

Modelmatige vergelijking van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer in grove den en Douglasspar op een rijke bodem

Vergelijking van opstandontwikkeling, oogstvolumes en financiële aspecten van het beheer

Kees Hendriks, Anjo de Jong, Sander Teeuwen, Sara Filipek, Mart-Jan Schelhaas



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Modelmatige vergelijking van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer in grove den en Douglasspar op een rijke bodem

Vergelijking van opstandontwikkeling, oogstvolumes en financiële aspecten van het beheer

Kees Hendriks¹, Anjo de Jong¹, Sander Teeuwen², Sara Filipek¹, Mart-Jan Schelhaas¹

1 Wageningen Environmental Research

2 Stichting Probos

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'B4 Verhoging vastlegging koolstof in bos en natuur' (projectnummer BO-43-126-009).

Wageningen Environmental Research

Wageningen, januari 2024

Gereviewd door:

Gert-Jan Nabuurs, Hoogleraar Europees bos, Wageningen University, Senior researcher Wageningen Environmental Research

Akkoord voor publicatie:

Eric Arets, teamleider van Sustainable Forest Ecosystems

Rapport 3313

ISSN 1566-7197

Hendriks, Kees, Anjo de Jong, Sander Teeuwen, Sara Filipek, Mart-Jan Schelhaas, 2024. *Modelmatige vergelijking van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer in grove den en Douglasspar op een rijke bodem; Vergelijking van opstandontwikkeling, oogstvolumes en financiële aspecten van het beheer*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3313. 58 blz.; 15 fig.; 13 tab.; 51 ref.

Voor opstanden van grove den en Douglasspar vergelijken we bedrijfsresultaten van vlaktegewijs en uitkapbeheer. Opstandkenmerken zijn berekend met bosgroeimodel EFISCEN-space. Kosten en financiële resultaten zijn berekend op basis van literatuur en expertkennis voor verschillende scenario's. Welke beheervorm het gunstigste financiële resultaat heeft, hangt af van de aannames bij de berekeningen voor o.a. beheer (omvang van het grondvlak), bedrijfskosten (plant- en oogstkosten) en bedrijfseconomische aspecten (rentevoet en houtprijzen). Vooral de hoogte van de rentevoet is bepalend voor de beheervorm die tot het hoogste financiële resultaat leidt. Daarnaast is het beginpunt van berekening (opstandleeftijd) bepalend voor de hoogte van het financiële resultaat.

For stands of Scots pine and Douglas fir, we compare business results of even-age and uneven-age management. Stand characteristics have been calculated using the EFISCEN-space forest growth model. Costs and financial results have been calculated based on literature and expert knowledge for different scenarios. Which management type has the highest financial result, depends on the assumptions in the calculations for, among other things, management (size of the ground area), operating costs (planting and harvesting costs), and business economic aspects (interest rate and wood prices). In particular, the level of the interest rate determines the management type that leads to the highest financial result. In addition, the starting point of calculation (stand age) determines which management type has the highest financial result.

Trefwoorden: vlaktekop, uitkap, houtoogst, modelberekening, bedrijfseconomische resultaten
Key words: even-aged, uneven-aged, timber harvest, model calculations, business economic results

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/647539> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3313 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Hoge Veluwe 2022 foto Anjo de Jong

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Doel	14
1.3 Werkwijze	14
1.4 Leeswijzer	15
2 Begripsbepaling en uitgangspunten voor de vergelijking van vlaktegewijs en uitkapbeheer	16
2.1 Wat verstaan we onder uitkap- en vlaktegewijs beheer?	16
2.1.1 Vlaktegewijs beheer	16
2.1.2 Uitkapbeheer	17
2.1.3 Karakteristieken van vlaktegewijze kap en uitkapbeheer	20
2.2 Invloed van kapsystemen op de houtkwaliteit	20
2.3 Uitgangspunten voor vergelijking van vlaktegewijze kap en uitkap en scenario's	21
2.3.1 Berekening van bijgroei en oogst	21
2.3.2 Boomsoort	22
2.3.3 Groei	22
2.3.4 Verjongingswijze	22
2.3.5 Dunningsregime	23
2.3.6 Vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer in scenario's	23
3 Oogstvolumes voor de scenario's met vlaktegewijs en uitkapbeheer	25
3.1 Grove den	25
3.2 Douglasspar	29
4 Kosten van maatregelen en opbrengsten van hout bij vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer	33
4.1 Houtprijzen	33
4.2 Kosten van maatregelen	36
4.2.1 Verjonging	36
4.2.2 Vellen, snoeien, sortimenteren	36
4.2.3 Uitrijden	37
4.2.4 Blessen	37
4.2.5 Uurtarieven en overhead	37
5 Kosten en baten van houtoogst in bos met vlaktegewijs en uitkapbeheer	38
5.1 Grove den	39
5.2 Douglasspar	42
6 Discussie	46
7 Conclusies	53
Literatuur	55



Verantwoording

Rapport: 3313

Projectnummer: BO-43-126-009

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Hoogleraar Europees bos, Wageningen University, Senior Researcher Wageningen
Environmental Research

naam: Gert-Jan Nabuurs

datum: 23-10-2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Eric Arets

datum: 11-12-2023

Woord vooraf

Discussies over het beheer van bos zijn al zo oud als het bos zelf. In vroeger tijden werd het bos vooral benut voor brandhout, geriefhout en als plaats om vee te weiden. Er werd over het algemeen weinig of geen aandacht besteed aan beheer gericht op het voortbestaan van het bos of biodiversiteit. De landbouw was voor mest afhankelijk van de woeste gronden. Dat leidde in de middeleeuwen tot het vrijwel verdwijnen van het bos uit Nederland. In de 19^e eeuw kwam het gebruik van kunstmest op en was men minder afhankelijk van woeste gronden. De woeste gronden werden bebost, mede om zandverstuiving tegen te gaan. De beplantingen hadden vooral houtproductie als doel. Aanleg gebeurde meestal als gelijkjarige monoculturen. Veel gronden waren door het gebruik uitgeput waardoor weinig eisende boomsoorten, voornamelijk grove den, werden gebruikt bij de herbebossing. De opstanden werden in de tijdgeest planmatig beheerd en na een vaste omlooptijd gekapt en verjongd met veelal weer grove den. Andere soorten die zich spontaan vestigden, werden veelal verwijderd bij de jeugdverzorging en dunningen. In de jaren zeventig van de vorige eeuw kwam het natuurgerichte bosbeheer op nadat een aantal stormen flink had huisgehouden in de gelijkjarige bossen. Met de opkomst van dit bosbeheer werd het gangbare gelijkjarige vlaktegewijze beheer en de oogst door kaalkap steeds meer ter discussie gesteld. Natuurgericht bosbeheer stelde sinds de jaren tachtig steeds meer het gebruik van natuurlijke processen voorop bij het beheer. Uitkapbeheer is daar een uitvloeisel van. Recent is er bij uitkapbeheer meer aandacht voor het gebrek aan de gewenste (hoeveelheid) verjonging en is er in dergelijke gevallen meer aandacht voor de (iets) grotere groepenkap, kleine kaalkappen en voor actief planten. Maar uitkap blijft een van de gewenste beheervormen in het Nederlandse bos. Uitkap zou een vorm van beheer kunnen zijn dat meer aansluit bij de publieke voorkeur van bosbeheer en een beheervorm die tevens bijdraagt aan behoud en ontwikkeling van biodiversiteit in het bos. Naast beheertechnische en ecologische vragen is er de laatste jaren ook discussie over de financiële opbrengsten van het bosbeheer, waarbij de vraag gesteld wordt welke vorm van beheer het meest rendeert.

Met dit onderzoek pogen we met het genereren van onderbouwde informatie een bijdrage te leveren aan de discussie over opstandontwikkeling, beheeraspecten, houtopbrengsten en financiële resultaten ter vergelijking van vlaktekap en uitkap.

Onze dank gaat uit naar Frits Mohren, hoogleraar bosecologie en bosbeheer aan Wageningen University, voor het becommentariëren van het rapport en naar Gert-Jan Nabuurs, hoogleraar Europees bos aan Wageningen University, voor het reviewen van het rapport.

Samenvatting

Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de gezamenlijk provincies hebben in de Bossenstrategie ambities en doelen voor het Nederlandse bos geformuleerd (LNV, 2020). In de Bossenstrategie wordt over de functievervulling van bos het volgende gezegd:

“Daarnaast kunnen bossen een bijdrage leveren aan de andere maatschappelijke opgaven, zoals de klimaatopgave. Bos kan een bijdrage leveren door vastlegging van koolstof, geeft koelte bij hitte en het helpt water vast te houden. Hiermee helpt bos de gevolgen van klimaatverandering beter op te vangen. Ook leveren bomen en bos een bijdrage aan een aantrekkelijk landschap en daarmee aan de leefbaarheid en het vestigingsklimaat. Verder kan bos bijdragen aan waterveiligheid. En bos is leverancier van de hernieuwbare grondstof hout. Duurzaam en langjarig gebruik van hout uit bossen zorgt dat mensen zich meer verbonden voelen met houtproductie en de oogst van hout als normaal ervaren. De waardering van hout als duurzaam product kan bijdragen aan de stappen die we zetten richting een circulaire economie.”

Bij het bereiken van doelen voor biodiversiteit, houtoogst, recreatie en klimaat (CO₂-vastlegging), speelt kosteneffectiviteit een grote rol bij de keuze van de beheermethode. Het bereiken van de doelen kan met diverse beheersystemen worden gerealiseerd. In dit onderzoek zoomen we in op de houtproductiefunctie en de beheervormen vlaktekop en uitkap. Er is echter nog weinig informatie beschikbaar om de financiële gevolgen van de verschillende beheersystemen goed te kunnen vergelijken. Voor bosbeheerders is inzicht in de bedrijfseconomische aspecten van verschillende beheervormen, naast effecten van maatregelen op biodiversiteit, vitaliteit, productie en koolstofvastlegging, van groot belang om een goede afweging van maatregelen te kunnen maken.

Doel van het onderzoek is het in beeld brengen van verschil in bosontwikkeling en houtopbrengst en bedrijfseconomische aspecten van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer en de belangrijkste financiële consequenties daarvan in een Nederlandse situatie. Voor bosbeheerders is inzicht in de bedrijfseconomische aspecten van verschillende beheervormen, naast effecten van maatregelen op biodiversiteit, vitaliteit, productie en koolstofvastlegging, van groot belang om een goede afweging van maatregelen te kunnen maken. Bij het bereiken van doelen voor biodiversiteit, houtoogst, recreatie en klimaat (CO₂-vastlegging), speelt kosteneffectiviteit een grote rol bij de keuze van de beheermethode.

Voor het doorrekenen van de financiële consequenties hebben we vier fictieve opstanden gecreëerd met als boomsoort grove den en Douglasspar. Voor beide boomsoorten zijn we uitgegaan van twee verschillende beheervormen: (1) een gelijkjarige monocultuur met vlaktegewijs beheer en met kaalkap aan het einde van de omloop en (2) een ongelijkjarige monocultuur met uitkap van doeldiameterbomen en met dunning in alle diameterklassen. Voor de groeiplaats zijn we uitgegaan van een rijke groeiplaats, vergelijkbaar met die van bosreservaat Het Leesten, en met een goede geschiktheid voor beide boomsoorten. De groei en de oogstvolumes per diameterklasse van de opstanden zijn berekend met het bosgroeimodel EFISCEN-Space (Schelhaas et al., 2022). Op basis van literatuur en expertkennis is een schatting gemaakt van de sortimenten die uit de oogstvolumes kunnen worden gehaald. Voor de sortimenten zijn vervolgens houtprijzen gehanteerd op basis van de rondhout enquête van Probos, aangevuld met expertkennis en interview data. In het beheer zijn kosten voor verjongen, vellen, uitrijden, blespen en overhead meegenomen. Bij het doorrekenen van de financiële consequenties is een aantal varianten onderscheiden, waarbij wel en geen plantkosten zijn meegenomen en waarbij wel en niet met rente is gerekend. Bij de vlaktegewijze scenario's is het startjaar van de berekening gevarieerd door te starten op 10 jaar voor de eindkap (bij vlaktegewijs beheer) of op een leeftijd van 10 jaar. Verder zijn varianten opgesteld om met onzekerheid over toekomstige houtprijzen, te oogsten houtkwaliteit en oogstkosten om te gaan. Hiervoor zijn drie varianten opgesteld: 1) een variant uitgaande van een 20% hogere houtprijs dan de huidige prijs en een 10% hoger aandeel kwaliteitshout dan de basisvariant, 2) een variant met een 20% lagere houtprijs en een 10% lager aandeel kwaliteitshout en 3) een variant met 20% hogere oogstkosten.

Het in beeld brengen van de ontwikkeling van het bos bij verschillende beheervormen en de gevolgen daarvan op de oogstvolumes, sortimenten en houtprijzen brengt onzekerheden met zich mee. In de praktijk kan dit aanzienlijk anders zijn dan de in deze studie berekende niveaus. Verschillen in beheer, groeiplaats en uitgangssituatie maken bestaande opstanden in de praktijk onderling lastig te vergelijken. Dit is ook de reden dat we geen gebruik hebben gemaakt van bestaande opstanden en hebben gekozen om fictieve opstanden te beschrijven en daarvoor verschillende scenario's met verschillende varianten op te stellen en deze door te rekenen.

De doorgerekende scenario's laten een wisselend beeld zien welke beheervorm tot het gunstigste financieel resultaat leidt. De hoogte van het financiële resultaat hangt af van de aannames die zijn gedaan voor de berekeningen van o.a. beheer (omvang van het grondvlak), bedrijfskosten (plant en oogst kosten) en bedrijfseconomische aspecten (hoogte van de rentevoet en de hoogte van de houtprijzen). Met name het wel of niet hanteren van een rentevoet heeft invloed op welke beheervorm het hoogste financiële resultaat geeft. Daarnaast is bij het rekenen met rente het beginpunt van de berekening bepalend voor de beheervorm die het hoogste financiële resultaat laat zien.

Voor grove den wordt voor de scenario's met 0% rente het hoogste resultaat behaald in beide scenario's met vlaktegewijs beheer. De vlaktegewijs beheerde scenario's hebben een gering onderling verschil in resultaat. Dit geldt voor alle scenario's en is onafhankelijk van de variatie in oogstkosten, houtprijs en plantkosten. Het uitkapscenario met uitkap bij een laag grondvlak ($14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) leidt bij 0% rente voor alle varianten tot het laagste financiële resultaat. Uitkapbeheer leidt wel tot een beter financieel resultaat in de situatie dat bij vlaktegewijs beheer kosten (moeten) worden gemaakt voor verjonging en bij uitkap niet. Dit is ook nog het geval als bij uitkapbeheer 20% meer oogstkosten worden gemaakt dan bij vlaktegewijs beheer.

Bij 3% rente wordt voor grove den het hoogste financiële resultaat berekend in het scenario met vlaktegewijs beheer berekend vanaf 80-jarige leeftijd als beginpunt van de berekening. In de vlaktegewijze variant, waarbij wordt gerekend vanaf 10-jarige leeftijd, wordt het laagste financiële resultaat berekend. De uitkapscenario's scoren hoger ten opzichte van de scenario's met vlaktegewijs beheer met beginpunt 10 jaar. Dit geldt voor de scenario's waarin geen plantkosten worden meegerekend. In het geval wel plantkosten worden meegerekend, scoren de uitkapscenario's aanzienlijk lager dan de vlaktegewijs beheerde scenario's. Evenals bij 0% rente, geldt bij 3% rente dat als bij vlaktegewijs beheer plantkosten worden meegenomen en bij uitkapbeheer niet, de uitkapscenario's hoger scoren op financieel resultaat dan de vlaktegewijze scenario's.

Voor Douglasspar wordt bij 0% rente en het niet meenemen van plantkosten het hoogste financiële resultaat behaald voor het uitkapscenario met uitkap bij een grondvlak van $28 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Het grondvlak is hierbij doorslaggevend. De uitkapvariant met een laag grondvlak ($21 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) leidt tot het laagste financiële resultaat. Worden plantkosten wel meegerekend, dan wordt het hoogste resultaat berekend in beide varianten met vlaktegewijs beheer. In geval bij vlaktegewijs beheer wel kosten voor planten (moeten) worden gemaakt en bij uitkapbeheer niet, dan leidt de uitkapvariant met hoog grondvlak tot het hoogste financiële resultaat. Dat is ook het geval als er 20% hogere oogstkosten gemaakt worden in de uitkapvariant.

Bij 3% rente wordt het hoogste financiële resultaat behaald voor alle scenario's behaald in de variant met vlaktegewijs beheer met een 80-jarige opstand als beginpunt van de berekening. Voor de variant met vlaktegewijs beheer met beginpunt een 10-jarige opstand wordt het laagste financiële resultaat berekend voor vrijwel alle scenario's. In tegenstelling tot grove den maakt het bij Douglasspar voor het scenario met het hoogste resultaat niet uit of plantkosten wel of niet worden meegenomen. Ook bij het meenemen van plantkosten blijft het vlaktekapscenario met startpunt 80 jaar het hoogste resultaat behalen. Wordt bij plantkosten echter als startpunt de 10-jarige opstand genomen, dan leidt dat tot een lager resultaat dan de uitkapvarianten.

Summary

The Ministry of Agriculture, Nature, and Food Quality (LNV), together with the provinces, has set ambitions and goals for Dutch forests in the National Forest Strategy (LNV 2020). The forest strategy states the following regarding the role of forests:

“In addition, forests can contribute to other societal challenges, such as the climate challenge. Forests can contribute by sequestering carbon, provide cooling during heatwaves, and help in water retention. This helps forests to better mitigate the effects of climate change. Trees and forests also contribute to an attractive landscape, thereby enhancing quality of life and the business climate. Furthermore, forests can contribute to water security. Additionally, forests serve as a source of renewable wood material. Sustainable and long-term use of wood from forests ensures a stronger connection between people and wood production, normalizing wood harvesting. Appreciation for wood as a sustainable product can contribute to our transition towards a circular economy.”

When it comes to achieving goals related to biodiversity, timber harvesting, recreation, and climate (carbon sequestration), cost-effectiveness plays a significant role in choosing the management type. Various management systems can be used to achieve these goals. In this research, we focus on the wood production function and the management types of even-aged stands with clear-cutting and uneven-aged stands with selective cutting. There is, however, still limited information available to properly compare the financial consequences of these two management types. For forest managers, understanding the business and economic aspects of different management types, in addition to the effects of measures on biodiversity, vitality, production, and carbon sequestration, is crucial for making well-informed decisions.

The goal of this research is to assess the differences in stand development, timber yield, and business economic aspects of clear-cutting and selective cutting management systems and to understand their key financial implications in a Dutch context.

To assess the financial consequences, we have created four fictional forest stands with Scots pine and Douglas fir as tree species. For both tree species, we assumed a monoculture with two different management types: clearcutting and selective harvesting with thinning across all diameter classes and harvesting above desired target diameter. We considered a rich site quality for both tree species, similar to that of forest reserve Het Leesten. Growth and harvest volumes per diameter class of the stands were calculated using the EFISCEN-Space forest growth model (Schelhaas et al. 2022). Based on literature and expert knowledge, an estimate was made of the assortments that could be obtained from the harvest volumes. Timber prices for the assortments were then applied based on the roundwood survey conducted by Probos, supplemented with expert knowledge and interview data. Management costs, including regeneration, felling, extraction, marking, and overhead, were included in the analysis.

When assessing the financial consequences, several scenarios were distinguished, including those with and without planting costs and those with and without interest calculations (0% and 3%). For the clearcut scenarios, the starting year of the calculation was varied, either starting 10 years before the clearcut or at a stand age of 10 years. Furthermore, variants were developed to address uncertainty regarding future timber prices, timber quality, and harvesting costs. These variants included one assuming a 20% higher timber price than the estimated base price and a 10% higher share of high-quality timber compared to the base variant, as well as a variant with a 20% lower timber price and a 10% lower share of high-quality timber, and a variant with 20% higher harvesting costs.

Calculation of forest's development under different management types and its effects on harvest volumes, assortments, and timber prices generates uncertainties. In practice, these may differ significantly from the levels calculated in our study. Differences in management, site quality, and initial conditions make it difficult to compare existing stands in practice. This is also the reason we did not use existing stands and chose to describe fictional stands. By developing various scenarios with different variants we tried to tackle part of the uncertainties.

The analysed scenarios present a varying picture of which management type leads to the most favourable financial outcome. The level of the financial outcome depends on the assumptions made for the calculations, including management (size of the basal area), operating costs (planting and harvesting costs), and business economic aspects (interest rate and timber prices). Especially the presence or absence of an interest rate (0% and 3%) in the calculations has impact on which management type yields the highest financial result. Additionally, when calculating with interest, the starting point of the calculation (stand age) for the clearcut system determines which management type exhibits the highest financial outcome.

For Scots pine, in scenarios with a 0% interest rate, the highest result is achieved in both clearcut scenarios among the even-aged management types. Mutually the clearcut scenarios show only slight differences in results. This holds true for all scenarios and is independent of variations in harvesting costs, timber prices, and planting costs. The selective harvesting scenario with low basal area (14 m² ha⁻¹) yields the lowest financial result in all variants with 0% interest. Selective harvesting does, however, lead to a better financial result when regeneration costs are incurred in clearcutting management but not in selective harvesting. This remains the case even when selective harvesting incurs 20% higher harvesting costs compared to clearcutting.

At a 3% interest rate for Scots pine, the highest financial result is calculated in the clearcutting scenario within even-aged management starting at 80 years of age as the beginning point of the calculation. In the even-aged variant starting at 10 years of age, the lowest financial result is calculated. The selective harvesting scenarios outperform the even-aged management scenarios when planting costs are not included. However, if planting costs are included, the selective harvesting scenarios score significantly lower than the even-aged management scenarios. Similar to the 0% interest rate scenario, at 3% interest, if planting costs are included in even-aged management but not in selective harvesting, the selective harvesting scenarios yield higher financial results than the even-aged scenarios.

For Douglas fir, at a 0% interest rate and without planting costs, the highest financial result is found in the selective harvesting scenario with a basal area of 28 m² ha⁻¹. The height of the basal area is crucial in this case. The selective harvesting variant with a low basal area (21 m² ha⁻¹) leads to the lowest financial result. When planting costs are included, the highest result is calculated in both clearcut management variants. In case planting costs were included in the clearcut scenario but not in selective harvesting scenario, the selective harvesting variant with a high basal area leads to the highest financial result. This holds true even if there is a 20% increase in harvesting costs in the selective harvesting variant.

At a 3% interest rate, the highest financial result is achieved in all scenarios within the clearcut management variant starting with an 80-year-old stand as the beginning point of the calculation. For the clearcut management variant starting with a 10-year-old stand, the lowest financial result is calculated for almost all scenarios. In contrast to Scots pine, for Douglas fir, including planting costs does not affect the scenario with the highest result. Even when planting costs are included, the clearcutting scenario starting at 80 years yields the highest result. However, if the starting point is the 10-year-old stand, including planting cost result in a lower financial outcome than the selective harvesting variants.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de gezamenlijk provincies hebben in de Bossenstrategie ambities en doelen voor het Nederlandse bos geformuleerd (LNV 2020). In de Bossenstrategie is te lezen dat:

“Bossen spelen een belangrijke rol in onze samenleving en worden hoog gewaardeerd. ... De kwaliteit van het bestaande bos is echter een grotere zorg en heeft onze hoogste prioriteit. Het bos heeft te lijden onder de hoge stikstofneerslag, verdroging en versnippering. Klimaatverandering zet extra druk op de kwaliteit van onze bossen, zoals toename van droogteperioden en ziekten. De urgentie van de Bossenstrategie ligt daarom vooral in het herstel van biodiversiteit, het vergroten van de veerkracht van bossen (nationaal) en het tegengaan van ontbossing (zowel nationaal als mondiaal).”

Over de functievervulling van bos wordt het volgende gezegd:

“Daarnaast kunnen bossen een bijdrage leveren aan de andere maatschappelijke opgaven, zoals de klimaatopgave. Bos kan een bijdrage leveren door vastlegging van koolstof, geeft koelte bij hitte en het helpt water vast te houden. Hiermee helpt bos de gevolgen van klimaatverandering beter op te vangen. Ook leveren bomen en bos een bijdrage aan een aantrekkelijk landschap en daarmee aan de leefbaarheid en het vestigingsklimaat. Verder kan bos bijdragen aan waterveiligheid. En bos is leverancier van de hernieuwbare grondstof hout. Duurzaam en langjarig gebruik van hout uit bossen zorgt dat mensen zich meer verbonden voelen met houtproductie en de oogst van hout als normaal ervaren. De waardering van hout als duurzaam product kan bijdragen aan de stappen die we zetten richting een circulaire economie.”

Bij het bereiken van doelen voor biodiversiteit, houtoogst, recreatie en klimaat (CO₂-vastlegging), speelt kosteneffectiviteit een grote rol bij de keuze van de beheermethode. Het bereiken van de diverse doelen kan met diverse beheersystemen worden gerealiseerd, van kaalkap tot uitkap. Er is echter nog weinig informatie bekend om de financiële gevolgen van verschillende kapsystemen zoals vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer goed te kunnen vergelijken. Voor bosbeheerders is inzicht in de bedrijfseconomische aspecten van verschillende beheervormen, naast effecten van maatregelen op biodiversiteit, vitaliteit, productie en koolstofvastlegging, van groot belang om een goede afweging van maatregelen te kunnen maken.

In de jaren zeventig van de vorige eeuw kwam het natuurgerichte bosbeheer op nadat een aantal stormen flink had huisgehouden in de gelijkjarige bossen. Met de opkomst van dit bosbeheer werd ook het vlaktegewijs beheer en oogst middels kaalkap steeds meer ter discussie gesteld. Natuurvolgend bosbeheer stelde sinds de jaren tachtig steeds meer het gebruik van natuurlijke processen voorop bij het beheer. Ook vanuit de publieke opinie wordt regelmatig bezwaar geuit tegen het kappen van bossen.

Recentelijk is er in het bosbeheer meer aandacht voor het gebrek aan gewenste verjonging en kwaliteit van de verjonging en is er meer aandacht voor grotere groepenkap, kleine kaalkappen en actief planten. Ook uitkap blijft een soms gewenste richting in het Nederlandse beheer. Uitkap zou een vorm van beheer zijn dat meer aansluit bij de publieke voorkeur van bosbeheer en bijdraagt aan behoud en ontwikkeling van biodiversiteit in het bos. Recentelijk is de trend richting grotere groepenkap en de schaal van houtoogst ter discussie gekomen en gaan er stemmen op om houtoogst in het multifunctionele bosbeheer alleen nog te realiseren via uitkapbeheer. Bij uitkapbeheer worden pleksgewijs een of enkele bomen geoogst, bijvoorbeeld als deze een bepaalde doeldiameter hebben bereikt. Maar er kan ook in de kleinere diameters worden geoogst om bijvoorbeeld te sturen in de soortensamenstelling. Essentieel is dat het bosklimaat in stand blijft

en er continu verjonging optreedt. De oogst van bomen vindt verspreid plaats over de opstand of het bosgebied en de verjonging vindt plaats via natuurlijke verjonging, waarbij er in het bos een grote variatie in soorten en leeftijden van bomen aanwezig is. In het buitenland (o.a. Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland) worden uitkapsystemen al langer toegepast (bijvoorbeeld het Plenterwald en Dauerwald). In Nederland is uitkap (nog) geen algemeen toegepast beheersysteem. Wel is er een aantal (delen van) bossen waar uitkapbeheer al langere tijd wordt toegepast, bijvoorbeeld in opstanden van Kroondomein Het Loo, Landgoed Schovenhorst en boswachterij Emmerdennen.

Naast houtproductie levert het bos ook andere diensten die een maatschappelijk waarde vertegenwoordigen, zoals biodiversiteit en koolstofvastlegging. De baten daarvan worden over het algemeen niet in de bedrijfsberekeningen van de bosbedrijven meegenomen, omdat de waarde vooralsnog niet in klinkende munt is om te zetten. Van Berkel et al. (2021) berekenen de maatschappelijke waarde van koolstofvastlegging door bos. Ze hanteren een beleidsafhankelijke koolstofprijs, variërend van € 50 tot meer dan € 1000 per ton C. Het Nederlandse bos heeft over de periode 2005 tot 2021 gemiddeld 1,25 ton C per ha per jaar vastgelegd in de biomassa (Schelhaas et al., 2022). Dit vertegenwoordigt dus een waardetoevoeging van € 75 tot € 1250 per ha per jaar. Duidelijk is dus dat de waarde van koolstofvastlegging de waarde van houtopbrengsten kan evenaren of overstijgen. Indien het financiële rendement in de definitie wordt meegenomen en maatschappelijke diensten zoals koolstofvastlegging en recreatie daarbij worden betrokken, beïnvloedt dit dus ook het moment van oogst. In onze studie zullen we ons bij de vergelijking van de beheervormen echter alleen tot de financiële opbrengsten uit houtoogst beperken en tot de kosten die ermee gemoeid zijn om die houtopbrengst te verkrijgen.

1.2 Doel

Het doel van deze studie is het in beeld brengen van de verschillen in opstandontwikkeling en houtopbrengsten en de belangrijkste financiële consequenties voor vlaktegewijs en via uitkap beheerde opstanden van Douglasspar en grove den voor de Nederlandse situatie op een rijke bosgrond door middel van een modelstudie.

1.3 Werkwijze

Bij de werkwijze zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen uitgangspunten voor de verschillende beheersystemen

Allereest zijn de beheervormen vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer gedefinieerd, o.a. qua doel, bedrijfssysteem, schaal, maatregelen met werkwijzen en opbrengsten. Hierbij is gebruikgemaakt van recente inzichten uit de literatuur (o.a. Den Ouden en Mohren, 2020; Van Raffe en De Jong, 2022).

2. Vaststellen groei- en opbrengstgegevens

De groei en opbrengstgegevens zijn berekend met het bosgroeimodel EFISCEN-Space (Schelhaas et al., 2022). Er is voor dit model gekozen, omdat het is ontworpen om zowel vlaktegewijs beheerd bos als uitkapbos te simuleren. De groeifuncties per boom-diameterklasse zijn afhankelijk van dichtheid van de opstand en de plaats van de boom in de diameterverdeling. Dus in een uitkapsysteem zullen onderstandige bomen onderdrukt worden in hun groei. In paragraaf 2.3.1 is een korte beschrijving gegeven. De uitkomsten van de modelstudie zijn vergeleken met opbrengsttabellen (Jansen en Oosterbaan, 2018) en gegevens uit de NBI-6 (Schelhaas et al., 2014) en NBI-7 (Schelhaas et al., 2022) voor een check van de orde grootte. Voor uitkapbeheer ontbreken goed onderbouwde groei- en opbrengstgegevens voor de Nederlandse situatie. De uitgangspunten zijn daarom zo veel mogelijk onderbouwd met literatuur en expertkennis.

3. Vaststellen uitgangspunten voor verschillende economische grondslagen

De uitgangspunten zijn opgesteld voor de grondslagen gebaseerd op rente-rekenen. Bij rente-rekenen wordt gekeken wat de netto contante waarde van de opstand is bij een gegeven beheer en rente. Daarnaast is berekend wat de annuïteit is, ofwel het equivalent van de jaarlijkse waarde van de opbrengsten en kosten.

4. Doorrekenen op financiële consequenties van beide beheersystemen

De kosten zijn zo veel mogelijk gebaseerd op gegevens zoals die zijn opgenomen in het Normenboek Natuur, Bos en Landschap (Van Raffe en De Jong, 2022) in combinatie met formules voor productiviteit van oogstactiviteiten, gebaseerd op een gemiddelde van diverse bronnen (zie paragraaf 4.2). De sortimentering van het bij kap vrijkomende hout (indeling in productklassen) voor de verschillende houtsoorten is bepaald aan de hand van de jaarlijks door Probos verzamelde data over de Nederlandse rondhout verwerkende industrie. Houtprijzen zijn gebaseerd op bestaande data (Boosten et al., 2017), aanwezige data bij Probos en aanvullende interviews met rondhouthandelaren.

5. Afstemming ander onderzoek

Er is afgestemd met een lopend project van de Unie van Bosgroepen naar aspecten van het uitkapbeheer en er is gebruikgemaakt van de opgedane kennis en expertise bij de Wageningen Universiteit naar aspecten van vlaktegewijze kap (Den Ouden en Mohren, 2020).

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 beschrijven we vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer en maken deze begrippen operationeel voor toepassing in deze studie. Ook beschrijven we de gehanteerde uitgangspunten en aannames die nodig zijn om modelopstanden te kunnen doorrekenen en onderling te kunnen vergelijken.

In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten van de modelberekeningen per scenario beschreven voor grove den en Douglasspar. Overzichten worden gegeven van stamtallen, staande voorraad, oogstvolumes en diameterverdeling van de houtoogst.

In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe we tot de houtprijzen voor verschillende assortimenten en assortimentsschattingen zijn gekomen die in deze studie worden gehanteerd. Ook wordt beschreven hoe de kosten van verjonging en houtoogst zijn berekend.

In hoofdstuk 5 worden voor de verschillende scenario's de uitkomsten van de financiële vergelijking van de scenario's en varianten gegeven en toegelicht.

In hoofdstuk 6 bediscussiëren we de gehanteerde methode en resultaten.

Tot slot worden in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies van de studie gegeven.

2 Begripsbepaling en uitgangspunten voor de vergelijking van vlaktegewijs en uitkapbeheer

2.1 Wat verstaan we onder uitkap- en vlaktegewijs beheer?

Voordat we ingaan op de verschillen tussen vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer en de eventuele verschillen in beheerkosten en houtopbrengsten en de financiële gevolgen daarvan, is het nodig om eerst goed te omschrijven wat wij verstaan onder deze beide beheervormen. Een belangrijk doel van de studie is het in beeld brengen van het verschil in houtopbrengst en financiële opbrengst. We gaan hierbij uit van opstanden met een productiedoelstelling als hoofddoel.

2.1.1 Vlaktegewijs beheer

Vlaktegewijs beheer is een beheervorm waarbij bos, zoals de naam al zegt, vlaktegewijs wordt beheerd. Verjonging van het bos bij vlaktegewijs beheer kent verschillende vormen, zoals kaalkap, schermkap, zoomkap en groepenkap (Mohren et al., 2010). Bij kaalkap wordt een opstand bij het bereiken van een bepaalde leeftijd in een keer in z'n geheel gekapt en verjongd. De andere hiervoor genoemde kapsystemen zijn in feite varianten op de kaalkap. Kaalkap was lang de meest toegepaste verjongingsmethode in Nederland en wordt ook nu nog wel toegepast, zij het in mindere mate. In deze studie focussen we op kaalkap als verjongingsvorm van vlaktegewijs beheer.

Bij vlaktegewijs beheer wordt een opstand over het gehele oppervlak op dezelfde, min of meer systematische, wijze aangelegd (ofwel verjongd) en beheerd. Deze beheervorm is op grote schaal toegepast bij de herbebossingen in de 19^e en 20^e eeuw. De opstanden werden in die periode aangelegd als gelijkjarige monoculturen van 0,5 ha of groter met houtproductie als hoofddoel. Meestal werden daarbij naaldboomsoorten geplant zoals grove den en lariks. De 'opstandsgewijze' structuur van de aanleg is tot op heden in het Nederlandse bos nog goed te zien. Vlaktegewijs beheer met kaalkap is de eenvoudigste manier van planning van beheermaatregelen zoals dunning, oogst en verjonging (Schutz en Van Tol, 1981).

De verjonging kan bij vlaktegewijs beheer door te planten of natuurlijke verjonging. Bij planten worden ca. 2500-6500 planten per ha gebruikt afhankelijk van de boomsoort en de functievervulling van het bos (Schutz en Van Tol, 1981; Jansen et al., 2018). Opstanden kunnen als monocultuur of gemengd worden aangelegd. Om het planten te vergemakkelijken, worden soms de takken van de gevelde opstand op rillen gelegd of wordt het takhout geklepeld. Na planten wordt de opstand tot aan de eindkap met tussenposen van 5 tot 15 jaar gedund om de bomen op regelmatige afstand van elkaar te laten opgroeien, de ontwikkeling van de kwalitatief beste bomen te bevorderen en om hout te oogsten.

Tegenwoordig wordt ook bij vlaktegewijs beheer de opstand meestal natuurlijk verjongd in plaats van kunstmatig door te planten. Voor natuurlijke verjonging kan schermkap toegepast worden. Er worden dan verspreid over de opstand een 30- tot 40-tal bomen per ha gehandhaafd voor de zaadval en het gunstig beïnvloeden van het microklimaat. Bij de kleinschaliger vormen van vlaktekap vindt zaadverspreiding plaats uit de naast de kapvlakte staande bomen.

De eindoogst bij vlaktegewijs beheer vindt plaats door vlaktekap van delen van de opstand of door kaalkap van de gehele opstand. In Nederland zijn de kapvlaktes tegenwoordig meestal beperkt van omvang (kleiner dan 0,5 ha) (Den Ouden en Mohren, 2020), zeker ten opzichte van landen als Scandinavië en Noord-Amerika. In Scandinavië waren kapvlaktes van 20-30 ha in vrij normaal waren, maar inmiddels bedraagt de gemiddelde oppervlakte van een kapvlakte in Zweden nu 3 ha (Skogsstyrelsen, 2023). In Amerika worden kapvlaktes vermeld van honderden hectares (Mohren et al., 2010). Ook in de Verenigde Staten worden inmiddels grenzen gesteld aan de omvang van de kapvlaktes. Zo is er in Oregon een limiet voor de omvang van kapvlaktes van 120 acre (ongeveer 48,5 ha) (Oregon Forest Resource Institute, 2023).

Den Ouden en Mohren (2020) spreken voor de Nederlandse situatie van vlaktekop bij verjongingsoppervlakten groter dan 0,05 ha (een verjongingsvlakte die ontstaat als een boom met een hoogte van 25 m wordt gekapt, tabel 2.1). De grens voor kaalkap wordt gelegd bij kapvlaktes groter dan 0,5 ha (2 à 3 keer de boomhoogte). Bij vlaktes van 0,05-0,5 ha wordt gesproken van kleinschalige vlaktekop of groepenkap.

Tabel 2.1 *Naam van kapsystemen met oppervlakte (ha) (Den Ouden en Mohren, 2020).*
Name of cutting systems and their area size (ha) (Den Ouden en Mohren, 2020).

Oppervlakte (ha)	Naam van kapsysteem
< 0,05	Uitkap
> 0,05	Vlaktekop
0,05 – 0,5	Kleinschalige vlaktekop, groepenkap
> 0,5	Kaalkap

Het tijdstip van de eind oogst – de omloopleeftijd – vindt, afhankelijk van de boomsoort, groeiplaats en assortimentsdoel, in een wat traditioneler beheer plaats op 70- tot 80-jarige leeftijd van de opstand. Deze omloopleeftijd is gebaseerd op het groeiverloop van de boomsoort en het moment daarin waarop de volumeaanwas van de opstand te veel afneemt. Beter nog is het om te kijken naar de gemiddelde waardeaanwas (bijgroei maal houtprijs bij huidige DBH) of naar bijgroei in relatie tot de staande voorraad.

Op het niveau van een beheereenheid wordt in het vlaktekapsysteem gestreefd naar een gelijkmatige leeftijdsverdeling. Stel je hebt een bosbezit van 140 ha met een gelijkmatige leeftijdsopbouw, dan wordt bij een omloopleeftijd van 70 jaar ieder jaar 2 ha van het oudste bos gekapt en verjongd (of 20 ha in 10 jaar) om een gelijkmatige leeftijdsopbouw in stand te houden. In de praktijk zijn er in een bosgebied meer boomsoorten met verschillende omloopleeftijden, waardoor het moment van eindkap en oppervlakte kan verschillen.

Bij vlaktegewijs beheer zijn omloopleeftijd en oppervlakte van de eindkap de belangrijkste stuurvariabelen. Belangrijkste maatregelen zijn planten, dunnen en vlaktegewijze eindkap.

2.1.2 Uitkapbeheer

Uitkapbeheer is de Nederlandse term waarmee een vorm van bosbeheer wordt aangeduid waarbij de oogst plaatsvindt op basis van boomsgewijze selectie over de hele oppervlakte (Mohren et al., 2010). Er bestaan verschillende vormen van uitkapbeheer, bijvoorbeeld het doeldiametersysteem en plenterkap. Bij het doeldiametersysteem vindt de oogst van individuele bomen plaats als ze een bepaalde diameter hebben bereikt. Bij plenterkap vindt oogst plaats, verspreid over alle diameterklassen binnen de opstand of beheereenheid. Hierbij wordt een bepaalde verhouding van stamtallen in de diameterklassen nagestreefd, exponentieel aflopend van de lage diameterklassen naar de hoge klassen. In grafiekvorm geeft het uitzetten van stamtal tegen diameterklasse voor plenterbos de zogenaamde omgekeerde J-curve (De Liocourt, 1898).

De verschillende uitkapsystemen lijken meer of minder op elkaar en worden in Nederland nog maar beperkt en verschillend toegepast. Hierdoor zijn er weinig echt goede en vergelijkbare voorbeelden van wat onder uitkapbos wordt verstaan. Dat heeft er onder andere mee te maken dat het Nederlandse bos nog relatief jong is en zich ontwikkelt vanuit een situatie van vlaktegewijs beheer met voornamelijk monoculturen van lichtboomsoorten. In een deel van het bos wordt alleen door middel van dunning geoogst en vindt een omvorming naar ongelijkjarig bos plaats. Echter meestal wordt pas van een uitkapsysteem gesproken na omvorming naar gemengd, ongelijkvormig bos met een meer op de J-curve gelijkende verdeling van diameters en variatie in boomhoogtes.

Onduidelijkheid over wat uitkapbeheer precies is, wordt deels ook veroorzaakt door de verschillende aanduidingen voor varianten van het beheer die in omloop zijn, zoals ongelijkvormig hooghout, boomsgewijs bosbeheer, ongelijkjarig gemengd bos met beheervormen geïntegreerd bosbeheer, Pro Silva-beheer, groepenkap, en dus ook uitkap.

Bij vergelijking met voorbeelden in het buitenland wordt een eenduidig begrip bemoeilijkt, doordat er meerdere aanduidingen voor beheervormen met uitkap in omloop zijn die meer of minder verwant zijn, zoals de Duitse benamingen Plenterwald, Dauerwald, Naturgemässe Waldwirtschaft, het Franse Forêt jardine en Futaie irrégulière, en het Engelse balanced all-aged forestry, selection forest, continuous cover forestry (CCF). Doordat termen uit het buitenland zich niet altijd een-op-een in het Nederlands laten vertalen, ontstaat ook ruis over de betekenis. Daarbij gaat het erom in het beheer zo goed mogelijk aan te sluiten bij de situatie in het veld en gebruik te maken van de mogelijkheden die het ecosysteem biedt, en niet om het strikt volgen van beheervoorschriften. Alhoewel interessant, zal hier niet geprobeerd worden al deze vormen van beheer en de verschillen ertussen te beschrijven, maar zoomen we in op uitkapbeheer, omdat met name die term wordt gebruikt in discussies over een nieuwe manier van beheer van het Nederlandse bos en de financiële consequenties ervan. In de literatuur wordt er o.a. het volgende over gezegd.

Kramer (1926) stelt uitkapbos gelijk aan Plenterwald zoals dat in Zwitserland en Duitsland bestaat. Leibundgut (1946) omschrijft Plenterwald als een beheervorm waarbij door middel van plenterkap wordt gestuurd op verjonging, selectie en dunning in boomsgewijs gemengde, ongelijkvormige meerjarige bossen. Schutz (2002) beschrijft Plenterwald als een bos waarbij het de kronen van de bomen elkaar merendeels niet raken, maar gezamenlijk de verticale groeiruimte opvullen. De structuur blijft over de oppervlakte in tijd en ruimte duurzaam in stand door toepassing van plenterkap. In deze beheervorm wordt de kronenbedekking voortdurend in stand gehouden en worden enkel individuele bomen gekapt uit zowel de hoogste diameterklassen als de lagere diameterklassen om enerzijds hout te oogsten en anderzijds natuurlijke verjonging onder het scherm mogelijk te maken door voldoende licht op de bodem te laten vallen en om te selecteren en te dunnen.

Thomassen en Delforterie (2016) spreken van boomsgewijs bosbeheer waarbij kap van individuele bomen of enkele bomen bij elkaar plaatsvindt. Zij omschrijven hierbij als doel om de functievervulling niet 'opstandsgewijs', maar voor iedere boom afzonderlijk te optimaliseren. Ze zien deze vorm van bosbeheer in essentie als een variant van de toekomstbomenmethode. Voor de houtproductie wordt een boom gekapt op het moment dat de (financiële) waarde van de boom maximaal is (waardeboom). Een stam met lagere kwaliteit krijgt daarom een lagere doeldiameter dan een stam van hogere kwaliteit. Volgens Thomassen en Delforterie (2016) wordt zo automatisch richting een structureel uitkapbos met continue kroonbedekking gewerkt.

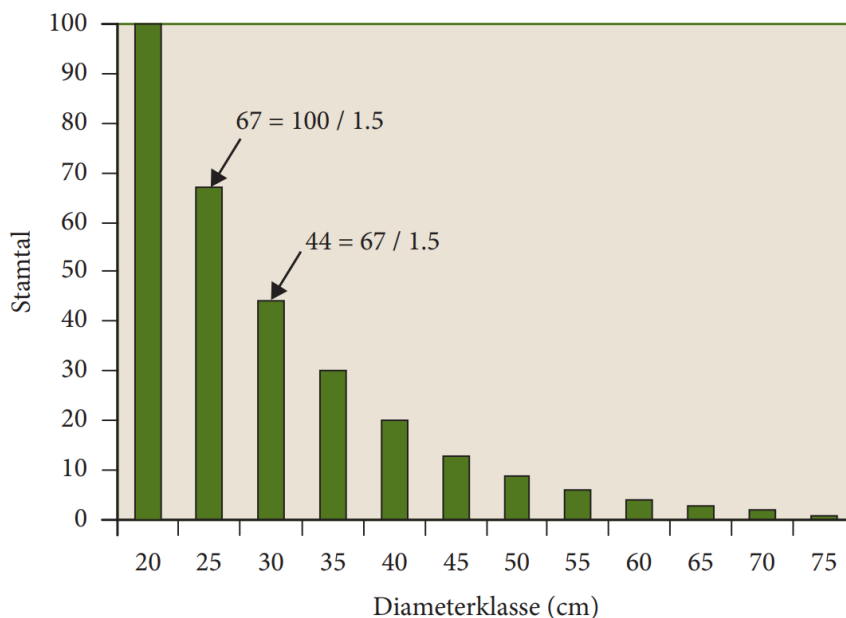
Kuper en Swart (2018) beschrijven uitkap als een systeem waar slechts twee beheermaatregelen worden toegepast: oogst van individuele bomen, verspreid over de opstand en dunning. De oogst van individuele bomen vindt plaats als de bomen een van tevoren bepaalde financieel gerelateerde doeldiameter hebben bereikt, waarbij de relatieve waarde-bijgroei van die boom lager wordt dan het rendement dat je elders kunt realiseren met de opbrengst van het hout op moment van kap bij de doeldiameter. En als tweede maatregel dunning met als doel de waardevolste bomen (die de doeldiameter moeten gaan bereiken) meer groeiruimte te geven. Een dergelijke dunning wordt in veel Nederlandse bossen toegepast en staat bekend als toekomstbomenmethode.

Mohren et al. (2010) onderscheiden naast plenterkap ook ongelijkvorming hooghout als beheervorm binnen uitkapbeheer. Plenterkapsystemen zouden in delen van de Franse, Duitse en Italiaanse Alpen voorkomen met een samenstelling van hoofdzakelijk zilverspar, fijnspar en beuk. Met name zilverspar kan jarenlang in de ondergroei overleven tot het moment dat er een gat in het kronendak ontstaat en de boom kan doorgroeien. De zilverspar en de fijnspar spelen in het laaglandbos een minder prominente rol. In Nederland lenen vooral opstanden met Douglasspar of mengingen van Douglasspar en beuk zich goed voor uitkapsystemen en plenteren. Het ongelijkvormige hooghout maakt het ongelijkjarige en gemengde bossysteem toepasbaar voor de Nederlandse situatie waardoor de hier meest voorkomende boomsoorten zoals grove den en eik in dit systeem kunnen worden toegepast. De opstanden moeten dan wel meer open worden gehouden vergeleken met het plenterwald zodat lichtboomsoorten of halfschaduw soorten zich kunnen verjongen. Mohren et al. (2010) noemen een grondvlak van ca. 15 m² ha⁻¹ of lager voor minder productieve groeiplaatsen.

Bij uitkapbeheer worden dus individuele bomen gekapt om hout te oogsten. Bij uitkapbeheer met een doeldiametersysteem wordt het moment van oogsten bepaald wanneer een boom een doeldiameter heeft

bereikt. Er wordt in principe niet gekapt met het doel om de opstand te verjongen, alhoewel dat als gevolg van het oogsten en het daarbij ontstane gat in de kroonlaag en bodemverwonding meestal wel zal gebeuren. In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij lichtboomsoorten en armere groeiplaatsen, zal de nadruk ook iets meer op openhouden van de opstand voor de verjonging moeten liggen om de continuïteit van de opstand te waarborgen. Doordat bij uitkap met enige regelmaat bomen verspreid over de opstand worden geoogst, zal er een ongelijkjarige en meerlagige opstand ontstaan. Net als bij vlaktekop zijn ook bij uitkap meer jonge dan oude bomen nodig, zodat er uit de verjonging voldoende bomen kunnen doorgroeien tot volwassen exemplaren. Bij voldoende jonge bomen zorgen deze onderling voor natuurlijke takafstoting, wat de kwaliteit bevordert en de beheerkosten vermindert. In principe wordt bij uitkap alleen van natuurlijke verjonging gebruikgemaakt. Indien verjonging echter onvoldoende van de grond komt en tot te lage stamtallen leidt, moeten maatregelen worden genomen om natuurlijke verjonging te bevorderen (bijv. rasters plaatsen, bodemverwonding of meer lichtstelling) of moet worden bijgeplant. In de verjonging worden na enige tijd toekomstbomen aangewezen die tot de doeldiameter kunnen doorgroeien. De beheermaatregelen bestaan dan uit het zo nodig vrijstellen van de toekomstbomen door concurrerende bomen weg te nemen.

Het plenterkapsysteem lijkt veel op het doeldiametersysteem, maar kent dunningen in alle diameterklassen: enerzijds om verschillende houtsortimenten te oogsten, anderzijds om continu verjonging te stimuleren.



Figuur 2.1 Voorbeeld van het verloop van de stamtallen per diameterklasse in een plenterbos. *Stamtal neemt in de oplopende diameterklassen steeds met een factor 1,5 af (bron: Mohren et al., 2010).*
Example of stem number distribution over diameter class in a selection system forest. Stem numbers decrease by a factor of 1.5 in the ascending diameter classes (source: Mohren et al., 2010).

De Lioncourt beschreef de omgekeerd J-vormige curve van diameter vs. leeftijd in plenterbos al in 1898 (figuur 2.1). De grootte van de diameter in de hoogste diameterklasse is afhankelijk van de boomsoort en de vruchtbaarheid van de groeiplaats. Op rijkere groeiplaatsen kan de grootste diameterklasse hoger zijn dan op armere groeiplaatsen. In sommige plenterbossen wordt deze J-curve zo veel mogelijk nagestreefd. Op basis van periodieke inventarisatie van de diameterverdeling wordt dan een dunning uitgevoerd om de J-curve zo veel mogelijk te benaderen. In bergachtige streken wordt dit mede gedaan om de begroeiing zo gesloten mogelijk te houden i.v.m. het gevaar van bodemerosie. In het natuurvolgend bosbeheer wordt de strikte toepassing van de J-curve meer losgelaten. Ook laat onderzoek zien dat een stabiele situatie van een J-curve in de praktijk nooit ontstaat (O'Hara et al., 2007).

2.1.3 Karakteristieken van vlaktegewijze kap en uitkapbeheer

In tabel 2.2 worden vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer samengevat.

Tabel 2.2 *Karakteristieken van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer. Characteristics of even-aged and uneven-aged management.*

Kenmerk	Vlaktegewijs beheer	Uitkap
Oogstmethode	Gelijktijdige oogst van alle bomen van een opstand bij het bereiken van een bepaalde leeftijd. Kapvlaktes in Nederland meestal met een omvang van 0.5-1 ha.	Boomsgewijze oogst van bomen die een bepaalde diameter hebben bereikt. Kapvlaktes ter grootte van 1 of enkele bomen.
Continuïteit oogstvolumes	Grote hoeveelheid hout die op een moment vrijkomt uit een opstand door de eindkap. Daarnaast komt een beperkte hoeveelheid hout vrij door dunningen, eens per 5 à 10 jaar.	Beperkte, maar min of meer constante hoeveelheid hout die periodiek vrijkomt per ha. Afhankelijk van boomsoort en groeisnelheid (boniteit) eens per 5-10 jaar.
Verjongingsmethode	Zowel planten als natuurlijke verjonging.	Voornamelijk natuurlijke verjonging, maar ook wel bijplanten bij weinig verjonging of inbreng nieuwe soorten.
Dunningsregime	Dunning van de opstand om de groei te concentreren op de toekomstbomen. Frequentie, afhankelijk van boomsoort en groeisnelheid, (boniteit) eens per 5-10 jaar.	Dunning van bomen die de geselecteerde doeldiameter bomen in hun ontwikkeling hinderen. Verder geen dunning. Frequentie, afhankelijk van boomsoort en groeisnelheid, (boniteit) eens per 5-10 jaar.
Boomsoort	Met name geschikt voor lichtboomsoorten, met aanpassingen ook voor (half)schaduwboomsoorten.	Met name geschikt voor (half)schaduwboomsoorten, met aanpassingen ook voor lichtboomsoorten.
Diameterverdeling	Een beperkte spreiding om de gemiddelde diameter (normale verdeling rondom de gemiddelde diameter).	Een grote spreiding van diameters. (Met een omgekeerd J-vormige diametercurve (figuur 2.1) als ideale spreiding voor plenterbos).
Stamtal	Beginnend bij hoge stamtallen in de jeugdfase (ca. 3500-4500 bomen voor grove den en ca. 1500-2500 voor Douglas) naar lage stamtallen in de laatste fase voor de eindkap (ca. 400 voor grove den en 200 voor Douglas).	Ongeveer gelijkblijvend stamtal over de jaren heen (ca. 900 bomen per ha voor Douglasspar en ca. 1900 voor grove den; dat zijn dus bomen uit alle diameterklassen samen).
Groei	Gemiddelde groei per bosoppervlak toenemend naar een maximum, waarna nog enige tijd afnemende groei tot eindkap. Na eindkap geen of zeer beperkte groei in de eerste jaren van verjonging.	Gemiddelde groei per bosoppervlak min of meer gelijkblijvend over de jaren heen.
Structuur	Veelal gelijkjarige, gelijkvormige monoculturen in dezelfde omvang als de eenheid: 0.5-1 ha. Over een groter gebied genomen kan het bos wel divers zijn met meerdere soorten en levensstadia.	Veelal meerjarige, structuurrijke, gemengde opstanden.

2.2 Invloed van kapsystemen op de houtkwaliteit

De houtkwaliteit is van invloed op de houtprijs. Beheersystemen die de houtkwaliteit beïnvloeden, zijn daarmee ook van invloed op de financiële opbrengst van de oogst. De houtkwaliteit wordt voor een groot deel door de boomsoort bepaald en de condities waaronder de bomen opgroeien. Naaldbomen hebben van nature een meer centrale doorgaande stam waarlangs ze opgroeien, terwijl loofbomen meer plastisch zijn en zich meer voegen naar de beschikbare groeiruimte en ook een brede kroon met grote takken kunnen vormen. Ook de houteigenschappen van boomsoorten zijn verschillend. Loofbomensoorten hebben over het algemeen een hogere houtdichtheid dan naaldbomensoorten en een andere vezelstructuur, waardoor ze voor andere toepassingen geschikt zijn.

Naast boomsoort kunnen verschillende kapsystemen invloed hebben op de houtkwaliteit (Pretzsch and Rais, 2016). In gelijkjarige monoculturen groeien bomen gelijktijdig op, wat laterale concurrentie geeft en wat weer invloed heeft op de Hoogte/Diameter (H/D) verhouding, de stamvorm en de takkigheid. In gelijkjarige

monoculturen is de H/D-verhouding hoger, waardoor de houtdichtheid en daarmee de kwaliteit toeneemt. De kwaliteit neemt ook toe doordat de stamvorm minder taps toeloopt en de stam rechter groeit. Bij gelijkjarige opstanden is ook de takkigheid lager (minder takken per meter stam) en zijn de takken dunner. Hierdoor neemt de noestigheid af, wat ook weer gunstig is voor de kwaliteit.

In ongelijkjarig gemengde bossen is de wijze van opgroeien complexer dan in monoculturen en meer afhankelijk van de onderlinge concurrentie tussen de soorten (Pretzsch and Rais, 2016). Voor het groeigedrag maakt het in ongelijkjarige opstanden weinig uit of een boomsoort in een gelijksoortige opstand opgroeit of in een gemengde opstand. Wel maakt de groeiruimte die de bomen krijgen uit voor de kwaliteit. In gemengde opstanden is er door verschil in groeisnelheid van de verschillende bomen en verschil in kroonexpansie eerder kans op excentrische laterale groei (scheefgroei), waardoor de houtkwaliteit afneemt. Ook kan, m.n. bij loofboomsoorten, de stamvorm worden beïnvloed doordat onderstandige bomen naar het licht toegroeien en kromme stammen kunnen ontstaan. Verder vormen onderstandige bomen in de ondergroei een meer taps toelopende spilvorm, hetgeen ook negatief is voor de kwaliteit. De mate waarin met beheer in dergelijke ontwikkelingen wordt gestuurd door bomen vrij te stellen bij concurrentie heeft veel invloed op de uiteindelijke kwaliteit.

In onze studie gaan we ervan uit dat vlaktegewijs beheer van gelijkjarige monoculturen over het algemeen tot goede stamvormen en houtkwaliteit van de eindkap leiden. De houtkwaliteit is van invloed op de houtprijs. We gebruiken daarbij gemiddelde prijsbepalende parameters en houtprijzen zoals van toepassing voor het Nederlandse bos (zie paragraaf 4.1). Bij de ongelijkjarige opstanden gaan we ervan uit dat een deel van de bomen dat geoogst wordt een minder goede stamvorm heeft en dus een mindere kwaliteit. Bij vlaktegewijs beheer zal een deel van die mindere stamkwaliteit al bij de tussentijdse dunningen worden geoogst, waardoor de kwaliteit van het hout in de eindoogst hoger is. Bij uitkap met tussentijdse dunning in de verschillende diameterklassen zal er ook al het hout met minder kwaliteit worden geoogst bij de dunningen, waardoor de houtkwaliteit van doeldiameterbomen hoger is. In paragraaf 4.1 is beschreven hoe de kwaliteit in de houtprijzen is verwerkt.

2.3 Uitgangspunten voor vergelijking van vlaktegewijze kap en uitkap en scenario's

Om de financiële verschillen tussen kaalkap en uitkap te kunnen berekenen, is het nodig om een aantal uitgangspunten van het beheer van de opstanden op te stellen. Deze uitgangspunten en de werkwijze om de groei- en oogstvolumes te berekenen, beschrijven we hieronder. We hebben een aantal scenario's opgesteld om enigszins zicht te krijgen op de invloed van een aantal aannames op de uitkomsten.

2.3.1 Berekening van bijgroei en oogst

Voor het berekenen van de groei- en oogstvolumes van de opstanden, is gebruikgemaakt van het groei- en opbrengstmodel EFISCEN-Space (Schelhaas et al., 2022). EFISCEN-Space is een model dat de ontwikkeling van bosopstanden in de Europese, en dus ook de Nederlandse, context kan simuleren voor zowel gelijkjarig als ongelijkjarig beheerd bos. Het model is specifiek ontwikkeld voor het gelijktijdig simuleren van grote hoeveelheden data van meetpunten uit de verschillende Europese bosinventarisaties, maar kan ook gebruikt worden voor het simuleren van individuele bosopstanden. EFISCEN-Space is veel gedetailleerder dan zijn voorganger EFISCEN en biedt meer mogelijkheden tot het simuleren van uiteenlopende beheervormen. De toestand van het bos op elk van de meetpunten op een bepaald tijdstip wordt weergegeven als het aantal bomen per diameterklasse van 25 millimeter met een onderscheid van 20 boomsoorten of boomsoortgroepen. Uit het stamtal en de diameter worden onder andere grondvlak en stamvolume berekend. Voor veranderingen in deze opstandkenmerken gebruikt het model tijdstappen van een jaar. Groei wordt gesimuleerd door bomen per tijdstap naar een hogere diameterklasse te verplaatsen, terwijl oogst en mortaliteit worden gemodelleerd door verwijdering van bomen uit de simulatie. Verschillende soorten beheer kunnen worden gesimuleerd door het gericht verwijderen (oogsten) van bomen uit bepaalde diameterklassen. Verjonging wordt gesimuleerd door nieuwe bomen toe te voegen aan de laagste diameterklasse. Een uitgebreide beschrijving van het model is te vinden in Schelhaas et al. (2022).

2.3.2 Boomsoort

Voor de vergelijking van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer hebben we twee boomsoorten gekozen: grove den en Douglasspar. Dit zijn twee veel in het Nederlandse bos voorkomende soorten. De groei en ontwikkeling van deze boomsoorten verschillen van elkaar. Grove den is een lichtboomsoort die goed past in pionier situaties zoals die ontstaat bij vlaktekap en Douglasspar is een halfschaduwboomsoort die goed past in een uitkapsysteem. We hebben voor de vergelijking van de beheersystemen gekozen om opstanden met één boomsoort (monoculturen) en met verjonging van dezelfde boomsoort door te rekenen. In de praktijk zullen opstanden echter vaak uit meerdere boomsoorten bestaan, zeker bij uitkapbeheer. De keuze voor mengboomsoorten zal mede afhangen van de groeiplaats en de verhouding van de verschillende boomsoorten kan per groeiplaats en beheer sterk verschillen. Dit vergroot de complexiteit van het berekenen van de bijgroei en oogst van de opstand, wat extra onzekerheid geeft bij het berekenen van het financiële resultaat. Ook de invloed op de houtkwaliteit en daarmee de houtprijs is complexer in gemengde opstanden dan bij ongemengde opstanden. Bovendien gaat het in de berekening om vergelijking van twee beheersystemen en niet zozeer om vergelijking van toepassing van verschillende boomsoorten of mengingen. Uiteraard is het financiële resultaat naast beheer en beheersvorm wel afhankelijk van de boomsoort en houtkwaliteit.

2.3.3 Groei

De kwaliteit van de groeiplaats beïnvloedt de groeisnelheid van bomen. Op rijkere groeiplaatsen is de bijgroei groter dan op arme groeiplaatsen. In EFISCEN-Space komt dit tot uitdrukking doordat de bijgroei afhankelijk is van een reeks variabelen die de situatie ter plekke weergeven in relatie tot bodem, weer, klimaat en depositie. Daarnaast wordt de bijgroei van individuele bomen beïnvloed door de bosstructuur, uitgedrukt als het totale grondvlak van de opstand en de plaats van de boom in de diameterverdeling. Een groter grondvlak leidt over het algemeen tot een kleinere bijgroei per boom, net als een relatief lage positie in de diameterverdeling. Soorten verschillen van elkaar in de mate waarin ze reageren op elk van deze factoren. De groeifuncties zijn geparаметriseerd op basis van een zeer groot aantal bosinventarisaties uit Europese landen (Schelhaas et al., 2018a), waarmee het model geschikt is om in zeer uiteenlopende omstandigheden in de Europese en Nederlandse context toegepast te worden. De bodem van de modelopstanden binnen deze studie zijn gebaseerd op de bodem van bosreservaat Het Leesten. Dit is voor een Douglasspar en grove den zeer goede groeiplaats op een moderpodzol met diepe grondwaterstanden (GT VIIIId) in zwak tot sterk lemig, matig grof zand, dat plaatselijk grindhoudend is (Maas, 1989). Uit de studie van Den Ouden et al. (2020) bleek dat de simulaties van de bijgroei van EFISCEN-Space (voor Douglasspar) op deze plek goed overeenkomen met de metingen in het bosreservaat.

2.3.4 Verjongingswijze

Voor de verjonging van beide beheersystemen zijn we ervan uitgegaan dat er 5 tot 7 jaar na vlaktegewijze eindkap (ingroeiperiode) dan wel dunning en oogst van doeldiameterbomen in het uitkapsysteem steeds voldoende verjonging aanwezig is voor een volgende bosgeneratie op die plek. We hebben voor de vlaktegewijze systemen met grove den en Douglasspar en uitkapsystemen met Douglasspar 5 jaar aangehouden. Voor de uitkapsenario's met grove den hebben we 7 jaar aangehouden, omdat deze boomsoort mogelijk wat moeilijker verjongt onder scherm en er zo een langere periode beschikbaar is om voldoende verjonging van de grond te krijgen. Bij vlaktegewijs beheer zijn we ervan uitgegaan dat na eindkap, in een periode van 5-7 jaar, 3500 bomen per ha verjongen op de kapvlakte, wat voldoende is voor de volgende generatie bos. Voor uitkapbeheer is uitgegaan van een gelijkmatige ingroei, afhankelijk van de boomsoort en het beheerscenario (paragraaf 4.2.1). Bij de financiële berekeningen hebben we bij de verjonging twee varianten gehanteerd. Een dat de verjonging natuurlijk plaatsvindt, en een dat er wordt (bij)geplant (paragraaf 4.2.1). In de praktijk zal bij onvoldoende natuurlijke verjonging of onvoldoende aanslaan bij planten worden ingeboet. In welke mate dit nodig is en of er verschil is tussen de beheersystemen, is lastig in te schatten. Omdat het risico bij de te vergelijken varianten min of meer hetzelfde wordt ingeschat, is gekozen inboeten niet als maatregel mee te nemen in de financiële doorrekening.

In tabel 2.3 zijn de initiële stamtallen vermeld van de verjonging waarvan wordt uitgegaan voor de bijgroei- en oogstberekeningen.

2.3.5 Dunningsregime

Bij het vlaktegewijs beheer wordt uitgegaan van een dunning eens in de 5 jaar voor grove den als het grondvlak groter is dan $24 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en voor Douglasspar als het grondvlak groter is dan $33 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Deze waarden zijn geschat aan de hand van de gemiddelde waarden zoals gemeten in de NBI-7 in gelijkjarig bos van de betreffende soort, in bossen met en zonder oogstsporen. Voor grove den bedraagt het grondvlak $21,1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (met oogstsporen) en $28,0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (zonder oogstsporen). Voor Douglasspar zijn deze waarden respectievelijk $29,5$ en $34,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Voor Douglasspar liggen de waarden in de opbrengsttabellen hoger (Jansen en Oosterbaan (2018)); hier vinden dunningen plaats bij een grondvlak van ca. 35 tot ruim $50 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Voor grove den komen de waarden uit de opbrengsttabellen goed overeen, met een dunning vanaf een grondvlak van ca. 20 tot ruim $30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Bij het uitkapsysteem dat wij hanteren voor de berekeningen zijn we ervan uitgegaan dat dunningen in alle diameterklassen worden uitgevoerd en dat de meeste doeldiameterbomen bij het bereiken van de diameter worden geoogst. Met deze aannames konden we de opstanden zo simuleren dat er na een aanloopperiode een min of meer stabiele J-curve in de diameterklassen ontstond. Bij het uitkapbeheer vindt de dunning voor grove den om de 6 jaar plaats en in de eerste variant als het grondvlak groter is dan $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en in de tweede variant als het grondvlak groter is dan $14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. De tweede variant hebben we opgesteld vanwege de onzekerheid in verjongingsmogelijkheid van grove den onder scherm. De tweede variant is een opener opstand met licht op de bodem waardoor verjonging van grove den waarschijnlijk niet beperkt wordt door lichtbeperking. Voor Douglasspar vindt de dunning om de 5 jaar plaats met twee varianten: als het grondvlak groter is dan $28 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en een variant als het grondvlak hoger is dan $26 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Deze waarden zijn in eerste instantie gebaseerd op de literatuur voor vergelijkbare systemen (De Klein en Jansen, 1992; Schutz and Pommerening, 2013; Kerr, 2001), maar aangepast zodat de modelresultaten in de tijd een stabiele diameterklasseverdeling met voldoende lage diameterklassen (verjonging) laten zien. Met name voor grove den was het nodig een relatief laag grondvlak aan te houden. De NBI-7 waarnemingen in ongelijkjarig bos zijn hiervoor minder geschikt, omdat het zelden tot nooit gaat om bossen in een stabiele uitkapsituatie van slechts één boomsoort, maar vaak bossen betreft met meerdere boomsoorten, slechts twee generaties bomen en veelal bos in een transitiefase van gelijkjarig naar ongelijkjarig. Bij de uitkapvarianten voor Douglasspar hebben we de twee varianten opgesteld om het effect van verschil in uitgangssituatie te onderzoeken (verschil in initieel stamtal en verschil in grondvlak, zie tabel 2.3).

Voor zowel de kaalkapsystemen als de uitkapsystemen, is de gemiddelde dunningsintensiteit per soort per diameterklasse van het Nederlandse bos aangehouden zoals berekend uit de meetgegevens van de Nationale Bosinventarisatie (Schelhaas et al., 2022; Schelhaas et al., 2014) volgens de methode zoals beschreven in Schelhaas et al. (2018b).

2.3.6 Vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer in scenario's

Om het verschil in groei en opbrengsten van vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer te kunnen berekenen, zijn scenario's en varianten opgesteld. De uitgangspunten die zijn gehanteerd om de scenario's te kunnen doorrekenen met EFISCEN-Space staan vermeld in tabel 2.3. In het EFISCEN-Space-model wordt met diameter gerekend als sturende parameter voor groei en beheer, niet met leeftijd. Bij uitkapbeheer wordt gewerkt met diameter. Er wordt een bepaalde doeldiameter gehanteerd waarbij bomen die dikker zijn dan de doelmeter worden geoogst. In onze studie is voor de uitkapscenario's de doeldiameter voor grove den bepaald op 45 cm en voor Douglasspar op 60 cm. Bij vlaktegewijs beheer wordt veelal gewerkt met omloopleeftijden die gebaseerd zijn op het behalen van een gemiddelde diameter van de opstand. Echter, bij het uitvoeren van deze studie was er in het model nog geen functionaliteit beschikbaar die een beheeringreep rechtstreeks kan koppelen aan de gemiddelde diameter van de gesimuleerde opstand. Voor de vlaktegewijze scenario's is daarom in plaats van de gemiddelde diameter het stamtal gebruikt om het tijdstip te benaderen waarop de beoogde gemiddelde diameter voor oogst wordt bereikt. Voor grove den is aangenomen dat de gewenste gemiddelde doeldiameter wordt behaald als het stamtal onder de 360 stuks per ha komt. Voor Douglasspar ligt dat stamtal onder de 150 stuks per ha. Bij het bereiken van deze stamtallen vindt de eindkap plaats. Voor de vlaktegewijze systemen komt dit bij de doorgerekende scenario's neer op een omloop van ca. 115 jaar voor grove den en 95 jaar voor Douglasspar. Verder zijn voor de uitkapscenario's twee varianten opgesteld: een variant waarbij de ideale J-curve (figuur 2.1) is gesimuleerd

(scenario 3a en 4a) en een variant waarbij meer de praktijksituatie is gesimuleerd (scenario 3b en 4b) en waarbij een lager grondvlak lager is aangehouden om verjonging meer kans te geven.

Tabel 2.3 *Uitgangspunten en initiële situatie gebruikt in de verschillende scenario's voor berekening van de groei- en oogstverwachting met het bosgroeimodel EFISCEN-Space.*

Description of assumptions and initial conditions used to calculate yield and harvest for each scenario run with the EFISCEN-Space Forest resources model.

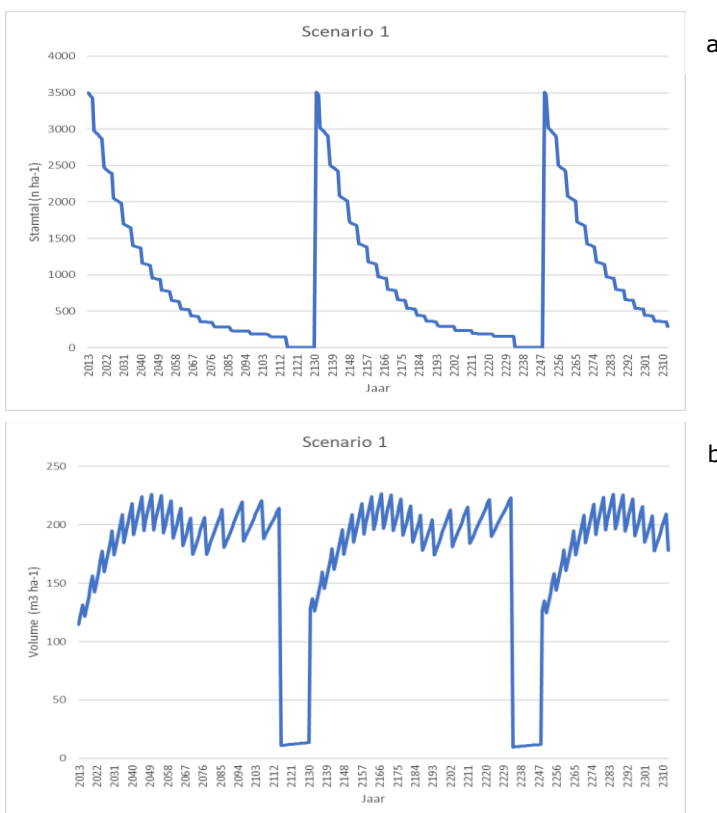
Kenmerk	Scenario					
	1	2	3a	3b	4a	4b
Beheer	Vlaktegewijs	Vlaktegewijs	Uitkap	Uitkap	Uitkap	Uitkap
Boomsort	Grove den	Douglasp	Grove den	Grove den	Douglasp	Douglasp
Initieel stamtal (n ha ⁻¹)	3500	3500	835	648	984	793
Initieel grondvlak (m ² ha ⁻¹)	21	21	18	14	27	22
Gemiddelde stamtal ingroei (n ha ⁻¹ yr ⁻¹)	n.v.t.	n.v.t.	100	100	150	150
Minimum Dunningsinterval (jaar)	Dunning om de 5 jaar als grondvlak >24 m ² ha ⁻¹	Dunning om de 5 jaar als grondvlak >33 m ² ha ⁻¹	Uitkap minimaal om 6 jaar als grondvlak >18 m ² ha ⁻¹	Uitkap minimaal om 6 jaar als grondvlak >14 m ² ha ⁻¹	Uitkap minimaal om 6 jaar als grondvlak >28 m ² ha ⁻¹	Uitkap minimaal om 6 jaar als grondvlak >22 m ² ha ⁻¹
Dunningsintensiteit	O.b.v. gemiddelde van grove den in de NBI	O.b.v. gemiddelde van Douglasp in de NBI	O.b.v. gemiddelde van grove den in de NBI	O.b.v. gemiddelde van grove den in de NBI	O.b.v. gemiddelde van Douglasp in de NBI	O.b.v. gemiddelde van Douglasp in de NBI
Oogstinterval (jaar)	n.v.t.	n.v.t.	Oogst van doeldiameter bomen iedere 6 jaar als grondvlak >18 m ² ha ⁻¹	Oogst van doeldiameter bomen iedere 6 jaar als grondvlak >14 m ² ha ⁻¹	Oogst van doeldiameter bomen iedere 6 jaar als grondvlak >28 m ² ha ⁻¹	Oogst van doeldiameter bomen iedere 6 jaar als grondvlak >22 m ² ha ⁻¹
Omloop	Eindkap bij stamtal < 150 n ha ⁻¹	Eindkap als stamtal <150 n ha ⁻¹	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Doeldiameter (cm)	n.v.t.	n.v.t.	45	45	60	60

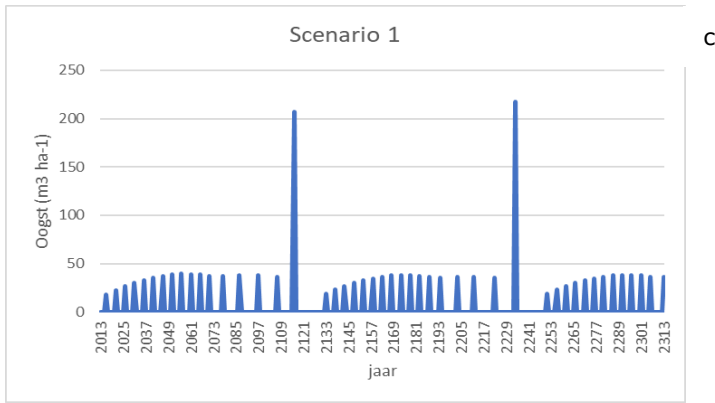
3 Oogstvolumes voor de scenario's met vlaktegewijs en uitkapbeheer

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de modelberekeningen van de ontwikkeling van de opstanden van grove den en Douglasspar voor de verschillende beheervormen.

3.1 Grove den

In figuur 3.1 is de ontwikkeling weergegeven van de gesimuleerde vlaktegewijs beheerde opstand met grove den (scenario 1). Het initiële stamtaal van 3500 bomen per ha⁻¹ neemt door dunning en sterfte geleidelijk af tot ca. 150 bomen ha⁻¹ in de fase voor de eindkap. Het volume van de opstand neemt toe tot ca. 225 m³ ha⁻¹ na ca. 60 jaar, waarna het weer iets terugloopt tot ca. 180 m³ ha⁻¹, om vervolgens weer op te lopen tot ca. 220 m³ ha⁻¹ waarna de eindkap plaatsvindt. In de eerste ca. 70 jaar van de omloop wordt er om de 5 jaar gedund. Hierna loopt het dunningsinterval op tot ca. 10 jaar, omdat de grondvlakaanwas minder snel verloopt dan in de eerste jaren. Het grondvlak moet groter dan 24 m² ha⁻¹ zijn, wil er gedund worden (tabel 2.3). De oogst door dunning neemt toe van 18 m³ ha⁻¹ in de beginjaren tot 36 m³ ha⁻¹ in de laatste dunning voor de eindkap. De omvang van de eindkap zelf bedraagt ruim 210 m³ ha⁻¹. De totale oogst, dunning en eindoogst, bedraagt ruim 750 m³ ha⁻¹ over een omloop van ruim 115 jaar. Over de gehele gemodelleerde tijdsperiode van 300 jaar bedraagt de gemiddelde netto bijgroei 6,7 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹, de gemiddelde oogst bedraagt 6,4 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ en de totale oogst bedraagt 1932 m³ ha⁻¹. De berekende bijgroei komt ongeveer overeen met die van boniteitsklasse II (6,9 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹) uit de opbrengsttabellen voor grove den met matige dunning (Jansen en Oosterbaan, 2018).

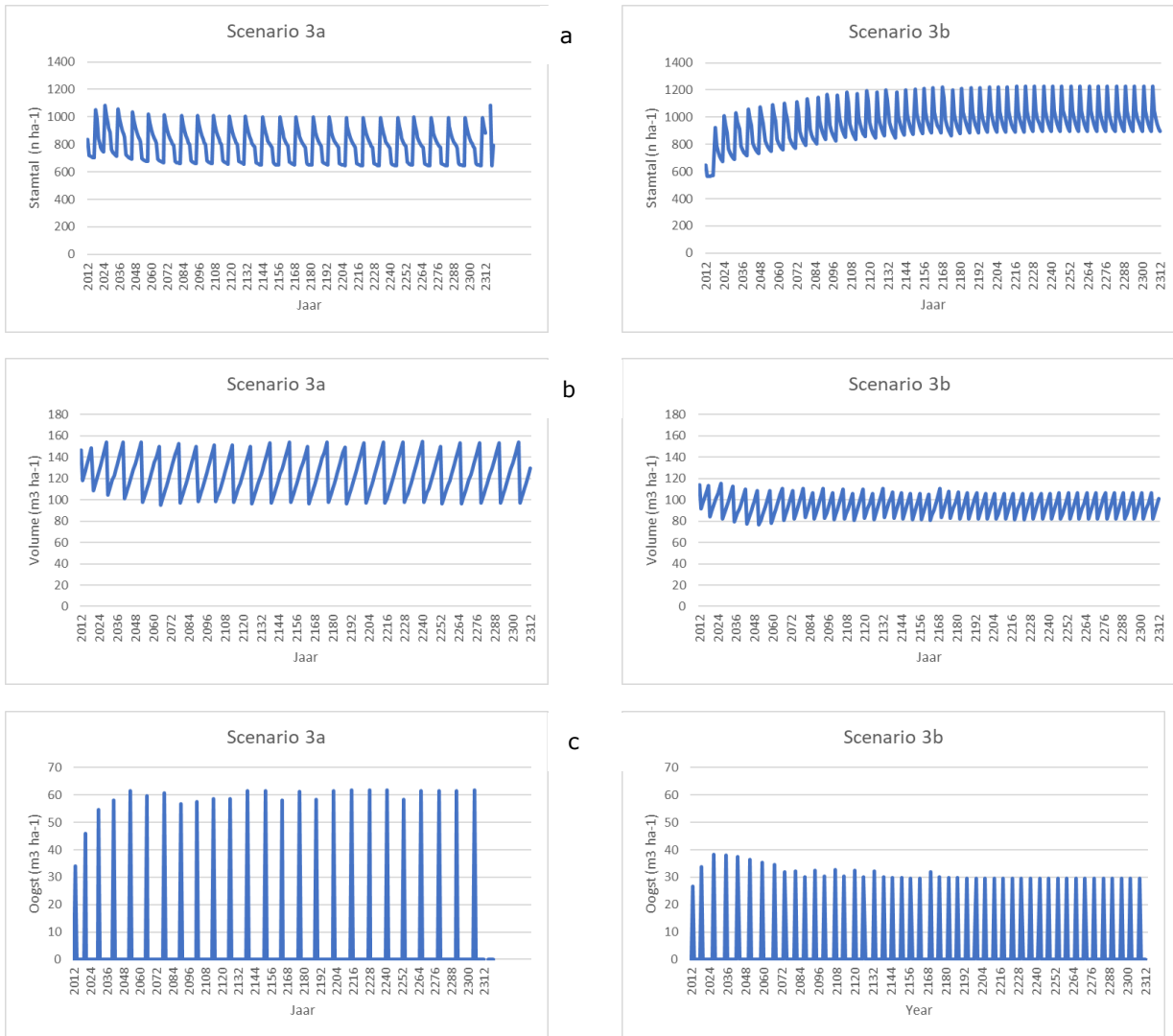




Figuur 3.1 *Stamtal (aantal bomen ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) en oogst (m³ ha⁻¹) (c) voor een opstand van grove den bij vlaktegewijs beheer (scenario 1).*
Stem number (number of trees ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) and harvest (m³ ha⁻¹) (c) for even-aged Scots pine stand (scenario 1).

In figuur 3.2 is de ontwikkeling weergegeven van de scenario's van grove den met uitkapbeheer. In scenario 3a (figuur 3.2 linkerkolom) vindt uitkap plaats als het grondvlak groter is dan 18 m² ha⁻¹. Het aantal bomen over de gesimuleerde periode is gemiddeld ca. 800 bomen ha⁻¹ en varieert door uitkap en sterfte tussen de 650 en ruim 1000 bomen ha⁻¹. Het volume is gemiddeld 125 m³ ha⁻¹ en varieert door dunning en sterft tussen de 95 en 155 m³ ha⁻¹. Over de gesimuleerde tijdsperiode van 300 jaar bedraagt de gemiddelde netto bijgroei 4,8 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ en de gemiddelde oogst 4,8 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹, de totale oogst bedraagt 1458 m³ ha⁻¹ over 300 jaar.

In scenario 3b (figuur 3.2 rechterkolom) vindt dunning plaats als het grondvlak groter is dan 14 m² ha⁻¹. Het stamtal is met gemiddeld 950 bomen ha⁻¹ ca. 20% hoger dan in scenario 3a. Het opstandvolume bedraagt gemiddeld 95 m³ ha⁻¹, wat ongeveer 24% lager is dan voor scenario 3a. De gemiddelde netto bijgroei over de simulatieperiode bedraagt 4,8 m³ ha⁻¹, en ook oogst bedraagt gemiddeld 4,8 m³ ha⁻¹ over deze periode. Dit is gelijk aan de bijgroei en oogst in scenario 3a.



Figuur 3.2 Stamtaal (aantal bomen ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) en oogst (m³ ha⁻¹) (c) voor een opstand van grove den bij uitkapbeheer met uitkap als grondvlak > 18 m² ha⁻¹ (scenario 3a) en als grondvlak > 14 m² ha⁻¹ (scenario 3b).

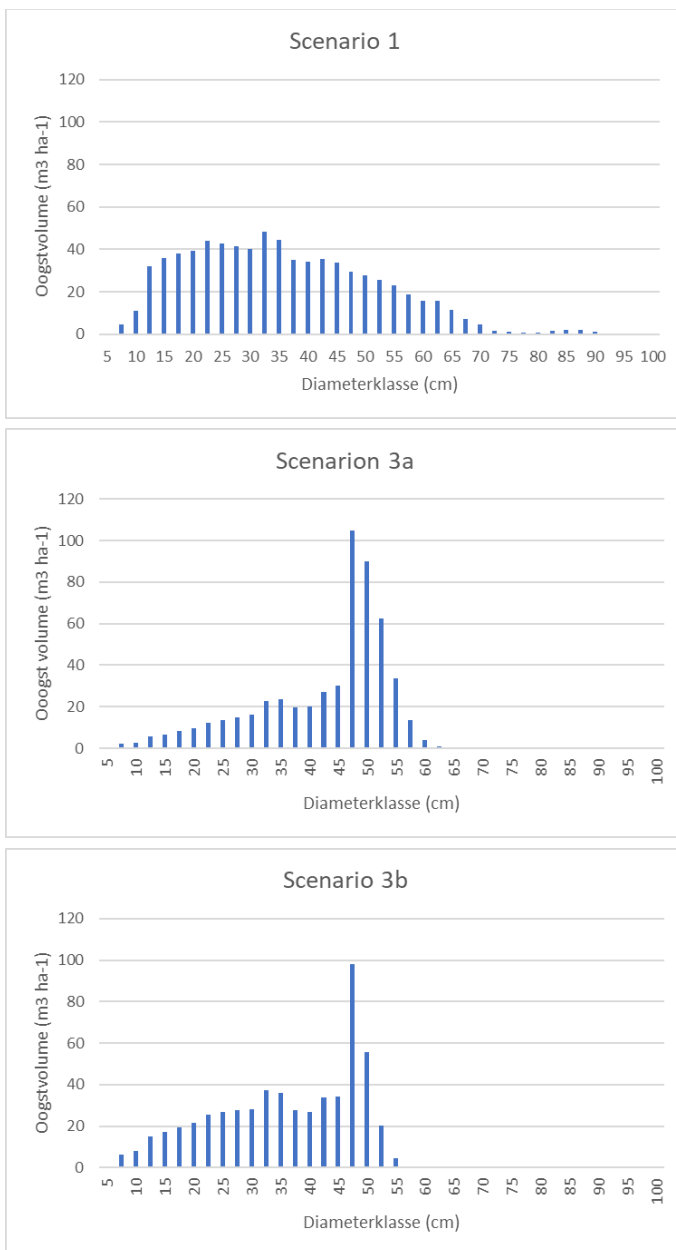
Stem number (number of trees ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) and harvest (m³ ha⁻¹) (c) for uneven-aged Scots pine stand with harvest at basal area > 18 m² ha⁻¹ (scenario 3a) or basal area > 14 m² ha⁻¹ (scenario 3b).

Tabel 3.1 Opstandkenmerken voor gesimuleerde opstanden van grove den met vlaktegewijs en uitkapbeheer.

Description of stand characteristics for simulated even-aged and uneven-aged Scots pine stands.

Gemiddelde	Scenario 1	Scenario 3a	Scenario 3b
Opstandkenmerken	Vlaktegewijs	Uitkap	Uitkap
Dunning (vlaktegewijs) eens in de 5 jaar of uitkap eens in de 6 jaar bij een grondvlak groter dan:	24 m ² ha ⁻¹	18 m ² ha ⁻¹	14 m ² ha ⁻¹
Stamtaal (n ha ⁻¹)	912 (aflopend van 3500 in 1 ^e jaar van omloop tot 0 na eindkap)	790	950
Gemiddeld grondvlak (m ² ha ⁻¹) over simulatieperiode	22	15	12
Opstandvolume (m ³ ha ⁻¹)	174	124	95
Netto bijgroei (m ³ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	6,6	4,8	4,8
Oogst volume (m ³ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	6,4	4,8	4,8

De vlaktegewijs beheerde opstand (scenario 1) kent ten opzichte van de beide uitkap systemen (scenario 3a en 3b) een groot verschil in de ontwikkeling van stamtaal, volume en oogstvolume (figuur 3.1 en 3.2). In de vlaktegewijs beheerde opstand is de periodieke oogst uit dunning relatief klein met gemiddeld ca. $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ 5 jaar}^{-1}$ en is er een groot volume uit de eindkap (ruim $217 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). In de uitkapsystemen is de oogst meer gelijkmatig, met ca. $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ 13 jaar}^{-1}$ voor scenario 3a en ca. $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ 6 jaar}^{-1}$ voor scenario 3b. De gemiddelde oogst in de opstanden met uitkapbeheer (scenario 3a en 3b) is met $4,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ $1,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (20%) lager dan voor de vlaktegewijs beheerde opstand (scenario 1). Bij uitkapbeheer is echter de gemiddelde diameter van de geogste bomen groter dan bij vlaktegewijs beheer (figuur 3.3). Voor scenario 1 is ca. 25% van de totaal geogste stammen dikker dan 45 cm. Voor scenario 3a is 57% van de geogste stammen dikker van 45 cm en voor scenario 3b 31%.

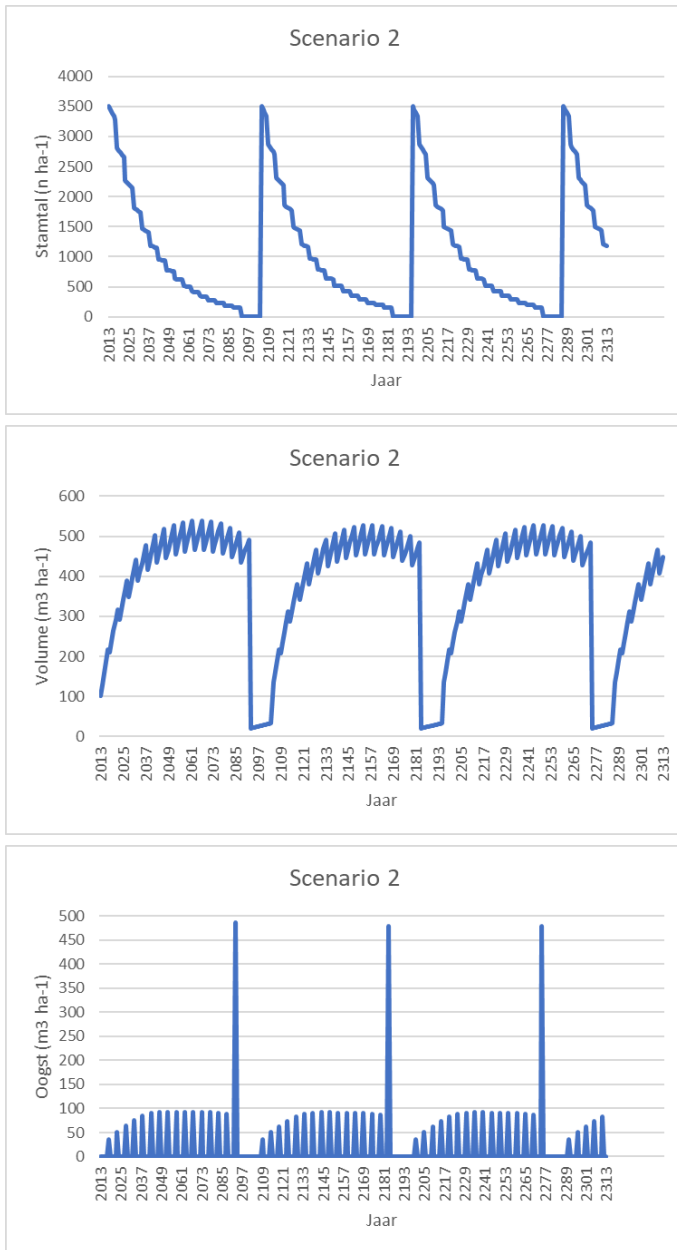


Figuur 3.3 Verdeling van het oogstvolume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) over de diameterklassen (cm) bij vlaktegewijs beheer (scenario 1), en uitkapbeheer met dunning bij een grondvlak groter dan $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 3a) en bij een grondvlak groter dan $14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 3b).

Harvested volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) over diameter classes (cm) for even-aged (scenario 1) and uneven-aged Scots pine stand with harvest at basal area $> 18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 3a) and basal area $> 14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 3b).

3.2 Douglasspar

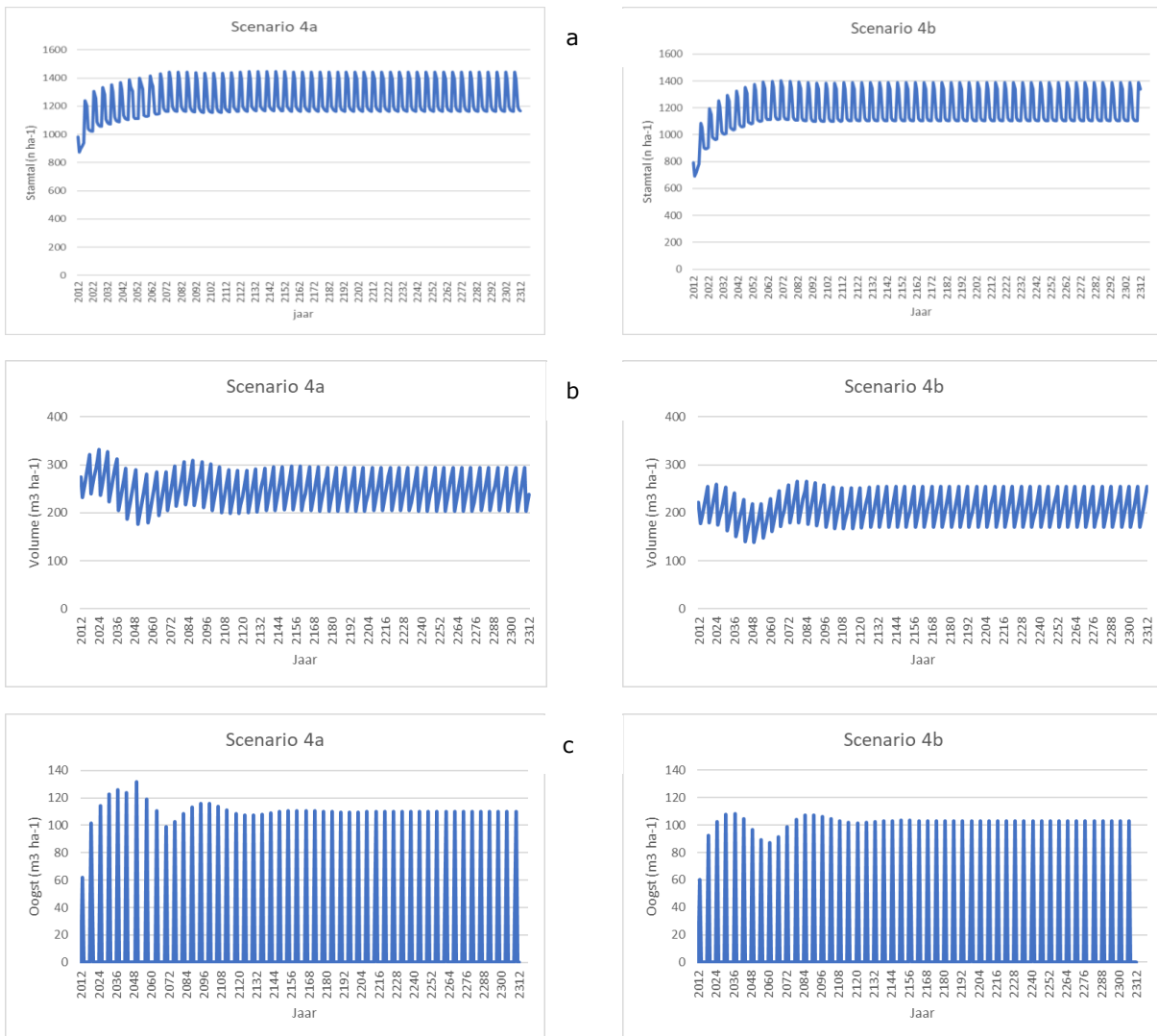
In figuur 3.4 is de ontwikkeling weergegeven van de vlaktegewijs beheerde opstand van Douglasspar (scenario 2). Het aantal bomen neemt door dunning en sterfte geleidelijk af van 3500 bomen ha⁻¹ bij het begin van de omloop tot ca. 160 bomen ha⁻¹ in de fase voor de eindkap. Het volume van de opstand neemt toe tot ruim 500 m³ ha⁻¹ waarna de eindkap plaatsvindt. De oogst door dunning neemt toe tot ruim 90 m³ ha⁻¹ 5jaar⁻¹. De omvang van de eindkap bedraagt ca. 480 m³ ha⁻¹. Over de gemodelleerde tijdsperiode van 300 jaar bedraagt de gemiddelde bijgroei 19,1 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹, de gemiddelde oogst bedraagt 17,9 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ en de totale oogst bedraagt 5389 m³ ha⁻¹ over 300 jaar. De gesimuleerde bijgroei is hoger dan de bijgroei uit de opbrengsttabel voor Douglasspar bij boniteit I waar bij een omloop van 90 jaar een gemiddelde bijgroei van ca. 16,7 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ is berekend (Jansen en Oosterbaan 2018). Het gesimuleerde volume is met 480 m³ ha⁻¹ op 90 jarige leeftijd echter lager dan de 770 m³ ha⁻¹ vermeld in de opbrengsttabel bij boniteit I (Jansen en Oosterbaan 1918). De berekende bijgroei is hoog vergeleken met de gemiddelde Nederlandse bijgroei gerapporteerd in de nationale bosinventarisaties waar voor de NBI-6 een gemiddelde bijgroei van 13,9 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ wordt gerapporteerd en in de NBI-7 (Schelhaas et al. 2022) en van 10 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ (Schelhaas et al. 2014). De bodem in bosreservaat het Leesten, waar onze modelopstand is gesitueerd, is een voor Douglasspar zeer geschikte bodem waar (zeer) goede groei verwacht mag worden. Veldmetingen in de opstand bevestigen dat. De gemiddelde bijgroei van de aanwezige ca. 75 jarige Douglasspar opstand over de afgelopen 30 jaar bedroeg 21 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ (den Ouden et al. 2020).



Figuur 3.4 Stamtal (aantal bomen ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) en oogst (m³ ha⁻¹) (c) voor een opstanden van Douglasspar bij vlaktegewijs beheer (scenario 2).
Stem number (number of trees ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹) (b) and harvest (m³ ha⁻¹) (c) for an even-aged stand of Douglas fir (scenario 2).

Bij het uitkap basis scenario (scenario 4a) is het initieel stamtal 984 bomen ha⁻¹ en vindt dunning en uitkap plaats als het grondvlak groter is dan 28 m² ha⁻¹. Het stamtal is gemiddeld 1238 bomen ha⁻¹ en varieert over de gesimuleerde periode door dunning, oogst en sterfte tussen de ca. 1170 en 1445 bomen ha⁻¹ (figuur 3.4). Het grondvlak is gemiddeld 24 m² ha⁻¹ en fluctueert tussen 18 en 31 m² ha⁻¹. Het volume varieert van 195 tot 327 m³ ha⁻¹. De gemiddelde bijgroei bedraagt 18 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ en de gemiddelde oogst bedraagt 18 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ (tabel 3.2).

Voor scenario 4b is het initieel stamtal van 984 bomen ha⁻¹ en dunning bij een grondvalk groter dan 26 m² ha⁻¹ varieert het stamtal over de gesimuleerde periode door dunning, oogst en sterfte tussen de 664 en 1274 bomen ha⁻¹ (figuur 3.5). Het volume is gemiddeld 250 m³ ha⁻¹ met een variatie tussen 177 tot 331 m³ ha⁻¹. De gemiddelde bijgroei bedraagt 17 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ en de gemiddelde oogst bedraagt 17 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ (tabel 3.2).



Figuur 3.5 Stamtal (aantal bomen ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹)(b) en oogst (m³ ha⁻¹)(c) en voor een opstanden van Douglasspar bij uitkapbeheer met uitkap als grondvlak > 28 m² ha⁻¹ (scenario 4a) en als grondvlak > 22 m² ha⁻¹ (scenario 4b).

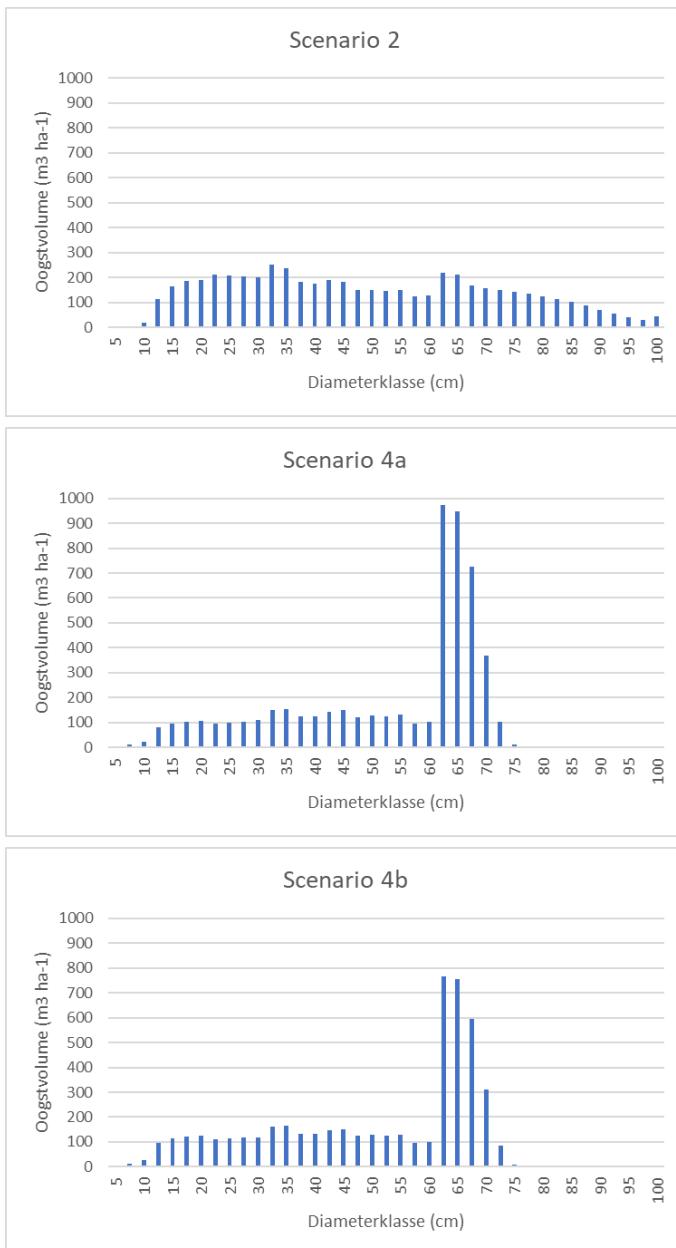
Stem number (number of trees ha⁻¹) (a), volume (m³ ha⁻¹)(b) and harvest (m³ ha⁻¹)(c) for uneven-aged stands of Douglas fir with harvest at a basal area > 28 m² ha⁻¹ (scenario 4a) or at basal area > 22 m² ha⁻¹ (scenario 4b).

Tabel 3.2 Opstandkenmerken voor gesimuleerde opstanden van Douglasspar met vlaktegewijs en uitkapbeheer.

Description of stand characteristics for simulated even-aged and uneven-aged Douglas fir stands.

Gemiddelde	Scenario 2	Scenario 4a	Scenario 4b
Opstandkenmerken	Vlaktegewijs	Uitkap	Uitkap
Dunning (vlaktegewijs) eens in de 5 jaar of uitkap eens in de 6 jaar bij een grondvlak groter dan:	33 m ² ha ⁻¹	27 m ² ha ⁻¹	22 m ² ha ⁻¹
Stamtal (n ha ⁻¹)	1038 (aflopend van 3500 in 1 ^e jaar van omloop tot 0 na eindkap)	1238	1176
Gemiddeld grondvlak (m ² ha ⁻¹) over simulatieperiode	36	25	21
Opstandvolume (m ³ ha ⁻¹)	374	250	209
Netto bijgroei (m ³ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	19,1	18,3	17,0
Oogstvolume (m ³ ha ⁻¹ jaar ⁻¹)	17,9	18,3	16,8

Ook voor Douglasspar kent de vlaktegewijs beheerde opstand (scenario 2) ten opzichte van de beide uitkapsystemen (scenario 4a en 4b) een groot verschil in de ontwikkeling van stamtal, volume en oogstvolume (figuur 3.4 en figuur 3.4). In de vlaktegewijs beheerde opstand is de periodieke oogst uit dunning relatief klein, met gemiddeld ca. $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} 5 \text{ jaar}^{-1}$ en is er een groot volume uit de eindkap (ca. $480 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). In de uitkapsystemen is de oogst meer gelijkmatig, met ca. $110 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} 6 \text{ jaar}^{-1}$ voor scenario 4a en ca. $101 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} 6 \text{ jaar}^{-1}$ voor scenario 4b. De gemiddelde oogst voor de verschillende scenario's verschilt relatief weinig (tabel 3.2). Het gemiddelde oogstvolume van de vlaktegewijs beheerde opstand (scenario 2) ligt met $17,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ tussen het bijgroeiniveau van de uitkapscenario's in. Bij uitkapbeheer is echter de gemiddelde diameter van de geoogste bomen groter dan bij vlaktegewijs beheer (figuur 3.6). Voor scenario 2 is ca. 34% van de totaal geoogste stammen dikker dan 60 cm. Voor het uitkapscenario 4a is 57% van de geoogste stammen dikker van 60 cm en voor scenario 4b is dat 50%.



Figuur 3.6 Verdeling van het oogstvolume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) over de diameterklassen (cm) van Douglasspar bij vlaktegewijs beheer (scenario 2) en uitkapbeheer met dunning bij een grondvlak groter dan $27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4a) en bij een grondvlak groter dan $22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4b).
 Distribution of the harvested volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) over the diameter classes (cm) of Douglas fir for even-aged stands (scenario 2), and uneven-aged stands with thinning for a basal area larger than $27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4a) and for a basal area larger than $22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4b).

4 Kosten van maatregelen en opbrengsten van hout bij vlaktegewijs beheer en uitkapbeheer

4.1 Houtprijzen

De houtprijs is een belangrijk aspect in het bepalen van de opbrengsten van een bepaald beheersysteem en de daaraan gerelateerde houtoogst. De uiteindelijke afzet van het hout speelt hierbij een cruciale rol. Belangrijke factoren die de uiteindelijke afzet van het hout bepalen, zijn de houtsoort, de diameter en de kwaliteit van het hout (o.a. dichtheid, stamvorm en noestigheid).

Om de houtprijs per sortiment zo goed mogelijk te schatten, is gebruikgemaakt van de jaarlijks door Probos verzamelde data over de Nederlandse rondhout verwerkende industrie, de rondhout-enquête. In deze enquête worden data verzameld aangaande de afzet, maar ook de prijs van industrieel rondhout in Nederland. Deze data zijn aangevuld met cijfers uit de particuliere bosbouw (Silvis et al., 2022) en cijfers uit een onderzoek naar rondhoutprijzen en prijsbepalende parameters in Vlaanderen en Nederland in het kader van Eco2Eco (Boosten et al., 2017).

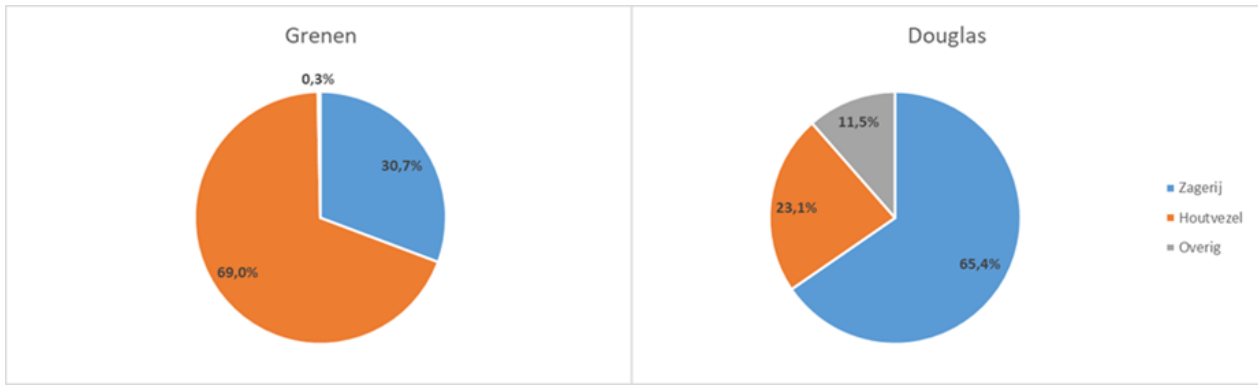
Op basis van bovenstaande bronnen is een gemiddelde prijs per sortiment vastgesteld. Vervolgens zijn deze prijzen gevalideerd en waar nodig aangepast aan de hand van interviews met enkele belangrijke rondhoutproducenten en -verwerkers op de Nederlandse markt. In deze interviews is tevens gevraagd naar gehanteerde diametervereisten en kwaliteitseisen per sortiment. Tabel 4.1 geeft een overzicht van gemiddelde houtprijs en gehanteerde diameter per sortiment, uitgesplitst voor grenen en Douglas.

Tabel 4.1 Gemiddelde prijs en gehanteerde diametervereisten per sortiment van afzet van rondhout op de Nederlandse markt.

Average price and diameter requirements per assortment of round timber sales on the Dutch market.

Sortiment	Houtsoort	Diameter (cm)		Prijs (€ m ⁻³)
		Min.	Max.	
Zaaghout	Douglas	38	90	102
	Grenen			64
Profielhout	Douglas	15	50	52
	Grenen			50
OSB	Douglas	8	40	40
	Grenen			38
Vezelhout	Douglas	8	40	37
	Grenen			36

Vervolgens is op basis van de Probos rondhout-enquête de gemiddelde afzet van in Nederland geogst industrieel rondhout in kaart gebracht voor Douglas en grenen.



Figuur 4.1 Afzet van grenen en Douglas naar sortiment (bron: rondhout-enquête).
Sales of pine and Douglas fir by assortment (source roundwood survey).

Figuur 4.1 toont dat circa 69% van het grenen wordt afgezet naar de houtvezelindustrie en circa 31% wordt afgezet als zaaghout. Voor Douglas is het aandeel afzet naar de zagerijen aanzienlijk hoger met ruim 65%. Het sortiment vezelhout bevat tevens afzet naar de OSB-industrie. Voor zaaghout geldt dat dit zowel het hoogwaardig zaaghout als profiel- en emballagehout bevat. De overige afzet van Douglas betreft voornamelijk paalhout.

Op basis van de cijfers uit de rondhout-enquête, gecombineerd met de diameter- en kwaliteitseisen, is een inschatting gemaakt van de gemiddelde afzet per stamstuk, per diameterklasse (tabel 4.2 en tabel 4.3). Deze is vervolgens gevalideerd met oogstcijfers afgeleid uit de 7^e Nationale Bosinventarisatie (Schelhaas et al., 2022).

Tabel 4.2 Schatting van gemiddelde afzet per stamstuk grenen voor verschillende diameterklassen.
Estimation of average sales per pine log for different diameter classes.

Diameterklasse (cm)	Percentage van stamstuk	Vezel	OSB	Profiel	Zaag	Totaal
0-10	0,5%	90%	10%	0%	0%	100%
10-20	14,5%	70%	20%	10%	0%	100%
20-30	32,5%	50%	30%	20%	0%	100%
30-40	32,6%	30%	30%	40%	0%	100%
40-50	15,4%	15%	15%	30%	40%	100%
50-60	4,5%	10%	10%	20%	60%	100%
60-70	0,0%					
70-80	0,0%					
>80	0,0%					
Totaal	100%	39%	25%	27%	9%	100%

Tabel 4.3 Schatting van gemiddelde afzet per stamstuk Douglas voor verschillende diameterklassen.
Estimation of average sales per Douglas fir log for different diameter classes.

Diameterklasse	Percentage van stamstuk	Vezel	OSB	Profiel	Zaag	Totaal
0-10	1,0%	60%	40%	0%	0%	100%
10-20	7,2%	20%	70%	10%	0%	100%
20-30	17,2%	20%	60%	20%	0%	100%
30-40	14,8%	10%	25%	50%	15%	100%
40-50	26,5%	5%	5%	20%	70%	100%
50-60	18,6%	2,5%	2,5%	10%	85%	100%
60-70	5,1%	2,5%	2,5%	5%	90%	100%
70-80	9,6%	2,5%	2,5%	5%	90%	100%
>80	0%	0%	0%	5%	95%	100%
Totaal	100%	9%	22%	19%	50%	100%

Tabel 4.2 en tabel 4.3 laten zien dat de totale inschatting per sortiment, op basis van de oogst afgeleid uit de 7^e Nationale Bosinventarisatie, redelijk goed overeenkomt met de afzet zoals geïnventariseerd in de rondhout-enquête. Voor grenen is de totale afzet naar de houtvezelindustrie (inclusief OSB) 64% op basis van de oogst berekend uit de 7^e Nationale Bosinventarisatie, ten opzichte van 69% uit de rondhout-enquête. Voor zaaghout (inclusief profielhout) is dit 36% ten opzichte van 31%. Ook voor Douglas lijkt deze inschatting accuraat, met 31% ten opzichte van 23% voor vezelhout en 69% ten opzichte van 65% voor zaaghout.

Ten slotte zijn bovenstaande data gecombineerd om een prijs per stamstuk en diameterklasse te genereren (tabel 4.4 en tabel 4.5).

Tabel 4.4 Afzetprijzen per toepassing, aandeel van de afzet per toepassing, naar diameterklasse van een stamstuk, voor grenen.

Sales prices per application, share of sales per application, by diameter class of a stem piece, for pine.

Grenen	Afzetprijzen per toepassing (€ m ⁻³)				Gemiddelde prijs per diameterklasse (€ m ⁻³)
	Vezel 36	OSB 38	Profiel 50	Zaag 64	
Diameterklasse (cm)	Aandeel van de afzet per toepassing (fractie)				
0-10	0,9	0,1	0	0	36
10-20	0,7	0,2	0,1	0	38
20-30	0,5	0,3	0,2	0	39
30-40	0,3	0,3	0,4	0	42
40-50	0,15	0,15	0,3	0,4	51
50-60	0,1	0,1	0,2	0,6	55

Tabel 4.5 Afzetprijzen per toepassing en aandeel van de afzet per toepassing, naar diameterklasse van een stamstuk, voor Douglasspar.

Sales prices per application, share of sales per application, by diameter class of a stem piece, for Douglas fir.

Douglas	Afzetprijzen per toepassing (€ m ⁻³)				Gemiddelde prijs per diameterklasse (€ m ⁻³)
	Vezel 37	OSB 40	Profiel 52	Zaag 102	
Diameterklasse (cm)	Aandeel van de afzet per toepassing (fractie)				
0-10	0,6	0,4	0	0	38
10-20	0,2	0,7	0,1	0	41
20-30	0,2	0,6	0,2	0	42
30-40	0,1	0,25	0,5	0,15	55
40-50	0,05	0,05	0,2	0,7	86
50-60	0,025	0,025	0,1	0,85	94
60-70	0,025	0,025	0,05	0,9	97
70-80	0,025	0,025	0,05	0,9	97
>80	0	0	0,05	0,95	100

4.2 Kosten van maatregelen

4.2.1 Verjonging

In de modelering met EFISCEN-Space is bij vlaktegewijs beheer na eindkap uitgegaan van verjonging met een dichtheid van 3500 stuks per ha. Bij uitkap is uitgegaan van verjonging van grove den van 150 stuks per ha eens per 5 jaar en na een dunning nog 350 stuk per ha extra. Voor Douglasspar is dat 400 per ha per vijf jaar en 350 stuks per ha extra na dunning.

In de berekening van de kosten van maatregelen is van twee scenario's uitgegaan: 1) de verjonging vindt natuurlijk plaats, zodat er geen kosten voor verjonging worden gemaakt, en 2) de verjonging wordt aangeplant, waardoor er wel kosten voor verjonging mee gemoeid zijn.

Bij vlaktegewijs beheer is voor de berekening van kosten van aanplant uitgegaan van handmatige aanplant na kaalkap, met als terreinvoorbereiding klepelen van takhout en het woelen van plantplaatsen. De kosten hiervan bedragen € 6.439 per ha inclusief 20% overhead, ofwel € 1.840 per 1000 stuks. Bij aanleg met 3.500 bomen per ha bedragen de plantkosten aan het begin van de omloop ca. € 6.400 per ha. Bij uitkapbeheer wordt in geval van aanplant uitgegaan van handmatig aanplanten op onbewerkte grond. De kosten hiervan bedragen € 2.149 per 1000 stuks, inclusief 20% overhead. Bij een jaarlijkse ingroei van 20 tot 40 bomen per ha, komt dit voor een periode van 100 jaar neer op ca. € 4.300 tot € 8.600. Er zijn geen kosten gerekend voor bescherming tegen wild.

4.2.2 Vellen, snoeien, sortimenteren

We zijn ervan uitgegaan dat oogst van bomen met een diameter (dbh) tot 55 cm plaatsvindt met een harvester. De tijd voor het vellen, snoeien en sortimenteren van naaldbomen met een harvester is berekend op basis van de volgende formule voor dunning (t_{h-th}) en eindkap (t_{h-ff}) (figuur 4.2).

$$t_{h-th} = 0,0071 * V_{bm}^2 + 1,1643 * V_{bm} + 0,5998$$

$$t_{h-ff} = 0,0201 * V_{bm}^2 + 0,5991 * V_{bm} + 0,4526$$

Met t_{h-th} en t_{h-ff} in minuut per boom, en V_{bm} het volume per boom in m^3 . De formules zijn gebaseerd op het gemiddelde van verschillende onderzoeken (eigen data, niet gepubl.; Eliasson et al., 1999; Hånell et al., 2010; Brandenberger, 2000; Brunberg, 1995; Kärhä et al., 2004). Er wordt daarbij een toeslag van 32% gerekend voor algemene tijd (pauze, overleg, storing, klein onderhoud, kleine verplaatsingen).

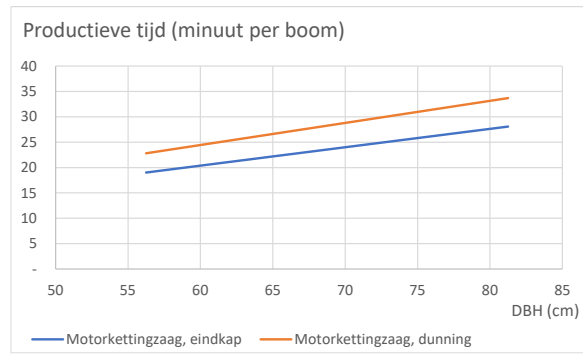
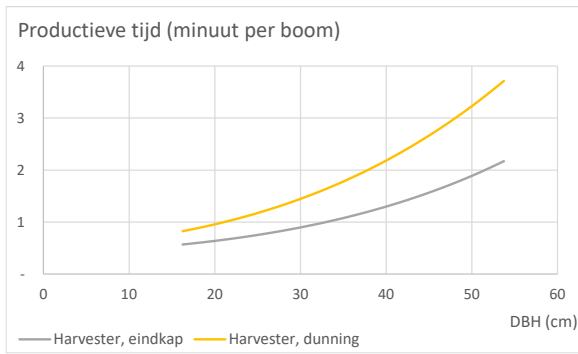
Voor naaldbomen met een dbh groter dan 55 cm zijn we ervan uitgegaan dat deze met een motorkettingzaag worden geveld, gesnoeid en gesortimenteerd. De tijd daarvoor is berekend op basis van de volgende formule voor eindkap en dunning, die zijn gebaseerd op de gemiddelden van verschillende onderzoeken (Van Raffe et al., 1998; Lortz et al., 1997; Vusic et al., 2012.; Lortz et al., 1997). Daarbij is de tijd voor velling bij eindkap gebaseerd op een correctie (korting) van 17% ten opzichte van dunning (Di Fulvio et al., 2016) (figuur 4.2).

$$t_{m-ff} = 0,3629 * dbh - 1,409$$

$$t_{m-th} = 0,4355 * dbh - 1,6908$$

Daarin is t_m de tijd in minuut per boom, en met dbh in cm. Daarnaast wordt er een toeslag van 36% gerekend voor algemene tijd.

EFISCEN-Space geeft als output dat er een afname van stamtallen in lage diameterklasse plaatsvindt. Afname van stamtallen kan door dunningen of door natuurlijke sterfte of een combinatie daarvan. Aangezien dunningen bij deze diameter onrendabel zijn en in gelijksoortige opstanden wellicht onnodig, is ervan uitgegaan dat deze bomen door zelfdunning zijn gestorven. Er zijn daarom ook geen kosten gerekend voor dunning/oogst van bomen met een diameter kleiner dan 12,5 cm.



Figuur 4.2 Productieve tijd per boom voor het vellen en uitsnoeien met een harvester (links) en een motorkettingzaag (rechts), bij dunning of uitkap.

Productive time per tree for felling and pruning with a harvester (left) and a chainsaw (right), during thinning or individual tree felling.

4.2.3 Uitrijden

We zijn ervan uitgegaan dat het gevelde hout wordt uitgereden met een forwarder. De tijd voor het uitrijden van het gevelde hout met een forwarder is berekend op basis van de onderstaande formule volgens Nurminen et al. (2006), waarbij nog 32% toeslag wordt gerekend voor algemene tijd. De formule gaat uit van een vaste lengte aan uitrijpaden die bereiden dienen te worden om de volledige oogst af te voeren, ongeacht het volume. We gaan uit van een afstand van 20 m tussen de paden, wat een lengte van 500 m per ha betekent, ongeacht het scenario. In de praktijk is de afstand die over de paden gereden wordt moeilijk in te schatten. Deze hangt ook af van het aantal sortimenten dat wordt afgevoerd en of die sortimenten in eenzelfde of in verschillende rondgangen worden afgevoerd.

$$t_{fw} = ((0,7123 + 0,0149 bw)/lv + (0,9347 + 0,0185 bw)/lv + t_{la} + t_{lo}) V + 0,04 dp$$

Met daarin:

- t_{fw} in minuut per ha
- bw lengte van enkel transport over de bosweg: 300 m
- lv laadvermogen, het volume out per vracht, bij dunning 10 m³ en bij eindkap 14 m³
- dp lengte aan dunningspad per ha: 500 m
- V Volume van de oogst
- t_{la} tijd voor het laden: 1,6 min/m³ bij dunning en 1,0 minuut/m³ bij eindkap
- t_{lo} tijd voor het lossen: 0,65 min/m³

4.2.4 Blessen

We zijn ervan uitgegaan dat de te oogsten bomen vooraf worden geblesst. De kosten voor markeren van te oogsten bomen is gebaseerd op basis van een regressie van de tijdnormen voor blessen in het Normenboek (Raffe en de Jong, 2022):

$$t_b = 0,0022 n + 0,5367 \text{ (uur/ha)}$$

Daarbij is n het aantal gemarkeerde bomen per ha.

4.2.5 Uurtarieven en overhead

De uurtarieven voor machines en arbeid zijn overgenomen van Van Raffe en De Jong (2022). Voor plantsoen is uitgegaan van een prijs van 0,85 euro per stuk voor zowel grove den als Douglas. Bij de berekeningen is uitgegaan van een toeslag voor overhead van 20% op de directe kosten. Eigendomslasten en andere kosten die niet direct te maken hebben met de (verschillen tussen) scenario's, zoals kosten voor infrastructuur en randbeheer zijn buiten beschouwing gelaten.

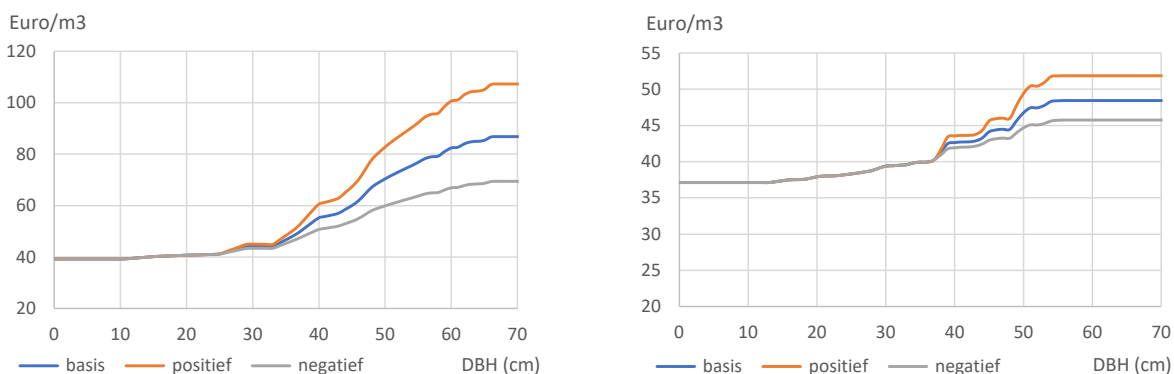
5 Kosten en baten van houtoogst in bos met vlaktegewijs en uitkapbeheer

De uitkomst van een financiële vergelijking van beheersscenario's is sterk afhankelijk van de uitgangspunten die er aan ten grondslag liggen. We hebben de uitgangspunten zo helder mogelijk beschreven. Daarnaast hebben we bij de financiële doorrekening een aantal uitgangspunten gevarieerd, zodat inzichtelijk wordt wat het effect is van deze uitgangspunten. Een belangrijk uitgangspunt in de financiële doorrekening van bosbeheer is het al dan niet gebruiken van rente. Om het effect van het meenemen van rente inzichtelijk te maken, hebben we twee varianten onderscheiden: een met een reële (kapitaalrente min inflatie) rente van 0% en een met 3% rente. Uiteraard zijn er andere en meer extreme rentes mogelijk. Bijvoorbeeld een negatieve rente (zoals in 2021 en 2022 het geval was) of een zeer hoge rente.

Bij het rekenen met rente is het van groot belang op welk moment in de tijd bepaalde kosten of opbrengsten gerealiseerd worden. Daarom is bij vlaktegewijs beheer steeds gerekend met een beginpunt 10 jaar voor en 10 jaar na een eindkap. Bij grove den is de omloop voor vlaktegewijs beheer 118 jaar, dus is de opstand 10 jaar voor eindkap 108 jaar. Bij Douglasspar is dit respectievelijk 91 en 81 jaar. De doorgerekende periodes zijn steeds gekozen nadat de bijgroei in de simulaties is gestabiliseerd (zie figuur 3.2 en figuur 3.2). Daarmee komt de bijgroei over de op kosten en opbrengsten doorgerekende periode iets lager uit dan elders genoemd over de gehele simulatie.

Een andere onzekere factor is de toekomstige houtprijs. Om met deze onzekerheid om te gaan, zijn er verschillende varianten doorgerekend met verschillende toekomstige houtprijzen (zie figuur 5.1). Ook het aandeel aan verschillende sortimenten voor vlaktekap en uitkap is een onzekere factor. Omdat bij uitkap op doeldiameter wordt gestuurd, is de verwachting dat er meer bomen van zaagkwaliteit geogst kunnen worden. In hoeverre dat in de praktijk ook werkelijk gerealiseerd wordt en in welke mate is onzeker. Daarom is er naast het basisscenario met de huidige houtprijzen en de geschatte huidige sortimentsaandelen ook gerekend met:

- een positief scenario: hierin is de prijs van zaaghout 20% hoger en het aandeel hout dat voor zaaghout wordt gebruikt 10% hoger
- een negatief scenario: hierin is de prijs van zaaghout 20% lager en het aandeel hout dat voor zaaghout wordt gebruikt 10% lager



Figuur 5.1 Houtprijzen naar DBH voor grenen (links) en Douglasspar (rechts), voor het positieve, basis- en negatieve scenario.

Timber prices to DBH for pine (left) and Douglas fir (right), for the basic (blue) positive (orange), and negative (gray) scenario.

Voor de oogstkosten is als basis gerekend met de opstand- en houtoogstgegevens zoals weergegeven in paragraaf 4.1. Omdat voor de uitkapscenario's de oogstkosten de nodige onzekerheid bevatten i.v.m. ondergroei en oogstvolumes per keer, is voor deze beheervorm ook gerekend met een variant waarbij de

oogstkosten 20% hoger liggen. Vooral bij uitkap kan het effect van ondergroei en verjonging leiden tot hogere oogstkosten. Om hiermee rekening te houden, kan bij uitkapscenario's gekeken worden naar de uitkomsten bij +20% hogere oogstkosten, terwijl bij vlaktegewijs beheer uitgegaan kan worden van de basiskosten.

Bij de verjonging kan gekozen worden voor planten of natuurlijke verjonging. Welke keuze gemaakt wordt, hangt af van de voorkeuren van de beheerder, de groeiplaats, de terreinomstandigheden en de kwaliteit van de zaadbomen. Op voorhand is dus niet duidelijk of er kosten gemaakt moeten worden voor de verjonging. Dit varieert per locatie (afhankelijk van bodem, wilddruk), beheer (vlaktegewijs of uitkap) en boomsoort (Douglasspar zal gemakkelijker onder scherm verjongen dan grove den). Daarom zijn er varianten met en zonder kosten voor aanplant doorgerekend.

Als resultaat van de doorrekening is steeds het volgende weergegeven:

- Het financiële resultaat van de oogst: de gemiddelde kosten voor oogst (vellen en uitrijden), de gemiddelde opbrengsten van de oogst (aan de bosweg) en het nettoresultaat ervan, alles in euro per kuub.
- De netto contante waarde: de huidige waarde van de opstand, ofwel wat is de totale waarde van alle opbrengsten min kosten, teruggerekend – al dan niet met rente – naar het startpunt van het scenario.
- De annuïteiten: alle kosten, opbrengsten en netto resultaat, omgerekend – al dan niet met rente – naar een jaarlijks bedrag.

5.1 Grove den

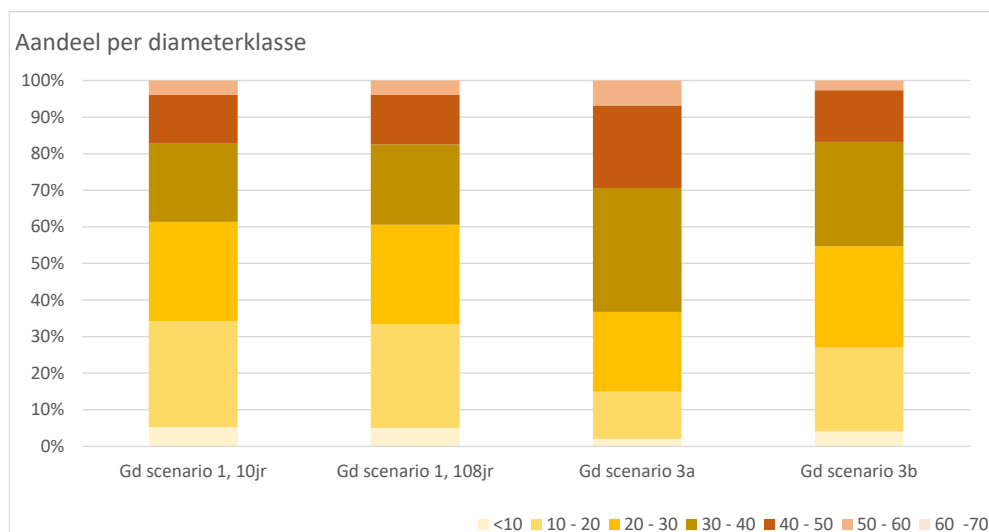
Bij grove den wordt in de basisberekening (0% rente, basis oogstkosten en houtopbrengsten en geen plantkosten) het hoogste resultaat behaald bij gelijkjarig vlaktegewijs beheer, annuïteit € 143-148 ha⁻¹ jaar⁻¹, gevolgd door het scenario uitkap (3a, basis uitkap) met een resultaat van € 137 ha⁻¹ jaar⁻¹. Het financiële resultaat bij het uitkapscenario met een lager grondvlak (3b) is duidelijk lager (annuïteit € 115 ha⁻¹ jaar⁻¹). Het verschil in financieel resultaat wordt vooral verklaard door het hogere oogstniveau bij vlaktegewijs beheer, namelijk 6,6 resp. 6,4 m³ ha⁻¹jaar⁻¹, tegenover 5,1 m³ ha⁻¹jaar⁻¹ bij uitkap. Bij scenario 3a wordt dit voor een groot deel gecompenseerd doordat er dikker hout geoogst wordt (figuur 5.3), met als gevolg een hogere opbrengst en lagere kosten per kuub geoogst hout. Het laagste financiële resultaat wordt behaald in de berekening met een 20% lagere houtprijs, 20% hogere oogstkosten én kosten voor planten, het financiële resultaat voor het uitkapscenario met laag grondvlak (3b) bedraagt hier -€ 100 ha⁻¹ jaar⁻¹. Voor de uitkapvarianten is het financiële resultaat van de basisvariant (3a) in berekeningen hoger dan voor de variant met een lager grondvlak (3b).

Doorrekening met 20% hogere of lagere houtprijzen of oogstkosten veranderen dit beeld niet wezenlijk. Hogere oogstkosten werken eveneens negatief door op het financiële resultaat. Het resultaat is ten opzichte van het basisscenario zo'n € 20 tot € 25 ha⁻¹ jaar⁻¹ lager. Ook het al dan niet meerekenen van plantkosten geeft voor alle basisscenario's als uitkomst dat de annuïteit hoger is bij het vlaktegewijs beheer. De varianten waar met plantkosten wordt gerekend, hebben de laagste, en soms zelfs negatieve financiële resultaten (

tabel 5.1). De uitkomst verandert wel als ervan uitgegaan wordt dat bij vlaktegewijs beheer actief aangeplant moet worden en bij uitkapbeheer voldoende spontane verjonging komt en planten niet nodig is. In dat geval is uitkapbeheer aanzienlijk gunstiger, aangezien de annuïteit van vlaktegewijs beheer dan terugloopt naar resp. € 88 of € 93 en bij de uitkapscenario's € 137 (3a) en € 115 (3b) bedraagt. Echter bij grove den zijn de verjongingsomstandigheden voor verjonging bij kleinschalige vlaktegewijze verjonging (ca. 0,5 ha) wellicht gunstiger dan bij uitkapbeheer en zal juist bij uitkap wellicht meer aangeplant moeten worden.

Wanneer er wordt gerekend met een rente van 3%, dan laat bij de basisberekening het vlaktegewijze scenario met berekening vanaf een opstandleeftijd van 108 jaar (10 jaar voor eindkap) de hoogste annuïteit zien (€ 228 ha⁻¹ jaar⁻¹), terwijl de annuïteit bij het vlaktegewijze scenario met berekening vanaf een opstandleeftijd van 10 jaar het laagst is (€ 74 ha⁻¹ jaar⁻¹). Dit komt doordat bij het rekenen met rente de vroege opbrengst van eindvelling van de oudere opstand sterk positief meetelt. De annuïteit van de uitkapscenario's liggen tussen die van de twee vlaktegewijze scenario's in. Doorrekening met een ander uitgangspunt voor houtprijzen of oogstkosten verandert dit beeld ook hier niet wezenlijk. Wel heeft het meenemen van kosten voor verjonging een sterke invloed. Als deze kosten worden meegenomen, gaat de annuïteit bij uitkap relatief sterk naar beneden (€ 7 tot -80 ha⁻¹ jaar⁻¹) doordat er in de scenario's bij uitkap intensiever (gemiddeld per jaar grotere aantallen) wordt verjongd dan bij vlaktegewijs beheer. Bij vlaktegewijs beheer van de opstand van 10 jaar heeft het meenemen van kosten voor verjonging betrekkelijk weinig effect, omdat die kosten pas ver in de toekomst worden gemaakt.

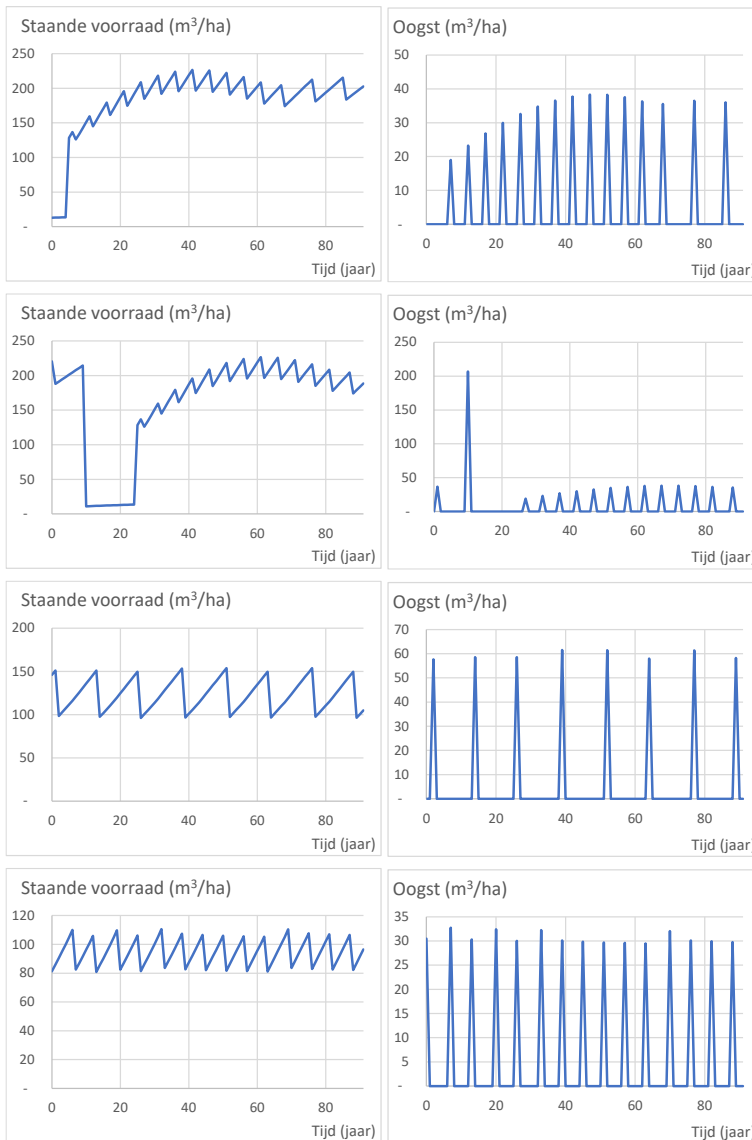
De netto contante waarde bij 3% rente bij het basisscenario varieert van circa € 2400 ha⁻¹ bij het vlaktegewijs beheer, opstand van 10 jaar, tot circa € 7400 ha⁻¹ bij vlaktegewijs beheer, opstand vanaf 108 jaar. Voor uitkapbeheer is dit circa € 4800 ha⁻¹ (3a) en € 3900 ha⁻¹ (3b). Als ervan uitgegaan wordt dat er kosten gemaakt moeten worden voor verjonging, dan komen deze bedragen uit op circa € 2100 ha⁻¹ (scenario 1, 10 jaar) en 2600 ha⁻¹ (scenario 1, 108 jaar) voor de vlaktegewijze varianten. Het grote verschil bij de opstand van 108 jaar tussen het al dan niet rekenen van kosten voor verjonging komt doordat er voor dit scenario al vroeg aanzienlijke kosten worden gemaakt voor verjonging, en vroege kosten wegen bij het rekenen met rente zwaar mee. Bij de uitkapscenario's bedraagt de netto contante waarde bij 3% rente, basisscenario en met meenemen aanplantkosten circa € 200 ha⁻¹ (3a) en -2600 ha⁻¹ (3b).



Figuur 5.2 Verdeling van de houtoogst over diameterklassen (in cm) van sortimenten voor grove den. Distribution of the timber harvest across diameter classes (in cm) for assortments of Scots pine.

Tabel 5.1 Resultaten van de scenarioberekeningen van grove den. De scenario's betreffen het basisscenario (basis houtprijs en oogstkosten, geen plantkosten) en variaties daarop van rente (0% of 3%), houtprijs (basis, negatief of positief), oogstkosten (basis of 20% verhoogd) en wel of geen kosten voor planten. De resultaten zijn het oogstvolume (gemiddeld over de omloop in m³ per ha per jaar), het financiële resultaat van de oogst (gemiddelde kosten, opbrengsten en netto resultaat per m³), de netto contante waarde van het scenario (euro per ha) en de annuïteit (euro per ha per jaar).
Results of the financial scenarios for Scots pine.

Scenario's					Oogst	Financieel oogst			Netto contante waarde			Annuïteit		
	Rente	Houtprijs	Oogst- kosten	Plant- kosten	m ³ /ha/jr	Kosten	Opbr.	Result.	Kosten	Opbr.	Result.	Kosten	Opbr.	Result.
Gd scenario 1, 10 jr	0%	basis	basis	nee	6,4	18	41	23	14,0	30,9	16,8	119	262	143
Gd scenario 1, 108 jr	0%	basis	basis	nee	6,6	18	41	23	14,5	32,0	17,5	123	271	148
Gd scenario 3a	0%	basis	basis	nee	5,1	15	43	28	9,7	25,8	16,2	82	219	137
Gd scenario 3b	0%	basis	basis	nee	5,1	18	41	24	11,4	25,0	13,5	97	212	115
Gd scenario 1, 10 jr	0%	negatief	basis	nee	6,4	18	40	23	14,0	30,4	16,4	119	258	139
Gd scenario 1, 108 jr	0%	negatief	basis	nee	6,6	18	40	23	14,5	31,5	17,0	123	267	144
Gd scenario 3a	0%	negatief	basis	nee	5,1	15	42	27	9,7	25,2	15,5	82	214	132
Gd scenario 3b	0%	negatief	basis	nee	5,1	18	41	23	11,4	24,6	13,2	97	209	112
Gd scenario 1, 10 jr	0%	positief	basis	nee	6,4	18	42	24	14,0	31,5	17,4	119	267	148
Gd scenario 1, 108 jr	0%	positief	basis	nee	6,6	18	42	24	14,5	32,6	18,1	123	277	153
Gd scenario 3a	0%	positief	basis	nee	5,1	15	44	29	9,7	26,6	16,9	82	225	144
Gd scenario 3b	0%	positief	basis	nee	5,1	18	42	24	11,4	25,4	14,0	97	215	118
Gd scenario 1, 10 jr	0%	basis	+20%	nee	6,4	21	41	20	16,9	30,9	14,0	143	262	119
Gd scenario 1, 108 jr	0%	basis	+20%	nee	6,6	21	41	20	17,5	32,0	14,6	148	271	123
Gd scenario 3a	0%	basis	+20%	nee	5,1	19	43	25	11,6	25,8	14,2	98	219	121
Gd scenario 3b	0%	basis	+20%	nee	5,1	21	41	20	13,7	25,0	11,2	116	212	95
Gd scenario 1, 10 jr	0%	basis	basis	ja	6,4	18	41	23	20,5	30,9	10,4	174	262	88
Gd scenario 1, 108 jr	0%	basis	basis	ja	6,6	18	41	23	21,0	32,0	11,0	178	271	93
Gd scenario 3a	0%	basis	basis	ja	5,1	15	43	28	24,9	25,8	0,9	211	219	8
Gd scenario 3b	0%	basis	basis	ja	5,1	18	41	24	34,2	25,0	-9,2	290	212	-78
Gd scenario 1, 10 jr	0%	negatief	+20%	ja	6,4	21	40	19	23,3	30,4	7,1	197	258	60
Gd scenario 1, 108 jr	0%	negatief	+20%	ja	6,6	21	40	19	23,9	31,5	7,6	202	267	65
Gd scenario 3a	0%	negatief	+20%	ja	5,1	19	42	24	26,8	25,2	-1,6	227	214	-14
Gd scenario 3b	0%	negatief	+20%	ja	5,1	21	41	20	36,5	24,6	-11,9	309	209	-100
Gd scenario 1, 10 jr	3%	basis	basis	nee	6,4	18	41	23	4,2	6,5	2,4	128	202	74
Gd scenario 1, 108 jr	3%	basis	basis	nee	6,6	18	41	23	4,5	11,9	7,4	139	367	228
Gd scenario 3a	3%	basis	basis	nee	5,1	15	43	28	2,9	7,6	4,8	89	236	147
Gd scenario 3b	3%	basis	basis	nee	5,1	18	41	24	3,3	7,2	3,9	101	223	122
Gd scenario 1, 10 jr	3%	negatief	basis	nee	6,4	18	40	23	4,2	6,5	2,4	128	201	73
Gd scenario 1, 108 jr	3%	negatief	basis	nee	6,6	18	40	23	4,5	11,6	7,1	139	358	219
Gd scenario 3a	3%	negatief	basis	nee	5,1	15	42	27	2,9	7,4	4,6	89	231	142
Gd scenario 3b	3%	negatief	basis	nee	5,1	18	41	23	3,3	7,1	3,8	101	220	119
Gd scenario 1, 10 jr	3%	positief	basis	nee	6,4	18	42	24	4,2	6,6	2,4	128	204	76
Gd scenario 1, 108 jr	3%	positief	basis	nee	6,6	18	42	24	4,5	12,2	7,7	139	379	239
Gd scenario 3a	3%	positief	basis	nee	5,1	15	44	29	2,9	7,9	5,0	89	243	155
Gd scenario 3b	3%	positief	basis	nee	5,1	18	42	24	3,3	7,3	4,1	101	227	126
Gd scenario 1, 10 jr	3%	basis	+20%	nee	6,4	21	41	20	5,0	6,5	1,6	154	202	48
Gd scenario 1, 108 jr	3%	basis	+20%	nee	6,6	21	41	20	5,4	11,9	6,5	167	367	200
Gd scenario 3a	3%	basis	+20%	nee	5,1	19	43	25	3,4	7,6	4,2	106	236	130
Gd scenario 3b	3%	basis	+20%	nee	5,1	21	41	20	3,9	7,2	3,3	121	223	102
Gd scenario 1, 10 jr	3%	basis	basis	ja	6,4	18	41	23	4,4	6,5	2,1	137	202	66
Gd scenario 1, 108 jr	3%	basis	basis	ja	6,6	18	41	23	9,3	11,9	2,6	288	367	80
Gd scenario 3a	3%	basis	basis	ja	5,1	15	43	28	7,4	7,6	0,2	229	236	7
Gd scenario 3b	3%	basis	basis	ja	5,1	18	41	24	9,8	7,2	-2,6	303	223	-80
Gd scenario 1, 10 jr	3%	negatief	+20%	ja	6,4	21	40	19	5,2	6,5	1,3	162	201	39
Gd scenario 1, 108 jr	3%	negatief	+20%	ja	6,6	21	40	19	10,2	11,6	1,4	315	358	43
Gd scenario 3a	3%	negatief	+20%	ja	5,1	19	42	24	8,0	7,4	-0,5	247	231	-16
Gd scenario 3b	3%	negatief	+20%	ja	5,1	21	41	20	10,4	7,1	-3,3	323	220	-104



Figuur 5.3 Staande houtvoorraad en oogst voor de basisscenario's voor grove den, van boven naar onder: Gd vlaktegewijs (scenario 1, resp. 10 jaar en 108 jaar bij start), Gd uitkap 3a en Gd uitkap 3b. Standing stock and harvest for the basic scenarios for Scots pine, from top to bottom: Scots pine even-aged (scenario 1, respectively 10 year and 108 year at start), Scots pine uneven-aged 3a and 3b.

5.2 Douglasspar

Bij Douglasspar wordt in de basisberekening het hoogste resultaat behaald bij het basis uitkapscenario (4a) met een annuïteit €1052 ha⁻¹ jaar⁻¹, gevolgd door vlaktegewijs beheer met een annuïteit van € 976 ha⁻¹ jaar⁻¹ (scenario 1, 81 jaar) en 906 ha⁻¹ jaar⁻¹ (scenario 1, 10 jaar). Bij het uitkapscenario met een lager grondvlak is de annuïteit ook wat lager, namelijk € 874 ha⁻¹ jaar⁻¹. De oogstniveaus zijn bij het scenario voor vlaktegewijs beheer en het basis uitkapscenario (4a) vergelijkbaar met ca. 19 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹, maar bij het uitkapscenario met een lager grondvlak (4b) is het oogstniveau met 17 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹ duidelijk lager.

Het hoogste financiële resultaat (€ 1305 ha⁻¹ jaar⁻¹) wordt behaald voor het uitkapscenario (4a) met basis oogstkosten, geen kosten voor planten en een positieve ontwikkeling van de houtprijs. Dit is ca. € 130 hoger dan het resultaat voor vlaktegewijs beheer berekend vanaf 81 jaar (scenario 1, 81 jaar). Voor alle doorgerekende scenario's bij 0% rente is het laagste financiële resultaat berekend voor de uitkapscenario's (4b) met uitkap bij een grondvlak van 22 m² ha⁻¹. Van alle doorgerekende scenario's bij 0% rente heeft het scenario waarbij gerekend wordt met plantkosten, 20% hogere oogstkosten en een negatieve houtprijsontwikkeling het laagste financiële resultaat.

De oogstkosten per kuub geoogst hout zijn bij uitkapbeheer hoger doordat een relatief groot deel van de relatief dikkere bomen (figuur 5.4) met de motorzaag moet worden geveld, maar dit wordt deels goedge maakt door een hogere gemiddelde houtprijs vanwege de grotere diameters. Daardoor zijn de netto-opbrengsten per kuub bij uitkapbeheer iets hoger in vergelijking met vlaktegewijs beheer.

Evenals bij grove den geldt dat doorrekening met 20% hogere of 20% lagere houtprijzen of oogstkosten het beeld in de meeste gevallen niet wezenlijk verandert. Bij hogere houtprijzen ligt het resultaat voor alle scenario's circa € 200 hoger dan voor de scenario's met basis houtprijs. Bij de scenario's met 20% hogere oogstkosten leidt dit niet tot verandering van de volgorde, maar het resultaat ligt voor alle scenario's circa € 60 lager.

Het meerekenen van plantkosten bij alle basisscenario's heeft – evenals bij grove den – een groter effect bij uitkap doordat in die beheermethode meer geplant wordt. De plantkosten voor de uitkapsenario's bedragen over de omloop € 26 ha⁻¹, terwijl dat bij vlaktegewijs beheer € 6,4 ha⁻¹ is. Bij Douglasspar zou het echter kunnen zijn dat juist bij uitkap minder noodzaak is voor aanplanten doordat deze soort zich onder scherm relatief goed verjongt. Maar ook in kleinschalige vlakten met een licht scherm kan Douglasspar goed spontaan verjongen.

Wanneer er wordt gerekend met een rente van 3%, dan verschuift ten opzichte van rekenen met 0% rente het scenario met het hoogste resultaat van uitkap (4a) naar het scenario met vlaktegewijs beheer van een opstand berekend vanaf 81 jaar (scenario 2, 81 jaar). De annuïteit bedraagt voor dit scenario € 1359 ha⁻¹ jaar⁻¹, terwijl het scenario met vlaktegewijs beheer en berekend vanaf 10 jaar (scenario 2, 10 jaar) de annuïteit het laagst is, met € 512 ha⁻¹ jaar⁻¹. Dit heeft, net als bij grove den, alles te maken met de rente over de vroege opbrengst van eindvelling van de oudere opstand die sterk positief in het resultaat meetelt. De annuïteit van de uitkapsenario's (4a en 4b) liggen ongeveer 17-19% lager dan die van het vlaktegewijze scenario met als uitgangssituatie de 81-jarige opstand. Het basis uitkapsenario (4a) ligt voor de verschillende varianten ca. 25% tot 40% hoger dan het uitkapsenario met lager grondvlak (4b) en ca. 40% tot ruim 135% hoger dan het vlaktegewijs beheerde scenario berekend vanaf 10 jaar. Doorrekening met een ander uitgangspunt voor houtprijzen of oogstkosten veranderen de volgorde in het gunstigste resultaat ook hier niet wezenlijk.

Het meenemen van de plantkosten heeft een groter negatief effect op het resultaat van de uitkapsenario's waar het resultaat voor dit scenario ca. € 300 lager ligt dan voor de vlaktegewijs beheerde scenario's en waar het voor de berekening vanaf 10 jaar € 19 lager ligt en voor berekening vanaf 81 jaar € 154 lager.

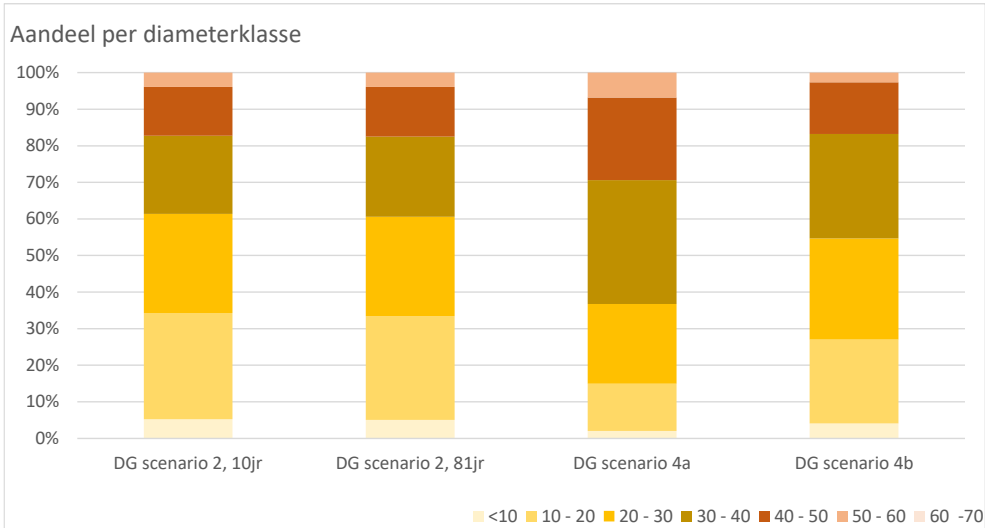
De netto contante waarde bij 3% rente bij de basisberekening varieert van circa € 16.000 ha⁻¹ bij het scenario voor vlaktegewijs beheer, berekend voor een opstand vanaf 10 jaar (scenario 1, 10 jaar), tot circa € 42.000 euro ha⁻¹ bij het scenario voor vlaktegewijs beheer berekend voor een opstand vanaf 81 jaar (scenario 1, 81 jaar). Voor de uitkapsenario's is de contante waarde circa € 35.000 ha⁻¹ (scenario 4a) en € 28.000 ha⁻¹ (scenario 4b). Als er bij Douglasspar van uitgegaan wordt dat er kosten gemaakt moeten worden voor verjonging, dan wordt het verschil tussen vlaktegewijs beheer (81 jaar) en uitkap groter. De netto contante waarde van de 81-jarige opstand met vlaktegewijs beheer wordt dan € 37.000 euro ha⁻¹, terwijl het bij uitkapbeheer € 26.000 ha⁻¹ (scenario 4a) en € 19.000 ha⁻¹ (scenario 4b) is.

Hogere houtprijzen leiden voor alle doorgerekende scenario's tot een hoger financieel resultaat. Echter, voor de vlaktegewijs beheerde opstand vanaf 10 jaar, is het positieve effect beperkt tot ca. € 80 en aanzienlijk lager dan voor de andere scenario's, waar het resultaat ongeveer € 200 tot € 300 hoger ligt. 20% hogere oogstkosten drukt het financiële resultaat van alle scenario's min of meer op vergelijkbare mate met € 60 tot € 70.

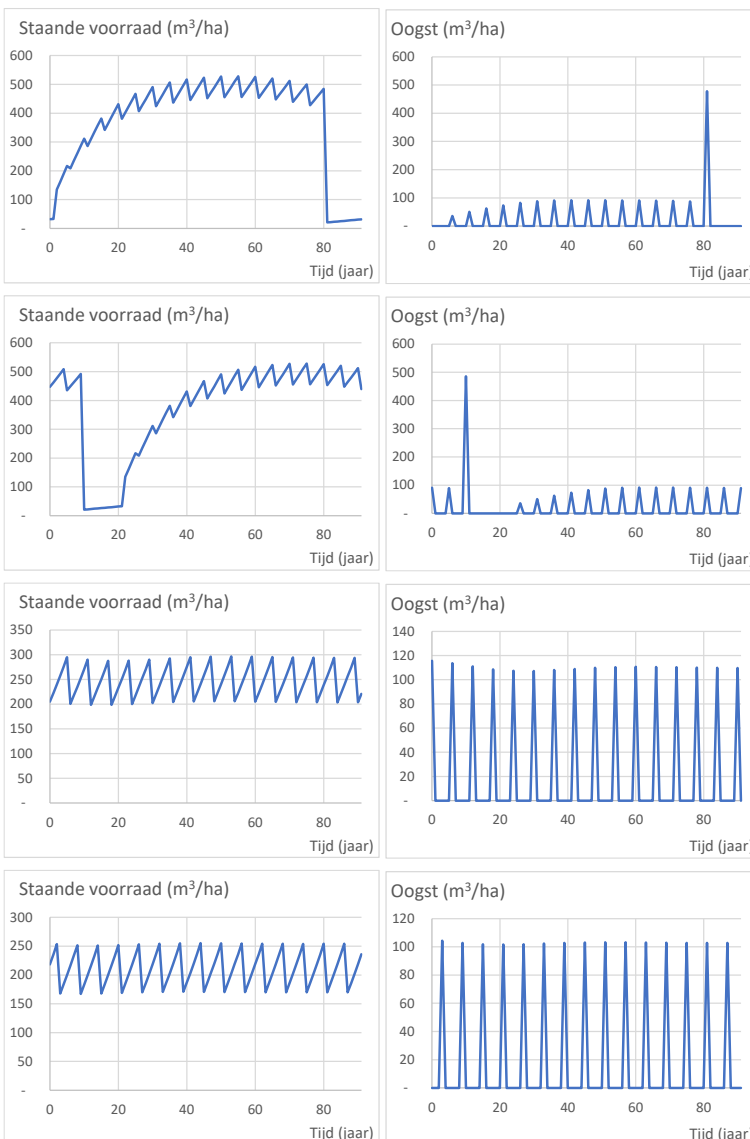
Het meenemen van de plantkosten heeft een groter negatief effect op het resultaat van de uitkapsenario's waar het resultaat voor dit scenario ca. € 300 lager ligt dan voor de vlaktegewijs beheerde scenario's, waar het voor de berekening vanaf 10 jaar € 19 lager ligt en voor berekening vanaf 81 jaar € 154 lager.

Tabel 5.2 Resultaten van de scenarioberekeningen Douglasspar. De scenario's betreffen het basisscenario (groei, oogst, verjonging) en variaties van rente (0% of 3%), houtprijs (basis, negatief of positief), oogstkosten (basis of 20% verhoogd) en wel of geen kosten voor planten. De resultaten zijn het oogstvolume (gemiddeld over de omloop in m³ per ha per jaar), het financiële resultaat van de oogst (gemiddelde kosten, opbrengsten en netto resultaat per m³), de netto contante waarde van het scenario (euro per ha) en de annuïteit (euro per ha per jaar).
Results of the financial scenarios for Douglas fir.

Scenario's					Oogst volume	Financieel oogst resultaat (euro/m ³)			Netto contante waarde (1000 euro/ha)			Annuïteit (euro/ha/jr)		
Basisscenario	Rente	Houtprijs	Oogst-kosten	Plant-kosten	m ³ /ha/jr	Kosten	Opbr.	Result.	Kosten	Opbr.	Result.	Kosten	Opbr.	Result.
DG scenario 2, 10jr	0%	basis	basis	nee	19	15	64	49	26	108	82	284	1.191	906
DG scenario 2, 81jr	0%	basis	basis	nee	20	15	65	50	27	116	89	301	1.277	976
DG scenario 4a	0%	basis	basis	nee	19	17	71	55	30	126	96	330	1.382	1.052
DG scenario 4b	0%	basis	basis	nee	17	17	69	52	27	106	80	291	1.165	874
DG scenario 2, 10jr	0%	negatief	basis	nee	19	15	56	41	26	94	68	284	1.032	747
DG scenario 2, 81jr	0%	negatief	basis	nee	20	15	56	41	27	100	73	301	1.102	801
DG scenario 4a	0%	negatief	basis	nee	19	17	60	43	30	106	76	330	1.163	833
DG scenario 4b	0%	negatief	basis	nee	17	17	58	42	27	90	64	291	990	699
DG scenario 2, 10jr	0%	positief	basis	nee	19	15	74	59	26	125	99	284	1.377	1.092
DG scenario 2, 81jr	0%	positief	basis	nee	20	15	76	61	27	135	107	301	1.481	1.180
DG scenario 4a	0%	positief	basis	nee	19	17	85	68	30	149	119	330	1.639	1.309
DG scenario 4b	0%	positief	basis	nee	17	17	81	64	27	125	98	291	1.370	1.078
DG scenario 2, 10jr	0%	basis	+20%	nee	19	18	64	46	31	108	77	341	1.191	849
DG scenario 2, 81jr	0%	basis	+20%	nee	20	18	65	47	33	116	83	361	1.277	916
DG scenario 4a	0%	basis	+20%	nee	19	20	71	51	36	126	90	396	1.382	986
DG scenario 4b	0%	basis	+20%	nee	17	20	69	49	32	106	74	350	1.165	816
DG scenario 2, 10jr	0%	basis	basis	ja	19	15	64	49	32	108	76	355	1.191	835
DG scenario 2, 81jr	0%	basis	basis	ja	20	15	65	50	34	116	82	372	1.277	905
DG scenario 4a	0%	basis	basis	ja	19	17	71	55	56	126	70	615	1.382	767
DG scenario 4b	0%	basis	basis	ja	17	17	69	52	52	106	54	570	1.165	595
DG scenario 2, 10jr	0%	negatief	+20%	ja	19	18	56	38	37	94	56	412	1.032	620
DG scenario 2, 81jr	0%	negatief	+20%	ja	20	18	56	38	39	100	61	432	1.102	670
DG scenario 4a	0%	negatief	+20%	ja	19	20	60	40	62	106	44	681	1.163	482
DG scenario 4b	0%	negatief	+20%	ja	17	20	58	38	57	90	33	628	990	362
DG scenario 2, 10jr	3%	basis	basis	nee	19	15	64	49	8	24	16	248	760	512
DG scenario 2, 81jr	3%	basis	basis	nee	20	15	65	50	10	53	42	337	1.696	1.359
DG scenario 4a	3%	basis	basis	nee	19	17	71	55	11	46	35	352	1.481	1.128
DG scenario 4b	3%	basis	basis	nee	17	17	69	52	9	37	28	298	1.193	895
DG scenario 2, 10jr	3%	negatief	basis	nee	19	15	56	41	8	21	14	248	689	441
DG scenario 2, 81jr	3%	negatief	basis	nee	20	15	56	41	10	44	34	337	1.427	1.089
DG scenario 4a	3%	negatief	basis	nee	19	17	60	43	11	39	28	352	1.245	893
DG scenario 4b	3%	negatief	basis	nee	17	17	58	42	9	31	22	298	1.013	715
DG scenario 2, 10jr	3%	positief	basis	nee	19	15	74	59	8	26	18	248	844	595
DG scenario 2, 81jr	3%	positief	basis	nee	20	15	76	61	10	63	52	337	2.012	1.675
DG scenario 4a	3%	positief	basis	nee	19	17	85	68	11	55	44	352	1.757	1.405
DG scenario 4b	3%	positief	basis	nee	17	17	81	64	9	44	34	298	1.402	1.104
DG scenario 2, 10jr	3%	basis	+20%	nee	19	18	64	46	9	24	14	298	760	463
DG scenario 2, 81jr	3%	basis	+20%	nee	20	18	65	47	13	53	40	405	1.696	1.292
DG scenario 4a	3%	basis	+20%	nee	19	20	71	51	13	46	33	423	1.481	1.058
DG scenario 4b	3%	basis	+20%	nee	17	20	69	49	11	37	26	358	1.193	835
DG scenario 2, 10jr	3%	basis	basis	ja	19	15	64	49	8	24	15	267	760	493
DG scenario 2, 81jr	3%	basis	basis	ja	20	15	65	50	15	53	37	491	1.696	1.205
DG scenario 4a	3%	basis	basis	ja	19	17	71	55	20	46	26	654	1.481	827
DG scenario 4b	3%	basis	basis	ja	17	17	69	52	18	37	19	589	1.193	604
DG scenario 2, 10jr	3%	negatief	+20%	ja	19	18	56	38	10	21	12	317	689	373
DG scenario 2, 81jr	3%	negatief	+20%	ja	20	18	56	38	17	44	27	559	1.427	868
DG scenario 4a	3%	negatief	+20%	ja	19	20	60	40	23	39	16	724	1.245	521
DG scenario 4b	3%	negatief	+20%	ja	17	20	58	38	20	31	11	648	1.013	365



Figuur 5.4 Verdeling van de houtoogst over diameterklassen (in cm) van sortimenten voor Douglasspar. Distribution of timber harvest across diameter classes (in cm) for assortments of Douglas fir.



Figuur 5.5 Staande houtvoorraad en oogst voor de basisscenario's voor Douglasspar, van boven naar onder: DG vlaktegewijs (scenario 2, resp 10 en 81 jaar oud bij start), DG uitkap 4a, DG uitkap 4b. Standing stock and timber harvest for the base scenarios for Douglas fir, from top to bottom: Douglas fir even-aged (scenario 2, respectively 10 and 81 years old at start), Douglas fir uneven-aged 4a and 4b.

6 Discussie

Groeiverwachting

Het gebruik van modelberekeningen brengt onzekerheden met zich mee in de te verwachten groei en opbrengstniveaus van de gemodelleerde opstanden. Het gebruikte model is weliswaar uitgebreid getest en eerder toegepast in andere Nederlandse studies (Arets en Schelhaas, 2019; Den Ouden et al., 2020; Schelhaas et al., 2022a), maar enige onzekerheid ten opzichte van de praktijk blijft altijd bestaan. Om de in deze studie met EFISCEN-Space gemodelleerde groeiverwachting in een context te plaatsen, hebben we de berekende gemiddelde bijgroei vergeleken met bijgroeigegevens uit de NBI6 (Schelhaas et al., 2014) en NBI-7 (Schelhaas et al., 2022b), met opbrengsttabellen van Jansen en Oosterbaan (2018) en waarden uit de literatuur (tabel 6.1). Opgemerkt moet worden dat de opbrengsttabellen gebaseerd zijn op gelijkjarige monoculturen en dus wel met de vlaktegewijze kapsenario's vergeleken kunnen worden, maar niet representatief zijn voor de uitkapsenario's. In de opbrengsttabellen is gezocht naar een beheerregime (matige of sterke dunning) en boniteit die zo veel mogelijk aansloot bij de karakteristieken van de gesimuleerde gelijkjarige vlaktegewijs beheerde scenario's. Voor die opbrengst is vervolgens de gemiddelde bijgroei genomen om te vergelijken met de gesimuleerde bijgroei. Voor grove den en Douglasspar is dat de tabel voor boniteit I met beheerregime sterke dunning.

Tabel 6.1 Gemiddelde bijgroei (Im_v) van de gemodelleerde opstanden (deze studie), de 6^e en 7^e Bosinventarisatie (NBI6 en NBI7) en opbrengsttabellen (Jansen en Oosterbaan 2018). Average increment (Im_v) of the modeled stands (this study), the 6th and 7th forest inventory (NBI6 and NBI7) and yield tables (Jansen and Oosterbaan 2018).

Scenario	Deze studie	NBI6	NBI7	Literatuur
	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)	Bijgroei ($m^3ha^{-1}jr^{-1}$)
1 GD vlaktekop, dunning bij grondvlak > 24m ²	6,3 ⁵⁾	6,4	5,9	5,9 ¹⁾
3a GD uitkap, uitkap bij grondvlak > 18m ²	4,8	5,9	5,7	4,8 ²⁾
3b GD uitkap, uitkap bij grondvlak > 14m ²	4,8	5,9	5,7	4,8 ²⁾
2 DG vlaktekop, dunning bij grondvlak > 33m ²	18,5 ⁸⁾	14,3	10,7	16,3 ³⁾ 14,8 ⁴⁾ 18,9 ⁴⁾ 20,6 ⁵⁾ 26,7 ⁶⁾
4a DG uitkap, uitkap bij grondvlak > 27m ²	18,2	12,1	8,5	15,3 ⁷⁾
4b DG uitkap, uitkap bij grondvlak > 22m ²	17,0	12,1	8,5	15,3 ⁷⁾

¹⁾ Jansen en Oosterbaan (2018) Grove den: Boniteit klasse II, sterke dunning, gemiddelde bijgroei op de leeftijd dat een gemiddelde diameter van 45 cm wordt bereikt.

²⁾ Pukkala et al. (2012).

³⁾ Jansen en Oosterbaan (2018) Douglasspar: Boniteit klasse I, sterke dunning, gemiddelde bijgroei op de leeftijd dat een gemiddelde diameter van 60 cm wordt bereikt.

⁴⁾ Kohnle et al. (2019).

⁵⁾ Den Ouden et al. (2020).

⁶⁾ Pretzsch and Schütze (2016).

⁷⁾ Schutz and Pommerening (2013).

⁸⁾ Berekend over de periode van een omloop bij vlaktegewijs beheer (grove den 108 jaar; Douglasspar 90 jaar).

Voor vergelijking van de bijgroei van de simulaties met die van de NBI is in de NBI-data een selectie gemaakt van gelijkjarige en ongelijkjarige opstanden van grove den en Douglasspar (Schelhaas et al., 2014; 2022b). Bij de ongelijkjarige opstanden moet opgemerkt worden dat het beheer onbekend is en dus ook niet

met zekerheid is te zeggen of ze als uitkapbos of met een andere beheervorm worden beheerd. Daarnaast hebben de NBI-opstanden niet de ideale verdeling van bomen over de diameterklassen (omgekeerde J-curve) die voor de simulaties is aangehouden. In de praktijk is het nastreven van een omgekeerde J-curve vrijwel nooit een doel en wijkt de diameterverdeling daar dan ook van af. Bovendien zijn in de praktijk veel opstanden nog in een omvormingsfase van gelijkjarige monocultuur naar meerjarig gemengd bos en is er een laag grondvlak waardoor de bijgroei lager is dan verwacht voor uitkapbos met een optimale structuur en stamtal.

Voor grove den komt de in deze studie gemodelleerde bijgroei voor de vlaktegewijs beheerde opstand (scenario 1) redelijk goed overeen met de bijgroei gerapporteerd in de NBI6 en NBI7. Ook de in de opbrengsttabel voor boniteit I met sterke dunning berekende bijgroei komt redelijk goed overeen met de gemodelleerde bijgroei voor het vlaktegewijs beheerde scenario.

De gemodelleerde bijgroei van grove den voor de scenario's met uitkap (hoog en laag grondvlak) (scenario 3a en 3b) is lager dan de bijgroei voor de ongelijkjarige opstanden van de NBI. De gesimuleerde bijgroei komt wel goed overeen met het in de literatuur genoemde bijgroeiniveau voor ongelijkjarige grove den (Pukkala et al., 2012). Het hogere bijgroeiniveau in de NBI kan mogelijk veroorzaakt worden door een andere leeftijdsopbouw en/of bijmenging van andere, productievere soorten en/of een hoger grondvlak. Ook is het toegepaste beheerregime in de ongelijkjarige bossen van de NBI onbekend.

Voor Douglasspar ligt de gemodelleerde bijgroei voor zowel de vlaktegewijze scenario's als de uitkapscenario's hoger dan de gemiddelde bijgroei berekend in de NBI (Schelhaas et al., 2014; 2022b) en volgens de opbrengsttabel (Jansen en Oosterbaan, 2018). De teruggang van bijgroei in de NBI-7 ten opzichte van de NBI-6 is waarschijnlijk veroorzaakt door de droge zomers in de periode 2018-2020. Vergelijking met literatuur laat zowel hogere als lagere groeiniveaus zien (o.a. Schutz and Pommerening, 2013; Kohnle et al., 2018; Thomas et al., 2022). Pretzsch and Schütze (2016) rapporteren zelfs waarden van $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Voor de simulaties in onze studie is een groeiplaats aangehouden die vergelijkbaar is met die van bosreservaat Het Leesten. Dit is een voor Douglasspar zeer geschikte groeiplaats. In het bosreservaat was de gemiddelde bijgroei over de afgelopen 30 jaar $21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (Den Ouden et al., 2020). De hoogste gemiddelde bijgroei vermeld in de opbrengsttabel van boniteit I bij sterke dunning is $19,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Hogere oogstvolumes en bijgroei voor ongelijkjarige bossen ten opzichte van gelijkjarige bossen zijn ook in andere studies naar ongelijkjarige bossen gevonden (o.a. Banas et al., 2018). De in onze studie berekende bijgroei kan derhalve als hoog worden beschouwd, maar ook als haalbaar.

Op basis van de vergelijking van de bijgroei met meetgegevens en literatuur zijn de gemodelleerde bijgroeiniveaus weliswaar als hoog te beschouwen, maar wel haalbaar op vergelijkbare groeiplaatsen als Het Leesten met een goede boniteit. Op minder goede groeiplaatsen zal de bijgroei waarschijnlijk lager zijn, wat ook zal doorwerken in de oogstvolumes en het financiële resultaat. In de praktijk kan het actuele bijgroeiniveau ook afwijkend zijn door herkomst, beheer, groeiplaats en weers- en klimaatomstandigheden. De modeluitkomsten moeten zoals altijd met de nodige voorzichtigheid worden gebruikt en vertaald worden naar de eigen situatie. Overigens bepaalt de hoogte van de bijgroei natuurlijk het rendement, maar minder of niet het verschil tussen vlaktekap en uitkap, en dat was het doel van deze studie.

Beheer

De manier waarop bosopstanden worden beheerd, heeft invloed op de groei en de te verwachten oogstvolumes (tabel 6.1). Daarnaast heeft beheer ook invloed op de houtkwaliteit. Uit een literatuuronderzoek van MacDonald et al. (2009) blijkt dat met name het ouder laten worden van bomen een positieve invloed heeft op de houtkwaliteit, doordat oudere bomen dikker zijn. In de uitkapscenario's heeft een groot deel van de geoogste bomen een dikkere diameter dan in de vlaktegewijze scenario's. Voor grove den heeft bij vlaktegewijs beheer 25% van de geoogste bomen een diameter dikker dan 45 cm, bij uitkapscenario 3a (grondvlak $>18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) 57% en bij uitkapscenario 3b (grondvlak $>14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) 31% (figuur 3.3). Voor Douglasspar heeft bij vlaktegewijs beheer (scenario 2) 34% van de geoogste bomen een dikkere diameter dan 60 cm, dit aandeel is 57% in het uitkapscenario met uitkap bij een grondvlak van $>28 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4a) en 50% voor uitkap bij een grondvlak van $>22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (scenario 4b). De mate waarin een opstand bij uitkapbeheer open wordt gehouden, heeft dus naast invloed op verjonging en oogstvolume ook invloed op de diameters van de geoogste bomen. De dikkere diameters leiden tot een

hogere financieel resultaat. Voor Douglasspar is dat effect groter dan voor grove den, omdat de houtprijs voor dikke diameters voor Douglasspar flink oploopt, terwijl voor grove den dikkere diameters tot slechts een beperkt hogere houtprijs leidt (figuur 4.1).

Om die hogere houtprijs te halen, moet het geogste hout naast diameter eisen ook voldoen aan andere kwaliteitseisen voor bijvoorbeeld zaaghout, zoals takkigheid en de lengte van rechte stamstukken. De verschillende beheersystemen hebben hier mogelijk invloed op. In dichtere opstanden is de takafstoting groter, waardoor minder noesten in het hout ontstaan. Ook groeit de stam van bomen in een dichte opstand rechter op, wat ook tot een hogere houtkwaliteit leidt. MacDonald et al. (2009) concluderen op basis van een literatuurstudie voor het Verenigd Koninkrijk dat er geen significante verbetering of verslechtering zal optreden in de houtkwaliteit door overgang van gelijkjarig beheer naar permanent bos (continuous cover forestry). Hierbij wordt opgemerkt dat het beheer een belangrijke invloed heeft op de kwaliteit, doordat bij uitkap bomen aan de randen van open gaten een vermindering van kwaliteit kunnen krijgen door scheefgroei en/of meer of dikkere takken. Ook is timing van uitkap belangrijk om te voorkomen dat de spilvorm te taps wordt en de takkigheid te zwaar. In hoeverre dit in de praktijk ook werkelijk optreedt, is dus enigszins onzeker (zie ook par. 2.2) en hangt samen met het gevoerde beheer, de herkomsten van de bomen (en daarmee de kwaliteit), de groeiplaats, het klimaat etc.

Verjonging

Klimaat, groeiplaats, weersomstandigheden en beheer bepalen in hoeverre natuurlijke verjonging ook werkelijk plaats zal vinden. In de berekeningen hebben we daarom naast varianten waarbij we uitgaan van succesvolle natuurlijke verjonging, ook varianten opgenomen met aanplant van verjonging. In uitkapbos staat een groot deel van de jonge bomen in een wachtstand tot het moment dat er een gat ontstaat in het kronendak en ze kunnen doorgroeien. Een deel van die verjonging zal voortijdig afsterven. Zo is er bij grove den onder een dicht scherm het risico van aantasting en afsterven door schot (Oosterbaan en Wolf, 2006). Douglasspar zaailingen hebben in principe voldoende potentie om bij lichtstelling door te groeien tot een volgende generatie (Delforferie en Den Ouden, 2015). Het beheer moet dus wel tijdig voldoende licht bieden door de uitkap. Bij zowel grove den als Douglasspar zullen sterfte en beschadiging in de verjonging optreden door velling van bomen bij de uitkap. Verwacht wordt dat bij kleinschalige vlaktekop (<0,5 ha) en uitkap in principe voldoende verjonging kan ontstaan door zaadval uit de omringende opstand. In sommige situaties zal er bijgeplant moet worden om een opstand volledig gesloten te houden. In het onze studie is uitgegaan van steeds een volledig gesloten opstand, hetzij door voldoende natuurlijke ingroei, hetzij door bijplanten. In de praktijk zal een volledige sluiting niet altijd het geval zijn, waardoor de bijgroei en de oogstvolumes lager zullen zijn.

In hoeverre opstanden bij uitkap open of meer gesloten kunnen zijn om nog voldoende verjonging te krijgen, is op voorhand niet geheel duidelijk. Daarom hebben we voor de uitkapscenario's twee varianten doorgerekend, een met een 'normaal' grondvlak en een met een wat lager grondvlak (tabel 2.3). Met name bij grove den is het de vraag hoe open de opstand moet zijn om voldoende verjonging te krijgen en geen aantasting door schot.

Wild kan door vegen invloed hebben op natuurlijke verjonging van zowel grove den als Douglasspar. Kosten voor extra beheer, zoals tijdelijke extra jachtdruk of uitrasteren, zijn niet meegenomen in deze studie, maar kunnen in de praktijk de kosten voor succesvolle verjonging aanzienlijk verhogen. Bij uitkap kan uitrasteren wat lastiger uit te voeren zijn door de kleinschaligheid en verspreid voorkomen van de uitkap en verjonging. Maar in principe kan, net als bij vlaktegewise beheer, ook een wat groter stuk van een opstand worden uitgerasterd.

Monoculturen versus gemengde opstanden

In onze studie zijn we voor de eenvoud en vergelijkbaarheid uitgegaan van monoculturen grove den en Douglasspar en dat zowel vlaktegewise als uitkapbeheer mogelijk is voor beide boomsoorten. In de praktijk wordt echter veelal gestreefd naar gemengd bos. Ook zal uitkapbeheer in de praktijk voor Douglasspar en grove den anders vormgegeven worden door het verschil in groei- en concurrentiekenmerken van beide boomsoorten. Bij het werken met natuurlijke verjonging zal daarnaast veelal een gemengde verjonging ontstaan, met bijvoorbeeld berk, eik en beuk naast grove den of Douglasspar. Ook bij aanplant is er kans op spontane vestiging van andere soorten. De ingroei van meerdere soorten is echter vooralsnog lastig te

modelleren vanwege veel onbekendheden in de aantallen en concurrentie tussen soorten. Bij de verjonging van de verschillende soorten is ook veel onduidelijk over de verhouding waarin de verschillende soorten zich verjongen en doorgroeien. Verder brengt ook de invloed van concurrentie op de houtkwaliteit de nodige onzekerheden met zich mee.

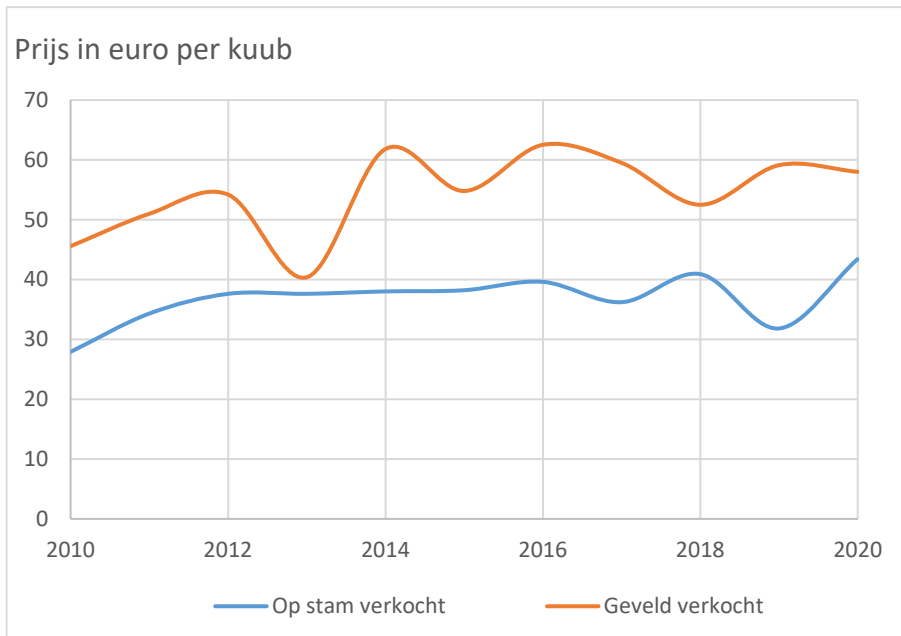
Douglasspar is een halfschaduwsoort waarvan de verjonging goed schaduw verdraagt, hetgeen goed past bij de verjonging in kleine open plekken in het bos zoals die bij uitkap ontstaan (Dekker, 2009). Bij vlaktegewijs beheer van Douglasspar is verjonging onder scherm of in stroken (coulissenkap, zoomkap) aan te bevelen vanwege de droogtegevoeligheid van de verjonging. Grove den is een pioniersoort die een kale minerale bodem nodig heeft om te kiemen. Voor deze soort is het in geval van een dichte vegetatie, zoals bochtige smele of blauwe bosbes, nodig om bodembewerking toe te passen om natuurlijke verjonging te krijgen. Bij oogst ontstaat echter ook vaak bodemverwonding waar verjonging kan optreden. Verjonging kan zowel optreden op open vlakten als in (kleine) groepen in gesloten bos (Oosterbaan en Wolf, 2006). Bij verjonging op open vlakten is een scherm van enkele overstaanders per ha aan te bevelen om verdroging van de verjonging tegen te gaan. Bij verjonging in kleine open plekken zal de verjonging minder talrijk zijn en is de kans op aantasting en sterfte door schot groter. Er bestaan enigszins schot-resistente rassen van grove den, maar van bestaande volgroeide opstanden is vaak onbekend of deze schot-resistent zijn. In dergelijke gevallen kan overwogen worden aan te planten met schot-resistente rassen.

Bij natuurlijke verjonging in gemengd uitkapbos zullen ook andere soorten dan grove den of Douglasspar verjongen. In opstanden waar Douglasspar en andere soorten verjongen, zal de verjonging door de groeikracht van de Douglasspar zich na enige tijd veelal ontmengen en blijft vooral Douglasspar over. Bij voldoende licht zal eventuele verjonging van Japanse lariks zich wel kunnen handhaven, en ook de schaduwtolerante beuk kan zich in veel omstandigheden waarschijnlijk handhaven tussen de Douglasspar. Om overige mengingen in stand te houden, is ingrijpen (vrijstellen) veelal nodig (Dekker, 2009). Bij verjonging van grove den op rijke gronden kan het gebeuren dat grove den overgroeit raakt door andere soorten, bijvoorbeeld berk, Japanse lariks of Douglasspar. Om grove den in de menging te behouden, is dan ingrijpen nodig wat wel kosten met zich meebrengt. Op armere en drogere gronden weet grove den zich vaak wel te handhaven tussen de andere soorten (Oosterbaan, 2006).

EFISCEN-Space modelleert verjonging (nog) niet expliciet. Daarom is in de modelberekeningen verjonging vooraf handmatig aangegeven. Bij vlaktegewijze kap zijn we uitgegaan van een verjonging van 3500 stuks per ha. Bij uitkapbeheer is er in de berekening een jaarlijkse hoeveelheid verjonging toegevoegd waarmee een omgekeerde J-curve van stamtallen per diameterklasse ontstaat die in natuurlijke situaties wordt waargenomen, met naar verhouding veel bomen met kleine diameters en steeds minder bomen naarmate de diameterklasse groter wordt. Of deze verjonging in de praktijk spontaan ook optreedt, is onbekend. Uit plenterbossituaties is bekend dat het in de praktijk wel mogelijk is. In onze studie zijn we ervan uitgegaan dat verjonging in voldoende mate optreedt en in het geval dat niet gebeurt, er wordt (bij)geplant. Aan (bij)planten zijn echter wel kosten gekoppeld. Hiervoor hebben we in bij de berekening van de kosten en baten extra varianten opgenomen. Het model berekent ook dunning en sterfte van zowel jonge als oudere bomen, die is gebaseerd op wat is waargenomen in plots van Nationale Bosinventarisaties (Schelhaas et al., 2014; Schelhaas et al., 2022). Met deze oogst en mortaliteit verdwijnt steeds een deel van de ingroei. Wellicht kan de intensiteit van verjonging verlaagd worden als er in het model tot een bepaalde diameter geen dunning plaatsvindt. Daarmee zouden dan ook de kosten voor verjonging verlaagd kunnen worden.

Houtprijzen en rente

Bij de financiële berekeningen zijn we in deze studie uitgegaan van zo actueel mogelijke houtprijzen. Bestaande informatie (Boosten et al., 2017) is aangevuld en geactualiseerd met informatie via interviews. De houtmarkt is echter erg in beweging de laatste jaren, waardoor actuele prijzen snel veranderen (figuur 6.1).



Figuur 6.1 Ontwikkeling van de houtprijs bij particuliere bouseigenaren (Silvis et al., 2022).
Development of the timber prices for private forest owners, blue line is standing sale price, orange line is harvested roadside sale price (Silvis et al., 2022).

Houtprijzen voor verschillende doeleinden volgen deze trend min of meer, maar zullen afwijken, afhankelijk van de vraag op de wereldmarkt. De absolute prijzen en hoogte van de financiële berekeningen zullen voor een actueel beeld dus steeds geïndexeerd moeten worden. Hetzelfde geldt voor de kosten van maatregelen (planten, oogsten, terreinvoorbereiding etc.). Ook die prijzen stijgen door o.a. de gestegen energieprijzen. De berekende uitkomsten geven echter wel een goed beeld van de relatieve verschillen tussen de scenario's en daarmee kunnen onderlinge rendementen dus goed vergeleken en afgewogen worden. Om de effecten van veranderende houtprijzen mee te nemen, zijn –naast het basisscenario met de geïndexeerde houtprijs – varianten doorgerekend met hogere en lagere houtprijzen.

Het wel of niet gebruiken van rente is bij dergelijke berekeningen vaak een onderwerp van discussie (Raggers, 2018). Bij het wel gebruiken van rente dient de vraag zich aan welke rentevoet gebruikt moet worden. Het gebruik van rente heeft een grote invloed op de uitkomsten. Immers, alle maatregelen die aan het begin van een omloop worden gedaan, werken door tot het moment van oogst, wat in het geval van bos al gauw 70 tot 100 jaar kan zijn. Voor uitkapbos is het tevens de vraag hoe de rentekosten verrekend moeten worden, omdat daar geen omlooptijden worden gehanteerd. Om effecten van dergelijke keuzen inzichtelijk te maken, is gekozen om meerdere varianten door te rekenen met en zonder rente. Ook zijn verschillende varianten doorgerekend, waarbij de kosten van verjonging wel (planten) en niet (natuurlijke verjonging) zijn meegenomen.

De grote fluctuaties in rente vormen een lastig aspect om mee te rekenen over langere perioden. De reële rente (rente gecorrigeerd voor inflatie) was ten tijde van schrijven van dit rapport bijvoorbeeld negatief. Als met een negatieve reële rente wordt gerekend, zou dat een positief effect hebben op de resultaten van scenario's waarbij op korte termijn kosten worden gemaakt en opbrengsten op lange termijn worden gerealiseerd. Sauter en Musshoff (2018) vonden dat bosbeheerders in Duitsland een voorkeur hadden voor een rentevoet tussen 0 en 7%, met een mediane waarde van 4,1%. Prestemon and Wear (2000) vonden voor de Verenigde Staten geprefereerde rentevoeten van 2 tot 18%, afhankelijk van de soort bosbeheerder. De USDA Forest Service hanteert een rentevoet van 4% voor langjarige investeringen (Row et al., 1981). Gezien de lage actuele rentevoeten en de verwachting dat deze nog enige tijd aan zullen houden, hebben we voor onze studie ervoor gekozen om met 0% en 3% rente te rekenen.

Het al dan niet rekenen met rente is wellicht vooral relevant bij de keuze van beheer voor een individuele opstand. Vroeg kappen kan dan relatief financieel aantrekkelijk zijn als er met rente wordt gerekend. Als er echter wordt nagedacht over het hanteren van een bosbedrijfsysteem waarbij de keuze gemaakt wordt

tussen uitkap ofwel vlaktegewijs beheer met een gelijkmatige verdeling van oppervlakten of opstanden over leeftijden (normaal bos) en gelijkmatige kosten en inkomsten over de tijd, dan is rente rekenen niet nodig.

Invloed van beheersscenario's op houtprijs en oogstkosten

De scenario's bieden de mogelijkheid om de effecten van de verschillen tussen vlaktekap en uitkap op het totale financiële resultaat enigszins met elkaar te vergelijken. Hiervoor zijn de verschillende financiële scenario's opgesteld met varianten voor de houtprijs en oogstkosten. Vergelijking van het basisscenario met vlaktegewijs beheer (gerekend vanaf 10 jaar) voor grove den met het basisscenario voor uitkapbeheer (met basis grondvlak 3a) laat op basis van 0% rente een annuïteit van respectievelijk € 143 en € 137 zien (

tabel 5.1). Wordt aangenomen dat het uitkapbeheer een gunstig effect heeft op de houtkwaliteit, dan stijgt bij het positieve houtprijsscenario het resultaat voor het uitkapsysteem naar € 144, iets hoger dus dan de vlaktekop met een lagere houtprijs. Wordt er voor het uitkapsysteem echter van uitgegaan dat oogstkosten stijgen doordat bij uitkap het oogsten ingewikkelder is en de houtprijs gelijk blijft, dan neemt de annuïteit af naar € 121 en wordt het verschil met de vlaktekop groter in het voordeel van vlaktekop.

Als er voor Douglasspar wordt uitgegaan van een hogere houtprijs in het uitkapsysteem, neemt het verschil met het vlaktekopbasisscenario bij 0% rente verder toe ten gunste van het uitkapsysteem (€ 1302 vs. € 906) (tabel 5.2). Wordt echter uitgegaan van 20% hogere oogstkosten voor het uitkapsysteem ten opzichte van vlaktegewijs beheer, dan zakt de annuïteit van het uitkapsysteem naar het niveau van de annuïteit van het basisvlaktekopsysteem (€ 986 vs. € 906).

Invloed van de beheerder

In onze scenario's en berekeningen zijn we uitgegaan van vaste uitgangspunten voor de opstanden. Die uitgangspunten hadden we nodig om de berekeningen uit te kunnen voeren. Zo hebben we het wel of niet meenemen van kosten voor verjonging als vast gegeven voor de hele periode meegenomen. In de praktijk zal een beheerder rekening houden met de natuurlijke omstandigheden. In een jaar met veel spontane verjonging kan daar op worden ingespeeld waardoor geplande kosten voor planten wellicht niet nodig zijn. In uitkapbos lijken risico's op natuurlijke gebeurtenissen zoals stormschade of droogte ook makkelijker op te vangen dan in vlaktegewijs beheerde bossen. Ook kan in uitkapbos makkelijker ingespeeld worden op gunstige marktomstandigheden met hoge houtprijzen voor bepaalde sortimenten door wat extra te oogsten. Door de aanwezige verjonging is er toch weer bijgroei van de houtvoorraad. De simulaties laten zien dat de uitkapsenario's voor Douglasspar bij 3% rente (scenario 4a en 4b) en een positief scenario voor de houtprijs (10% meer zaaghout en een 20% hogere prijs voor zaaghout) tot een vergelijkbaar of gunstiger financieel resultaat leiden dan de basis-uitkapsenario's en het basisscenario met vlaktekop (scenario 2). Kortom, het vermogen van de beheerder om in te spelen op variërende omstandigheden kan veel verschil uitmaken voor het uiteindelijke financiële resultaat naast de andere uitgangspunten.

Het gebruik van een simulatiemodel

Voor deze studie is gebruikgemaakt van het EFISCEN-Spacemodel. Het voordeel van een model is dat de scenario's onderling goed te vergelijken zijn, omdat alle andere factoren constant gehouden kunnen worden. Bij het vergelijken van praktijkresultaten tussen opstanden of bedrijven met verschillend beheer zijn er onderling veel variaties, waarvoor maar ten dele gecompenseerd kan worden. Denk hierbij aan het optreden van mengboomsoorten in verschillende verhoudingen, onzekerheden over het daadwerkelijk gevoerde beheer in het verleden, optreden van verstoringen (stormen, insectenplagen) en verschillen in bodemtoestand. Ook zijn de omstandigheden in de tijd constant, terwijl in de praktijk de boomgroei aanzienlijk beïnvloed is door klimaatomstandigheden en stikstofdepositie. Tegelijkertijd heeft het gebruik van een simulatiemodel ook nadelen, omdat een model een versimpeling is van de werkelijkheid en alleen de relevantste processen opgenomen zijn in het model. Zoals eerder genoemd, wordt houtkwaliteit bijvoorbeeld niet expliciet meegenomen in EFISCEN-Space. Een belangrijk nadeel van de gebruikte versie van EFISCEN-Space is dat de ingroei (verjonging) nog niet dynamisch afhankelijk is van de toestand van het bos, maar handmatig ingebracht moet worden. Dit nadeel is ondervangen door voor beide uitkapsenario's ook een variant door te rekenen met een lager grondvlak, wat, zoals de uitkomsten laten zien, sterk negatieve gevolgen heeft voor de financiële opbrengsten. Meer aandacht voor de relatie tussen grondvlak en het optreden van verjonging is dus gewenst, zowel in het model als in de praktijk.

Om te beoordelen of een model geschikt is voor het beoogde doel, moet een uitgebreide evaluatie gedaan worden. Voor toepassing in Nederland is EFISCEN-Space getest tegen de gegevens uit de NBI (Schelhaas et al., 2022) en meetgegevens uit de bosreservaten (Den Ouden et al., 2020). Het gaat hierbij voornamelijk om een evaluatie van de bijgroei en de staande voorraad. Hoewel de resultaten bemoedigend zijn, zou voor deze studie idealiter een extra vergelijking moeten plaatsvinden met langjarige meetreeksen in opstanden met consequent vlaktegewijs of uitkapbeheer. Helaas ontbreken dit soort meetreeksen met name in het uitkapbeheer, wat een belangrijke reden was om voor een modelstudie te kiezen.

7 Conclusies

- In onze studie hebben we vlaktegewijs en uitkapbeheer in opstanden van grove den en Douglasspar onderling vergeleken met behulp van modelsimulaties en berekeningen van het financiële resultaat. De uitkomsten hiervan laten zien dat de aannames die zijn gedaan om de berekening te kunnen uitvoeren meer van invloed zijn op de berekende bijgroei, houtoogst en financieel resultaat dan van het verschil in beheersysteem. Afhankelijk van de aannames (o.a. omvang van het grondvlak, hoogte van de rentevoet, hoogte van de oogstkosten, wel of niet meenemen van plantkosten, hoogte van de houtprijzen) wordt ofwel voor vlaktegewijs, ofwel voor uitkapbeheer het gunstigste financiële resultaat behaald.
- Voor grove den is de berekende houtoogst in de scenario's met vlaktegewijs beheer groter dan in de uitkapsenario's. In de uitkapsenario's is het aandeel bomen dikker dan 45 cm echter significant groter dan in het vlaktegewijs beheerde scenario. In het scenario met vlaktegewijs beheer is 25% van de geogste bomen dikker dan 45 cm. In de uitkapsenario's is dat respectievelijk 57% bij de variant met een hoog grondvlak en 31% bij de variant met een laag grondvlak. Voor grove den is echter de houtprijs voor diameters boven 45 cm slechts weinig hoger dan voor de dunnere diameters. Hierdoor compenseert de hogere houtprijs door de dikke bomen in de uitkapsenario's onvoldoende voor het lagere oogstvolume en is het financiële resultaat bij uitkapbeheer lager dan in de scenario's met vlaktegewijs beheer.
- Voor Douglasspar is er relatief weinig verschil tussen de berekende houtoogst in het scenario met vlaktegewijs beheer en het uitkapsenario met hoog grondvlak. Voor het uitkapsenario met laag grondvlak is de houtoogst lager dan voor de andere scenario's. Voor Douglasspar is het aandeel bomen dikker dan 60 cm in het uitkapsenario aanzienlijk groter dan in het vlaktegewijs scenario. In het vlaktegewijs beheerde scenario is 34% van de geogste bomen dikker dan 45 cm. In de uitkapsenario's is dat respectievelijk 57% bij de variant met een hoog grondvlak en 50% bij de variant met een laag grondvlak. Voor Douglasspar is de houtprijs voor diameters boven 60 cm substantieel hoger dan voor dunnere diameters. Hierdoor wordt het financiële resultaat van de uitkapsenario's sterk positief beïnvloed door de hogere houtkwaliteit (dikkere bomen) ten opzichte van het vlaktegewijs beheerde scenario.
- Uitkapbeheer bij Douglasspar kan leiden tot vergelijkbare of hogere bijgroei en houtoogst dan bij vlaktegewijs beheer. Doordat de soort meer schaduw-verdragend is dan grove den, kan bij uitkap het grondvlak waarbij verjonging optreedt relatief hoog gehouden worden en daarmee ook de bijgroei en de houtoogst. Bij grove den gaat uitkapbeheer ten koste van de bijgroei en de houtoogst, omdat de opstand open gehouden moet worden (laag grondvlak) om voldoende verjonging te krijgen. Het lage grondvlak werkt negatief door in de houtoogst en daarmee ook in het financiële resultaat.
- Douglasspar is in absolute zin, maar ook in relatieve zin, productiever onder uitkapbeheer dan grove den. In onze berekeningen is bij vlaktegewijs beheer het oogstvolume voor Douglasspar gemiddeld 2,8 keer zo hoog als voor grove den. Voor de uitkapsenario's is het oogstvolume 3,5 tot 3,8 keer hoger voor Douglasspar dan voor grove den. Ook dit hangt samen met het hogere grondvlak voor Douglasspar in de uitkapsenario's dan voor grove den, waarbij nog voldoende verjonging optreedt.
- De scenario's met Douglasspar hebben aanmerkelijk grotere oogstvolumes en bovendien grotere diameters en daardoor ook een aanzienlijk hoger financieel resultaat dan grove den. Bij vergelijkbare scenario's is het resultaat voor Douglasspar gemiddeld 8 tot 10 keer hoger dan voor grove den, zowel voor de varianten met als zonder rente, met uitschieters tot meer dan 100 keer hoger voor het basis-uitkapsenario waarbij de plantkosten worden meegenomen.
- Voor grove den heeft de rentevoet in combinatie met het tijdstip waarop de berekening van het resultaat wordt gestart invloed op welke beheervorm het hoogste financiële resultaat geeft. Zowel bij 0% rente als bij 3% rente wordt het hoogste financiële resultaat behaald voor de variant met vlaktegewijs beheer waarbij gerekend wordt vanaf 108 jaar. Bij 0% rente wordt voor het vlaktegewijs beheerde scenario

waarbij gerekend wordt vanaf 10 jaar, het op een na hoogste resultaat behaald. Bij 3% wordt het op een na hoogste resultaat echter behaald met het uitkapscenario met hoog grondvlak. Vergeleken met de vlaktegewijs beheerde scenario's is voor deze uitkapvariant het resultaat lager dan voor vlaktekap berekend vanaf 108 jaar, maar hoger dan vlaktekap berekend vanaf 10 jaar.

- Voor Douglasspar heeft de gehanteerde rentevoet wel invloed op met welk beheersysteem het hoogste financiële resultaat wordt behaald. Bij 0% rente wordt het hoogste financiële resultaat behaald bij de variant van uitkapbeheer met een hoog grondvlak. Wordt met 3% rente gerekend, dan wordt het hoogste resultaat behaald voor de varianten met vlaktegewijs beheer en berekening vanaf 81 jaar. Wordt echter vergeleken met de variant van vlaktegewijs beheer met start van de berekening vanaf 10 jaar, dan wordt, net als bij grove den, voor beide uitkapscenario's een hoger resultaat behaald.
- In de doorgerekende scenario's ontwikkelen de vlaktegewijs beheerde gelijkjarige opstanden van grove den en Douglasspar zich min of meer vergelijkbaar met de ontwikkeling geschetst in opbrengsttabellen (Jansen en Oosterbaan, 2018). De scenario's met uitkapbeheer laten zich lastig vergelijken met opbrengsttabellen. Met de modelberekeningen is het voor de uitkapsystemen echter gelukt om een stabiele situatie met balans tussen uitkap en verjonging te simuleren over langere periode. Vergeleken met gemiddelde bijgroeniveaus voor meerjarige opstanden uit de NBI-6 en NBI-7 is de gesimuleerde bijgroei van Douglasspar hoog. De hoge bijgroei in de simulaties hangt waarschijnlijk samen met de zeer goede groeiplaats voor Douglasspar. De gesimuleerde bijgroei van grove den is in de uitkapscenario's wat lager dan het gemiddelde van ongelijkjarige opstanden uit de NBI-6 en NBI-7. Dit hangt mogelijk samen met het lage grondvlak dat is aangehouden in de simulaties om in de uitkapscenario's voldoende verjonging van grove den mogelijk te maken.
- Naast de uitgangspunten voor de scenario's in deze studie, is in de praktijk het inspelen op natuurlijke en marktomstandigheden van invloed op het financiële resultaat. Risico's op het resultaat door natuurlijke omstandigheden (bijvoorbeeld storm en droogte) lijken bij uitkapbeheer door variatie in structuur lager dan bij vlaktegewijs beheer. Ook lijkt er bij uitkapbeheer meer mogelijkheid om in te spelen op gunstige marktsituaties (hoge houtprijzen). Hiermee is flexibiliteit in beheer, naast de uitgangspunten zoals wel of niet planten, ook van invloed op met welk scenario het gunstigste resultaat behaald kan worden.
- Het bosgroeimodel EFISCEN-Space is behulpzaam gebleken bij het doorrekenen van geïdealiseerde beheersystemen. Groei en opbrengst lijken overeen te stemmen met waarnemingen in de praktijk, maar met name de relatie tussen gehanteerd grondvlak en het optreden van verjonging behoeft meer aandacht. Daarnaast is het wenselijk de simulatieresultaten van met name de uitkapscenario's te toetsen met veldgegevens.

Literatuur

- Arets E.J.M.M. en M.J. Schelhaas, 2019. National Forestry Accounting Plan: Submission of the Forest Reference Level 2021-2025 for the Netherlands. Ministerie LNV, 2019. 75 p.
<https://edepot.wur.nl/513199>
- Banás, J. S. Zieba and L. Bujoczek, 2018. An example of uneven-aged forest management for sustainable timber harvest. *Sustainability* 2018, 10, 3305; doi:10.3390/su10093305
- Boosten, M., F. Voncken, D. van der Heyden, J. Oldenburger and B. de Somviele, 2017. eco2eco werkpakket 3 – Vraag en aanbod op de houtmarkt in Nederland en Vlaanderen. activiteit II – Analyse rondhoutprijzen en prijsbepalende parameters. België, Gontrode, BOS + Vlaanderen vzw, rapport, 41p.
- Brandenberger, R., 2000. Productivity Analysis of Harvester Systems – A case study in Swedish thinning operations. Zurich, Swiss Federal Institute Swedish University of Technology, Thesis, 541p.
- Brunberg T. 1995. Basic data for productivity norms for heavy-duty single-grip harvesters in final felling. Report 7. The Forestry Research Institute of Sweden. Uppsala, Sweden.
- De Liocourt, F., 1898. De l'aménagement des sapinières. *Bull. Soc. Forest. Franche-Comte et Belfort*. 6: 369- 405. In: Picard, N. & D. Gasparotto, 2016. Liocourt's law for tree diameter distribution in forest stands. *Annals of Forest Science* 73: p. 751–755.
- Delforterie, W. en J. Den Ouden, 2015. Potentie van onderstandige douglasverjonging: kleinschalig natuurvolgend bosbeheer. *Vakblad natuur bos landschap*, februari 2015, p. 26-27.
- Den Ouden, J. en G.M.J. Mohren, 2020. De ecologische aspecten van vlaktekop in het Nederlandse bos. Rapport voor het ministerie van LNV in het kader van de Bossenstrategie. Rapport Wageningen University, Wageningen.
- Den Ouden J., M.J. Schelhaas, R. Van Duuren, A.P.P.M. Clerkx, R.W. De Waal, B.J.W. Lerink, 2020. Kan uitstel van houtoogst bijdragen aan CO2-mitigatie?. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2994 <https://edepot.wur.nl/517567>
- De Klein, J.P.G. en J.J. Jansen, 1992. Planning en controle in ongelijkjarig bos. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 64 (7): p. 313-322.
- Di Fulvio, F., N. Forsell, O. Lindroos, A. Korosuo and M. Gusti, 2016. Spatially explicit assessment of roundwood and logging residues availability and costs for the EU28. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31:7, 691-707, DOI:10.1080/02827581.2016.1221128.
- Eliasson, L., J. Bengtsson, J. Cedergren and H. Lageson, 1999. Comparison of Single-Grip Harvester Productivity in Clear- and Shelterwood Cutting. *International Journal of Forest Engineering*, 10, 1, p. 43 - 48.
- Hånell, B., T. Nordfjell and L. Eliasson, 2010. Productivity and Costs in Shelterwood Harvesting. In: *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 5, p. 561 - 569.
- Jansen, H. en A. Oosterbaan (red.), 2018. Opbrengsttabellen Nederland 2018. Wageningen, Forest Ecology and Forest Management group, Wageningen University, rapport.
- Jansen, P.M., M. Boosten, M. Cassaert, J. Cornelis, E. Thomassen, M. Winnock, H. Cosyns, 2018. *Praktijkboek Bosbeheer*. Stichting Probos en Inverde.
- Kramer, F., 1926. Onderzoek naar de natuurlijke verjonging en den uitkap in Preanger Gebergtebosch. Wageningen, Proefschrift Landbouwhoogeschool, Veenman&Zonen.
- Kärhä, K., E. Rönkkö en S.I. Gumse, 2004. Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. In: *International Journal of Forest Engineering*, p. 43 - 56.
- Kohnle, U., J. Klädtke and B. Chopard, 2019. Management of Douglas-fir. Chap 4.1 In: H. Spiecker, M. Lindner and J. Schuler (eds), *Douglas-fir – an option for Europe*. Joensuu Finland, European Forest Institute, What Science Can Tell Us 9, 124 pp.
- Kuper, J. en B. Swart, 2018. Plenteren op z'n Nederlands. *Zakelijk en professioneel*. *Vakblad natuur bos landschap*, maart 2018, p. 3-7.
- Leibundgut, H., 1946. Femelschlag und Plenterung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 97 (7), p. 306-317.
- Lortz D., R. Kluender, W. McCoy, B. Stokes en J. Klepac, 1997. Manual felling time and productivity in southern pine forests. In: *Forest Product Journal*, 47, 10, p. 59 - 63.

-
- Maas, G.J. 1989. Bodemgesteldheid van het bosreservaat 'Het Leesten' 1989. Boswachterij 'Ugchelen'. Wageningen, Stichting voor Bodemkartering/Bosbureau Wageningen. Rapport nr. 2059.
- MacDonald, E., B. Gardiner and W. Mason, 2009 The effects of transformation of even-aged stands to continuous cover forestry on conifer log quality and wood properties in the UK. *Forestry*, Vol. 83, No. 1, 2010. doi:10.1093/forestry/cpp023.
- Mohren, G.M.J., B. Muys, B. van den Aa en K. Verheyen, 2010. Hooghout. In: J. den Ouden, B. Muys, G.M.J. Mohren, en K. Verheyen(eds), Leuven: ACCO - ISBN 9789033477829 - p. 325 - 340.
- Nurminen T., H. Korpunen and J. Uusitalo, 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* vol. 40 no. 2 article id 346.
- O'Hara, K.L., H. Hasenauer and G. Kindermann, 2007. Sustainability in multi-aged stands: an analysis of long-term planter systems. *Forestry* 80(2): p 163-181. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl051>
- Oosterbaan, A. en R. Wolf, 2006. Natuurlijke verjonging van grove den. Een handvat voor beheerders. *Vakblad Natuur, Bos, Landschap*, maart 2006, p. 11-13.
- Oregon Forest Institute 2023. [Clearcutting | OregonForests](https://oregonforests.org/clearcutting) (<https://oregonforests.org/clearcutting>, laatst bezocht 2023-09-05)
- Pukkala, T., E. Lahde and O. Laiho, 2012. Continuous Cover Forestry in Finland – Recent Research Results. In: . Pukkala and K. von Gadow (eds.), *Continuous Cover Forestry, Managing Forest Ecosystems* 23, DOI 10.1007/978-94-007-2202-6 3
- Prestemon, J.P. and D.N. Wear, 2000. Linking harvest choices to timber supply. *For Sci* 46(3):377–389
- Pretzsch, H. and A. Rais, 2016. Wood quality in complex forest versus even-aged monocultures: review and perspectives. *Wood Sci Technol* (2016) 50, pp. 845-880. (doi:10.1007/s00226-016-0827-z)
- Pretzsch, H. and G. Schütze, 2016. Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands. *Eur J Forest Res* 135, 1–22 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0913-z>
- Row, C., H. F. Kaiser and J. Sessions, 1981. Discount rate for Long-Term Forest investments. *Jou of For*, Vol 79 (6) pp 367-376.
- Raggers, J., 2018. Bosrenterekenen: Hoe zit het ook al weer? *Vakblad Natuur, Bos, Landschap*, december 2018, p 15-17.
- Sauter, P.A. and O. Musshoff, 2018. What is your discount rate? Experimental evidence of foresters' risk and time preferences. *Annals of Forest Science* (2018) 75:10. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0683-5>
- Schelhaas M.J., A.P.P.M. Clerkx, W.P. Daamen, J.F. Oldenburger, G. Velema, P. Schnitger, H. Schoonderwoerd en H. Kramer, 2014. Zesde Nederlandse Bosinventarisatie; Methoden en basisresultaten. *Alterra rapport 2545*, Wageningen.
- Schelhaas M.J., G.M. Hengeveld, N. Heidema, E. Thürig, B. Rohner, G. Vacchiano, J. Vayreda, J. Redmond, J. Socha, J. Fridman, S. Tomter, H. Polley, S. Barreiro and G.J. Nabuurs, 2018a. Species-specific, pan-European diameter increment models based on data of 2.3 million trees. *Forest Ecosystems* 5:21 www.doi.org/10.1186/s40663-018-0133-3
- Schelhaas M.J., J. Fridman, G.M. Hengeveld, H. Henttonen, A. Lehtonen, U. Kies, N. Krajnc, B. Lerink, A. Ní Dhubháin, H. Polley, T.A.M. Pugh, J. Redmond, B. Rohner, C. Temperli, J. Vayreda and G.J. Nabuurs, 2018b. Actual European forest management by region, tree species and owner based on 714,000 re-measured trees in national forest inventories. *PLoS ONE* 13(11): e0207151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207151>
- Schelhaas, M. J., G. Hengeveld, S. Filipek, L. König, B. Lerink, I. Staritsky,... & G.J. Nabuurs, 2022a. EFISCEN-Space 1.0 model documentation and manual.
- Schelhaas, M.J., S. Teeuwen, J. Oldenburger, G. Beerkens, G. Velema, J. Kremers, B. Lerink, M.J. Paulo, H. Schoonderwoerd, W. Daamen, F. Dolstra, M. Lusink, K. van Tongeren, T. Scholten, I. Pruijsten, F. Voncken, A.P.P.M. Clerkx, 2022b. Zevende Nederlandse Bosinventarisatie; Methoden en resultaten. *Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 142*.
- Schutz, J.P. 2002. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. Skript zu Vorlesung Waldbau II und Waldbau IV. ETH Zentrum, Zurich, Schweiz, 132 p.
- Schutz, J.P. and A. Pommerening, 2013. Can douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) sustainably grow in complex forest structures? *Forest Ecology and Management* 303: p. 175-183, DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.015>
- Schutz, P.R. en G. van Tol, 1981. Aanleg en beheer van bos en beplantingen. Wageningen, Pudoc, ISBN 90 220 0752 9.

-
- Silvis, H.J., M.J. Voskuilen en P.J. Woltjer, 2022. Bedrijfsuitkomsten in de Nederlandse particuliere bosbouw over 2020. (Rapport / Wageningen Economic Research; No. 2022-066). Wageningen Economic Research, 48p. <https://doi.org/10.18174/573454>
- Skogsstyrelsen, 2023. <https://www.skogsstyrelsen.se/en/statistics/subject-areas/> (<https://www.skogsstyrelsen.se/en/statistics/subject-areas/>, laatst bezocht 2023-09-05)
- Raffe, J.K. en J.J. de Jong, 2022. Normenboek Natuur, Bos en Landschap 2022. Wageningen, Wageningen Environmental Research, 180 p.
- Raffe, J.K. van, F.T.J. Hoksbergen, A.A.J.M. Leenaars, A.H. Schaafsma en C.M. van Schagen, 1998. Houtoogst bij kleinschalig bosbeheer. Wageningen, IBN-DLO, IBN-rapport 349, 105 p.
- Thomassen, E. en W. Delforferie, 2016. Op weg naar boomgewijs bosbeheer. Vakblad natuur bos landschap, 2016, pp. 48-49.
- USDA Forest Service, 1984 (draft). Economic and social analysis handbook. FSH 1909.17.
- Van Berkel, J. P. Boogaart, C. Driessen, L. Hein, E. Horlings, R. de Jong, L. de Jongh, M. Lof, R. Mosterd and S. Schenau, 2021. Natural capital accounting in the Netherlands. Technical report.
- Vusic, D., Z. Zeljko en Z. Turk, 2012. Productivity of chainsaw felling and processing in selective forest of Croatia. In Proceedings of FORMEC Conference "Forest Engineering – Concern, knowledge and accountability in today's environment". Dubrovnik – Croatia.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3313
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3313
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

