



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Bosontwikkeling na het stopzetten van houtoogst

Een analyse van de bosstructuur in bosreservaten

E. Verkaik

Alterra-rapport 1760, ISSN 1566-7197



Bosontwikkeling na het stopzetten van houtoogst

In opdracht van het ministerie van LNV, uitgevoerd in het cluster Ecologische Hoofdstructuur,
thema Beheer droge EHS (BO-02-003-14)

Bosontwikkeling na het stopzetten van houtoogst

Een analyse van de bosstructuur in bosreservaten

E. Verkaik

Alterra-rapport 1760

Alterra, Wageningen, 2008

REFERAAT

Verkaik, E. 2008. *Bosontwikkeling na het stopzetten van houtoogst, een analyse van de bosstructuur in bosreservaten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1760. 58 blz.; 23 fig.; 9 tab.; 41 ref.

Vanaf 1983 zijn in Nederland zestig bosreservaten aangewezen in het kader van het Programma Bosreservaten. Binnen deze bosreservaten worden in zogenaamde steekproefcirkels gegevens over de bosstructuur verzameld. Het onderzoek dat hier wordt beschreven had als doel om overkoepelende processen en patronen in de bosstructuur van alle bosreservaten te ontdekken. Daarbij wordt in het rapport een vergelijking gemaakt tussen de bosontwikkeling in de bosreservaten en de bosontwikkeling in bos buiten de reservaten. De boompopulatie van het bos in de reservaten blijkt te verschuiven waarbij dikke (oudere) bomen algemener worden en dunne (jonge) bomen in aantallen afnemen. Het bos in de reservaten lijkt verder dichter te worden, waardoor zowel de stamvorm als de kroonvorm van bomen lijken te veranderen.

Trefwoorden: bosdynamiek, bosreservaat, bossen, bosstructuur, monitoring, natuurlijke ontwikkeling.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2008 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methode	15
2.1 De gebruikte gegevens uit de steekproefcirkels	15
2.2 Afgeleide structuurkenmerken	16
2.3 Voorbewerkingen van de gegevens uit de steekproefcirkels	18
2.4 De gegevens uit de Vierde en Vijfde Bosstatistiek	20
3 Structuur van het bos in de bosreservaten	23
3.1 Ligging en samenstelling van de steekproefcirkels	23
3.2 Populatieopbouw	24
3.3 Stamvorm en kroondiepte	25
3.4 Gelaagdheid in bossen op arme bodems	27
4 De ontwikkeling van het bos in de bosreservaten	31
4.1 Ligging van de steekproefcirkels	31
4.2 Ontwikkeling van stamtal en populatieopbouw	31
4.3 Ontwikkelingsfasen	34
4.4 De ontwikkeling van de stam- en kroonvorm	35
4.5 De ontwikkeling van de bosstructuur in grove dennenbos op arme bodem	37
5 Bos buiten de reservaten	41
5.1 Populatieopbouw en stamtallen	41
5.2 Stamvorm buiten de bosreservaten	43
6 Discussie en conclusies	45
Literatuur	49
Bijlage 1 Gebruikte gegevens voor bepaling structuur in bosreservaten	53
Bijlage 2 Gebruikte gegevens voor bepaling ontwikkeling in bosreservaten	55
Bijlage 3 Controle van procedure om tophoogtes toe te kennen	57

Woord vooraf

In dit rapport wordt een analyse gepresenteerd van de ontwikkeling van de bosstructuur in bos waar geen hout meer wordt geoogst. De gegevens die voor deze analyse zijn gebruikt zijn afkomstig uit het langlopende onderzoek dat plaatsvindt in bosreservaten; het zogenaamde bosreservatenprogramma. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Alterra. In de loop van de tijd hebben zeer veel mensen op veel verschillende manieren bijgedragen aan het onderzoek in de reservaten. Ik wil hier met name de huidige beheerder van de database, Toon Helmink, en de huidige veldwerkploeg, Trije Huibers, Geurt van Roekel en Wim van Orden, bedanken voor hun bijdrage aan deze studie. Rienk-Jan Bijlsma en Gert-Jan Nabuurs gaven commentaar op conceptversies van dit rapport. Daarnaast heeft Rienk-Jan Bijlsma bijgedragen aan de procedures in ACCESS, die zijn gebruikt om de inventarisatiedata uit de steekproefcirkels van de bosreservaten te verwerken.

Behalve gegevens uit bosreservaten zijn bij deze studie ook gegevens van de Vierde en Vijfde Bosstatistiek gebruikt. Peter Schnitger van de stichting ProBos stelde de data van de Vierde Bosstatistiek beschikbaar en Wim Daamen van Alterra gaf een toelichting bij de manier waarop de gegevens van de Bosstatistieken in het verleden zijn verwerkt.

Dit rapport is tot stand gekomen door analyses van de bosstructuur in bosreservaten ten behoeve van de projecten Bosreservaten (BO-02-003-014) en Effectiviteit Ecosysteembeheer (BO-02-003-015) binnen het BO-onderzoek in opdracht van LNV.

Samenvatting

Vanaf 1983 zijn in Nederland zestig bosreservaten aangewezen in het kader van het Programma Bosreservaten. De bosstructuur in deze reservaten wordt enerzijds beschreven door een opname te maken in de zogenaamde kernvlakte en daarnaast door opnamen te maken in meerdere steekproefcirkels. De verzamelde gegevens over de bosstructuur in de steekproefcirkels zijn in het verleden al op verschillende manieren geanalyseerd. Wat nog ontbrak was een gestandaardiseerde analyse van de gezamenlijke steekproefcirkel gegevens van al de bosreservaten.

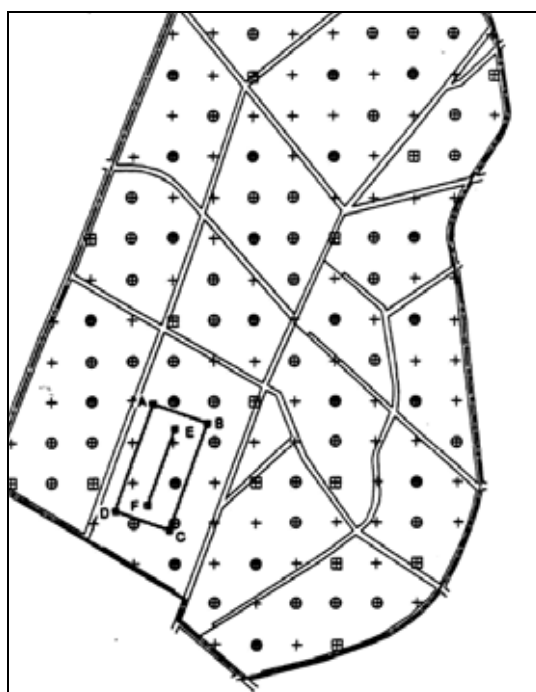
Het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven had als doel om overkoepelende processen en patronen in de bosstructuur van alle reservaten te ontdekken. In dit rapport worden eerst kort de procedures beschreven die bij deze analyses zijn gebruikt. Bij het onderzoek is zowel de toestand van een aantal structuurkenmerken bepaald als de ontwikkeling van een aantal structuurkenmerken in de tijd. Voor de analyse van de toestand van de structuurkenmerken zijn de gegevens van de eerste opnamen in de steekproefcirkels gebruikt. In totaal betreft het de gegevens uit 46 reservaten. Voor de analyse van de ontwikkeling van de structuurkenmerken in de tijd, zijn de gegevens gebruikt uit die steekproefcirkels die in de loop van de tijd meerdere keren zijn geïnventariseerd. Het gaat om de gegevens uit 13 reservaten die inmiddels tweemaal zijn opgenomen. Verder is een vergelijking gemaakt tussen de bosontwikkeling in de bosreservaten en de bosontwikkeling in bos buiten de reservaten, waarvoor de gegevens uit de Vierde en Vijfde Bosstatistiek zijn gebruikt.

Het bos in de reservaten is veelal gelegen op droge, leemarme zandgronden waarbij grove den een boomsoort is die een groot aandeel heeft in het totale grondvlak. De boompopulatie van het bos in de reservaten blijkt te verschuiven waarbij dikke (oudere) bomen algemener worden en dunne (jonge) bomen in aantallen afnemen. Het oppervlakte bos met dunne bomen blijkt sterk te dalen in de reservaten. Een groot deel van het bos in de reservaten bevindt zich in een fase van zelfdunning waarbij stamtallen afnemen en overgebleven bomen hoger en dikker worden.

Het bos in de reservaten lijkt verder dichter te worden. Zo was het stamtal in bos, waar de gemiddelde diameter bijvoorbeeld 20 cm was, in 1999 hoger dan in 1989. Ook het grondvlak was in 1999 hoger dan in 1989. Het op productie gerichte bos buiten de reservaten lijkt nauwelijks dichter te worden, alleen op die plekken waar veel dunne bomen staan. Het dichter worden van het bos in de bosreservaten lijkt effect te hebben op de stamvorm. Stammen zijn smaller en langgerechter geworden. Verder geldt voor veel boomsoorten in de reservaten, dat de kronen dieper zijn geworden en dat de kroonfractie is toegenomen. De oorzaak hiervan is onduidelijk. Met de procedures die voor dit onderzoek zijn opgesteld kunnen in de toekomst vrij eenvoudig nieuwe analyses worden uitgevoerd.

1 Inleiding

Vanaf 1983 zijn in Nederland zestig bosreservaten aangewezen in het kader van het Programma Bosreservaten. Dit programma werd vooral opgezet om de kennis over spontane, natuurlijke processen in bossen te vergroten (Broekmeyer & Szabo 1993; Broekmeyer 1999). De resultaten van het onderzoek in de bosreservaten beïnvloeden inmiddels op verschillende manieren het denken over het Nederlandse bos en het beheer van het Nederlandse bos (Bijlsma 2008). De bosstructuur in een bosreservaat wordt enerzijds beschreven door een opname te maken in de zogenaamde kernvlakte en anderzijds door opnamen te maken in meerdere steekproefcirkels (Stuurman & Clement 1993; Broekmeyer et al. 1997; Bijlsma 2008) (Figuur 1).



Figuur 1. Bosreservaat met de kernvlakte, de ruitennetpunten (+), de in het bos gemarkeerde ruitennetpunten (□) en steekproefcirkels (○) (Broekmeyer et al. 1997).

In de kernvlakte, die 1 ha groot is, wordt informatie verzameld over bodemvegetatie en bosstructuur. De gegevens uit de kernvlakte kunnen met GIS procedures worden geanalyseerd en zijn erg geschikt voor een analyse van de ruimtelijke bosstructuur (Koop & Bijlsma 2006). Naast de kernvlakte is in ieder reservaat een ruitennet aangebracht, van 50 x 50 m. Vervolgens is een selectie van de ruitennetpunten aangewezen als middelpunt van de zogenaamde steekproefcirkels (Figuur 2). Deze steekproefcirkels hebben ieder een oppervlakte van 500m². In dit rapport worden gegevens uit deze steekproefcirkels gepresenteerd.

De verzamelde gegevens over de bosstructuur in de steekproefcirkels zijn in het verleden al op verschillende manieren geanalyseerd. Voor een groot aantal

afzonderlijke bosreservaten bestaan er rapporten waarin hun structuur en structuurontwikkeling wordt beschreven. Hierbij heeft iedere analyse en ieder rapport steeds één reservaat als onderwerp. Bijvoorbeeld een rapport over de bosstructuur in reservaat Galgenberg (Szabo et al. 1996) of een rapport over de ontwikkeling van de bosstructuur in hetzelfde reservaat (Clerkx et al. 1996). Een beeld dat uit deze rapporten naar voren komt is dat ieder bosreservaat uniek is. De beheersgeschiedenis verschilt sterk tussen de reservaten evenals de boomsoortensamenstelling. Verder liggen de reservaten verspreid over Nederland in een groot aantal verschillende fysiotopen. Ondanks de verschillen tussen de reservaten zijn er ontwikkelingen in de bosstructuur die in meerdere reservaten tegelijkertijd spelen. Een voorbeeld hiervan is de toename van de hoeveelheid dood hout. Er zijn daarom ook studies uitgevoerd waarbij de gegevens uit meerdere reservaten tegelijkertijd werden geanalyseerd. Zo is er onderzoek gedaan naar de samenstelling en de ontwikkeling van dit dode hout in de bosreservaten (Van Hees & Clerkx 1999; Jagers Op Akkerhuis et al. 2005; Wijdeven et al. 2005; Wijdeven 2006). Maar ook is er een overzicht gegeven van de verjonging in bossen op arme bodems (Clerkx & Van Hees 1999). Verder is de ontwikkeling onderzocht van de bosstructuur, vegetatie en bodem in een aantal bosreservaten op stuifzand (Bijlsma et al. 2005). Kint (2003) deed onderzoek naar de bosstructuur in een aantal bosreservaten met grove dennenbos. Dit soort studies leveren een beeld op van de overkoepelende processen die plaatsvinden in de bosreservaten.

Wat nog ontbreekt, is een analyse van de gezamenlijke steekproefcirkelgegevens van alle bosreservaten. Dit rapport beschrijft de procedures die bij deze analyse kunnen worden gebruikt en presenteert de eerste resultaten.

Het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven had als doel om overkoepelende processen en patronen in de bosstructuur van alle reservaten te ontdekken. Om te achterhalen in hoeverre de ontwikkelingen uniek zijn voor de bosreservaten is ook een vergelijking gemaakt met het bos buiten de reservaten.

Vragen die bij dit onderzoek als leidraad zijn gebruikt waren:

- hoe ziet de huidige bosstructuur van de reservaten eruit?
- hoe ontwikkelt de bosstructuur zich in de bosreservaten?
- vinden soortgelijke ontwikkelingen plaats in bos waar nog wel hout wordt geoogst?

Maar wat wordt onder bosstructuur verstaan? Bosstructuur is op verschillende schaalniveaus te definiëren, zoals op boomniveau, opstandsniveau of het niveau van meerdere opstanden (Steenwoerd 2006). Franklin et al. (2002) maken onderscheid tussen enerzijds individuele structuurelementen in het bos en anderzijds de ruimtelijke verdeling van deze structuurelementen. Voorbeelden van individuele structuurelementen zijn de levende bomen, de liggende dode stammen of de wortelkuilen. Bij de ruimtelijke verdeling van de elementen gaat het bijvoorbeeld om de verticale verdeling van kroonlagen in het bos of de horizontale verdeling van de levende bomen.

In deze studie staan de levende bomen centraal. Aspecten die hierbij zijn meegenomen zijn het **stamtal, de populatieopbouw, menging, ontwikkelingsfasen, stam- en kroonvorm en verticale gelaagdheid**. Een belangrijk en veelgenoemd aspect van de bosstructuur dat niet werd meegenomen is het voorkomen van gaten (patches, of gaps) in het kronendak (Koop 1981; Spies & Turner 1999; Franklin et al. 2002). Dit aspect is niet meegenomen omdat in de steekproefcirkels geen gegevens worden verzameld over de bedekkingen van bomen. Daarnaast zijn de steekproefcirkels met 500m² relatief klein voor bepalingen van bijvoorbeeld de grootte van gaten in het bos. De kernvlaktes die in de bosreservaten liggen zijn met name voor dit soort analyses geschikt (Koop & Bijlsma 2006; Bijlsma 2008). Verder is het aspect dood hout in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten omdat hier al eerder overkoepelende studies naar zijn gedaan.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt meer informatie gegeven over de gebruikte gegevens en de manier waarop de gegevens zijn verwerkt en geanalyseerd. De hoofdstukken 3 tot en met 5 bevatten de resultaten. In hoofdstuk 3 wordt de toestand van de bosstructuur tijdens de eerste inventarisatie beschreven. Een aantal bosreservaten is inmiddels tweemaal geïnventariseerd en in hoofdstuk 4 wordt de ontwikkeling in de tijd van een aantal structuurkenmerken weergegeven. In hoofdstuk 5 wordt kort de bosstructuur in op productiegericht bos buiten de bosreservaten geschetst. Hiervoor zijn de gegevens uit de Vierde en Vijfde Bosstatistiek gebruikt. In de hoofdstukken 3-5 worden de resultaten meestal gelijk bediscussieerd. In hoofdstuk 6 worden de resultaten uit de verschillende hoofdstukken met elkaar gecombineerd.

2 Methode

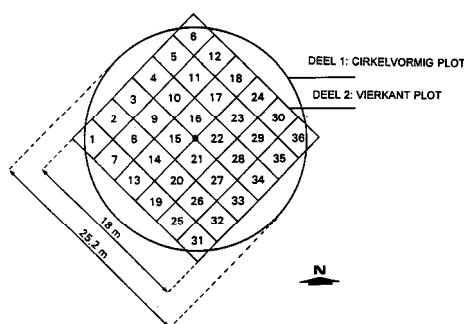
2.1 De gebruikte gegevens uit de steekproefcirkels

Zoals vermeld in de inleiding zijn voor deze studie de gegevens uit de steekproefcirkels van de bosreservaten gebruikt. In de steekproefcirkels worden alle bomen en struiken, levend en dood, met een stamdiameter groter dan 5 cm opgemeten (Broekmeyer et al. 1997). Van deze bomen en struiken wordt een groot aantal kenmerken vastgelegd (Tabel 1), zie ook (Broekmeyer et al. 1997). In het vervolg van het rapport wordt veelal over bomen gesproken, maar daar worden dan zowel boom- als struikvormende houtige planten bedoeld.

Tabel 1. Kenmerken die worden vastgelegd van de bomen en struiken in de steekproefcirkels

Kenmerk	Omschrijving en eenheid
Boomnummer	Iedere levende boom of struik in de cirkel krijgt een eigen nummer
Volgnummer	Stammen aan een boom, met een dbh > 5 cm, worden genummerd
Vorm	Code die aangeeft of een boom op 1.3 m hoogte uit één of meerdere stammen bestaat
Boomsoort of struiksoort	Unieke soortcode
Hoek en afstand t.o.v. midden van de cirkel	De positie van de boom wordt vastgelegd, in graden en meters
Stamdiameter op borsthoogte	In centimeters
Tophoogte	Het hoogste punt van de levende kroon, in meters
Kroonaanzet	De onderkant van de levende kroon, in meters
Status	Informatie over de toestand (levend, dood) en de vitaliteit

Daarnaast wordt in veel steekproefcirkels informatie over de 'verjonging' verzameld. Verjonging zijn de levende bomen en struiken met een diameter kleiner dan 5 centimeter maar met een hoogte groter dan 50 cm. Deze verjonging wordt geteld in een vierkant van 18 x 18 meter binnen de steekproefcirkels (Figuur 2).



Figuur 2. Schematische voorstelling van een steekproefcirkel, met daarin het vierkante plot waarin de verjonging wordt geteld (Broekmeyer et al. 1997).

Hier zijn voor de analyses gegevens gebruikt uit die bosreservaten waar, in het jaar van de inventarisatie, zowel een inventarisatie van de bosstructuur als van de verjonging plaatsvond. Bomen kunnen zowel enkelstammig als meerstammig zijn. Bij

meerstammige bomen heeft een boom op borsthoogte meerdere stammen met een diameter groter dan 5 cm. Enkelstammige bomen hebben op bosthoogte slechts één stam met een diameter groter dan 5 cm. Hier zijn de gegevens van de levende stammen gebruikt. Stammen die dus zowel aan enkel- als aan meerstammige bomen kunnen zitten. Alleen bij de analyse van kroon- en stamvorm zijn slechts de gegevens van levende enkelstammige bomen gebruikt.

Bij dit onderzoek is zowel de toestand van een aantal structuurkenmerken bepaald als de ontwikkeling van een aantal structuurkenmerken in de tijd. Voor de analyse van de toestand van de structuurkenmerken, waarvan de resultaten zijn weergegeven in Hoofdstuk 3, zijn voor ieder reservaat de gegevens uit de eerste opname gebruikt. In totaal betreft het de gegevens uit 46 reservaten (zie Bijlage 1). In Hoofdstuk 4 wordt de ontwikkeling van de structuurkenmerken in de tijd geschetst. Voor die analyse zijn de gegevens gebruikt uit die steekproefcirkels die in de loop van de tijd meerdere keren zijn geïnventariseerd. Het gaat om de gegevens uit 13 reservaten die inmiddels tweemaal zijn opgenomen (zie Bijlage 2).

2.2 Afgeleide structuurkenmerken

De gegevens die in de steekproefcirkels zijn verzameld (Tabel 1) zijn gebruikt om een aantal structuurkenmerken te berekenen (Tabel 2). Hieronder worden deze kenmerken toegelicht.

Tabel 2. De structuurkenmerken die werden afgeleid uit de basisgegevens

Kenmerk	Omschrijving en eenheid
Grondvlak	Oppervlakte van de doorsneevlakken van alle levende stammen in de cirkel, in m ²
Hoofdboomsoort	De boomsoort die meer dan 50% van het totale grondvlak in de steekproefcirkel uitmaakt (naar Clercx & Van Hees 1999)
Menging	Menging in de cirkel aanwezig wanneer de soort met het grootste grondvlakaandeel minder dan 80% van het totale grondvlakaandeel uitmaakt (Dirkse et al. 2007)
Hoogteklasse	Bomen en struiken zijn op basis van hun tophoogte in vier hoogteklassen ingedeeld.
Populatieopbouw	Indeling van stammen in diameterklassen
Stamtal	Aantal levende stammen, in stuks per hectare
Ontwikkelingsfase	De ontwikkelingsfase waarin de steekproefcirkel verkeert, gebaseerd op de ontwikkeling van het stamtal en de gemiddelde diameter
h/d verhouding	Verhouding tussen hoogte en diameter, in m/cm
Kroondiepte	Verskil tussen de hoogte van de stam en de hoogte waarop de levende kroon begint, in meters

Grondvlak

De stamdiameters werden gebruikt om van iedere stam het grondvlak te bepalen: het loodrechte doorsneevlak van de stam op borsthoogte. Het grondvlak van de steekproefcirkel werd vervolgens berekend door de grondvlakken van de stammen te sommeren.

Hoofdboomsoort

Met deze grondvlakken werd de 'hoofdboomsoort' van de steekproefcirkel berekend. De hoofdboomsoort is hierbij gedefinieerd als die boomsoort die meer dan 50% van het totale grondvlak van de steekproefcirkel uitmaakt.

Menging

Voor menging werd hierbij de definitie uit de Vijfde Nederlandse Bosstatistiek gehanteerd, waarbij een bos gemengd is wanneer de soort met het grootste grondvlakaandeel minder dan 80% van het totale grondvlakaandeel uitmaakt (Dirkse et al. 2007). Eenheid: wel of niet gemengd.

Hoogteklassen

Om de verticale gelaagdheid in de steekproefcirkels te analyseren zijn de bomen en struiken die aanwezig waren in een steekproefcirkel in vier hoogteklassen ingedeeld. De onderste vegetatielaag bevat de bomen met een tophoogte van 0 tot en met 10 m, de tweede vegetatielaag bevat de bomen met een tophoogte van 10 tot en met 20 m, de derde vegetatielaag bevat de bomen met een tophoogte van 20 tot en met 30 m, en de vierde vegetatielaag bevat de bomen met een hoogte groter dan 30 m.

Populatieopbouw

Voor het weergeven van de gemiddelde populatieopbouw van de stammen per steekproefcirkel, werden de stammen eerst in diameterklassen ingedeeld waarna per diameterklasse het aantal stammen van alle steekproefcirkels werd gesommeerd. Vervolgens werd het aantal stammen in een diameterklasse uitgedrukt in aantal per ha, door deze som te delen door de totale oppervlakte van alle steekproefcirkels.

Ontwikkelingsfase

Er zijn vier ontwikkelingsfasen onderscheiden, gebaseerd op de ontwikkeling van het stamtal en de gemiddelde diameter van de stammen in de cirkel (Coomes & Allen 2007) (Tabel 9).

Stamtal en diameter-stamtalcurve

Het aantal aanwezige stammen in een steekproefcirkel is gebruikt om voor iedere steekproefcirkel een stamtal per hectare te berekenen. Voor het construeren van een diameter-stamtalcurve is daarnaast per steekproefpunt de gemiddelde diameter van alle stammen uitgerekend. De diameter- en stamtal gegevens van alle steekproefpunten samen, leverden vervolgens een diameter-stamtalcurve op.

Kroondiepte

Bij de analyse van de kroonvorm werd de kroondiepte berekend als het verschil tussen de tophoogte en de hoogte van de kroonaanzet. Bij de inventarisaties van steekproefcirkels worden van de levende bomen de tophoogte en de hoogte van de kroonaanzet tot op een halve meter nauwkeurig gemeten of geschat. Het punt waar de onderste bebladering begint geldt hierbij als de kroonaanzet, waarbij kleine takjes en waterlot buiten het aaneengesloten kroonverband buiten beschouwing worden gelaten (Broekmeyer et al. 1997).

2.3 Voorbewerkingen van de gegevens uit de steekproefcirkels

Samenvatten van de gegevens op steekproefcirkelniveau

De informatie over de bomen in de steekproefcirkels van de bosreservaten wordt opgeslagen in een ACCESS database in een tabel met de naam tblOpnCirkel. Hierin vormen de individuele stammen de records (Tabel 3). Voor het beschrijven en analyseren van de bosstructuur, met bijvoorbeeld het statistische programma SPSS, is het vaak praktischer om met tabellen te werken waarbij de gegevens op steekproefcirkelniveau zijn samengevat. Daarbij vormen de steekproefcirkels dus de records. Om de tabel tblOpnCirkel om te zetten naar tabellen met steekproefcirkels als records, zijn in ACCESS twee procedures gemaakt. Deze procedures worden hieronder kort beschreven.

Tabel 3 Een stukje van de tabel tblOpnCirkel. In de tabel zijn de individuele stammen uit al de reservaten en steekproefcirkels als rijen onder elkaar weergegeven.

Reservaatnummer	Jaar	Steekproefcirkel	Boomnummer	Volgnummer	Diameter	Boomsoort
26	1992	B03	1	0	15	Beuk
26	1992	B03	2	0	15	Zomereik
26	1992	B03	2	1	7	Zomereik
28	1988	A01	1	0	5	Grove den

ProcedureStatsTabel

Deze procedure vat een groot aantal gegevens uit tblOpnCirkel samen in de tabel tblStats (Tabel 4). Eerst worden in een tijdelijk tabel, de tabel tblTmpStats, de gegevens van één steekproefcirkel nog in een groot aantal rijen samengevat. Aan het eind van de procedure worden vervolgens de rijen per steekproefcirkel en boomsoort samengevat en weggeschreven naar de tabel tblStats. In de tabel tblStats zijn per steekproefcirkel meerdere records aanwezig: een record met informatie over de steekproefcirkel als geheel, een record met informatie over de menging in de cirkel en records met informatie over individuele boomsoorten (Tabel 4).

Tabel 4 Een stukje van de tabel tblStats. In de tabel zijn de gegevens van één steekproefcirkel in meerdere rijen samengevat, waarbij de gegevens van één boomsoort op één rij staan..

Reservaat	Jaar	Steekproefcirkel	Boomsoort	Aantal	Staande dode bomen	Gemiddelde hoogte
26	1992	B03	Grove den	10		
26	1992	B03	Beuk	1		
26	1992	B03			2	10

ProcedureCumStats

Deze procedure gebruikt de tblStats als input en geeft uiteindelijk in de tblCumStats de gegevens van één steekproefcirkel in één rij weer (Tabel 5). Eerst wordt de lay-out van de tabel tblCumStats gemaakt, zodat de juiste kolommen, met de juiste boomsoortennamen aanwezig zijn. Vervolgens worden van individuele boomsoorten de gegevens naar tblCumStats geschreven. De algemene gegevens op steekproefcirkelniveau worden in de tabel tblTmpStats2 samengevat, waarna de tabel tblCumStats met deze gegevens wordt bijgewerkt.

Tabel 5. Een stukje van de tabel tblCumStats. In de tabel zijn de gegevens van één steekproefcirkel op één rij samengevat.

Reservaat	Jaar	Steekproefcirkel	Gem. diameter	Gem. hoogte	Staande dode bomen	Aantal groveden
26	1992	B01	22	15.5	0	0
26	1992	B03	9	10	2	10
27	1998	A01	30	16	5	0

Status en tophoogte van stammen aan meerstammige bomen

Bomen in de steekproefcirkels kunnen zowel enkelstammig als meerstammig zijn. Enkelstammige bomen hebben op bosthoogte slechts één stam met een diameter groter dan 5 cm terwijl meerstammige bomen op borsthoogte meerdere stammen hebben met een diameter groter dan 5 cm. Bij de opname van de steekproefcirkels wordt van enkelstammige bomen de hoogte gemeten of geschat en wordt van een meerstammige boom alleen de hoogte van de hoogste stam gemeten of geschat (Broekmeyer et al. 1997). De overige stammen krijgen niet meteen een hoogte toegekend. Aan bomen wordt verder een status toegekend, waaruit onder andere blijkt of de boom leeft of dood is. Bij meerstammige bomen wordt deze status toegekend aan de hoogste stam en verder alleen aan die stammen waarvan de status afwijkt van deze hoofdstam (Broekmeyer et al. 1997).

Bij de Vierde en Vijfde Bosstatistiek wordt informatie verzameld over alle aanwezige *stammen* in de steekproefpunten (Anonymous 1988; Daamen & Dirkse 2005). Om de gegevens van de bosreservaten met die van de Bosstatistieken te kunnen vergelijken was het nodig dat van alle stammen in de steekproefcirkels de hoogte en de status bekend was. Om dit te bereiken zijn de volgende bewerkingen uitgevoerd.

Eerst werd aan de stammen van meerstammige bomen die nog geen status hadden, de status toegekend van de betreffende hoofdstam. Iedere stam krijgt bij de opname van de steekproefcirkel wel een diameter en deze diameters zijn gebruikt om van de stammen aan meerstammige bomen zonder tophoogte de tophoogtes te schatten. Bij deze methode werd de tophoogte van de hoofdstam gedeeld door de diameter van de hoofdstam, wat een wegingsfactor opleverde. Vervolgens werd de tophoogte van de stam zonder tophoogte berekend door deze wegingsfactor met de diameter van de stam te vermenigvuldigen. Wanneer de berekende tophoogte lager was dan de aanzethoogte (kroonaanzet) werd de aanzethoogte als hoogte voor de stam gebruikt. Wanneer de berekende tophoogte groter was dan de al bekende tophoogte voor die boom, werd de bekende tophoogte gebruikt als tophoogte voor die stam. Voordat de bovenstaande methode werd toegepast is deze methode eerst nog gecontroleerd met

behulp van gegevens van meerstammige bomen waarvan we de tophoogten van al de stammen wel kenden (zie Bijlage 3).

2.4 De gegevens uit de Vierde en Vijfde Bosstatistiek

De ontwikkelingen die werden gevonden in de bosreservaten zijn vergeleken met de ontwikkelingen in opgaand bos dat niet als bosreservaat wordt beheerd. Hiervoor zijn de data uit de Vierde Bosstatistiek (1984-1985) en Vijfde Nederlandse Bosstatistiek (2001-2005) gebruikt. Bij de Vierde Bosstatistiek werden binnen het onderdeel 'overige statistieken bosterrein' in zo'n 3400 steekproefpunten gegevens verzameld over de houtvoorraad in bosterrein. Hierbij werden binnen de steekproefpunten van een drietal bomen de hoogte gemeten en van al de bomen de hoogte geschat (Stuurman 1987; Anonymous 1988). De Vijfde Bosstatistiek wordt ook wel Meetnet Functie Vervulling Bos genoemd (MFV). Bij de Vijfde Bosstatistiek werden 3622 steekproefpunten in bosterrein geïnventariseerd. Hierbij werd in de steekproefpunten steeds van één proefboom de hoogte gemeten (Daamen & Dirkse 2005; Dirkse et al. 2007).

Bij beide bosstatistieken liggen de steekproefpunten in verschillende categorieën bosterrein. Zo is opgaand bos geïnventariseerd, maar liggen er ook steekproefpunten in bijvoorbeeld singels of parkbossen. Voor de vergelijkingen hier, zijn bij de Vijfde Bosstatistiek de steekproefcirkels binnen de terreintypen 'gelijkjarig', 'ongelijkjarig', 'omvorming' en 'kapvlakte' (codes 11, 12, 13 en 14) genomen. Bij de Vierde Bosstatistiek zijn de steekproefcirkels binnen de vergelijkbare terreintypen 'Uitkapbos', 'Leegkapbos' en 'Kapvlakte' gekozen (codes 11, 12 en 13). Voor de Vijfde Bosstatistiek betreft het dan de gegevens uit 2448 cirkels en voor de Vierde Bosstatistiek de gegevens uit 1991 cirkels. Een reden om voor deze terreintypen te kiezen is dat het opgaand bos betreft. Ook de bosreservaten zijn veelal gelegen in opgaand bos. Verder hebben deze terreintypen een duidelijke productiecomponent wat interessant is voor de vergelijking met de bosreservaten waar juist geen houtoogst meer plaatsvindt. Daarnaast is een vergelijking mogelijk met gegevens die Daamen et al. (2007) publiceerde over de ontwikkeling in het Nederlandse bos. Voor dat artikel zijn dezelfde categorieën gebruikt.

Om gegevens over al de bomen in de plots uit te rekenen (dood en levend) zijn bij de Vierde Bosstatistiek de bomen uit al de boomklassen meegenomen. Bij de Vijfde Bosstatistiek is het liggende dode hout weggelaten (boomklassen 6 en 7) omdat deze klasse bij de Vierde Statistiek niet bestond. Wanneer gegevens over alleen de levende bomen zijn uitgerekend is bij de Vierde Bosstatistiek de boomklasse 6 (dood) weggelaten en zijn bij de Vijfde Bosstatistiek alleen de eerste drie boomklassen (hoofdopstand, onderopstand, overstaander) meegenomen.

De gegevens van de Vierde en Vijfde Bosstatistiek zijn ook gebruikt om de stamvorm van bomen in het op productie gerichte Nederlandse bos te onderzoeken. Bij de Vierde Bosstatistiek werden binnen de steekproefpunten van een drietal bomen de hoogte gemeten en van al de bomen de hoogte geschat (Stuurman 1987;

Anonymous 1988). Hier zijn de gegevens van bomen met hun geschatte boomhoogten gebruikt. Er is niet met de gemeten hoogte van de proefbomen gewerkt omdat deze proefbomen geen random selectie van bomen betrof. Bij de metingen aan de proefbomen werd namelijk in ieder steekproefpunt steeds de hoogte van één heersende boom, één medeheersende boom en één beheerste boom gemeten. Bij de Vijfde Bosstatistiek werd in ieder steekproefpunt van de aanwezige soorten steeds van één proefboom de hoogte gemeten (Daamen & Dirkse 2005). Dit betrof steeds de eerste boom die per soort in het steekproefpunt werd aangetroffen. Voor het bepalen van de stamvorm van de bomen tijdens de Vijfde Bosstatistiek hebben we de gegevens van deze proefbomen gebruikt.

Voor het weergeven van de populatieopbouw van het Nederlandse bos is een andere methode gebruikt dan bij de bosreservaten. Bij de landelijke bosinventarisaties worden de oppervlakten van de steekproefpunten niet constant gehouden zoals bij de bosreservaten, maar variëren ze afhankelijk van de dichtheid aan bomen. Voor het berekenen van de populatieopbouw is daarom eerst een populatieopbouw per steekproefpunt gegenereerd. Dit is gedaan door de stammen in de plots in te delen in diameterklassen. Vervolgens is per diameterklasse het aantal aanwezige stammen in de plot gedeeld door de oppervlakte van de betreffende plot. Daarna is de gemiddelde populatieverdeling van al de plots berekend, door per diameterklasse de stamtallen van al de plots op te tellen en de uitkomst te delen door het totaal aantal plots. Op dezelfde wijze werden al eerder figuren van de populatieopbouw van het Nederlandse bos gemaakt (Daamen et al. 2007) (mondelinge mededeling Wim Daamen).

De diameter-stamtalcurven zijn wel op soortgelijke wijze gemaakt als bij de bosreservaten. Eerst is een gemiddelde diameter en een totaal stamtal per steekproefpunt bepaald, vervolgens zijn de gegevens van al de steekproefpunten in één figuur weergegeven.

3 Structuur van het bos in de bosreservaten

3.1 Ligging en samenstelling van de steekproefcirkels

In totaal zijn de gegevens van 1889 steekproefcirkels uit 46 reservaten gebruikt (Bijlage 1). Het gemiddelde opnamejaar van een cirkel was 1993. Meer dan de helft van deze steekproefcirkels was gelegen op een droge, kalkarme en zanderige ondergrond, genaamd fysiotoop Hz (Tabel 6) (De Waal 2007). Dit fysiotoop is aanwezig op de hogere zandgronden en in de kustduinen. Een tweede fysiotoop met veel steekproefcirkels was het leemhoudende fysiotoop Hlz. Ook dit fysiotoop is gelegen op de hogere zandgronden. Op de overige fysiotopen waren veel minder bosreservaten en dus steekproefcirkels aanwezig.

Tabel 6. De verdeling van de steekproefcirkels over fysisch geografische regio's, fysiotopen en hoofdboomsoorten. FGR: HL= Heuveland, HZ= Hogere zandgronden, KD= Kustduinen, LV= Laagveengebied, RG= Rivierengebied, ZG= Zeekleigebied.

Fysisch geografische regio	Fysiotoop		Hoofdboomsoort					Totaal aantal cirkels	Aandeel van totaal (%)	
			Grove den	Zomereik	Beuk	Berk	Overig			
HL,	Grondwatergevoed	Hg		7				92	99	5.2
HL	Kalkrijk, leemrijk	Hk		4				44	48	2.5
HL,HZ	Kalkarm, leemrijk	Hl	3	4	12	14		107	140	7.4
HZ	Leemhoudend	Hlz	57	66	46	36		210	415	22.0
HZ	Regenwatergevoed, nat	Hr				2		18	20	1.1
HZ,KD	Droog, kalkarm, leemarm	Hz	617	153	3	28		167	968	51.2
KD	Droog, kalkrijk	Kk		51				28	79	4.2
LV	Laagveen	Lv		5				30	35	1.9
RG,ZG	Binnendijks kleig	Rg		15	5			65	85	4.5
Totaal aantal cirkels			677	305	66	80			1889	100
Aandeel van totaal (%)			35.8	16.1	3.5	4.2	40.3			

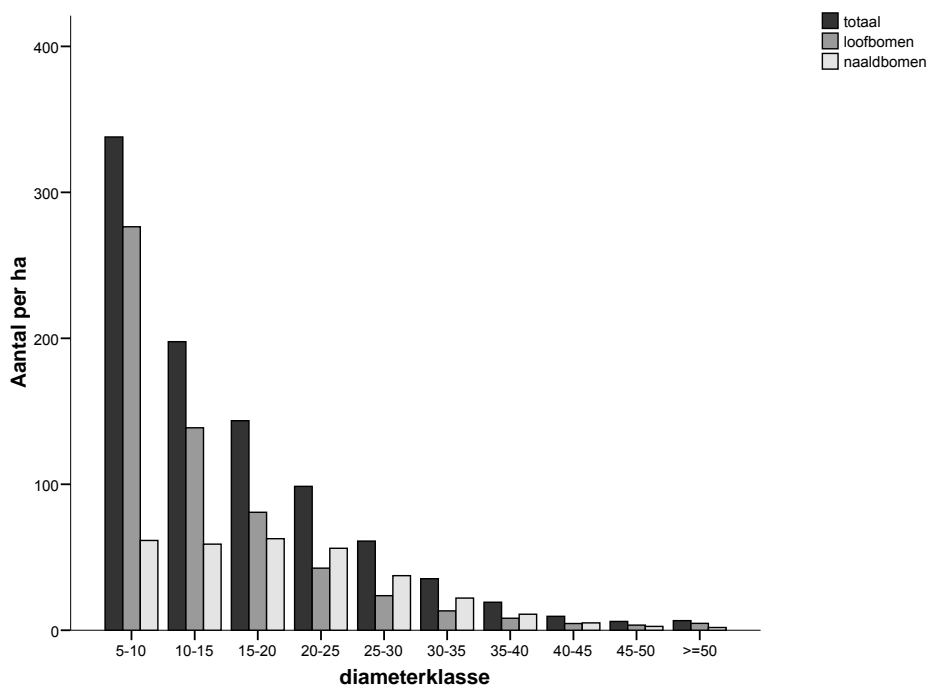
Het grondvlak werd gebruikt om de hoofdboomsoort van steekproefcirkels te bepalen (zie Tabel 2). De hoofdboomsoort die het meest voorkwam in de steekproefcirkels was grove den in 36% van de steekproefcirkels (Tabel 6). Deze cirkels lagen vooral op de fysiotopen Hz en Hlz. Ook zomereik was vaak hoofdboomsoort (Tabel 6). Het grondvlak is ook gebruikt om de menging (zie voor definitie Tabel 2) van het bos in de steekproefcirkels uit te rekenen. 44% van de cirkels bleek gemengd en 56% van de cirkels ongemengd (Tabel 7). In 56% van de cirkels hadden de mengboomsoorten samen dus minder dan 20% van het grondvlakaandeel. Vooral de steekproefcirkels van het droge en kalkarme fysiotoop Hz waren vaak ongemengd (Tabel 7).

Tabel 7. Percentage van de steekproefcirkels waar bos wel of niet gemengd is voor de verschillende fysiotoepen.

Fysiotoop		Menging (% van aantal cirkels)		
		Ongemend	Gemengd	Onbepaald
Grondwatergevoed	Hg	44.4	55.6	
Kalkrijk, leemrijk	Hk	6.3	93.8	
Kalkarm, leemrijk	Hl	22.1	77.9	
Leemhoudend	Hlz	48.4	51.1	0.5
Regenwatergevoed, nat	Hr	45.0	55.0	
Droog, kalkarm, leemarm	Hz	69.3	29.9	0.8
Droog, kalkrijk	Kk	60.8	39.2	
Laagveen	Lv	17.1	82.9	
Binnendijks kleig	Rg	51.8	47.1	1.2
Totaal		56.0	43.5	0.6

3.2 Populatieopbouw

In totaal waren er 86694 levende stammen met een diameter groter of gelijk aan 5 cm aanwezig in de 1889 steekproefcirkels. Dit komt neer op een gemiddeld stamtaal van bijna 920 per ha. 35% van deze stammen behoorde tot de naaldbomen en 65% van de stammen tot de loofbomen. Opvallend bij de verdeling van de loof- en naaldbomen was dat er in de bosreservaten veel dunne loofbomen aanwezig waren en maar relatief weinig dunne naaldbomen (Figuur 3). In de hogere diameterklassen was dit omgekeerd en was het aantal naaldbomen juist groter dan het aantal loofbomen. Ook voor de steekproefcirkels gelegen op het droge kalkarme en leemarme fysiotoop Hz was deze verdeling aanwezig, met relatief veel dunne (jonge) loofbomen en veel dikkere (oudere) naaldbomen.

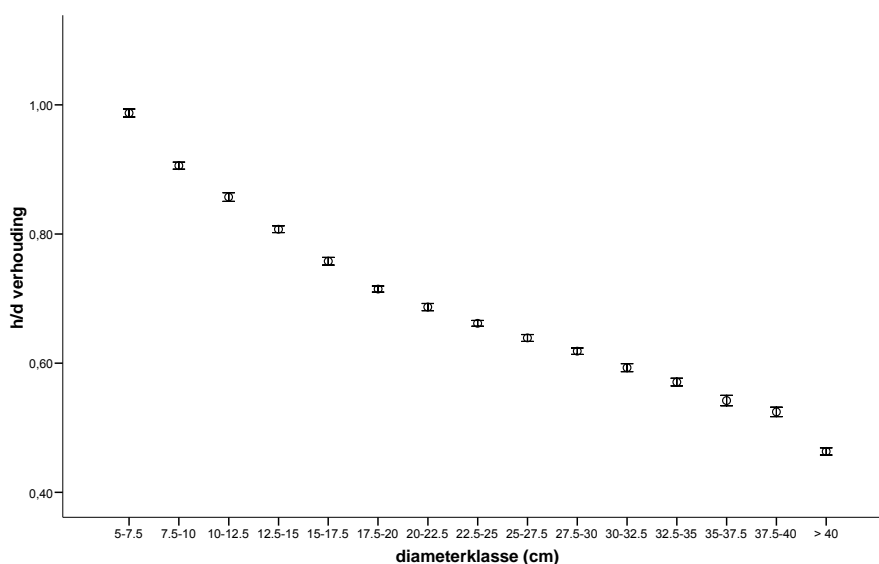


Figuur 3. De populatieopbouw van de stammen in de steekproefcirkels van de bosreservaten, weergegeven voor het totaal aantal levende stammen en apart weergegeven voor de loof- en naaldbomen.

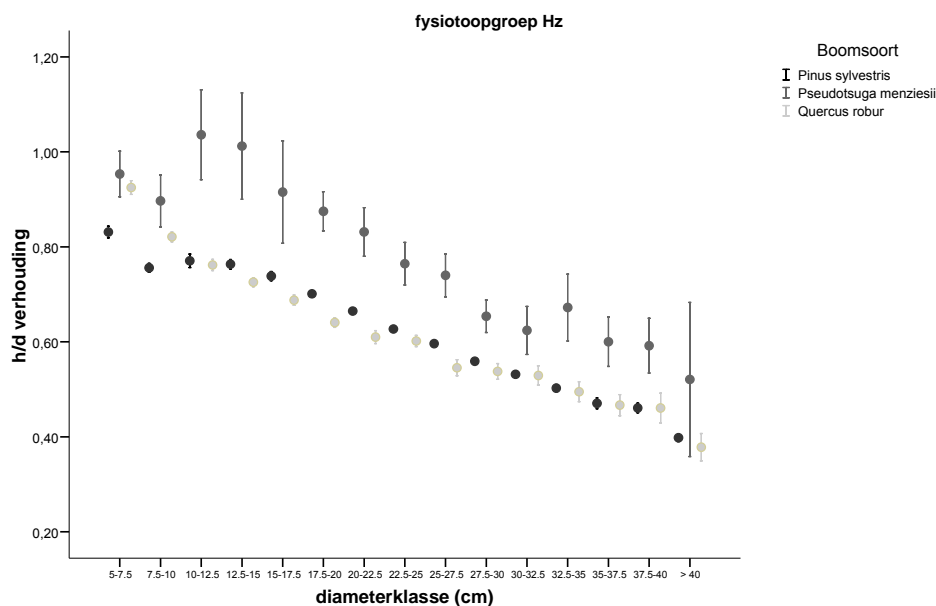
3.3 Stamvorm en kroondiepte

Zoals al vermeld waren er in de 46 reservaten 86694 levende stammen aanwezig. Doordat er bomen zijn die meerdere levende stammen hebben was het aantal stammen bijna 20% groter dan het aantal aanwezige levende bomen. De stammen zaten namelijk aan ongeveer 72000 (enkel- en meerstammige-) bomen. Van deze bomen waren 62712 bomen enkelstammig en levend. Voor de bepaling van de kroon- en stamvorm van de bomen in de bosreservaten zijn enkel gegevens van deze enkelstammige bomen gebruikt.

Het gemiddelde jaartal waarop de enkelstammige bomen werden geïnventariseerd was (gemiddeld over de bomen) 1993. De hoogte en diameter van deze enkelstammige bomen zijn gebruikt om de verhouding tussen hoogte en diameter, de h/d verhouding, uit te rekenen. In het algemeen neemt de h/d verhouding af naarmate de bomen dikker worden (Wang et al. 1998). De hoogte neemt dus naar verhouding minder snel toe dan de diameter van bomen. Ook in de bosreservaten werd dit gevonden (Figuur 4). Op fysiotopen die wat rijker zijn aan voedingsstoffen bleek de h/d verhoudingen voor veel boomsoorten groter dan op armere fysiotopen. Ook dit wordt in de literatuur genoemd (Konôpka et al. 1987; Wang et al. 1998). Behalve de groeiplaats bleek ook de boomsoort bepalend voor de h/d verhouding. Zo waren bijvoorbeeld op de zandgronden de h/d verhoudingen van Douglas relatief hoog en die van zomereik en grove den relatief laag (Figuur 5). Verder valt op dat de h/d verhouding van Douglas eerst iets steeg, om vervolgens bij grotere diameterklassen te dalen. Konôpka et al. (1987) vond bij andere soorten coniferen een soortgelijke trend.

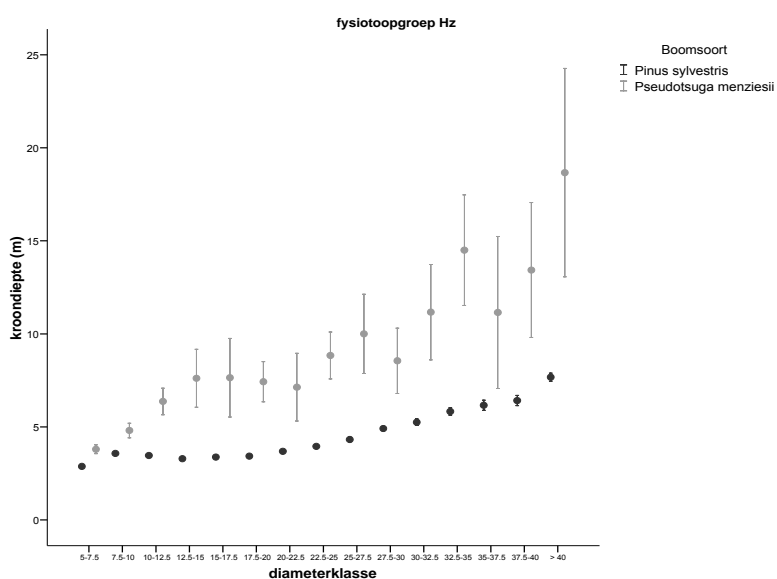


Figuur 4. De relatie tussen de diameterklasse van bomen en de gemiddelde h/d verhouding (in m/cm, \pm de standaardfout) gebaseerd op de gegevens van de levende enkelstammige bomen uit de steekproefcirkels van de bosreservaten.



Figuur 5. De relatie tussen de diameterklasse van bomen en de gemiddelde h/d verhouding (in m/cm, \pm de standaardfout) voor de soorten Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) (donkergrijs), zomereik (*Quercus robur*) (lichtgrijs) en grove den (*Pinus sylvestris*) (zwart) op leemarme, droge zandgronden.

De kroonhoogte van de bomen in de bosreservaten vertoonde over het algemeen een stijgende lijn wanneer deze werd uitgezet tegen de diameter. Bij het dikker worden van de bomen nam de kroonhoogte toe. Hierbij verschilde de kroonhoogte duidelijk tussen boomsoorten. Zo had op arme zandgrond grove den een relatief ondiepe kroon en Douglas een diepere kroon (Figuur 6). Niet alleen de kroonhoogte verschilde tussen beide soorten. Ook de kroonhoogte als percentage van de stamhoogte, de kroonfractie, was voor Douglas hoger dan voor grove den. Uit de literatuur is bekend dat schaduwverdragende boomsoorten een grotere kroonhoogte hebben dan zogenaamde lichtboomsoorten (King 1991; Bohlman & O'brien 2006; Kantola & Mäkelä 2006).

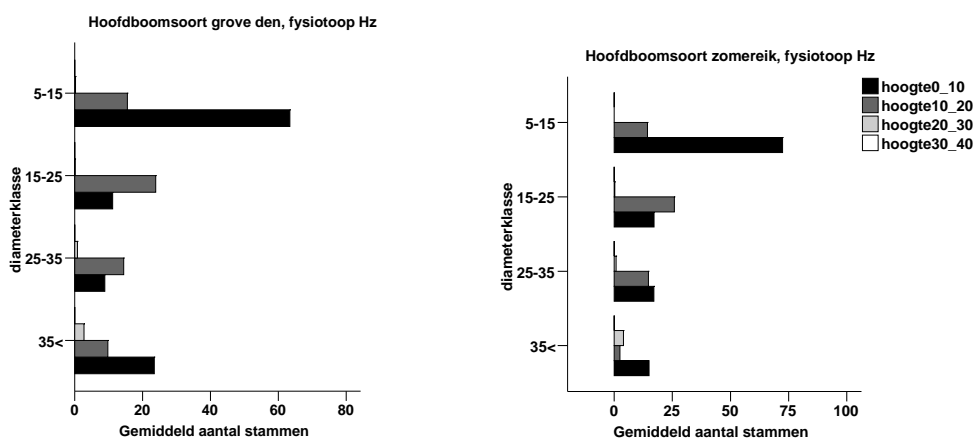


Figuur 6. De relatie tussen kroonhoogte (in m \pm de standaardfout) en diameterklasse voor de boomsoorten grove den (*Pinus sylvestris*) en Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) op leemarme, droge zandgronden.

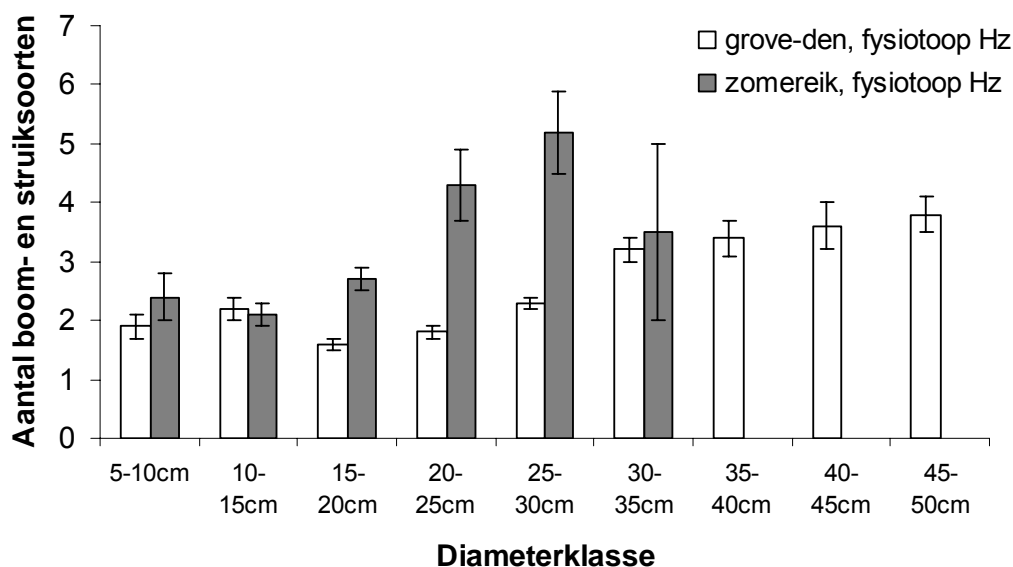
3.4 Gelaagdheid in bossen op arme bodems

Zoals in paragraaf 3.1 beschreven zijn veel steekproefcirkels aanwezig op de fysiotope Hz en Hlz. Hieronder volgt een korte beschrijving van de verticale gelaagdheid op deze twee fysiotope voor bos gedomineerd door de hoofdboomsoorten grove den, zomereik, berk en beuk. Bij de inventarisatie van de steekproefcirkels worden geen bedekkingen van bomen of vegetatielagen geschat en het bleek niet eenvoudig de gelaagdheid van het bos in cijfers of figuren weer te geven. Uiteindelijk zijn de bomen op basis van hun tophoogten in vier hoogteklassen ingedeeld (paragraaf 2.2). Figuren met op de y-as de hoogteklassen, en op de x-as de stamtallen geven een idee van de aanwezige gelaagdheid.

Op fysiotoop Hz zijn er vooral cirkels waar grove den en zomereik de hoofdboomsoorten zijn (Tabel 6). Het bos gedomineerd door grove den op dit fysiotoop lijkt, qua verdeling van bomen over de hoogteklassen, op het bos gedomineerd door zomereik (Figuur 7). Bij beide hoofdboomsoorten zijn namelijk vooral bomen aanwezig in de onderste twee hoogteklassen. Een verschil (dat overigens niet in Figuur 7 is te zien) is wel dat steekproefcirkels met alleen bomen van 10-20m hoog en geen lagere bomen, bij de hoofdboomsoort grove den wel voorkomen. Voor zomereik zijn dit soort cirkels er niet. Bij zomereik zijn namelijk altijd ook eiken aanwezig in de onderste hoogteklasse (0-10m). De variatie in hoogte is dan ook groter in cirkels gedomineerd door zomereik dan in cirkels gedomineerd door grove den. Verder lijkt op dit fysiotoop het aantal boom- en struiksoorten in de cirkels gedomineerd door zomereik wat hoger dan in cirkels met grove den als hoofdboomsoort (Figuur 8).



Figuur 7. De steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen (verticale as), gebaseerd op de gemiddelde diameter van de aanwezige stammen van de hoofdboomsoort. Per diameterklasse is op de horizontale as het gemiddeld aantal stammen (ongeacht boomsoort) weergegeven dat met de tophoogte in één van de hoogteklassen (van 0-10m, 10-20 m, 20-30m of van 30-40 m) voorkwam.



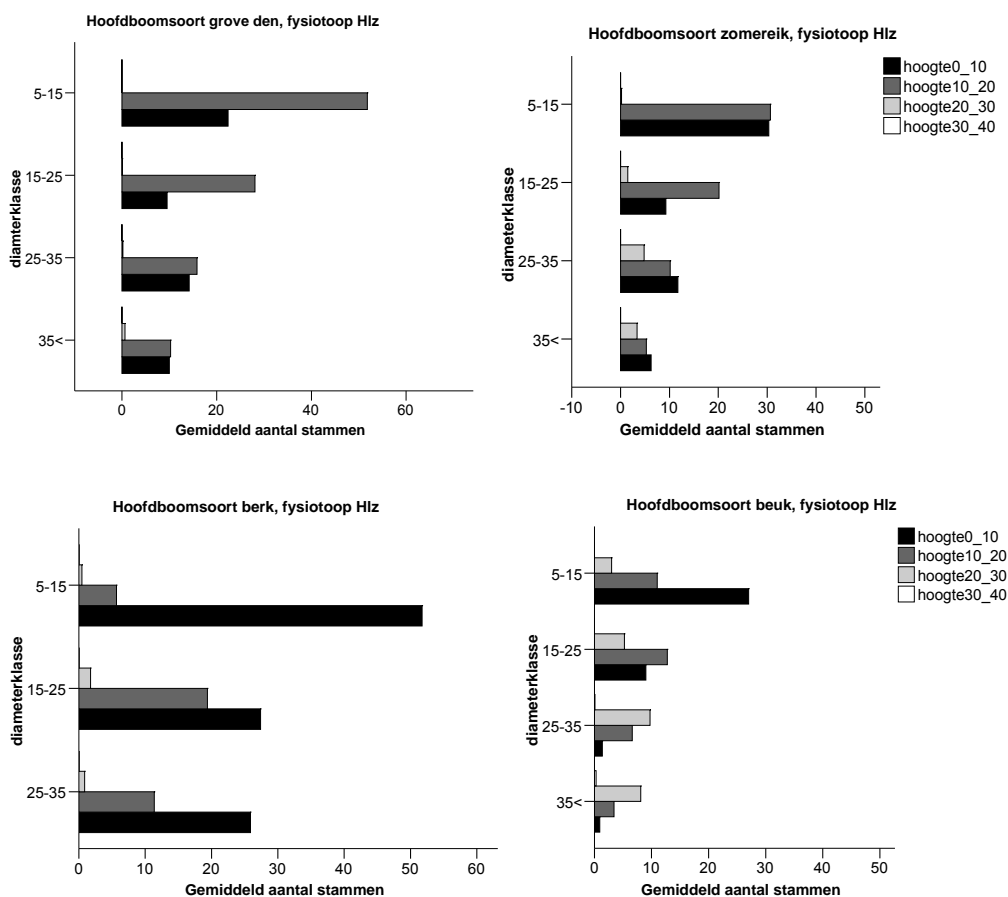
Figuur 8. Voor de hoofdboomsoorten grove den (*Pinus sylvestris*) en zomereik (*Quercus robur*) is op de verticale as het gemiddeld aantal boom- en struiksoorten aangegeven dat in de steekproefcirkels (binnen fysiotoop Hz) aanwezig was. De steekproefcirkels zijn hierbij ingedeeld in diameterklassen (horizontale as), gebaseerd op de gemiddelde diameter van de aanwezige stammen van de hoofdboomsoort.

Ook op fysiotoop Hz zijn veel cirkels aanwezig waar grove den en zomereik hoofdboomsoort zijn. Voor deze twee soorten valt op dat er in de cirkels van diameterklasse 5-15 grotere aantallen bomen aanwezig zijn met een hoogte van 10 tot 20 m dan op fysiotoop Hz (vergelijk Figuren 7 en 9). Dit komt waarschijnlijk door een wat sterkere groei van de dennen en eiken op deze wat rijkere fysiotoop. Voor zomereik valt verder op dat er meer cirkels zijn met boomkronen in de laag 20-30 m. Dit is een verschil met grove den op fysiotoop Hz en met zomereik op fysiotoop Hz. Dikkere zomereiken hebben op dit fysiotoop een grotere hoogte (h/d verhouding) dan zomereik op arme bodem en dan grove den. Verder is ook de variatie in hoogte groter in bos gedomineerd door eik dan in bos gedomineerd door den. Een aantal bomen is daardoor ook dik, en die dikke bomen vallen in de hogere vegetatielaag.

Op fysiotoop Hz komen verder een behoorlijk aantal cirkels met ruwe berk als hoofdboomsoort voor. Vergeleken met de hoofdboomsoorten grove den, zomereik en beuk op dit fysiotoop, groeien er in bos gedomineerd door berk veel bomen in de laag 0-10m (Figuur 9). Dit geldt zowel voor de diameterklasse waar de berken gemiddeld 5-15cm dik zijn, als voor de twee diameterklassen met dikkere berken (Figuur 9). De meeste van deze steekproefcirkels met berk als hoofdboomsoort zijn gelegen in bosreservaat Galgenberg bij Amerongen. De cirkels met dunnere berken liggen veelal op een grote stormvlakte die is ontstaan door de stormen van 1972 en 1973. De jonge bomen die hier in de onderste vegetatielaag groeien zijn zowel berken als jonge zomereiken, grove dennen en jonge vuilbomen. De cirkels met dikkere berken liggen in een gedeelte van het reservaat met oud, spontaan gevormd berkenbos. Dit berkenbos bevindt zich in een aftakelingsfase en de verjonging die

hier in de onderste vegetatielaag groeit, bestaat niet uit berk, maar vooral uit zomereik (Szabo et al. 1996). Naast de grote aantallen jonge bomen in de onderste vegetatielaag van het berkenbos, valt op dat er in vergelijking met grove dennenbos wat meer vegetatie in de derde vegetatielaag aanwezig is. Net als bij eik is de variatie in hoogte tussen de bomen onderling wat groter dan bij grove den (in ieder geval voor diameterklasse 15-25).

Cirkels op fysiotoop Hlz met beuk als hoofdboomsoort, komen ook veel voor. Hierbij zijn er maar weinig cirkels waar de diameter van de beuken gemiddeld laag is. Vergeleken de andere boomsoorten bevinden zich veel bomen in de derde vegetatielaag (Figuur 9). De h/d verhouding van beuk is relatief hoog vergeleken de andere hoofdboomsoorten. Verder komen er onder de grotere beuken maar weinig andere bomen voor. Het aantal boom- en struiksoorten in de cirkels gedomineerd door beuk is laag vergeleken de drie ander genoemde hoofdboomsoorten.



Figuur 9 De steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen (verticale as), gebaseerd op de gemiddelde diameter van de aanwezige stammen van de hoofdboomsoort. Per diameterklasse is op de horizontale as het gemiddeld aantal stammen (ongeacht boomsoort) weergegeven dat in één van de hoogteklassen (van 0-10m, 10-20 m, 20-30m of van 30-40 m) voorkwam.

4 De ontwikkeling van het bos in de bosreservaten

4.1 Ligging van de steekproefcirkels

Om de ontwikkeling van het bos in de bosreservaten te onderzoeken zijn de gegevens van in totaal 453 steekproefcirkels gebruikt, die ieder tweemaal waren opgenomen. Het gaat om de gegevens uit dertien bosreservaten (zie Bijlage 2). De eerste opname vond gemiddeld (over de steekproefcirkels) plaats in 1989 en de tweede opname in 1999. Bijna de helft van de steekproefcirkels was gelegen op het droge, kalkarme en zanderige fysiotoop Hz (Tabel 8). Ook waren veel steekproefcirkels aanwezig op fysiotoop Hlz. Op een aantal fysiotopen kwamen helemaal geen steekproefcirkels voor die tweemaal zijn opgenomen (Tabel 8). De meest voorkomende hoofdboomsoort was grove den, die vooral aanwezig was op de droge en arme zandgronden.

Tabel 8. De verdeling van de steekproefcirkels die tweemaal zijn opgenomen over fysisch geografische regio's, fysiotopen en hoofdboomsoorten (tijdens opname 1). FGR: HL= Heuveland, HZ= Hogere zandgronden, KD= Kustduinen, LV= Laagveengebied, RG= Rivierengebied, ZG= Zeekleigebied.

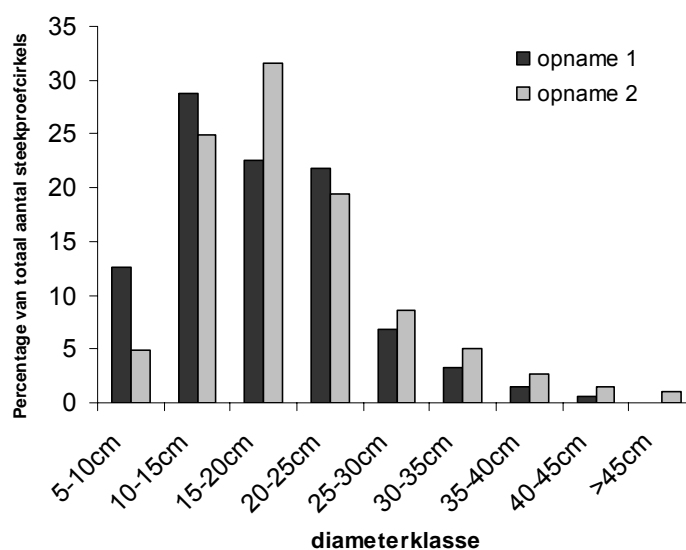
Fysisch geografische regio	Fysiotoop	Hoofdboomsoort					Totaal aantal cirkels	Aandeel van totaal (%)	
		Grove den	Zomer-eik	Beuk	Berk	Overig			
HL,	Grondwatergevoed	Hg					0	0	
HL	Kalkrijk, leemrijk	Hk					0	0	
HL,HZ	Kalkarm, leemrijk	Hl		1	4	4	9	18	4.0
HZ	Leemhoudend	Hlz	31	12	13	29	84	169	37.3
HZ	Regenwatergevoed, nat	Hr						0	0
HZ,KD	Droog, kalkarm, leemarm	HZ	143	51		2	24	220	48.6
KD	Droog, kalkrijk	Kk						0	0
LV	Laagveen	Lv						0	0
RG,ZG	Binnendijks kleig	Rg		5	1		40	46	10.2
Totaal aantal cirkels			174	69	18	35	157	453	100
Aandeel van totaal (%)			38.4	15.2	4.0	7.7	34.7		

4.2 Ontwikkeling van stamtaal en populatieopbouw

Het gemiddelde stamtaal in de steekproefcirkels van de tweemaal opgenomen bosreservaten daalde iets, van 931.8 per ha in 1989 naar 901 in 1999. Tegelijkertijd werd het bos in de reservaten dichter. Dat dit tegelijkertijd optrad heeft te maken met de verandering van de populatieopbouw.

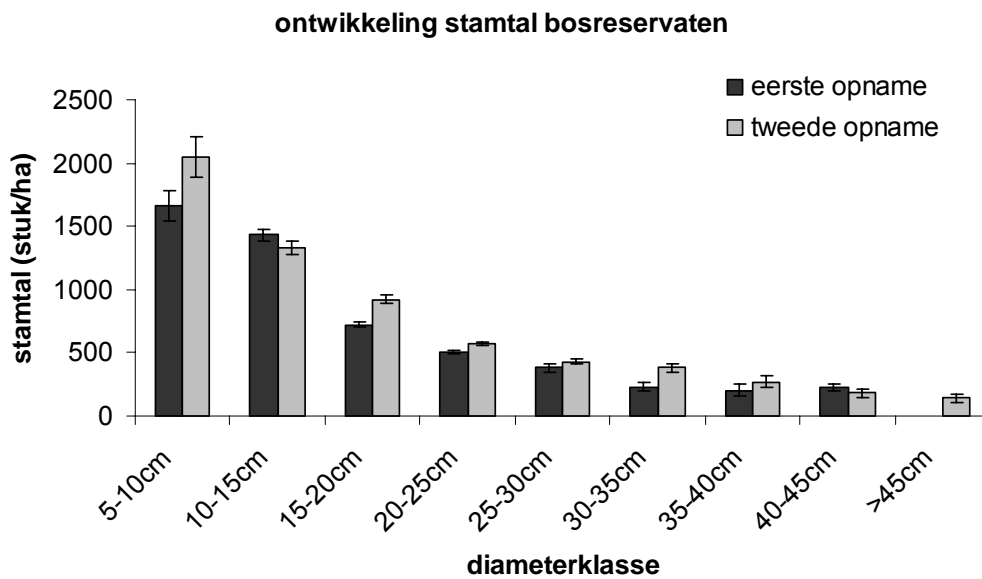
Van iedere steekproefcirkel werd de gemiddelde diameter van de aanwezige levende stammen bepaald. Bij de eerste inventarisatie was de diameter, gemiddeld per

steekproefpunt, 17.7 cm en bij de tweede opname was dit toegenomen tot 20.0 cm. Bomen in de reservaten lijken dus dikker te worden. Op basis van de gemiddelde diameters per steekproefcirkel zijn de steekproefcirkels vervolgens ingedeeld in diameterklassen. Bij de tweede opname waren er minder steekproefcirkels waar de gemiddelde diameter van de stammen klein was (5-15 cm) dan bij de eerste opname (Figuur 10). Steekproefcirkels met een grotere diameter (25-45 cm) waren bij de tweede inventarisatie juist veel algemener dan bij de eerste inventarisatie. De samenstelling van het bos is dus verschoven, waarbij het oppervlakte bos met dikke stammen is toegenomen en het oppervlakte bos met dunne stammen is afgenomen. In de gemiddeld 10 jaar tussen de inventarisaties zijn veel bomen dus ouder en ook dikker geworden, waarbij verjonging niet op grote schaal is opgetreden.

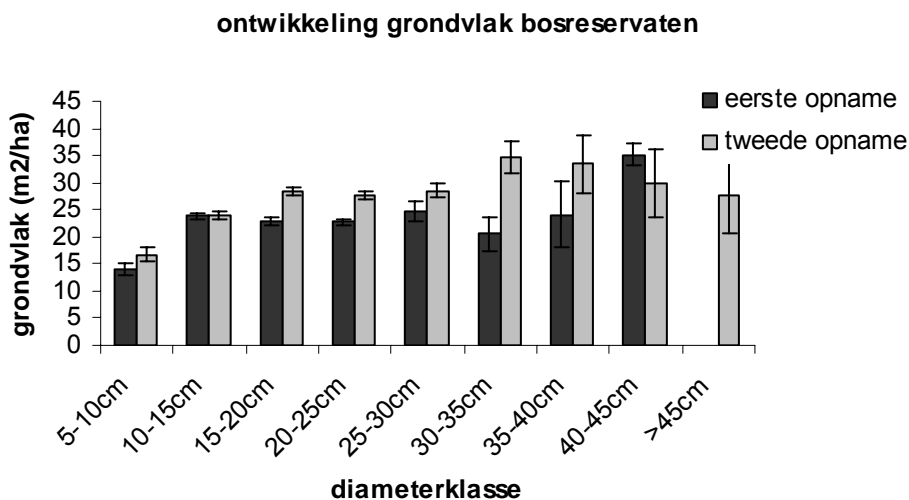


Figuur 10. De verdeling van de steekproefcirkels die tweemaal zijn opgenomen over diameterklassen, waarbij de steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen aan de hand van de gemiddelde diameter van de stammen in de steekproefcirkel.

Steekproefcirkels met een gemiddelde diameter van de stammen van 15-20 cm, hadden tijdens de eerste inventarisatie gemiddeld een lager stamtaal (723 stuks per ha) dan steekproefcirkels tijdens de tweede inventarisatie met een gemiddelde diameter van 15-20 (922 stuk/ha, Figuur 11). Ook het grondvlak in steekproefcirkels met een gemiddelde diameter van de stammen van 15-20 cm was tijdens de eerste inventarisatie gemiddeld lager dan het grondvlak in steekproefcirkels die een gemiddelde diameter hadden van 15-20 cm tijdens de tweede inventarisatie (Figuur 12). Het bos in een steekproefcirkel met een dbh van gemiddeld 18 cm was in 1999 dus gemiddeld dichter dan het bos in een steekproefcirkels met een dbh van gemiddeld 18 cm in 1989 (Figuren 11 en 12). Ditzelfde lijkt te gelden voor veel van de overige diameterklassen.



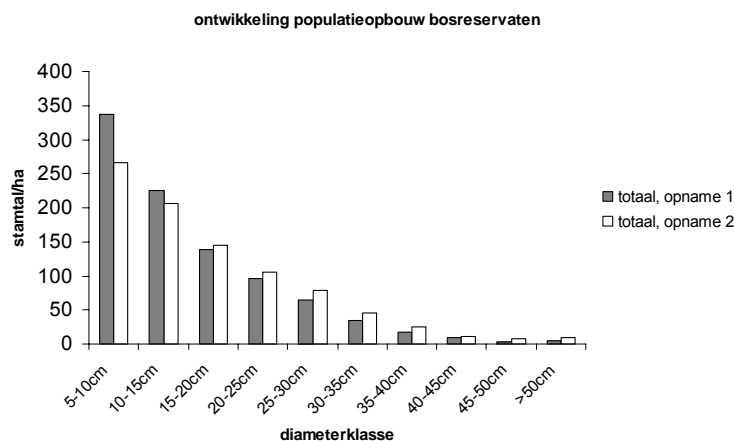
Figuur 11. De stamtallen per hectare in de steekproefcirkels, bij de eerste en tweede inventarisatie, waarbij de steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen aan de hand van de gemiddelde diameter van de stammen in de steekproefcirkel.



Figuur 12. Het grondvlak per hectare in de steekproefcirkels, bij de eerste en tweede inventarisatie, waarbij de steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen aan de hand van de gemiddelde diameter van de stammen in de steekproefcirkel.

De totale populatieopbouw van de bosreservaten die tweemaal zijn opgenomen is ook gewijzigd. Zo is het aantal dunne stammen met een diameter van 5-10cm met 70 stuks per hectare gedaald (Figuur 13). Dit gebeurde ondanks dat het stamtal in steekproefcirkels met dunne stammen hoger werd (Figuur 11). Het aantal steekproefcirkels met dunne stammen daalde echter (Figuur 10), dus het oppervlakte bos met dunne stammen nam af. Stammen met een diameter groter dan 25 cm

kwamen bij de tweede opname meer voor dan bij de eerste opname (Figuur 13), wat enerzijds lijkt te komen doordat er meer steekproefcirkels zijn met dikke stammen (Figuur 10) en anderzijds doordat het stamtal in bos met dikke bomen hoger was (Figuur 11).



Figuur 13. De ontwikkeling van de populatieopbouw van het bos in de bosreservaten, waarbij stammen zijn ingedeeld in diameterklassen.

Behalve dat het bos in de reservaten dichter werd nam ook de menging van het bos toe. Deze toename was echter niet groot, van 44% menging in 1989 naar 47% in 1999 (zie Tabel 2 voor de gebruikte definitie van menging).

4.3 Ontwikkelingsfasen

Bij de ontwikkeling van het bos worden er vaak verschillende ontwikkelingsfasen onderscheiden. Doordat de ontwikkeling van bos meestal meer een continue dan een stapsgewijs proces is, is dit onderscheiden van ontwikkelingsfasen een vrij subjectieve bezigheid (Franklin et al. 2002). Een verdeling van het bos in ontwikkelingsfasen kan echter wel inzicht geven in de samenstelling van het bos. Hier zijn de ontwikkeling van het stamtal en van de gemiddelde diameter gebruikt om de steekproefcirkels in vier ontwikkelingsfasen in te delen (Tabel 9)(Coomes & Allen 2007).

Tabel 9. De verdeling van de steekproefcirkels over verschillende fasen van bosontwikkeling (naar Coomes & Allen 2007). Weergegeven is de naam van de fase en het percentage steekproefcirkels per fase.

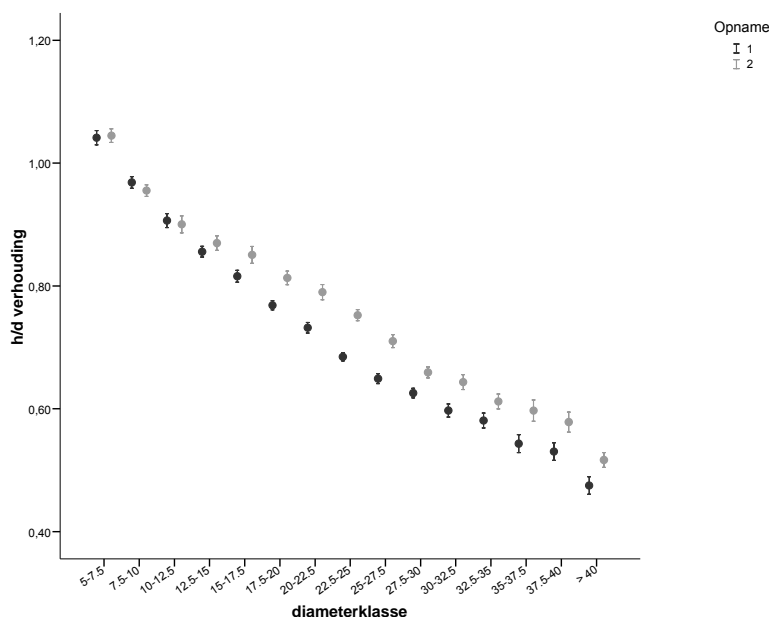
		Ontwikkeling stamtal	
		Toename	Afname
Ontwikkeling diameter	Toename	Fase A 13%	Fase B 71%
	Afname	Fase C 13%	Fase D 3%

In fase A komen er kleine (lage en dunne) bomen bij. Soms ging het om cirkels waar vooral kleine bomen aanwezig waren. Maar het betrof hier ook cirkels waar dikkere bomen aanwezig waren en waar wat verjonging in optrad. Het ging dan echter om relatief weinig verjonging, zodat de gemiddelde diameter van de bomen in de

steekproefcirkel niet omlaag ging. Het merendeel van de steekproefcirkels, 71%, bevond zich in fase B, waarbij het stamtal afnam en de gemiddelde diameter van de bomen toenam. In deze steekproefcirkels nam vooral het aantal kleinere bomen snel af terwijl de overige bomen doorgroeiden en hoger en dikker werden. Deze cirkels kenmerkten zich dus veelal door zelfdunning en groei. Fase C kenmerkte zich net als fase A door verjonging. In fase C nam in veel steekproefcirkels het stamtal van kleine bomen zo snel toe, dat de gemiddelde diameter van de bomen in de steekproefcirkel bij de tweede opname lager was dan bij de eerste. Veel sterfte, zoals in fase D, trad meestal niet op in deze cirkels. Een klein aantal steekproefcirkels bevond zich in fase D, waarbij zowel het stamtal als de gemiddelde diameter daalden. Veelal stierven grotere bomen terwijl de open ruimte niet direct door nieuwe kleinere bomen werd opgevuld.

4.4 De ontwikkeling van de stam- en kroonvorm

De gemiddelde verhouding tussen de hoogte en de diameter van de enkelstammige bomen bleef met 0.82 m/cm ongeveer gelijk, en dat is opmerkelijk. De bomen werden immers dikker (Figuren 10 en 13, Tabel 9) en dikkere bomen hebben gemiddeld een lagere h/d verhouding dan dunnere bomen (Figuren 4 en 5). Dat de h/d verhouding toch gelijk bleef komt doordat de stamvorm van een boom met een gemiddelde diameter van 20 cm bij de tweede opname hoger was dan bij de eerste opname (Figuur 14). Deze toename van de h/d verhouding geldt in het algemeen voor de hogere diameterklassen, dat wil zeggen bomen die dikker zijn dan zo'n 15 cm (Figuur 14). In de laagste diameterklassen wijzigde de h/d verhouding niet. De stamvorm van bomen in bosreservaten veranderde dus, waarbij stammen wat slanker of wat langgerechter werden. Daarbij blijken er behoorlijke verschillen tussen boomsoorten te zijn. Zo lijkt de h/d verhouding van ruwe berk in bosreservaten gemiddeld niet veel gewijzigd, terwijl voor de veel voorkomende soort grove den bijvoorbeeld, de h/d verhouding in de hogere diameterklassen gemiddeld omhoog ging maar in de lagere diameterklassen iets daalde. Naast verschillen tussen boomsoorten waren er ook verschillen tussen bosreservaten. Niet in al de reservaten veranderde de stamvorm even sterk.

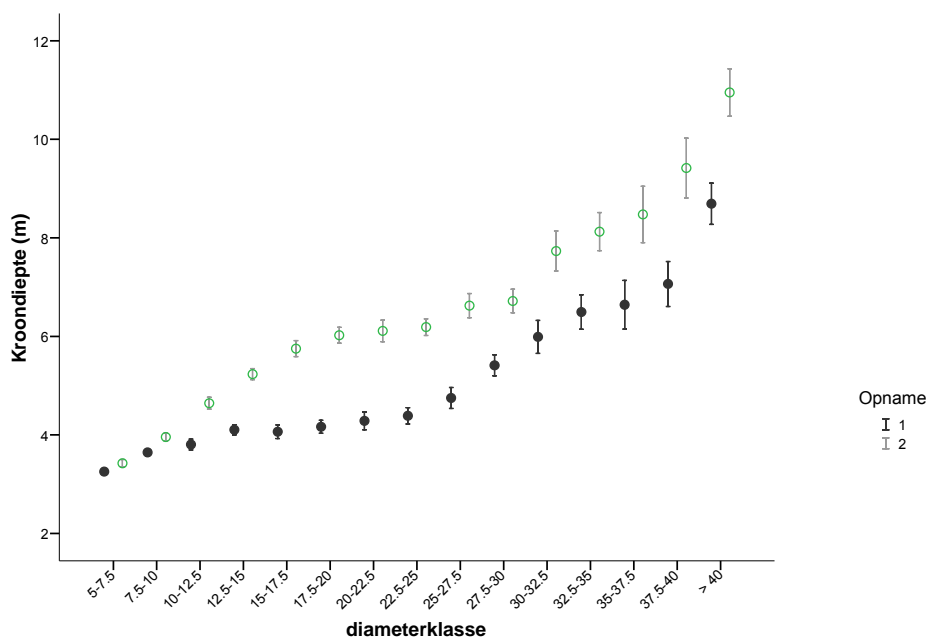


Figuur 14. De ontwikkeling van de h/d verhouding in de tijd in de bosreservaten (zwart eerst opname, grijs tweede opname). Weergegeven is de relatie tussen de h/d verhouding (in m/cm, \pm de standaardfout) en de boomdiameter voor bomen uit steekproefcirkels die tweemaal werden geïnventariseerd.

De hoogte waarop de kroon begint was gemiddeld over alle levende enkelstammige bomen bij zowel de eerste als de tweede opname 7.7m. Ook dit is opmerkelijk, want bomen werden immers veelal ouder en dikker, en je zou dan ook een verandering van kroondiepte verwachten. Behalve dat de stamvorm veranderde, lijkt dus ook de kroonvorm veranderd. Voor een boom van gemiddeld 20 cm dik was de hoogte waarop de levende kroon begon bij de tweede opname gemiddeld lager dan bij de eerste opname. Daarbij was de hoogte van een boom van 20 cm bij de tweede opname gemiddeld hoger dan bij de eerste opname (Figuur 14). De lengte van de levende kroon (de kroondiepte) van een boom met een diameter van 20 cm nam dan ook gemiddeld toe (Figuur 15). Deze toename geldt vooral voor bomen met een diameter groter dan zo'n 12.5 cm (Figuur 15). Er zijn daarbij wel verschillen tussen boomsoorten. Zo lijkt de kroondiepte van ruwe berk bijvoorbeeld nauwelijks te zijn veranderd in de loop van de tijd, terwijl er voor de algemeen voorkomende soorten grove den, zomereik en beuk duidelijke toenames waren van zowel kroondiepte als kroonfractie.

In de literatuur wordt veelal vermeld dat bomen met een wat slankere stam, en dus een relatief hoge h/d verhouding, een kleine kroon hebben. De kroon van dit soort bomen zit dus relatief hoog aan de stam en deze bomen hebben een relatief lage kroonfractie (Larson 1963; Wang et al. 1998; Karlsson 2000; Mäkinen & Isomäki 2004a, b). Ook in de bosreservaten vinden we dit. De correlatie tussen de h/d verhouding en de kroonfractie, voor een bepaalde boomsoort van een bepaalde diameterklasse, is namelijk vaak negatief. Dit geldt zowel voor de gegevens van de eerste als de tweede opname. De wat slankere bomen van een bepaalde diameter hebben een relatief kleine kroon. Ondanks dit negatieve verband blijken bomen in de

bosreservaten in de loop van de tijd gemiddeld wat slanker geworden (Figuur 14) met juist een wat langere kroon (Figuur 15).

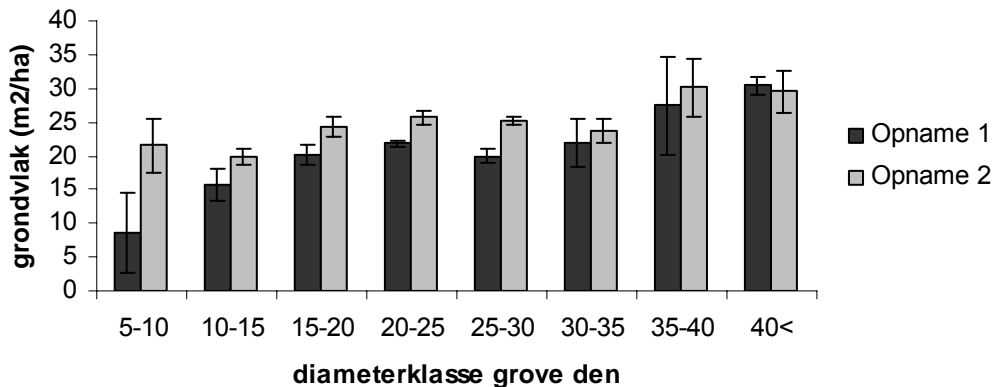


Figuur 15. Weergegeven is de relatie tussen kroondiepte (in m \pm de standaardfout) en diameterklasse voor bomen in bosreservaten die tweemaal werden geïnventariseerd (opname 1 zwart, opname 2 grijs weergegeven).

4.5 De ontwikkeling van de bosstructuur in grove dennenbos op arme bodem

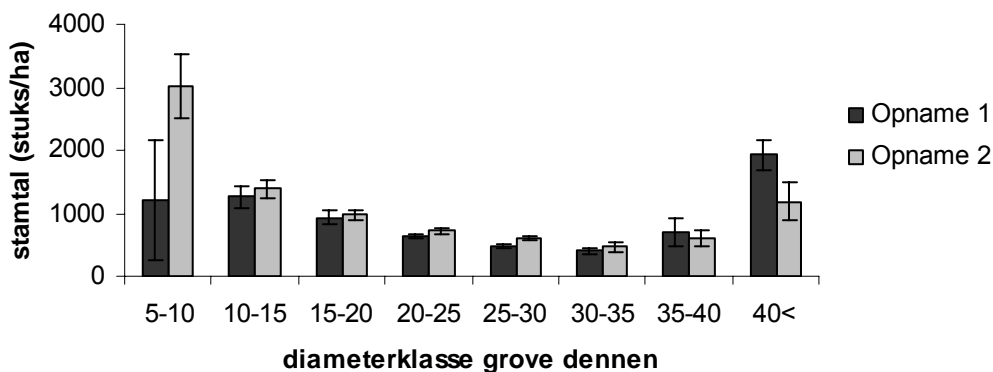
De toename van de dichtheid van het bos, zoals dat in veel bosreservaten lijkt plaats te vinden, speelt ook in grove dennenbos op arme bodem. In de steekproefcirkels waar grove den de hoofdboomsoort was en die zijn gelegen op het arme fysiotoop Hz is het grondvlak gemiddeld toegenomen (Figuur 16). Ook de aantallen bomen waren bij de tweede opname gemiddeld hoger dan bij de eerste opname (Figuur 17). Een uitzondering hierop zijn de steekproefcirkels in de hoogste diameterklasse (Figuur 17). Zowel bij de eerste opname als de tweede opname betrof dit een klein aantal cirkels, waarvan de meeste in reservaat Starnumansbos lagen. Hier groeien een aantal dikke grove dennen boven een laag oud eikenhakhout. Het eikenhakhout zorgt voor de hoge stamtallen. In dit oude eikenhakhout vindt sterfte plaats. Mede hierdoor was het stamtal voor de cirkels in de hoogste diameterklasse bij de tweede opname wat lager dan bij de eerste opname (Figuur 17).

ontwikking totaal grondvlak in grove dennenbos op arme bodem



Figuur 16. Het grondvlak per hectare in steekproefcirkels op fysiotoop H_z waar grove den (*Pinus sylvestris*) hoofdboomsoort was. De steekproefcirkels zijn hierbij ingedeeld in diameterklassen, aan de hand van de gemiddelde diameter van de grove dennen.

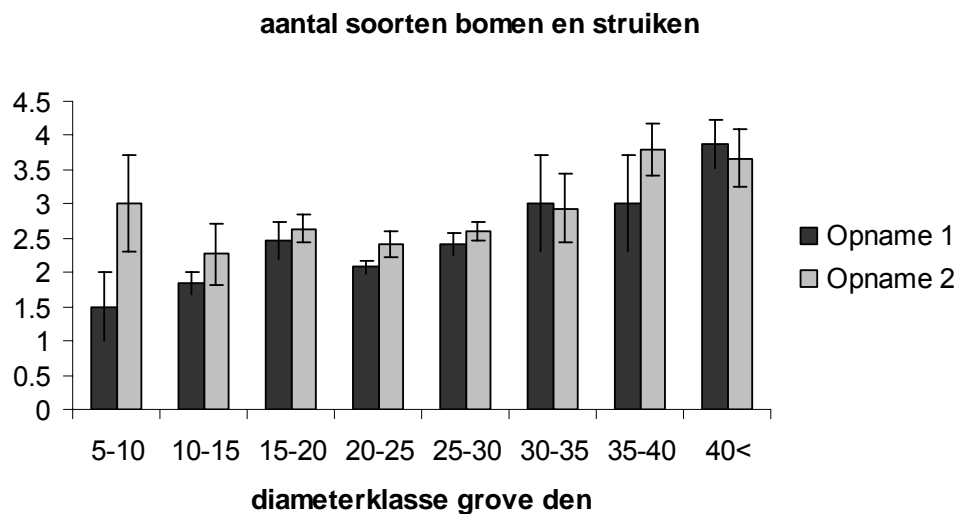
ontwikking stamtal in grove dennenbos op arme bodem



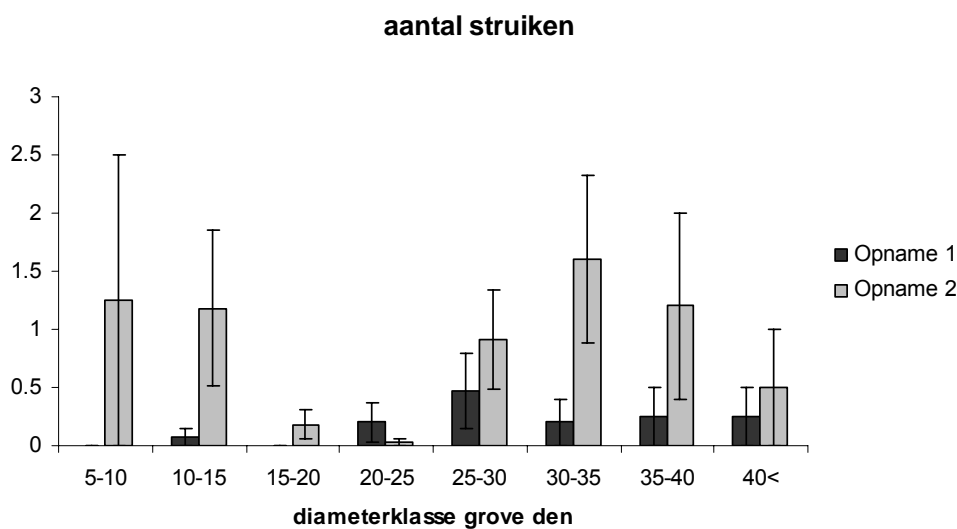
Figuur 17. Het stamtal per hectare in steekproefcirkels op fysiotoop H_z waar grove den (*Pinus sylvestris*) hoofdboomsoort was. De steekproefcirkels zijn hierbij ingedeeld in diameterklassen, aan de hand van de gemiddelde diameter van de grove dennen.

Grove dennenbos waar de gemiddelde diameter van de dennen niet zo groot was lijkt verder bij de tweede opname een wat hoger aantal boom- en struiksoorten te hebben dan grove dennenbos waar bij de eerste opname de diameter van de grove dennen niet groot was (Figuur 18). Eén van de oorzaken lijkt een toename van de struikvormende soorten in het bos. Bij de eerste opname waren in grove dennenbos met nog dunne grove dennen veelal geen struikvormende soorten aanwezig. Nu zijn deze in bos met nog dunne grove dennen wel vaak aanwezig (Figuur 19). In bos met dikkere grove dennen waren vaak al wel struikvormende soorten aanwezig, maar ook daar lijkt dit aantal toegenomen. De grote standaardfouten (lange error bars) in de

Figuur geven wel aan dat er hierbij veel variatie is in het aantal individuen van deze struikvormende soorten tussen steekproefcirkels.



Figuur 18. De ontwikkeling van het aantal soorten bomen en struiken, in steekproefcirkels op fysiotoop H_z waar grove den (*Pinus sylvestris*) hoofdboomsoort was. De steekproefcirkels zijn hierbij ingedeeld in diameterklassen, gebaseerd op de gemiddelde diameter van de aanwezige grove dennen.



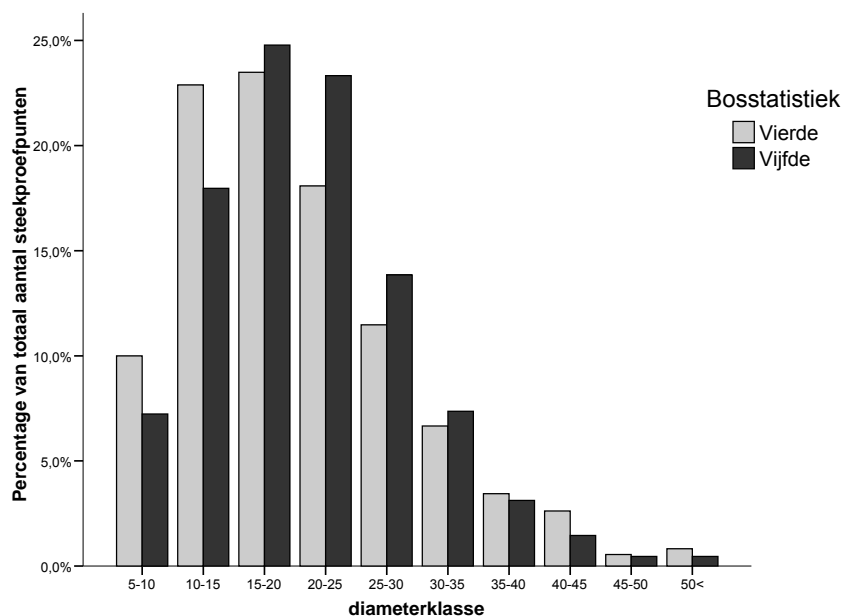
Figuur 19. De ontwikkeling van het aantal individuen van de struikvormende soorten Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*), krentenboompje (*Amelanchier lamarckii*), lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) en sporkebout (*Rhamnus frangula*) in steekproefcirkels op fysiotoop H_z waar grove den (*Pinus sylvestris*) hoofdboomsoort was. De steekproefcirkels zijn hierbij ingedeeld in diameterklassen, gebaseerd op de gemiddelde diameter van de aanwezige grove dennen.

5 Bos buiten de reservaten

5.1 Populatieopbouw en stamtallen

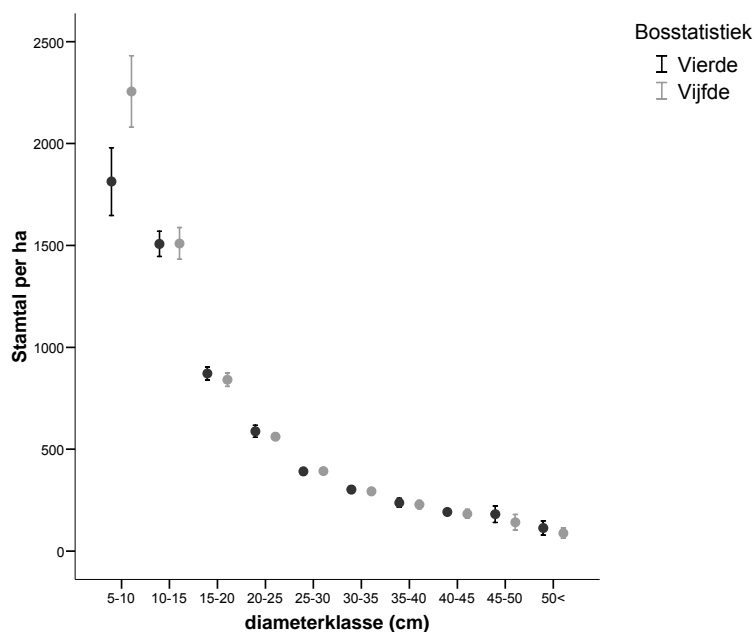
Om de ontwikkeling van het bos buiten de reservaten te beschrijven zijn de gegevens van de Vierde en de Vijfde Bosstatistiek gebruikt (paragraaf 2.4). Van ieder steekproefpunt van deze statistieken hebben we voor het op productiegerichte bos de gemiddelde diameter van de levende stammen uitgerekend. (zie paragraaf 2.4). Bij de Vierde Bosstatistiek was de gemiddelde diameter 20.3 cm per steekproefpunt en bij de Vijfde Bosstatistiek was dit gemiddeld 20.9 cm. De Vijfde Bosstatistiek vond bijna twintig jaar na de Vierde Bosstatistiek plaats en in de loop van de tijd zijn veel bomen ouder en ook dikker geworden (Daamen et al. 2007; Dirkse et al. 2007). De verschuiving van de gemiddelde diameter van de steekproefpunten naar iets hogere diameters is dan ook begrijpelijk.

De steekproefpunten zijn op basis van hun gemiddelde diameter ingedeeld in diameterklassen. Bij de Vijfde bosstatistiek blijken er duidelijk minder steekproefpunten te zijn waar de gemiddelde diameter van de stammen klein is dan bij de Vierde bosstatistiek (Figuur 20). Steekproefpunten waar de gemiddelde diameter van de stammen 15-35 cm is, zijn bij de Vijfde bosstatistiek juist algemener dan bij de Vierde bosstatistiek. Het aandeel steekproefpunten met hele dikke bomen echter, lijkt wat afgenomen. De samenstelling van de boompopulatie lijkt dus te verschuiven.



Figuur 20. De verdeling van de steekproefcirkels van de Vierde en de Vijfde bosstatistiek over diameterklassen, waarbij de steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen aan de hand van de gemiddelde diameter van de stammen in de steekproefcirkel.

Een steekproefpunt waar de levende stammen gemiddeld een diameter van 25-30 cm hadden bevatte tijdens de Vierde Bosstatistiek 392 stammen per ha en bij de Vijfde bosstatistiek bevatte zo'n soortgelijke cirkel 393 stammen per ha (Figuur 21). Ook voor andere diameterklassen geldt dat de stamtallen nauwelijks zijn gewijzigd. Alleen het stamtal van de laagste diameterklasse is duidelijk gestegen. Blijkbaar was het stamtal in steekproefpunten met veel jonge bomen hoger tijdens de Vijfde dan tijdens de Vierde Bosstatistiek.

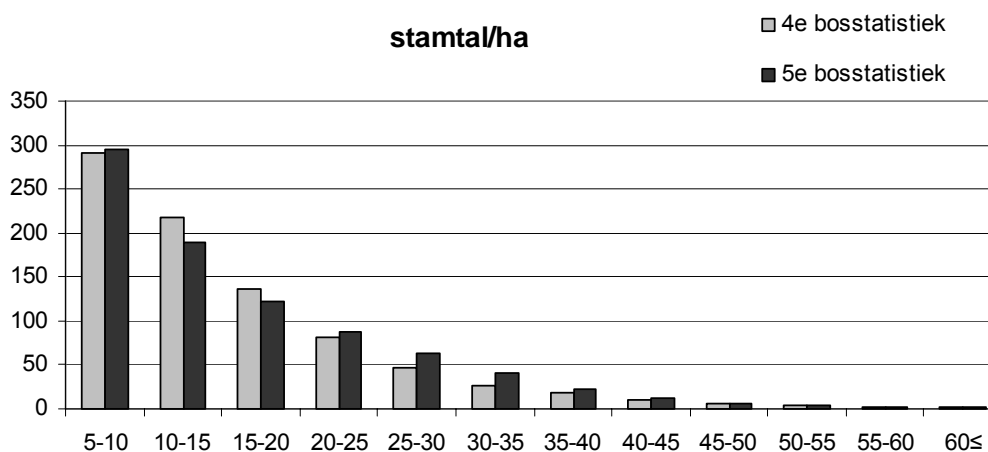


Figuur 21. De stamtallen per hectare in de steekproefcirkels van de Vierde (zwart) en de Vijfde (grijs) bosstatistiek, waarbij de steekproefcirkels zijn ingedeeld in diameterklassen aan de hand van de gemiddelde diameter van de stammen in de steekproefcirkel.

De totale populatieopbouw van het opgaande, op productie gerichte Nederlandse bos lijkt als gevolg van bovenstaande ontwikkelingen ook iets gewijzigd. Het aantal stammen met een kleine diameter veranderde niet veel (Figuur 22), ondanks dat steekproefcirkels met kleine stammen schaarser werden (Figuur 20). Het stamtal in dat soort steekproefcirkels steeg echter gemiddeld (Figuur 21). Stammen met een wat grotere diameter kwamen bij de Vijfde Bosstatistiek wat meer voor dan bij de Vierde Bosstatistiek (Figuur 22), wat vooral komt doordat er meer bos is met dikke stammen (Figuur 20) en niet doordat bos met dikke stammen dichter werd (Figuur 21).

Het totale stamtal, van de levende en dode bomen, in het op productie gerichte bos nam toe, van circa 900 stuks/ha voor de Vierde naar 980 voor de Vijfde Bosstatistiek (Daamen et al. 2007). Echter, het aantal levende stammen in het op productie gerichte bos bleef vrijwel ongewijzigd, circa 845 stammen/ha. De staande voorraad in het bos nam ook toe (Daamen et al. 2007; Dirkse et al. 2007). Dit lijkt dus vooral te komen door een verandering in leeftijdsopbouw van het bos (Figuur 22) en niet doordat het bos dichter werd (Figuur 21). In het bos nam het aantal dikkere

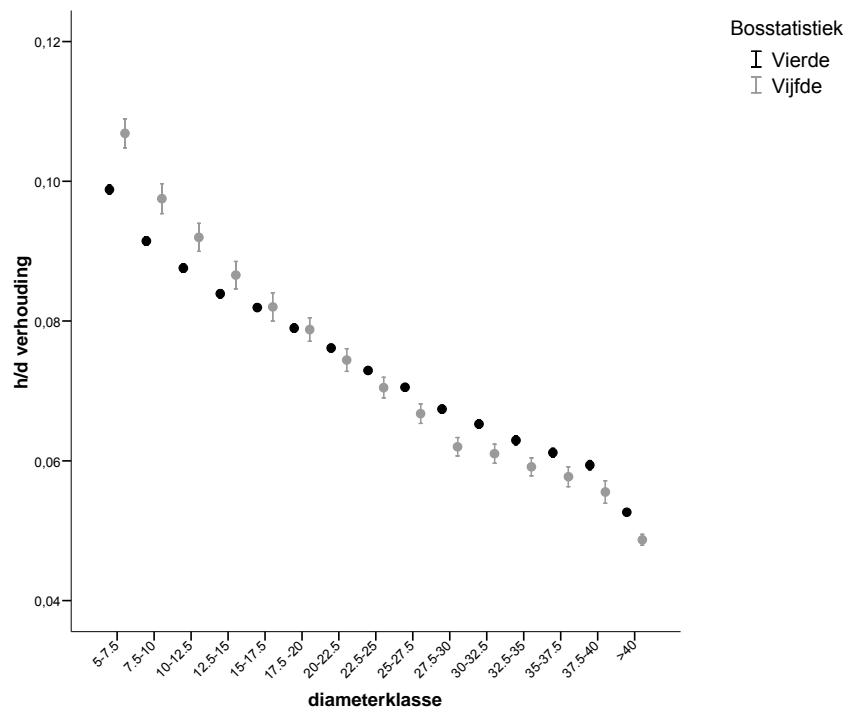
naaldbomen toe, terwijl bij de loofbomen juist de dunnere bomen in aantallen toenamen (Daamen et al. 2007). Verder is het op productiegerichte bos veel meer gemengd geworden. Gedurende de periode van 22 jaar tussen de twee inventarisaties nam de menging toe van zo'n 22% in 1985 tot zo'n 44% in 2001-2005 (Daamen et al. 2007).



Figuur 22. Populatieopbouw van het op productie gerichte bos buiten de reservaten, waarbij de levende stammen zijn ingedeeld in diameterklassen.

5.2 Stamvorm buiten de bosreservaten

De stamvorm van de bomen in het op productiegerichte bos buiten de reservaten lijkt iets gewijzigd in de loop van de tijd (Figuur 23). De h/d verhouding voor de kleinere diameterklassen steeg iets terwijl de h/d verhouding van de hogere diameterklassen iets daalde (Figuur 23). Voor soorten als grove den en zomereik waren de veranderingen in h/d verhouding klein voor de verschillende diameterklassen.



Figuur 23. Relatie tussen de h/d verhouding (m/mm, ± de standaardfout) en de diameterklasse voor de data van de Vierde (zwart) en Vijfde Bosstatistiek (grijs).

6 Discussie en conclusies

Ligging van de steekproefcirkels

In dit onderzoek is de structuur van het bos in de bosreservaten geanalyseerd door de gegevens uit 1889 steekproefcirkels te onderzoeken. Een groot gedeelte van deze steekproefcirkels werd eenmaal geïnventariseerd en 453, ofwel 24% van de cirkels, tweemaal. De gegevens van de tweemaal opgenomen cirkels zijn gebruikt om de ontwikkelingen van de bosstructuur in de bosreservaten te onderzoeken.

In grote lijnen lijkt het bos van de tweemaal opgenomen steekproefcirkels representatief voor de totale verzameling van 1889 cirkels die minstens eenmaal werd beschreven. Bij beide datasets is de meerderheid van de cirkels namelijk gelegen op de droge, arme zandgronden op fysiotoop Hz (Tabellen 6, 8). Voor beide datasets geldt verder dat grove den een zeer veel voorkomende boomsoort was en ook dat zomereik veel voorkwam. Een verschil is wel dat de cirkels die tweemaal zijn opgenomen wat vaker op fysiotoop Hz voorkwamen (Tabel 8) dan de cirkels die minstens eenmaal werden opgenomen (Tabel 6).

Doordat de datasets redelijk overeenstemmen qua ligging en hoofdboomsoort geven de ontwikkelingen in de tijd, zoals ze gevonden zijn in de 453 cirkels die tweemaal werden opgenomen, waarschijnlijk een goed beeld van de ontwikkelingen die in het algemeen in de bosreservaten plaatsvinden.

Gelaagdheid, menging, stamtal en populatieopbouw

Om de gelaagdheid te analyseren zijn de bomen op basis van hun tophoogten in vier hoogteklassen ingedeeld. Binnen bosreservaten op fysiotoop Hz komen onder beuken relatief weinig bomen in de onderste vegetatielaag voor, terwijl in berkenbos juist relatief veel bomen in de onderste vegetatielaag groeien. De gelaagdheid binnen bos gedomineerd door grove den en zomereik zit hier tussen in (Figuur 9).

De menging van het bos lijkt zich binnen en buiten bosreservaten verschillend te ontwikkelen. Binnen bosreservaten op arme bodem lijken minder boom- en struiksoorten aanwezig in bos gedomineerd door grove den dan in bos gedomineerd door zomereik (Figuur 8). Het aantal boom- en struiksoorten in het grove dennenbos neemt wel toe (Figuren 18, 19). Toch neemt de menging in bosreservaten langzamer toe dan de menging in op productiegericht bos. In het op productiegerichte bos buiten de reservaten nam de menging gedurende een periode van 20 jaar namelijk toe van 22% in 1985 tot 44% in 2001-2005. De menging in de reservaten steeg met slechts 3%, van 44% in 1989 tot 47% in 1999. Voor menging werd hierbij de definitie uit de Vijfde Nederlandse Bosstatistiek gehanteerd, waarbij een bos gemengd is wanneer de soort met het grootste grondvlakaandeel minder dan 80% van het totale grondvlakaandeel uitmaakt. Het bos in de reservaten was dus al behoorlijk gemengd ten tijde van de eerste opname, maar deze menging nam nauwelijks toe. Er zijn aanwijzingen dat door het stopzetten van houtoogst uit het bos de menging langzamer toeneemt dan wanneer er wel houtkap plaatsvindt. Zo

toonde onderzoek net buiten bosreservaat het Pijpenbrandje aan dat gemengde opstanden van beuk en eik, waar nog wel selectieve kap plaatsvond, meer gemengd waren dan opstanden gelegen binnen het reservaat. De resultaten suggereerden dat selectieve kap de menging van beuk en eik langere tijd in stand kon houden, terwijl zonder beheersingrepen eiken sneller door beuken werden verdrongen (project ecosysteembeheer, Bijlsma, Verkaik et al. in prep.). Beheersingrepen leken ook een effect te hebben op de menging in grove dennenopstanden. In opstanden van grove den die net buiten de bosreservaten Pijpebrandje en Zwarte Bulten waren gelegen, was het aandeel jonge loofbomen groter dan in grove dennenopstanden met eenzelfde jaar van aanleg maar gelegen binnen de reservaten. Waarschijnlijk zorgde houtoogst hier voor een snellere toename van loofboomsoorten dan wanneer geen hout werd geoogst. Beheer lijkt dus op twee manieren menging te bevorderen. Enerzijds kan het menging in stand houden, zoals in het eiken-beukenbos, en anderzijds kan houtoogst menging stimuleren zoals in grove dennenbos (project ecosysteembeheer, Bijlsma, Verkaik et al. in prep.). Een studie waarbij de bosontwikkeling met een computermodel werd gesimuleerd, en waarbij als input gegevens uit bosreservaten werden gebruikt, bevestigen de bevindingen uit dit onderzoek in en buiten bosreservaten. Ook in de modelsimulaties bleek, op de middellange termijn, 'niets doen beheer' tot minder menging in het bos te leiden dan een beheer waarbij wel werd ingegrepen (Schelhaas et al. 2005).

Een tweede verschil tussen de ontwikkeling in en buiten de bosreservaten is dat het bos binnen de reservaten dichter werd (Figuren 11, 12, 16, 17). Het bos buiten de reservaten werd slechts dichter op plekken met veel dunne bomen (Figuur 21). Een logische verklaring voor dit verschil is het staken van de houtoogst in de reservaten. Daardoor gaan bomen in de reservaten slechts door natuurlijke oorzaak dood, terwijl buiten de reservaten bomen wel verdwijnen door houtoogst. In sommige reservaten werd het bos al ver voor de aanwijzing als reservaat zeer extensief beheerd, zoals in reservaat de Zwarte Bulten (Maes 2006). In andere reservaten werd de houtoogst pas gestaakt op het moment dat het reservaat werd aangewezen. Vooral de reservaten waar nog intensief hout werd geoogst voor de aanwijzing als reservaat zullen sinds het staken van de houtoogst dichter zijn geworden.

De ontwikkeling van de populatieopbouw lijkt binnen en buiten de reservaten min of meer hetzelfde te zijn verlopen. In beide gebieden nam het aantal bomen in de lagere diameterklassen af en in de wat hogere diameterklassen toe. De ontwikkeling in de laagste diameterklasse verschilt echter wel. In de reservaten daalde namelijk het aantal bomen met een diameter van 5-10 cm (Figuur 13) terwijl in het op productie gerichte bos dit aantal licht steeg (Figuur 22). Een oorzaak lijkt de sterke daling van het oppervlakte bos met hele dunnen bomen in de bosreservaten (Figuur 10). Buiten de bosreservaten daalde dit oppervlakte ook (Figuur 20), maar minder sterk. Ook voor dit verschil zou een verklaring de gestaakte houtoogst in de reservaten kunnen zijn. Doordat er geen groepenkap of vlaktegewijze kap meer plaatsvindt in de reservaten, lijkt het logisch dat het oppervlakte bos met dunne bomen sterk afneemt. Het overgrote deel van het bos in de reservaten bevindt zich in een fase waarin het stamtaal afneemt en de gemiddelde diameter van de bomen toeneemt (Tabel 9). Er

treedt zelfdunning op in de cirkels en de overgebleven bomen worden dikker en hoger.

Kroon- en stamvorm

De kroon- en stamvorm in de reservaten lijkt te veranderen, waarbij de stammen gemiddeld slanker en langgerechter worden en de kroondieptes en kroonfracties stijgen (Figuren 14, 15). Een logische verklaring voor de toename van de h/d verhouding in bosreservaten lijkt het dichter worden van het bos (Figuren 11, 12). Uit literatuur is bekend dat in natuurlijk bos waar geen dunningen plaatsvinden de h/d verhoudingen hoger zijn dan in bos waar wel wordt gedund (Karlsson 2000; Mäkinen & Isomäki 2004a, b).

Andere factoren, zoals bijvoorbeeld bemesting, kunnen de stamvorm ook beïnvloeden (Karlsson 2000). De afgelopen decennia werd het Nederlandse bos bemest door stikstofdepositie uit de lucht (Boxman 2007; Magnani & Al. 2007; Kros et al. 2008). Zou stikstofdepositie de oorzaak zijn van de veranderde stamvorm in de bosreservaten, dan zou ook de h/d verhouding buiten de bosreservaten moeten stijgen. Echter, in bos buiten de reservaten steeg alleen de h/d verhouding van de lagere diameterklassen terwijl de h/d verhoudingen van grotere bomen daalde (Figuur 23). Ook voor de verhoging van de h/d verhouding van de kleinere bomen in bos buiten de reservaten (Figuur 23) lijkt de toename van de dichtheid van het bos de verklaring te kunnen zijn. Steekproefpunten waar de gemiddelde diameter van de aanwezige stammen klein was, bevatten tijdens de Vijfde Bosstatistiek namelijk meer bomen dan tijdens de Vierde Bosstatistiek (Figuur 21). Waarschijnlijk dat door het dichter worden van het jonge bos de h/d verhoudingen van kleine bomen wat groter zijn geworden. De daling van de h/d verhouding van dikke stammen in het bos buiten de reservaten (Figuur 23) lijkt niet veroorzaakt door een veranderde dichtheid van het bos. De stamtallen in steekproefpunten met dikke bomen bleven namelijk gelijk (Figuur 21). Wellicht dat de h/d verhoudingen zijn gedaald doordat tegenwoordig bij de houtoogst vaker hoogdunning wordt toegepast en minder vaak laagdunning en vlaktegewijze kap (Van Den Bos 2002; Daamen et al. 2007). Hierdoor komt er waarschijnlijk meer ruimte in het kronendak. Bij hoogdunning worden namelijk vooral dominante, hoge bomen uit het bos geoogst, terwijl bij laagdunning juist de onderstandige en onderdrukte bomen uit het bos worden verwijderd.

Waardoor de kroondiepte in de bosreservaten precies is toegenomen (Figuur 15), is niet duidelijk. In de literatuur wordt vaak gemeld dat wanneer het bos opener wordt ten gevolge van ingrepen in het bos, zoals dunningen, de boomkronen dieper worden (Larson 1963; Karlsson 2000; Mäkinen & Isomäki 2004a, b). In de bosreservaten speelt het omgekeerde proces, daar zijn de ingrepen juist stopgezet. Als gevolg hiervan is het bos dichter geworden (Figuren 11, 12). Op basis van de literatuur zou je dan verwachten dat door het dichter worden van het bos de boomkronen kleiner worden. Echter, de boomkronen zijn dieper geworden (Figuur 15). In de kernvlaktes van bosreservaten wordt de kroonvorm in meer detail beschreven. Wellicht dat toekomstig onderzoek van die gegevens de ontwikkeling van de kroonvorm in de bosreservaten kan verklaren.

Conclusies

De 'structuur' van bos is een breed begrip waaronder veel kenmerken kunnen worden samengevat. In deze studie is een aantal aan steekproefcirkels ontleende structuurkenmerken op een rij gezet en dat levert het volgende beeld op:

- Het bos in de reservaten is veelal gelegen op droge, leemarme zandgronden waarbij grove den een boomsoort is die een groot aandeel heeft in het totale grondvlak.
- Een indeling van bomen in vier hoogteklassen lijkt aan te geven dat de verticale gelaagdheid duidelijk verschilt tussen bos gedomineerd door beuk en bos gedomineerd door ruwe berk. In het beukenbos komen relatief weinig bomen onder in het bos voor, terwijl in het berkenbos daar relatief veel bomen aanwezig zijn.
- Een groot deel van het bos in de reservaten bevindt zich in een fase van zelfdunning waarbij stamtallen afnemen en overgebleven bomen hoger en dikker worden.
- De boompopulatie van het bos in de reservaten verschuift, waarbij dikke (oudere) bomen algemener worden en dunne (jonge) bomen in aantallen afnemen. Het oppervlakte bos met dunne bomen daalt sterk in de reservaten.
- De menging in het bos van de reservaten was vrij hoog vergeleken het bos buiten de reservaten.
- De menging in het bos neemt langzamer toe in de bosreservaten dan buiten de reservaten. Dit komt waarschijnlijk doordat houtkap buiten de reservaten enerzijds menging bevordert en anderzijds aanwezige menging in stand houdt.
- In reservaten met grove dennenbos op het arme fysiotoop Hz, is het aantal individuen van struikvormende soorten groter geworden.
- Het bos in de reservaten is dichter geworden. Zo was in 1999 bos waar de gemiddelde diameter bijvoorbeeld 20 cm was, dichter (hoger stamtaal, groter grondvlak) dan bos waar in 1989 de gemiddelde diameter 20 cm was. Het op productie gerichte bos buiten de reservaten is nauwelijks dichter geworden, slechts op die plekken waar veel dunne bomen staan.
- Het dichter worden van het bos in de bosreservaten heeft effect gehad op de stamvorm. Stammen zijn smaller en langgerechter geworden.
- Voor veel boomsoorten in de reservaten geldt dat de kronen dieper zijn geworden en dat de kroonfractie is toegenomen. De oorzaak hiervan is onduidelijk.

Bovenstaand beeld van de structuur in de bosreservaten kan scherper. Enerzijds door meer structuurkenmerken mee te nemen bij de analyses, zoals informatie over verjonging of sterfte. Daarnaast door bij de analyses vaker onderscheid te maken tussen bijvoorbeeld fysiotoopen of bosypten. Doordat alle stammen in de database nu daadwerkelijk tophoogten hebben, en doordat er nu procedures zijn waarmee de informatie op steekproefcirkelniveau vrij eenvoudig is samen te vatten, zijn dit soort analyses in de toekomst vrij eenvoudig uit te voeren.

Literatuur

- Anonymous 1988. Instructie veldopname Vierde Nederlandse Bosstatistiek, Staatsbosbeheer, sector Bosbouw, Afdeling Statistiek.
- Bijlsma, R.J., A.P.P.M. Clerkx & R.W.D. Waal 2005. Diversiteit uit zand. De ontwikkeling van bosstructuur, vegetatie, bodem en humusvorm in bosreservaten op stuifzand. Wageningen, The Netherlands, Alterra. Alterra-rapport 1223. 134pp.
- Bijlsma, R.J. 2008. Bosreservaten: koplopers in de natuurlijke ontwikkeling van het Nederlandse boslandschap. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1680. 50pp.
- Bohlman, S. & S. O'brien 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 22(2): 123-136.
- Boxman, D. 2007. Bos onder dak. Langetermijneffecten van stikstofdepositie in bos. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 4(1): 20-23.
- Broekmeyer, M.E.A. & P.J. Szabo 1993. The Dutch forest reserves programme. Proceeding of the European Forest Reserves Workshop, 6-8 May 1992, Wageningen, The Netherlands. M.E.A. Broekmeyer, W. Vos & H. Koop: 75-85.
- Broekmeyer, M.E.A., A.P.P.M. Clerkx, A.F.M. Van Hees & H.G.J.M. Koop 1997. Veldwerkhandleiding Bosreservaten, bosstructuur kernvlakte, steekproefcirkels, vegetatie. Wageningen, IBN-DLO.
- Broekmeyer, M.E.A. 1999. Bosreservaten: waarom? *De Levende Natuur* 100(5): 150-153.
- Clerkx, A.P.P.M., M.E.A. Broekmeyer, P.J. Szabo, A.F.M. Van Hees, L.J. Van Os & H.G.J.M. Koop 1996. Bosdynamiek in bosreservaat Galgenberg. Wageningen, IBN-DLO. 137pp.
- Clerkx, S. & A. Van Hees 1999. Natuurlijke verjonging in bos op de arme zandgronden. *De Levende Natuur* 100(5): 158-162.
- Coomes, D.A. & R.B. Allen 2007. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests. *Journal of Ecology* 95: 27-40.
- Daamen, W.P. & G.M. Dirkse 2005. Veldinstructie Meetnet Functievervulling bos 2005. 38pp.
- Daamen, W.P., G.M. Dirkse & H. Schoonderwoerd 2007. Het bos in statistieken. Resultaten van het meetnet functievervulling bos 2001-2005. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 4(4): 18-21.
- De Waal, R. 2007. Fysiotopen van Nederland. Een nieuwe standplaatsindeling op basis van abiotische kenmerken. *Stratiotes*(33/34): 14-24.
- Dirkse, G.M., W.P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Lapink, M. Van Jole, R. Van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer, et al. 2007. Meetnet Functievervulling bos 2001-2005. Vijfde Nederlandse Bosstatistiek. Ede, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. 95pp.
- Franklin, J.F., T.A. Spies, R. Van Pelt, A.B. Carey, D.A. Thornburgh, D.R. Berg, D.B. Lindenmayer, M.E. Harmon, et al. 2002. Disturbances and structural

- development of natural forest with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management* 155: 399-423.
- Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., S.M.J. Wijdeven, L.G. Moraal, M.T. Veerkamp & R.J. Bijlsma 2005. Dood hout en biodiversiteit. Een literatuurstudie naar het voorkomen van dood hout in de Nederlandse bossen en het belang ervan voor de duurzame instandhouding van geledpotigen, paddenstoelen en mossen. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1320: 160pp.
- Kantola, A. & A. Mäkelä 2006. Development of biomass proportions in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Trees* 20: 111-121.
- Karlsson, K. 2000. Stem form and taper changes after thinning and nitrogen fertilization in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 621-632.
- King, D.A. 1991. Tree allometry, leaf size and adult tree size in old-growth forests of western Oregon. *Tree Physiology* 9: 369-381.
- Kint, V. 2003. Structural development in ageing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in western Europe. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Gent, Belgium, Universiteit Gent. PhD-thesis. 194pp.
- Konôpka, J., R. Petrás & R. Toma 1987. The coefficients of slenderness in the main forest species and its importance for the static stability of forest stands. *Lesnictví* 33(10): 887-904.
- Koop, H. 1981. De schaal van spontane ontwikkelingen in het bos. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 53(3): 82-90.
- Koop, H.G.J.M. & R.J. Bijlsma 2006. Ten years of regeneration dynamics in an unexploited Lime-Horbeam Forest in the Bialowieza National Park (Poland): an assessment of the variability of the forest mosaic. *Polish Botanical Studies* 22: 273-282.
- Kros, J., B.J. De Haan, R. Bobbink, J.A. Van Jaarsveld, J.G.M. Roelofs & W. De Vries 2008. Effecten van ammoniak op de Nederlandse natuur. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1698. 132pp.
- Larson, P.R. 1963. *Stem Form Development Of Forest Trees*. Washington D. C., Society of American Foresters.
- Maes, F. 2006. Het verloop van kolonisatie van Grove den door ruwe Berk; ontwikkelingen in tijd en ruimte. Hogeschool Van Hall Larenstein: 38.
- Magnani, F. & E. Al. 2007. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature* 447(june): 848-850.
- Mäkinen, H. & A. Isomäki 2004a. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management* 201: 259-309.
- Mäkinen, H. & A. Isomäki 2004b. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *Forest Ecology and Management* 203: 21-34.
- Schelhaas, M.J., S.M.J. Wijdeven & B.W. Van Der Werf 2005. Zelfregulerende bossen. Een modelstudie naar effecten van 'niets doen' en actief beheer op ontwikkelingen in bosstructuur. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1270. 44pp.
- Spies, T.A. & M.G. Turner 1999. Dynamic forest mosaics. Maintaining biodiversity in forest ecosystems. M.L. Hunter Jr, Cambridge University Press: 95-160.

- Steenwoerd, H. 2006. Structuur in bos. Verkennend literatuuronderzoek naar structuurkenmerken als indicator voor het natuurlijke karakter van bos uitgevoerd voor Staatsbosbeheer te Driebergen in het kader van een stage. Wageningen, Wageningen University. 30pp.
- Stuurman, F.J. 1987. Bosstatistieken in Nederland. Een schets van de geschiedenis van de bosstatistiek, toegespitst op de totstandkoming en de resultaten van de Vierde Nederlandse Bosstatistiek, Staatsbosbeheer, sector Bosbouw, Afdeling Statistiek. 17pp.
- Stuurman, F.J. & J. Clement 1993. The standardized monitoring programme for forest reserves in The Netherlands. Proceeding of the European Forest Reserves Workshop, 6-8 May 1992, Wageningen, The Netherlands. Editors: M.E.A. Broekmeyer, W. Vos & H. Koop. 99-108.
- Szabo, P.J., A.P.P.M. Clerkx & M.E.A. Broekmeyer 1996. De bosstructuur en bossamenstelling van bosreservaat Galgenberg in 1988. Wageningen, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. IBN-rapport 236. 70pp.
- Van den Bos, H. 2002. Naar het bos van morgen. Beheer van het multifunctionele bos bij Staatsbosbeheer. Driebergen, Staatsbosbeheer.
- Van Hees, A.F.M. & A.P.P.M. Clerkx 1999. Dood hout in de bosreservaten. De Levende Natuur 100(5): 168-172.
- Wang, Y., S.J. Titus & V.M. Lemay 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. Canadian Journal of Forest Research 28: 1171-1183.
- Wijdeven, S.M.J., O.H.B. Vaessen, A.F.M. Van Hees & A.F.M. Olsthoorn 2005. Volume calculations of coarse woody debris. Wageningen, Alterra: 50.
- Wijdeven, S.M.J. 2006. Factsheets Dood hout in het bosbeheer. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1430. 30pp.

Bijlage 1 Gebruikte gegevens voor bepaling structuur in bosreservaten

Reservaat	Opname jaar	Aantal cirkels	Reservaat	Opname jaar	Aantal cirkels
Starnumansbos	1989	70	De Schone Grub	1992	48
Lheebroek	1988	71	Dieverzand	1992	23
Galgenberg	1988	71	Molenvén	1995	12
Tussen de Goren	1988	67	Tongerense Hei	1994	56
Vijlnerbos	1989	46	Houtribbos	1997	9
Vechtlanden	1989	33	Hollandse Hout	1995	51
Zeesserveld	1989	37	Kijfhoek	1997	29
Meerdijk	1991	17	De Geelders	1996	24
Pijpebrandje	1988	65	Pilotenbos	1997	8
Nieuw Milligen	1989	70	De Heul	1999	36
Drieduin 1	1990	24	Het Rot	1998	20
Drieduin 2	1990	25	Kremboong	1998	17
Drieduin 3	1990	25	De Stille Eenzaamheid	2000	42
Het Leesten	1988	69	De Horsten	1999	35
Het Quin	1990	51	Kampina	1998	39
Het Sang	1991	52	Smalbroeken	1998	33
Grootvenbos	2001	20	Mattemburgh	1998	48
Schoonloerveld	1993	50	Herkenbos	2000	55
Oosteresch	1991	50	Bunderbos	2002	24
Roodaam	1992	50	Leyduin-Vinkenduín	2003	33
Riemstruiken	1991	50	Imboschberg	2000	51
Zwarte Bulten	1991	71	Grote Weiland	1999	23
Leenderbos	1992	50	Ossenbos	2003	39

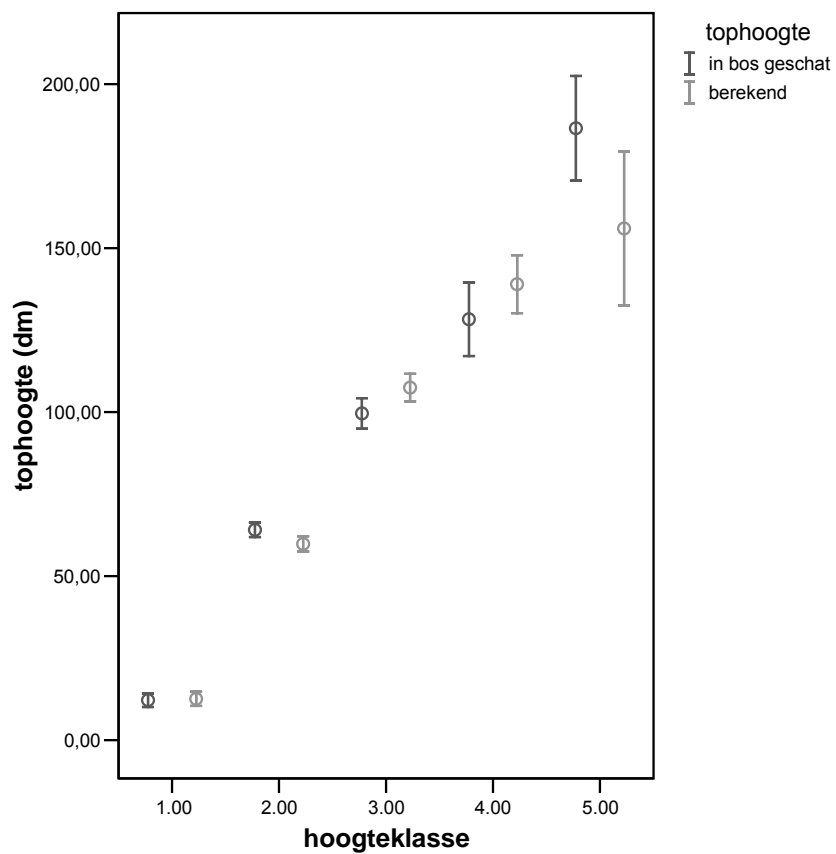
Bijlage 2 Gebruikte gegevens voor bepaling ontwikkeling in bosreservaten

Bosreservaat	Eerste opname	Tweede opname	Aantal cirkels
Galgenberg	1988	1995	69
Het Leesten	1988	2000	43
Hollandse Hout	1995	2007	29
Lheebroek	1988	1999	34
Meerdijk	1991	2000	17
Pijpebrandje	1988	1998	27
Riemstruiken	1991	2007	26
Starnumansbos	1989	1997	35
Tussen de Goren	1988	1996	67
Vechtlanden	1989	2000	30
Vijlnerbos	1989	1996	18
Zeesserveld	1989	2000	18
Zwarte Bulten	1991	2005	40

Bijlage 3 Controle van procedure om tophoogtes toe te kennen

In de database waren ongeveer 571 meerstammige bomen aanwezig waarvan de afzonderlijke stammen wel allemaal een tophoogte hadden en waarvan de stammen niet dood waren. Deze gegevens zijn gebruikt om de procedure van het toekennen van tophoogtes aan meerstammige bomen te controleren. In reservaat 48 bleken al de aanwezige meerstammige bomen steeds identieke tophoogten te hebben voor dezelfde stammen aan een boom. De data uit dit reservaat zijn bij deze controle weggelaten. Bij de controle werd voor iedere boom de stam met de maximale tophoogte geselecteerd. Wanneer er meerdere stammen met deze maximale tophoogte waren dan werd vervolgens de stam met de grootste diameter gekozen. De maximale tophoogte per boom werd gebruikt om een 'wegingsfactor' per boom uit te rekenen. Hierbij werd deze maximale tophoogte gedeeld door de diameter van de stam met die maximale tophoogte. Met deze wegingsfactor zijn vervolgens de overige tophoogten van de meerstammige boom berekend, door per stam deze factor te vermenigvuldigen met de diameter van de stam. Het toetsen van de methode is vervolgens gebeurd door, voor die stammen waarvoor op deze manier een tophoogte is berekend en waar al een tophoogte van bekend was, de berekende tophoogte te vergelijken met de al bekende tophoogte. In totaal ging het om een verzameling van 697 stammen.

De berekende tophoogten bleken redelijk vergelijkbaar met de werkelijke tophoogten (zie figuur). Voor bomen in de tweede hoogteklaas (maximale hoogten van 5-10m) waren de berekende tophoogten gemiddeld significant (gepaarde t-toets) lager dan de werkelijke tophoogten. Bij de twee andere hoogteklassen met veel waarnemingen, hoogteklassen 3 (maximale hoogte 10-15 m) en 4 (maximale hoogte 15-20m) werd het omgekeerde gevonden. Daar waren de berekende tophoogten, op basis van de diameter van de stammen, significant (hoogteklasse 3) of net niet significant (hoogteklasse 4) hoger dan de werkelijke tophoogten zoals ze in het bos waren gemeten. Voor bomen in hoogteklasse 5 (maximale hoogte 20-25m) waren de berekende waarden gemiddeld weer significant lager dan de werkelijke waarden.



Voor meerstammen zijn hier de berekende en de in het bos geschatte tophoogten weergegeven, waarbij de stammen zijn ingedeeld in hoogteklassen op basis van de hoogte van de hoogste stam aan de boom (1 bomen met een maximale tophoogte tot 5m, 2 bomen met een maximale tophoogte van 5-10m, 3 bomen met een maximale tophoogte van 10-15m, 4 bomen met een maximale tophoogte van 15-20m, 5 bomen met een maximale tophoogte van 20-25m).