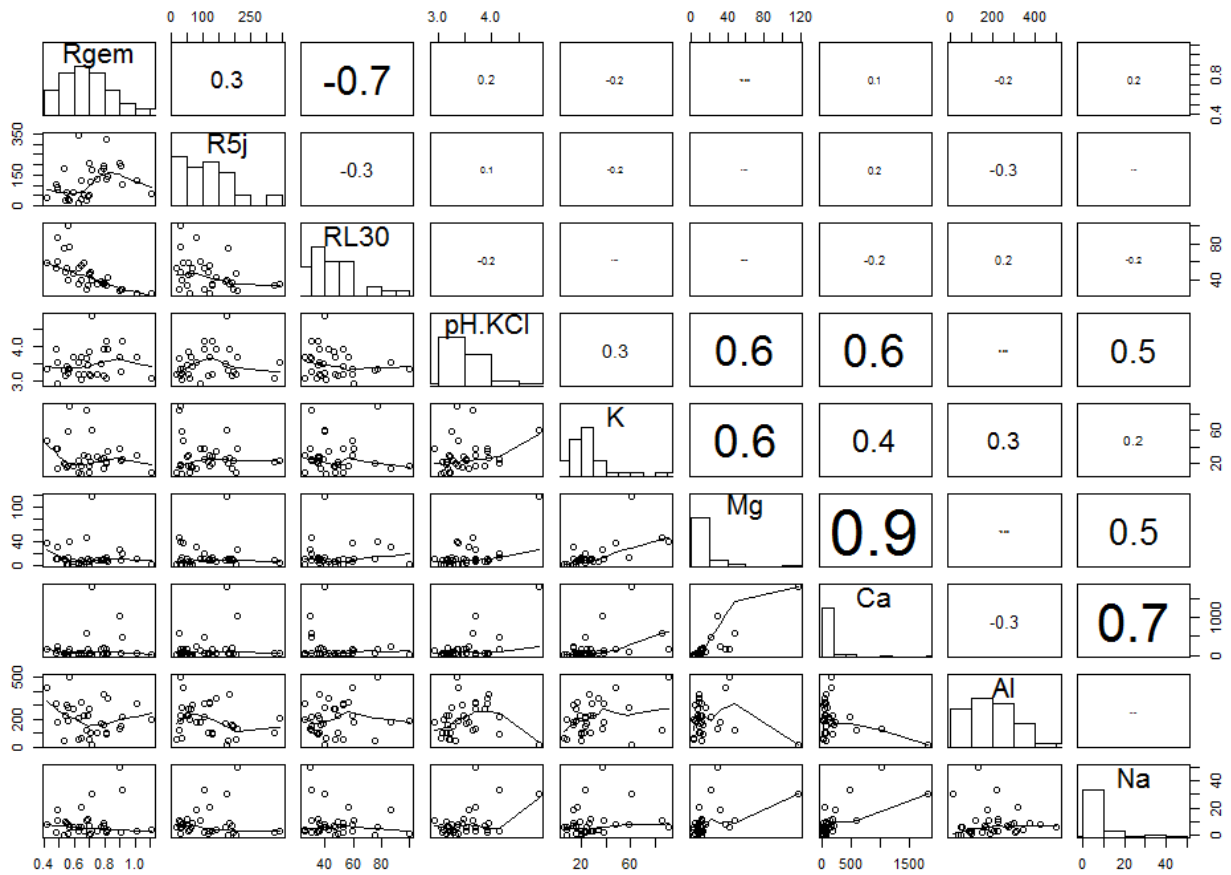
Bijlage 4: Correlaties tussen de boomvariabelen onderling en tussen de boomvariabelen en de responsvariabelen (R). Op de diagonaal is het histogram van elke variabele weergegeven. Onder de diagonaal zijn scatterplots getoond en boven de diagonaal worden de correlatiecoëfficiënten weergegeven. Hoe sterker de correlatie, hoe groter de correlatiecoëfficiënt. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm heeft bereikt.



Bijlage 5: Correlaties tussen de opstandsvariabelen onderling en tussen de opstandsvariabelen en de responsvariabelen (R). Op de diagonaal is het histogram van elke variabele weergegeven. Onder de diagonaal zijn scatterplots getoond en boven de diagonaal worden de correlatiecoëfficiënten weergegeven. Hoe sterker de correlatie, hoe groter de correlatiecoëfficiënt. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm heeft bereikt.



Bijlage 6: Correlaties tussen de bodemvariabelen onderling en tussen de bodemvariabelen en de responsvariabelen (R). Op de diagonaal is het histogram van elke variabele weergegeven. Onder de diagonaal zijn scatterplots getoond en boven de diagonaal worden de correlatiecoëfficiënten weergegeven. Hoe sterker de correlatie, hoe groter de correlatiecoëfficiënt. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm heeft bereikt.



Bijlage 6_vervolg: Correlaties tussen de bodemvariabelen onderling en tussen de bodemvariabelen en de responsvariabelen (R). Op de diagonaal is het histogram van elke variabele weergegeven. Onder de diagonaal zijn scatterplots getoond en boven de diagonaal worden de correlatiecoëfficiënten weergegeven. Hoe sterker de correlatie, hoe groter de correlatiecoëfficiënt. R_{gem} is de gemiddelde diametergroei, R_{5j} is de gemiddelde diametergroei van de laatste 5 jaar en R_{L30} is de leeftijd waarop de boom een diameter van 30 cm heeft bereikt.

