



ALTEERRA
WAGENINGENUR



Bosbeheer en klimaatverandering

Resultaten van de LANDCLIM-simulaties voor Zuidoost-Veluwe

Alterra-rapport 2438
ISSN 1566-7197

A.P.P.M. Clerkx, M. Didion, G.M. Hengeveld en M.J. Schelhaas



ALTEERRA
WAGENINGENUR



Bosbeheer en klimaatverandering

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van EU-FP7 project MOTIVE (KBBE-226544) en het ministerie van EZ,
KB-14-001-039

Bosbeheer en klimaatverandering

Resultaten van de LANDCLIM-simulaties voor Zuidoost-Veluwe

A.P.P.M. Clerkx, M. Didion, G.M. Hengeveld en M.J. Schelhaas

Alterra-rapport 2438

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013



Referaat

A.P.P.M. Clerkx, M. Didion, G.M. Hengeveld en M.J. Schelhaas, 2013. *Bosbeheer en Klimaatverandering. Resultaten van de LANDCLIM-simulaties voor de Zuidoost-Veluwe*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2438. 84 blz.; 17 fig.; 2 tab.; 20 ref.

Binnen het EU-FP7-project MOTIVE is voor Nederland het studiegebied Zuidoost-Veluwe met behulp van het model LANDCLIM de bosontwikkeling gesimuleerd voor een periode van 100 jaar, waarin combinaties van drie beheer- en drie klimaatscenario's zijn doorgerekend. Voor de beheerscenario's is een voortzetting van het huidige beheer afgezet tegen een scenario waarin ingespeeld wordt op een toename van de productie als gevolg van hogere temperaturen en CO₂ in de atmosfeer en een beheer waarbij zoveel mogelijk de verwachte negatieve gevolgen van klimaatverandering (droogte, storm) preventief worden opgevangen. De beheerscenario's zijn ingevuld in samenwerking met de bosbeheerders uit het studiegebied. De klimaatscenario's gaan respectievelijk uit van een milde verandering en een forse klimaatverandering, afgezet tegen de ontwikkelingen bij een gelijkblijvend klimaat. Voor een aantal ecosysteemdiensten die belangrijk zijn voor het studiegebied is bekeken hoe de verwachte bosontwikkeling deze diensten beïnvloeden.

Trefwoorden: Bosbeheer, bosontwikkeling, klimaatverandering, biodiversiteit, successie, habitatrictlijn, recreatie

ISSN 1566-7197

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

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- 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.

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

Alterra-rapport 2438

Wageningen, april 2013

Inhoud

Voorwoord	7
Summary	9
1 Inleiding	13
1.1 Motive	13
1.2 Rapportage	13
2 Methode	15
2.1 Studiegebied Zuidoost-Veluwe	15
2.2 Landclim	16
2.3 Simulaties	17
3 Bosontwikkelingen volgens de simulaties	21
3.1 Ontwikkeling van de bosstructuur en boomsoortensamenstelling	21
3.2 Ontwikkelingen van niet-dominantie boomsoorten	33
4 Ecosysteemdiensten en risico's	35
4.1 Successie	35
4.1.1 Habitattypen in de Zuidoost-Veluwe	35
4.1.2 Transities van habitattypen in simulaties	38
4.2 Biodiversiteit	39
4.2.1 Vegetatie	39
4.2.2 Fauna	40
4.3 Productie biomassa	43
4.4 Recreatie en beleving	44
4.5 Risico's	45
4.5.1 Risico op stormschade	45
4.5.2 Natuurbrandrisico	46
4.5.3 Insecten	49
5 Effecten van klimaat en beheer	51
5.1 Effecten op de verschillende diensten in het gebied	51
5.2 Effecten beheer	52
5.3 Effecten klimaat	54
6 Discussie	57
6.1 Methodiek	57
6.2 Vergelijking met andere studies	58
6.3 Interpretatie	59
6.4 Conclusies	60
6.5 Aanbevelingen	61
6.5.1 Aanbevelingen voor het beheer en beleid	61
6.5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	61

Literatuur	63
Bijlage 1 Beheerscenario's per beheerseenheid	65
Bijlage 2 Beschrijving van de ontwikkelingen per beheerder	69
Bijlage 3 Transitie matrices habitattypen	79

Voorwoord

De auteurs danken de inbreng en betrokkenheid van de verschillende beheerders in het studiegebied de Zuidoost-Veluwe. De simulaties zijn uitgevoerd in samenspraak met de vijf grootste terreinbeherende instanties Natuurmonumenten (Wim Knol en André ten Hoedt), Geldersch landschap (Arjan van Knapen), Staatsbosbeheer (Sander Wijdeven, Willem van Ark en Lourens Jansen), Middachten (Age Fennema en Franz Graf zu Ortenburg), Stichting Twickel (Dhr. Wilke Schoemaker).

De resultaten zijn besproken in een aantal bijeenkomsten met deze eigenaren en enkele andere belanghebbenden, te weten het Bosschap (Evelien Verbij), Silve (Henny Schoonderwoerd) en Brandweer Nederland (Alette Smeenk van Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland en Ester Willemsen, Instituut voor Fysieke Veiligheid).

Summary

The case study area Southeast Veluwe, in the centre of the Netherlands, forms part of Natura 2000-site Veluwe, which is mostly covered by forests and heathlands. In the north and central part of the area the soils are sandy and poor, while the southern edge is somewhat richer and wetter due to more loamy soils. The area has been intensively used for centuries, leading to forest degradation, conversion to heathlands and even driftsands. In the 19th and 20th century the area has been reforested, mostly with Scots pine. There are still a few areas with 200-250 year old broadleaved forest. Main functions of the area nowadays are recreation, nature and landscape protection. Wood production is mostly a secondary goal, but the actual mix of goals depends on the owner. All larger owners in the area have cooperated in study, together they cover 88% of the area.

In addition to the current climate, we selected the two extremes from the range of national climate scenarios that the Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI) has defined. These are the scenarios G (moderate climate change: +2 °C in summer by 2100, +7% summer precipitation) and W+ (more severe climate change: +4 °C by 2100 and -38% of summer precipitation).

We have used three management scenarios. Business as usual (BAU) is a continuation of the current management. Intensified management (IM) anticipates increased productivity of the forest due to climate change by intensifying the management. In IM, in some reserves wood harvest is resumed, while some heathlands are allowed to convert naturally to forest, or are actively planted. Thinnings are aimed at increasing production of remaining trees or to stimulate regeneration of more productive/economically attractive species, sometimes assisted by planting. Precautionary management (PM) aims at decreasing risks associated with climate change. PM is more careful than IM, with more small-scale thinnings and care to maintain tree cover. In PM managers influence tree species composition to decrease vulnerability to drought and storms. Some choose Sweet chestnut (*Castanea sativa*) and Small-leaved lime (*Tilia cordata*), sometimes in combination with oak (*Quercus*), beech (*Fagus sylvatica*) and birch (*Betula*). Other managers stimulate Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). All management scenarios were discussed with the individual managers, and the adaptive scenarios thus differ in implementation and risks/chances that are dealt with.

We thus simulated in total nine scenarios (three climate x three management scenarios). The forest model was initialised with data from 1980. The period 1980-2010 was simulated with management as close as possible to real management, in consultation with stakeholders/owners/managers, and by applying observed weather over this period. All scenarios are simulated for the period 2010-2100.

In general, initial sharp boundaries between stands get more fuzzy, and a more small-scale mixing of conifers and broadleaves becomes visible. In all scenarios, Scots pine remains an important species in large areas, while Douglas fir gains importance. BAU and IM increase the share of broadleaves under current and moderate climate change conditions while PM maintains a more intimate mixture of broadleaves and conifers due to the preference for more drought-resistant species. Reserves with continued non-intervention management remain dominated by Scots pine, while reserves where management is taken up again, Douglas fir gains importance. The more extreme W+-scenario overrules the management effects on tree species and shows a clearly increased dominance of drought-resistant, coniferous species, mostly Scots pine on nutrient-poor soils and Douglas fir on the somewhat richer soils. Broadleaved, drought-sensitive species like oak and beech can only maintain dominance in the southern part of the area with higher soil moisture availability.

Research has shown that different provenances of Douglas fir have different tolerances to drought. It is likely that drought-tolerant provenances have been used in our case study in the past. In the simulations we have assumed that drought-tolerant varieties are used in the future as well.

Forest functions

IM realises a higher wood harvest due to increased wood increment and specific management than the other management scenarios. As a consequence, growing stocks are lowest in this scenario. In contrast, PM has the most careful management strategy, and growing stocks are the highest. Increment and growing stocks are lower in the W+-scenario as a consequence of increased drought, as compared to the current and G climate.

Most of the forest is currently young, with ages below 100 years. The coniferous forest is on average older than the broadleaved forest, due to the planting of Scots pine and the later spontaneous invasion by broadleaves. However, the few old remnants older than 200 years are mostly oak and beech stands. BAU leads to the largest increase in share of older forest, since the other management scenarios stimulate harvest for production (IM) or conversion to less vulnerable species (PM). In addition, the W+-scenario leads to larger mortality in the broadleaved species due to drought and increased competition from Douglas fir. Share of old forest is one indicator of biodiversity, as it is generally linked to cavity-nesting species like woodpeckers.

Dead wood is another important indicator for biodiversity. The quantity of dead wood is rather low in the initial situation and increases in all scenarios, with a peak around 2060-2080. It increases most in the areas that are unmanaged (reserves). IM leads to lower quantities of deadwood than BAU and PM. More extreme climate change leads to lower quantities of dead wood, due to lower growth rates.

Old oak forest (H9190), beech-oak forest with holly (H9120), dry heathlands (H4030) and driftsands (H2330) are important Natura 2000 habitat types in the case study area. Heathlands and drift sands can only be maintained by management activities, regardless the climate. The old oak and beech-oak forest are most prone to changes in dominant species under the more extreme climate scenario due to increased competition from Douglas fir, and under the PM management due to active promotion of drought-tolerant species (Scots pine and Douglas fir). Part of the conservation value of these old forests lies in the presence of herbs that are associated with ancient woodland (*Pteridium aquilinum*, *Maianthemum bifolium*). These species are rather light-demanding. They are unlikely to be maintained if Douglas fir becomes dominant, but are likely to survive if Scots pine gains dominance. In none of the simulated alternatives management is explicitly aimed at maintaining these habitat types. A more targeted management strategy is needed to preserve the conservation of these types by maintaining the current tree species distribution (feasible under current and moderate climate change), prevention of invasion of Douglas fir and promoting larch (*Larix*) and Scots pine in case of more extreme climate change.

Risks

Although forest fires do occur infrequently, they are considered an important risk, as the area is used intensively for recreational purposes and borders several densely populated urban areas. In general the concern with fires is more focussed on safety and economic assets, but there are concerns of potential irreversible damage to highly valued vegetation types. Developments towards more broadleaved tree species as found in current and moderate climate change under BAU and IM are considered helpful to decrease the risk of fire ignition and rapid fire spread. A more extreme climate change would lead to both increased frequency of periods with high-risk weather conditions and a more vulnerable, conifer-dominated vegetation. Maintaining a high share of broadleaves is only feasible in the southern zone of the area, and management should thus focus particularly on avoiding large continuous areas of fire-prone vegetation (compartmentalization) as well as fuel managing fuel accumulation in vegetation.

It is still unclear if storm frequency and intensity will change under changing climate. It is thus mostly changes in the forest structure that will influence future storm risk. The business as usual management shows the largest increase in storm risk due to a relatively low management level, and thus a higher share of tall trees. Insect risk is deemed highest in the W+-climate due to more drought stress on the trees.

In general, both IM and PM have a tendency to negatively influence the forest services (such as production and biodiversity) and natural disturbance risk level, although at different rates under different climate scenarios. Overall, continuing current management seems the best option to maintain the current levels of service provisioning. However, individual owners may decide differently for their own properties, based on different preferences. Still, a continued monitoring of forest development and climate change progression is advisable to be able to adapt management strategies in time.

1 Inleiding

1.1 Motive

Bossen spelen een vitale rol voor water, bodem, biodiversiteit, klimaatregulatie en grondstoffenvoorziening. Klimaatverandering zal een grote invloed hebben op het functioneren van Europese bossen en dus ook op het beheer en gebruik ervan. Stormen, branden en droogteperioden zullen naar verwachting een grotere rol gaan spelen. Het is daarom van groot belang dat natuurbeheerders rekening houden met deze ontwikkelingen. Ook veranderen de wensen vanuit de samenleving voor de functies die het bos zou moeten vervullen. De beslissing van EU-leiders bijvoorbeeld, om het aandeel hernieuwbare energie in 2020 naar 20% te vergroten, zal veel invloed hebben op het beheer van Europese bossen. Deze vergrote vraag naar biomassa kan ook leiden tot concurrentie met de traditionele pulp- en papierindustrie. Deze en ook andere ecosysteemdiensten van het bos zullen ook onderhevig zijn aan veranderingen als gevolg van de klimaatverandering.

MOTIVE (Models for Adaptive Forest Management) is een door de Europese Unie gefinancierd Zevende Kader project (EU-FP7), met als looptijd 2009-2013. Het project is een samenwerking tussen twaalf Europese instituten en universiteiten, waarvan Alterra er één is. Het project heeft als doel strategieën voor het (bos)beheer te ontwikkelen en te evalueren, zodat het bosbeheer zich kan aanpassen aan klimaatverandering en optimaal zijn vele functies kan blijven vervullen.

De evaluatie van het beheer gebeurt met simulatiemodellen en scenario-analyses, toegepast van regionale tot Europese schaal, in samenwerking met een groep geïnteresseerde beheerders en beleidsmakers.

Hiervoor zijn verspreid over Europa tien studiegebieden aangewezen, waaronder de Zuidoost-Veluwe. Informatie over het project en de overige studiegebieden is te vinden op www.motive-project.net.

1.2 Rapportage

Dit rapport beschrijft de resultaten van de simulaties die voor de Zuidoost-Veluwe zijn gemaakt. Hiervoor zijn in overleg met een groep geïnteresseerde beheerders uit het gebied en beleidsmakers scenario's opgesteld waarin voor elke terreineigenaar specifieke keuzes zijn opgenomen.

In hoofdstuk 2 is een beschrijving van het gebied opgenomen, zijn de achtergronden gegeven van het simulatiemodel LANDCLIM (Schumacher et al., 2004; Schumacher en Bugmann, 2006; Schumacher et al., 2006) en worden de gebruikte beheer- en klimaatscenario's omschreven.

Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de simulaties. De ontwikkelingen worden beschreven voor het hele gebied waarbij ingegaan wordt op de boomsoortensamenstelling, bosstructuur, voorraad, groei en oogst, ontwikkelingen in de hoeveelheden dood hout. In dit rapport zijn kaarten opgenomen voor het jaar 2070 en 2110. Tusseliggende jaargangen zijn in te downloaden via de Alterra-website (zie onder).

Voor de vijf grootste terreineigenaren afzonderlijk is in meer detail beschreven hoe de bossen zich volgens de simulaties zullen ontwikkelen. Deze beschrijvingen zijn als bijlage aan dit rapport toegevoegd (bijlage 3). Op de Alterra-website kan per eigenaar een file gedownload worden met daarin deze beschrijving en meer gedetailleerde kaarten en figuren specifiek voor de betreffende beheerder (zie onder).

In hoofdstuk 4 zijn de gesimuleerde ontwikkelingen vertaald naar effecten op de belangrijkste ecosysteemdiensten in het gebied. Dit zijn:

- Successie
- Biodiversiteit
- Productie/oogst
- Recreatie en believing

Daarnaast is gekeken welk effect de gesimuleerde bosontwikkeling heeft op risicofactoren als storm, brand en insecten.

Hoofdstuk 5 geeft een samenvattende beschrijving van de effecten van het gesimuleerde beheer en klimaat.

In hoofdstuk 6 worden methode en resultaten bediscussieerd. De conclusies worden samengevat en aanbevelingen worden gedaan voor het beheer en vervolgonderzoek.

De aanvullende bestanden zijn te vinden op:

Dominante boomsoorten: <http://edepot.wur.nl/255914>

Maximale boomleeftijd: <http://edepot.wur.nl/255909>

Stamtal ontwikkeling = <http://edepot.wur.nl/255918>

Biomassa ontwikkeling = <http://edepot.wur.nl/255917>

Volume ontwikkeling = <http://edepot.wur.nl/255919>

Dood hout voorraad = <http://edepot.wur.nl/255916>

Dood hout ontwikkeling: <http://edepot.wur.nl/255908>

Ontwikkeling afzonderlijke boomsoorten: <http://edepot.wur.nl/255913>

Natuurmonumenten, Veluwezoom: <http://edepot.wur.nl/255905>

Landgoed Middachten: <http://edepot.wur.nl/255903>

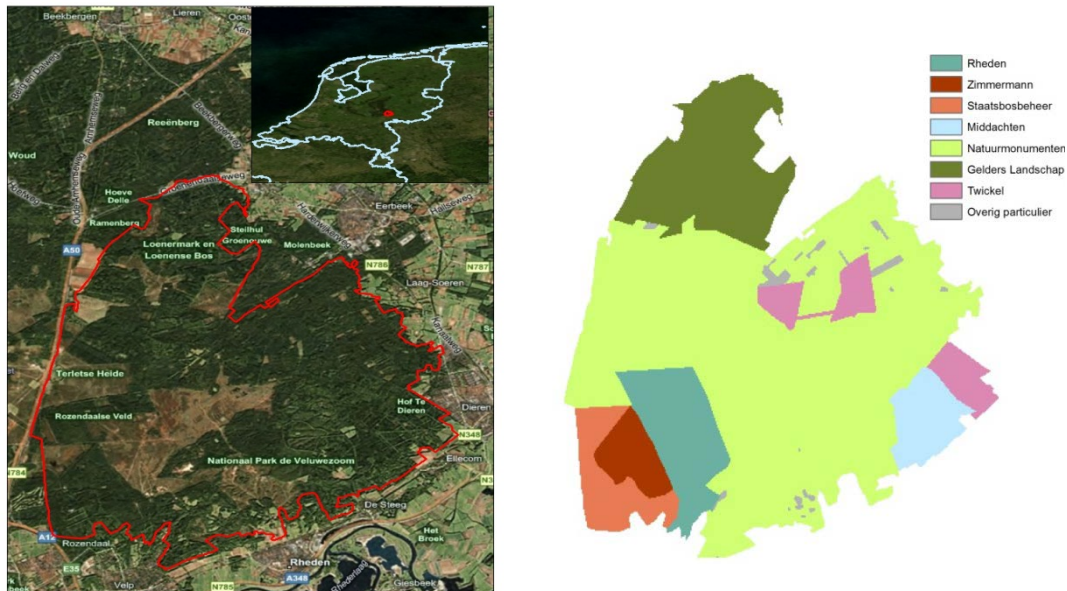
Geldersch Landschap, Loenermark: <http://edepot.wur.nl/255902>

Staatsbosbeheer, Rozendaalse Bos: <http://edepot.wur.nl/255904>

Stichting Twickel, Hof te Dieren en Schaddevelden: <http://edepot.wur.nl/255906>

2 Methode

2.1 Studiegebied Zuidoost-Veluwe



Figuur 1
Omgrenzing van het studiegebied Zuidoost-Veluwe met eigendomssituatie.

De Zuidoost-Veluwe is gekozen als studiegebied omdat het in eerdere studies is gebruikt waardoor veel informatie op het gebied van bodem, beheer en vegetatie al bekend is (Groot Bruinderink et al., 2004). Het gebied (zie Figuur 1) bestaat uit afwisselend gesloten bos en heideterreinen gelegen op een stuwwal in de zuidrand en op dek- en stuifzandgronden meer centraal en in het noorden van het studiegebied. Het gebied wordt gekenmerkt door een eeuwenlang intensief landgebruik waar door overexploitatie de bossen veranderden in heide die door overbeweiding verder degradeerden tot stuifzanden. In de negentiende en twintigste eeuw is het gebied weer herbebost met overwegend grove den. Enkele oude boscomplexen (ouder dan 200-250 jaar) zijn binnen het gebied aanwezig: het Loenense Bos, de Imbos, Hof te Dieren en de Middachter Bossen. Het studiegebied beslaat een oppervlakte van 8248 ha, hiervan is 1778 ha heide of zandverstuiving.

Het gebied bestaat uit enkele grotere en kleinere beheersgebieden (zie Tabel 1). Alle eigenaren binnen het gebied zijn benaderd voor informatie over het gebied en met het verzoek deel te nemen aan stakeholderbijeenkomsten waarin voortgang en resultaten van het onderzoek worden besproken. Vijf grotere eigenaren hebben hieraan gehoor gegeven: Het Geldersch Landschap, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Middachten en Stichting Twickel. Samen beslaan deze eigenaren 88% van het studiegebied. Informatie van de overige eigendommen zijn verkregen uit gegevens van het bureau SILVE.

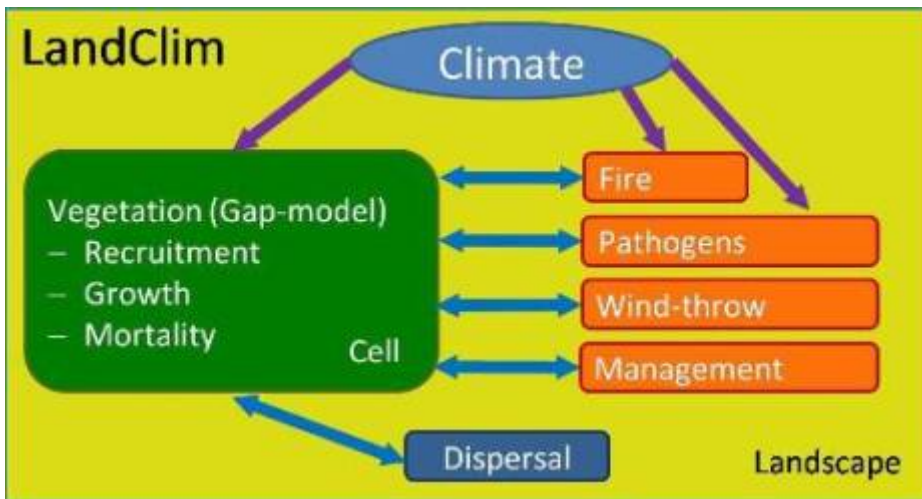
Tabel 1*Oppervlakten per eigendom in Zuidoost-Veluwe*

Eigenaar	Eigendom	Opp. (ha)
Geldersch Landschap	Loenermark en Loenense Bos	1168
Natuurmonumenten	Veluwezoom, bestaande uit oa. Imbos, Posbank, Hagenau, De Essop, Onzaligebossen	5006
Staatsbosbeheer	Rozendaalse Bos	375
Middachten	Middachter Bosschen	333
Twickel	Hof te Dieren, Voorste en Achterste Schaddeveld	397
Overig	o.a. Nieuwe Kamp, Rozendaalse veld, Rhedense Bossen	967
Totale oppervlakte		8246

2.2 Landclim

LandClim

LandClim is een ruimtelijk expliciet boslandschapmodel dat is ontwikkeld om het belang van klimaateffecten, natuurbranden en beheer op historische en toekomstige bosdynamiek te schatten (Schumacher et al., 2004; Schumacher en Bugmann, 2006; Schumacher et al., 2006). Het model bestaat uit een lokaal vegetatiemodel, dat bossuccessie simuleert, en een landschapsmodel dat processen als vuur, wind, plagen, bosbeheer en zaadverspreiding simuleert (Figuur 2). LandClim kan gebruikt worden voor grotere tijdschalen (eeuwen tot millennia) en grotere gebieden (bijvoorbeeld 30 km²) op een relatief kleine resolutie (celgrootte tot 25 x 25 m). Het lokale vegetatie-model is gebaseerd op de groei van de gemiddelde boom in een groep van vergelijkbare bomen op basis van specifieke gevoeligheid voor waterbeschikbaarheid, temperatuur en licht. Deze groei is uitgedrukt in biomassa. Voor de simulaties die hier beschreven zijn is geen gebruik gemaakt van de storm, vuur en plaag modules. Door de lage frequentie van deze verstoringen is het lastig dit goed in het model te brengen. Tegelijk kan zo'n gebeurtenis, als het optreedt, een grote impact hebben op de uitkomsten, waardoor klimaat en beheer effecten minder duidelijk zichtbaar zijn. Om dat effect te ondervangen zijn veel herhalingen van de simulaties nodig. Daarnaast is het onduidelijk hoe klimaatsverandering de frequentie van deze verstoringen zal veranderen. Daarom is er hier voor gekozen de risico's apart te evalueren aan de hand van de simulatieresultaten.



Figuur 2

De werking van LandClim schematisch (http://www.fe.ethz.ch/research/disturbance/landclim/index_EN)

Bos initialisatie

Gebruikte data voor de initialisatie zijn afgeleid van de 4de Bosstatistiek (4de Bosstatistiek; cf. Groot Bruinderink et al., 2004; Kramer et al., 2006) en bestaan uit informatie over het percentage bedekking en de dominante hoogte van verschillende boomsoorten of soortsgroepen; de boomlaag > 8 m en een struiklaag (>1.5 m en <=8 m) (cf. Annex I in Groot Bruinderink et al., 2004). Deze data is aanwezig op een 30 x 30 m grid. Op basis van deze data is een initiële situatie in het bos voor ca. 1981 gemaakt. Waar nodig is gebruik gemaakt van oude kaarten om de verhoudingen tussen soorten binnen een soortsgroep vast te stellen (bijvoorbeeld de verhouding tussen zomereik en wintereik binnen de soortsgroep eik). Om de beschikbare data (bedekking per soort en kroonlaag) om te zetten naar voor Landclim bruikbare initialisatie data (waarin soort, biomassa en leeftijd van individuele bomen is aangegeven) is gebruik gemaakt van de allometrische verbanden beschreven in Kramer et al. (2001).

De periode van 1981 tot 2010 is gesimuleerd op basis van het huidige beheer (BAU, zie volgende paragraaf) met huidig klimaat. De uitkomst van deze simulatie is gevalideerd op basis van gegevens van de eigenaren. Samen met de eigenaren is de overeenkomst tussen model en metingen voldoende bevonden om vertrouwen te hebben in de modeluitkomsten. De situatie in 2010 is gesimuleerd op basis van het bos in de initiële fase en kan daarom afwijken van de werkelijke situatie, bijvoorbeeld in het geval er omvormingen zijn gedaan zoals het verwijderen van douglas om meer natuurlijke boomsoortensamenstelling te verkrijgen. Hoewel er zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van meetgegevens uit de periode 1990-2010 zijn dergelijke beheeringrepen niet altijd goed gedocumenteerd en daarom moeilijk te achterhalen. De veranderingen in beheer en klimaat zoals beschreven in de volgende paragraaf vinden plaats vanaf 2011.

2.3 Simulaties

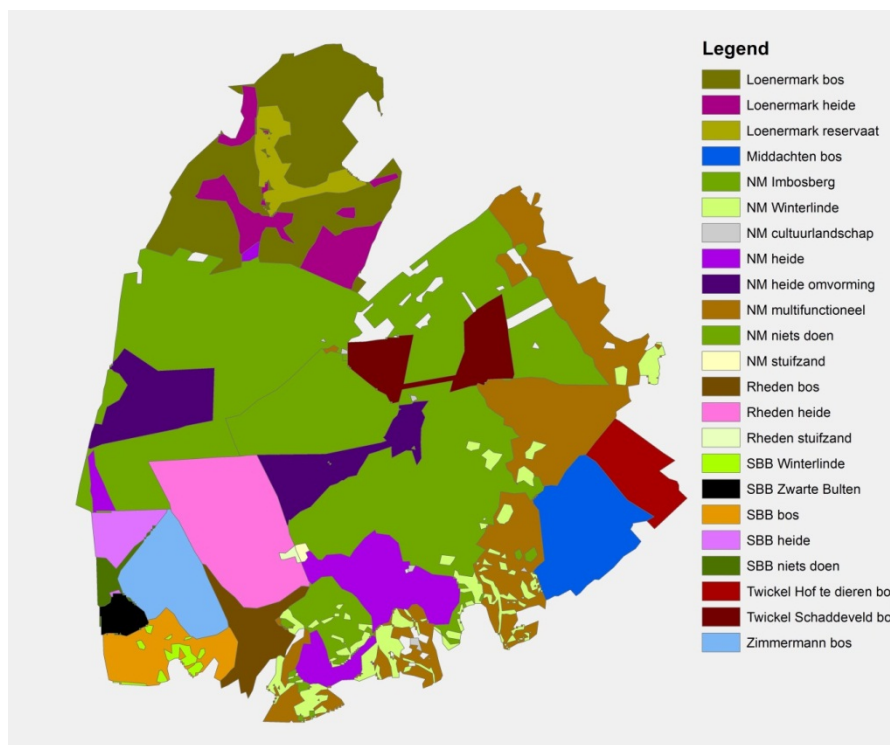
Bij de simulaties met LANDCLIM zijn drie beheerscenario's en drie klimaatscenario's gebruikt. Alle simulaties beginnen met dezelfde gesimuleerde beginsituatie in 2011. Decennium 0 is van 2011 tot 2020. Er is over een periode van 100 jaar gesimuleerd, dus tot D9 (2110). Een aantal processen in het model hebben een kans-component en zorgen er voor dat de uitkomsten van hetzelfde scenario iets anders kunnen zijn. De voornaamste processen waarbij dit optreedt zijn verjonging, wind, vuur en insectenplagen. Omdat natuurlijke

verstoringen niet meegenomen zijn in het model zorgt alleen de verjonging voor variatie in resultaten. In de praktijk is de variatie in model uitkomsten klein en zijn alle combinaties hier slechts één keer doorgerekend.

Beheerscenario's

Het beheer binnen LandClim is vastgelegd op het niveau van de beheerseenheid: een deel van het gebied dat op dezelfde manier en met dezelfde doelstelling beheerd wordt. Per eigenaar kunnen verschillende beheerseenheden voorkomen (figuur 3). De invulling van de drie beheerscenario's voor elke beheerseenheid is gedaan in overleg met de beheerders en details kunnen onderling behoorlijk verschillen. Bijlage 1 geeft een samenvatting van het beheer per scenario per beheerseenheid. Sommige keuzes in de verschillende beheerscenario's kunnen als opmerkelijk worden beschouwd. We willen hier nadrukkelijk vermelden dat deze minder voor de hand liggende keuzes niet zijn gemaakt omdat ze een serieuze optie zouden vormen. Ze zijn vooral bedoeld om inzicht te krijgen in de effecten van die ingrepen. Een voorbeeld hiervan is het laten dichtgroeien van heidevelden of het loslaten van een nietsdoenbeheer. Bij de invulling voor het beheer is ook geen rekening gehouden met de verplichting tot instandhouding van habitattypen die in het gebied voorkomen (zie ook 4.1).

Het eerste beheerscenario gaat uit van voortzetting van het huidige beheer (**BAU=Business as usual**). Aanplant vindt alleen plaats in de beheerseenheden Zimmermann-bos (met productiesoorten douglas, beuk, zomereik en Amerikaanse eik), in Het Rozendaalse Bos (beheerseenheid Staatsbosbeheer winterlinde) en Veluwezoom (beheerseenheid Natuurmonumenten winterlinde) waar kleine eenheden met winterlinde worden aangelegd. Dunningen en oogst vinden plaats in alle beheerde bossen. Hier vindt meestal ook prunusbestrijding plaats, met uitzondering van alle bossen van Natuurmonumenten en Stichting Twickel. In de niet-beheerde bossen en heidevelden van Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en Loenermark mag de natuur haar gang gaan, met uitzondering van het reservaat in de Loenermark: hier wordt opslag van niet-inheemse soorten verwijderd. De overige heidevelden en stuifzandgebieden worden actief in stand gehouden door het verwijderen van alle soorten met een dbh vanaf 7.5 cm.



Figuur 3

Beheerseenheden in het studiegebied. NM=Natuurmonumenten, SBB=Staatsbosbeheer.

De heersende verwachting over de effecten van klimaatverandering is dat de temperatuurstijging en CO₂-uitstoot resulteert in een hogere bijgroei van het bos. Het tweede beheersscenario **IM (=intensified management)** staat voor een intensiever beheer dat gebruik maakt van de positieve effecten van de klimaatverandering door meer hout te oogsten. In het IM-scenario wordt binnen een aantal beheerseenheden in de eerste paar decennia geplant na oogst, hoogdunning wordt hier en daar sneller ingezet en worden er meer stammen geoogst. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de te oogsten biomassa hoger ligt dan in BAU. In enkele eenheden waar in BAU geen beheer wordt gevoerd, wordt in het IM-scenario het nietsdoen-beheer vervangen door multifunctioneel bosbeheer met dunningen en oogst (Natuurmonumenten nietsdoen-beheer, Loenermark-reservaat). Ook worden enkele heideterreinen (Loenermark, Staatsbosbeheer) omgevormd naar productiebos door aanplant van grove den en douglas. In delen van de Natuurmonumenten-heide waar nu de hei nog wordt opgehouden, gebeurt dat in het IM-beheer niet meer (ongeveer 50% van de oppervlakte).

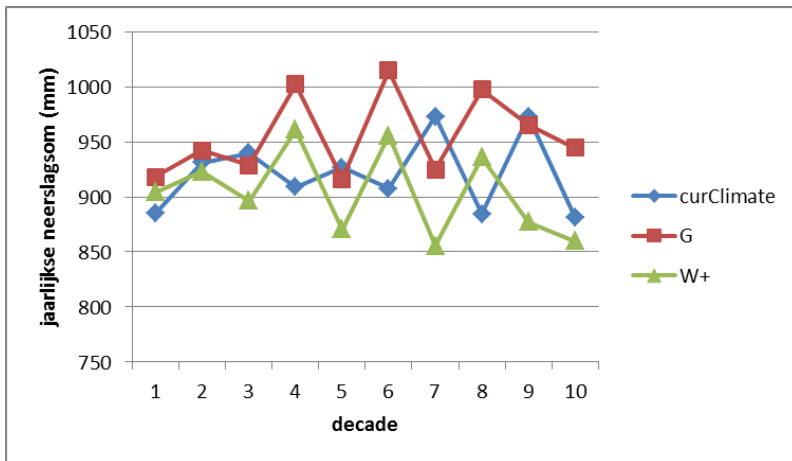
Naast een verhoging van de bijgroei kan klimaatverandering ook leiden tot hogere risico's, zoals een grotere kans op droogte, met als gevolg daarvan een verhoogd natuurbrandrisico of sterfte onder droogtegevoelige boomsoorten en meer en/of zwaardere stormen. Het derde beheersscenario **PM (=precautionary management, risico-anticiperend beheer)** is er vooral op gericht om door tijdige ingrepen negatieve effecten van klimaatverandering op te vangen, vooral schade door droogte of zware stormen. In het PM-scenario zijn de geplande ingrepen voorzichtiger dan in het IM-scenario. Vinden dunningen in IM vlaktegwijs plaats, binnen het PM vinden de ingrepen in cohorten plaats en niet over de hele opstand. Van de voor velling in aanmerking komende bomen, worden er binnen het PM daadwerkelijk minder geveld, om de opstanden meer gesloten te houden. De dunningen worden bij minder grote boomhoogten gestart dan bij BAU of IM het geval is. Bij de dunningen wordt gestuurd op het verkrijgen van stabiele bossen met boomsoorten die meer droogteresistent zijn, zoals grove den en douglas. Ook wordt binnen het PM-scenario geplant met soorten waarvan wordt verwacht dat ze beter bestand zijn tegen droogte. Naast grove den en douglas zijn dit tamme kastanje en winterlinde. Loofboomsoorten als beuk, eik en berk worden dan wel als bijmenging mee geplant.

NB. In alle gevallen van aanplant wordt er in de simulatie uitgegaan van bescherming tegen vraat.

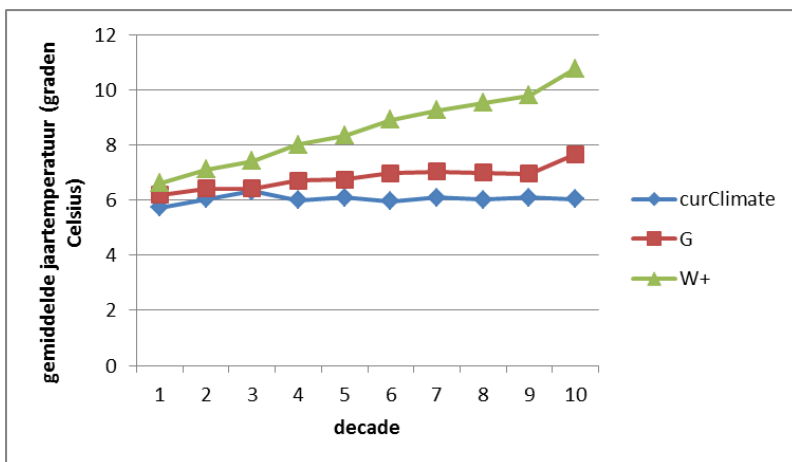
Klimaatscenario's

Om de effecten van klimaatverandering te kunnen illustreren, zijn simulaties gedaan met drie klimaatscenario's. Als referentie wordt in het eerste klimaatscenario uitgegaan van geen klimaatverandering (**CurClimate**). Voor de simulaties is uitgegaan van de gemeten weergegevens in de periode 1970-2000. De temperatuur is afgeleid uit de tijdreeks voor Centraal Nederland (Van der Schrier et al., 2009), en de neerslag is berekend uit het gemiddelde van de KNMI-stations Arnhem, Eerbeek en Deelen.

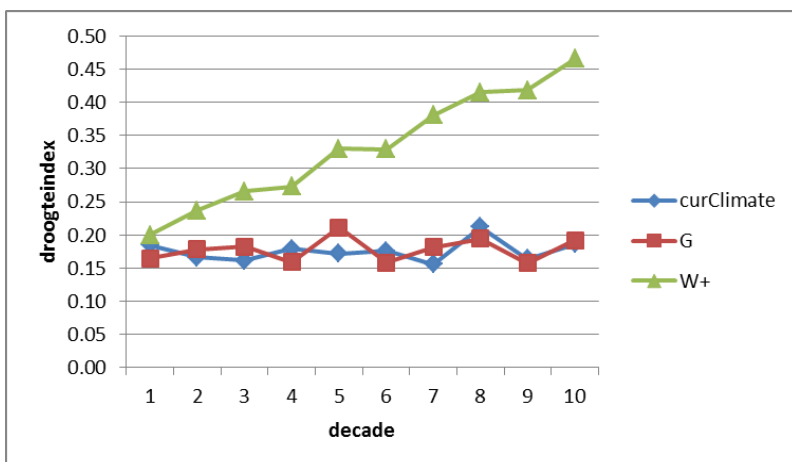
Klimaatverandering is doorgerekend met twee scenario's die door het KNMI voor Nederland zijn opgesteld: **G** als scenario voor een matige klimaatverandering en **W+** als scenario voor een meer extreme klimaatverandering. Het G-scenario gaat uit van een stijging van de temperatuur in Nederland van twee graden in 2100, en een lichte stijging van de neerslag (+6% in de zomer en +7% in de winter). Het W+-scenario kent een verandering in de luchtstromen boven Nederland, waardoor de wind vaker uit oostelijke richting zal waaien. De temperatuurstijging is daarbij +4 graden in 2100, terwijl de neerslag in de zomer afneemt (-38%) en in de winter toeneemt (+28%) (www.knmi.nl). Als gevolg hiervan neemt de droogte in de zomer flink toe in het W+-scenario (zie de droogte-index in Figuur 6. In onderstaande figuren zijn de verschillen tussen de drie klimaatscenario's weergegeven.



Figuur 4
Gemiddelde jaarlijkse neerslag voor de drie klimaatscenario's.



Figuur 5
Gemiddelde jaartemperatuur per decade.



Figuur 6
Gemiddelde droogte-index in het groeiseizoen per decade, zoals berekend door LandClim

3 Bosontwikkelingen volgens de simulaties

3.1 Ontwikkeling van de bosstructuur en boomsoortensamenstelling

Soortensamenstelling

De resultaten van de simulaties zijn vertaald naar verschillende kaarten die de veranderingen in het gebied weergeven vanaf 2011 tot 2110. De figuren zijn zo gemaakt dat in een matrix van 3 bij 3 kaarten alle negen combinaties van beheer- (verticaal) en klimaatscenario's (horizontaal) op een bepaald tijdstip worden weergegeven. De ontwikkeling is afgezet tegen de situatie in 2011 die standaard links in de figuren is weergegeven. Figuur 7 geeft het bedekkingstype (Cover type) weer op twee tijdstippen: D5 (decade 5 = 2070) en D9 (decade 9 = 2110). Voor de bepaling van het bedekkingstype is het totale aandeel van alle loofbomen in het totale grondvlak per 30*30m cel berekend. Bij een aandeel van meer dan 60% is er sprake van dominantie door loofbomen, tussen 40% en 60% is er sprake van menging en bij minder dan 40% is er sprake van dominantie door naaldbomen.

Figuur 8 geeft de dominantie van de belangrijkste soorten op dezelfde tijdstippen weer. De dominantie is hierbij gebaseerd op de soort met het hoogste grondvlak binnen een pixel.

Leeftijd

In Figuur 9 en Figuur 10 zijn de maximale leeftijden van de heersende bosopstanden gegeven voor de tijdstippen 2070 (D5) en 2110 (D9). Per simulatiestap is de maximale leeftijd bepaald door in elke pixel van 30*30 de oudste loofboom en de oudste naaldboom te bepalen.

Dood hout

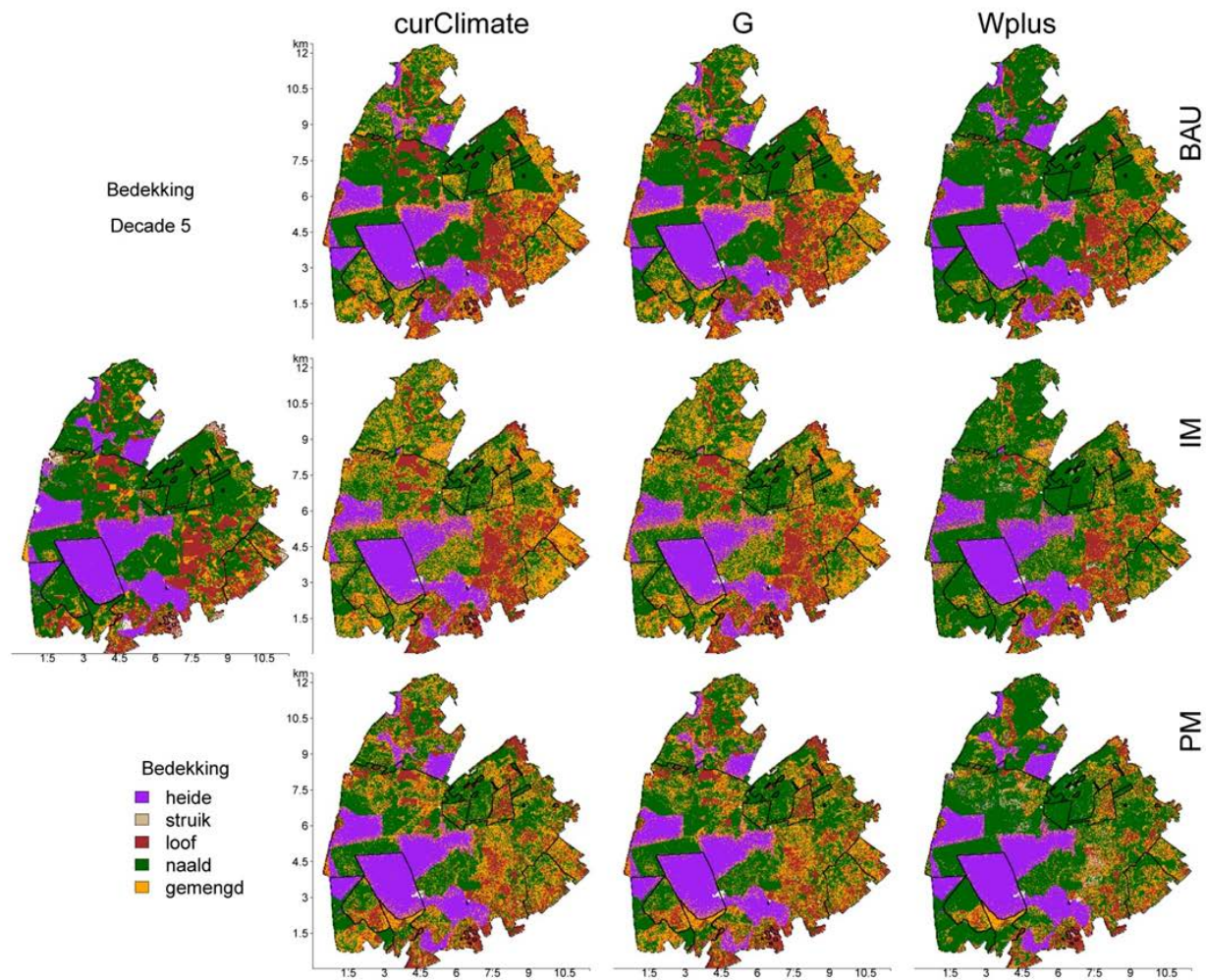
Voor elk scenario is berekend hoeveel dood hout in tonnen/ha per decennium in het bos aanwezig is (Figuur 11). Er is veel sterfte in de eikenbossen van Natuurmonumenten en de Loenermark tussen 2050 en 2070. In de grove dennenbossen van Natuurmonumenten neemt de sterfte toe vanaf 2070. Het optimum in hoeveelheden dood hout in het gebied ligt rond 2090, daarna neemt het weer iets af (zie gebiedskaartjes achtergronddocument).

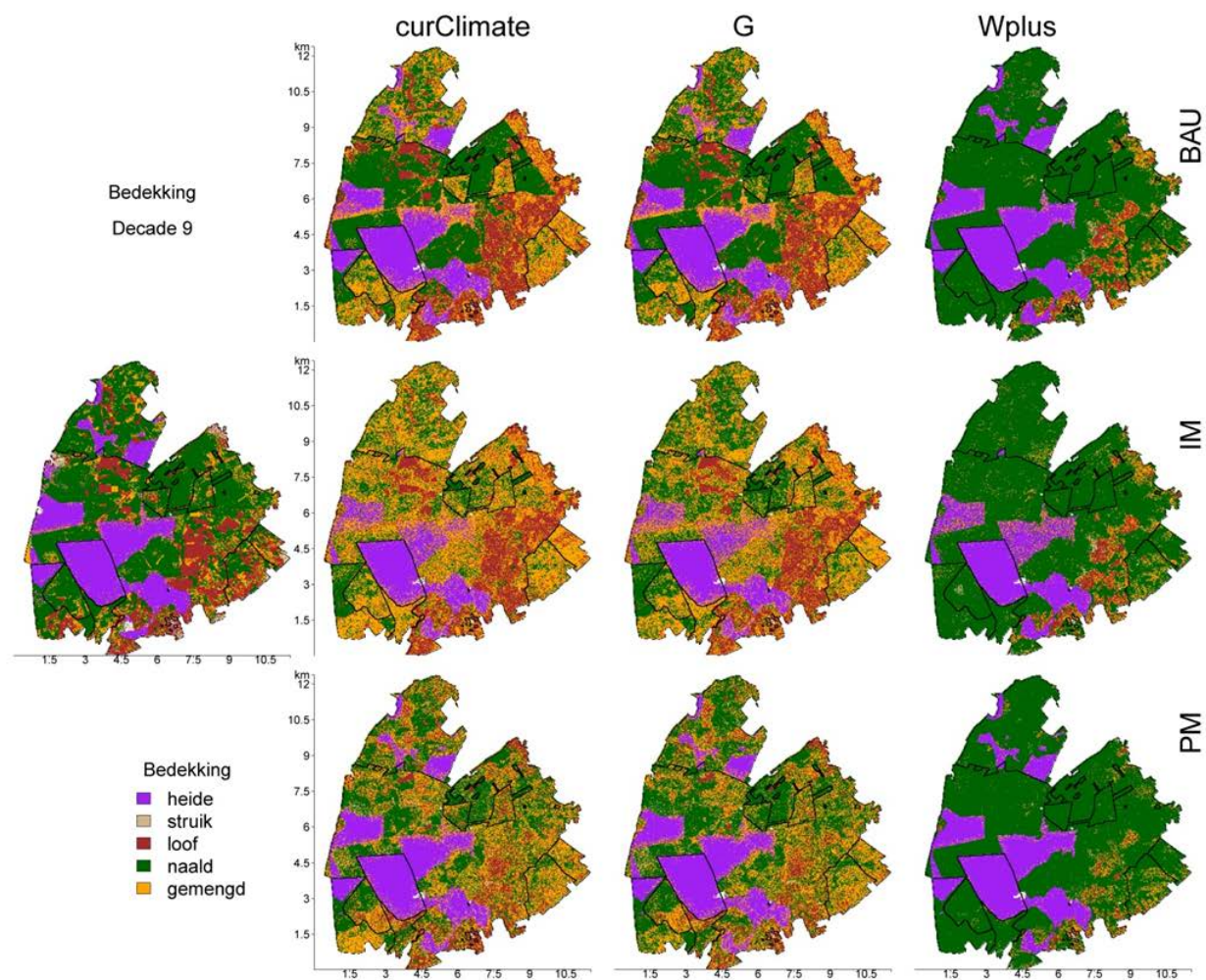
De hoeveelheid dood hout kan oplopen tot boven de 25 ton/ha. Dit is ongeveer 60 m³/ha afhankelijk van soort en verteringsstadium, wat neerkomt op 15-30 bomen van 40 cm dik. De mortaliteit (Figuur 12) is in het PM scenario het hoogst, in het IM het laagst. Tussen CurClim en G zit geen verschil; de accumulatie van dood hout binnen W+ begint vanaf 2070 af te wijken van beide andere klimaatscenario's.

Voorraad, bijgroei en oogst

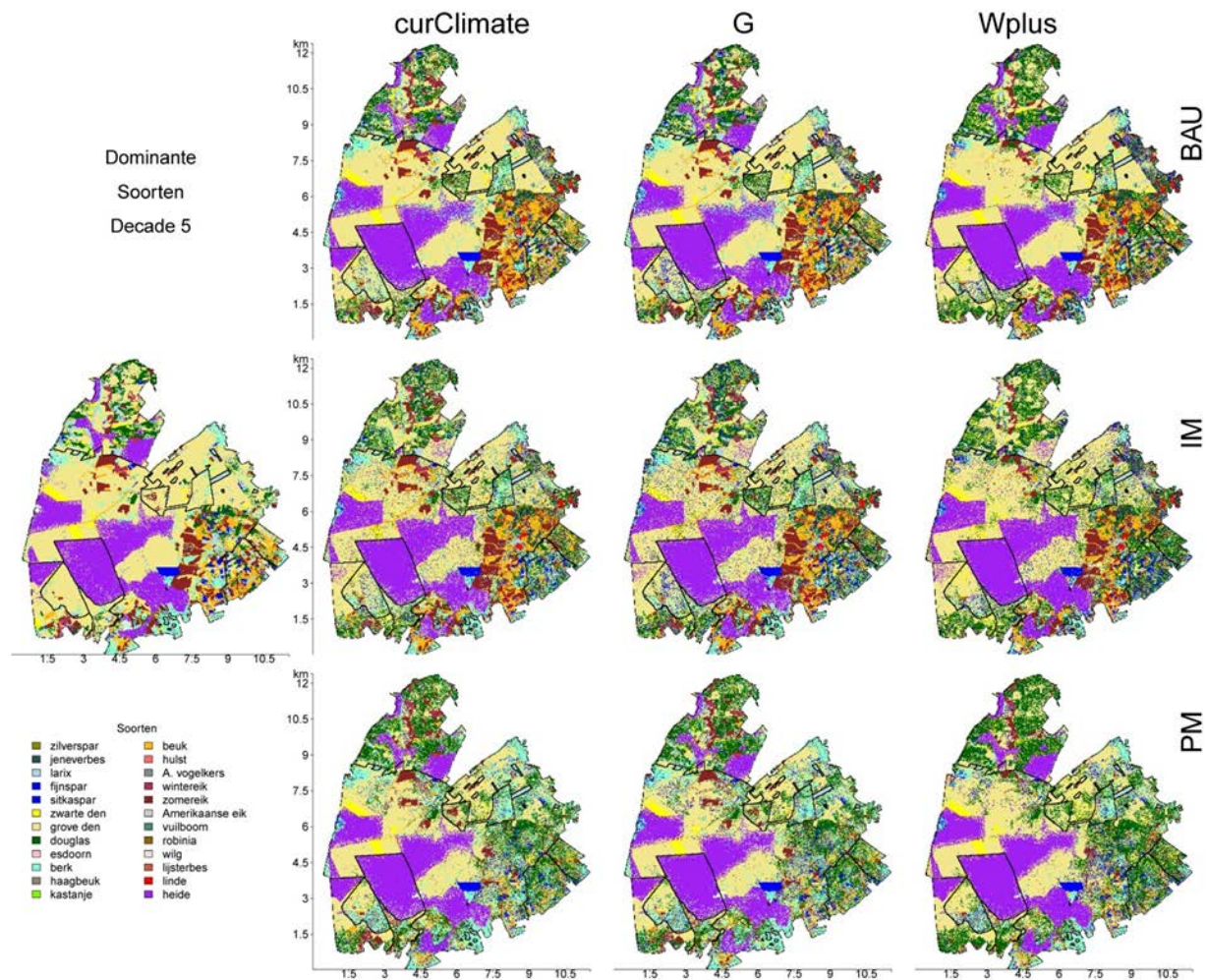
Figuur 12 geeft de totale staande voorraad hout, bijgroei, oogst en mortaliteit gemiddeld voor het hele gebied per scenario. Als gevolg van ingrepen direct in het begin van de gesimuleerde periode, is in 2011-2020 de voorraad en mortaliteit van de IM-scenario's lager en de oogst hoger. De voorraad blijft gedurende de hele periode achter door de intensieve dunningen in het IM. In het PM daarentegen is de staande voorraad in het begin ook laag, maar door de lagere dunningsintensiteit is de bijgroei veel hoger dan in andere scenario's en groeit de staande voorraad tot boven de voorraad binnen de BAU scenario's. De oogst in PM vertoont een flinke piek in 2060 (bij een CurClim of G-scenario). Binnen het W+-scenario valt deze piek in 2070. Voorraad en bijgroei zijn voor de W+-scenario's lager.

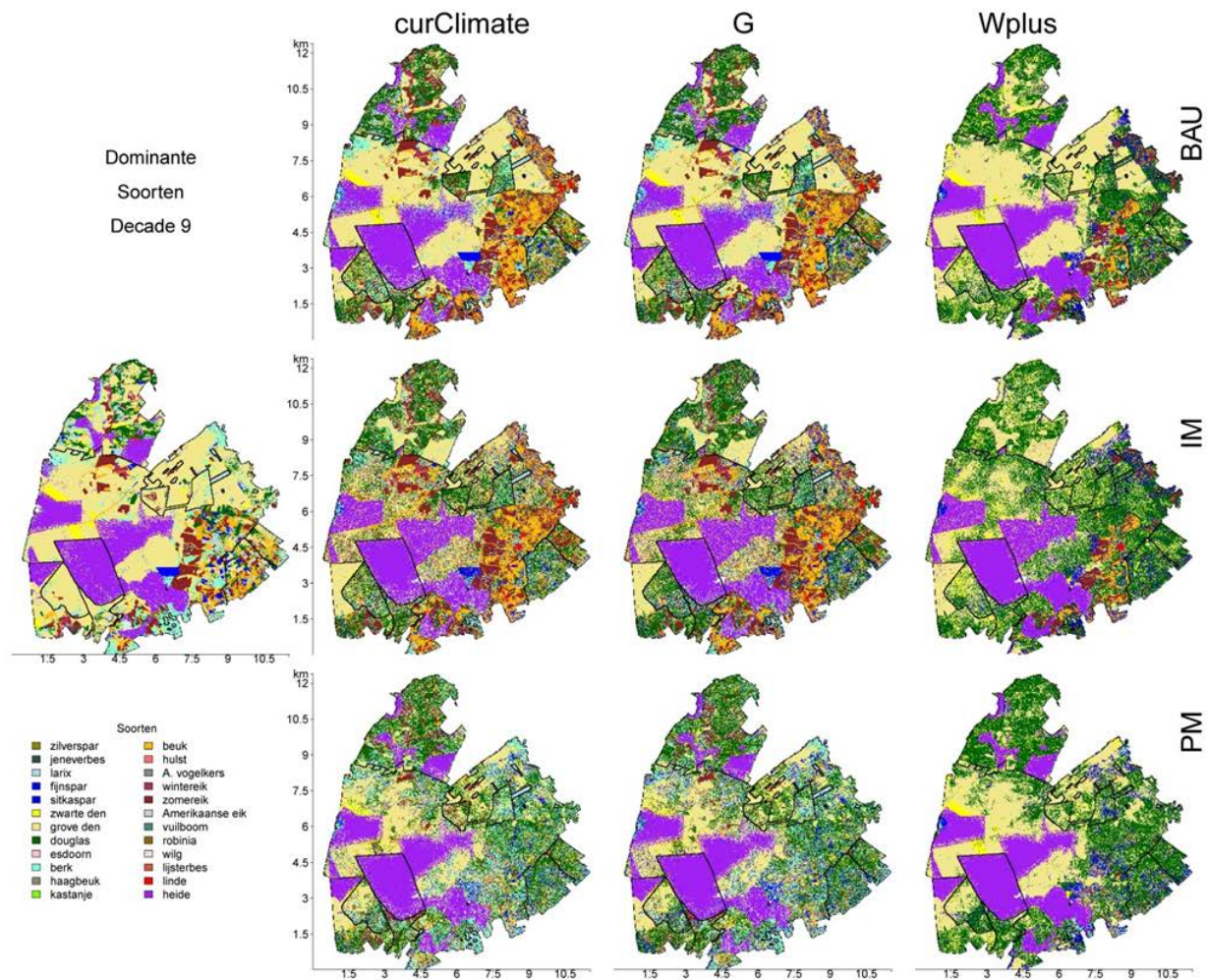
De waarden in de grafieken zijn gemiddelden over het gehele gebied, dus inclusief de heidevelden en liggen daarom wat lager dan voor bosgebieden gebruikelijk is.



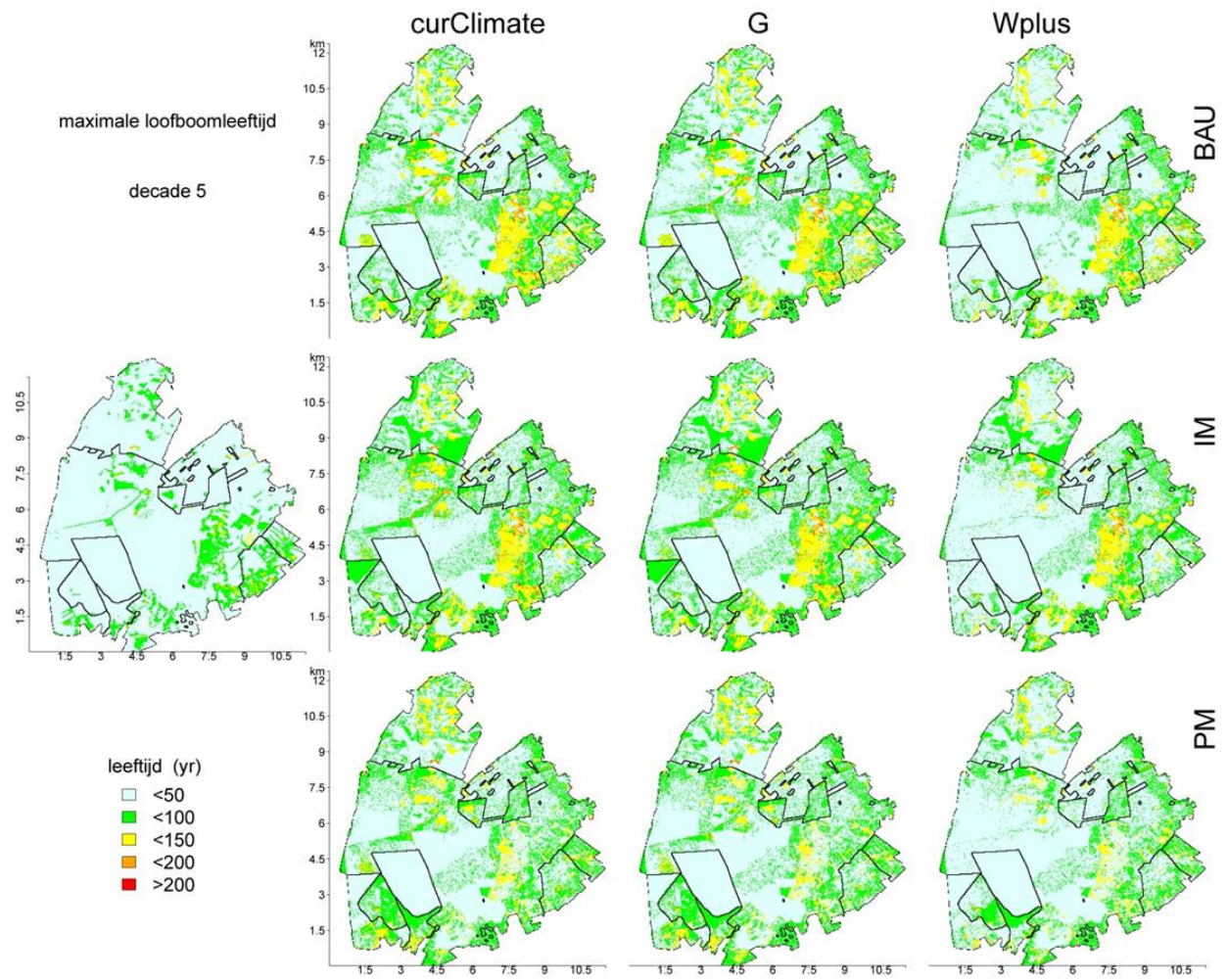


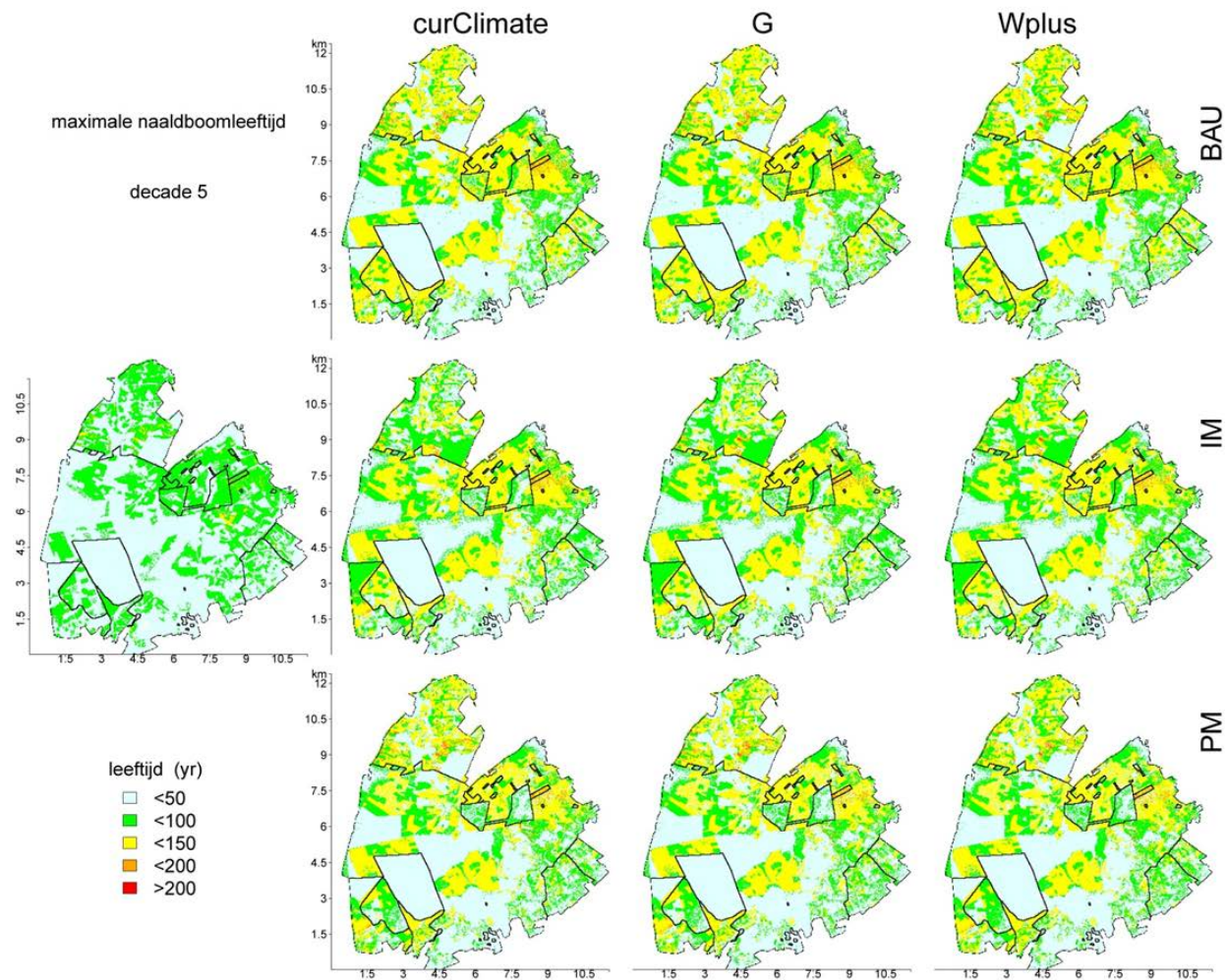
Figuur 7
Bedekkingstype voor de verschillende scenario's op tijdstip D5 (2070, boven) en D9 (2110, onder)





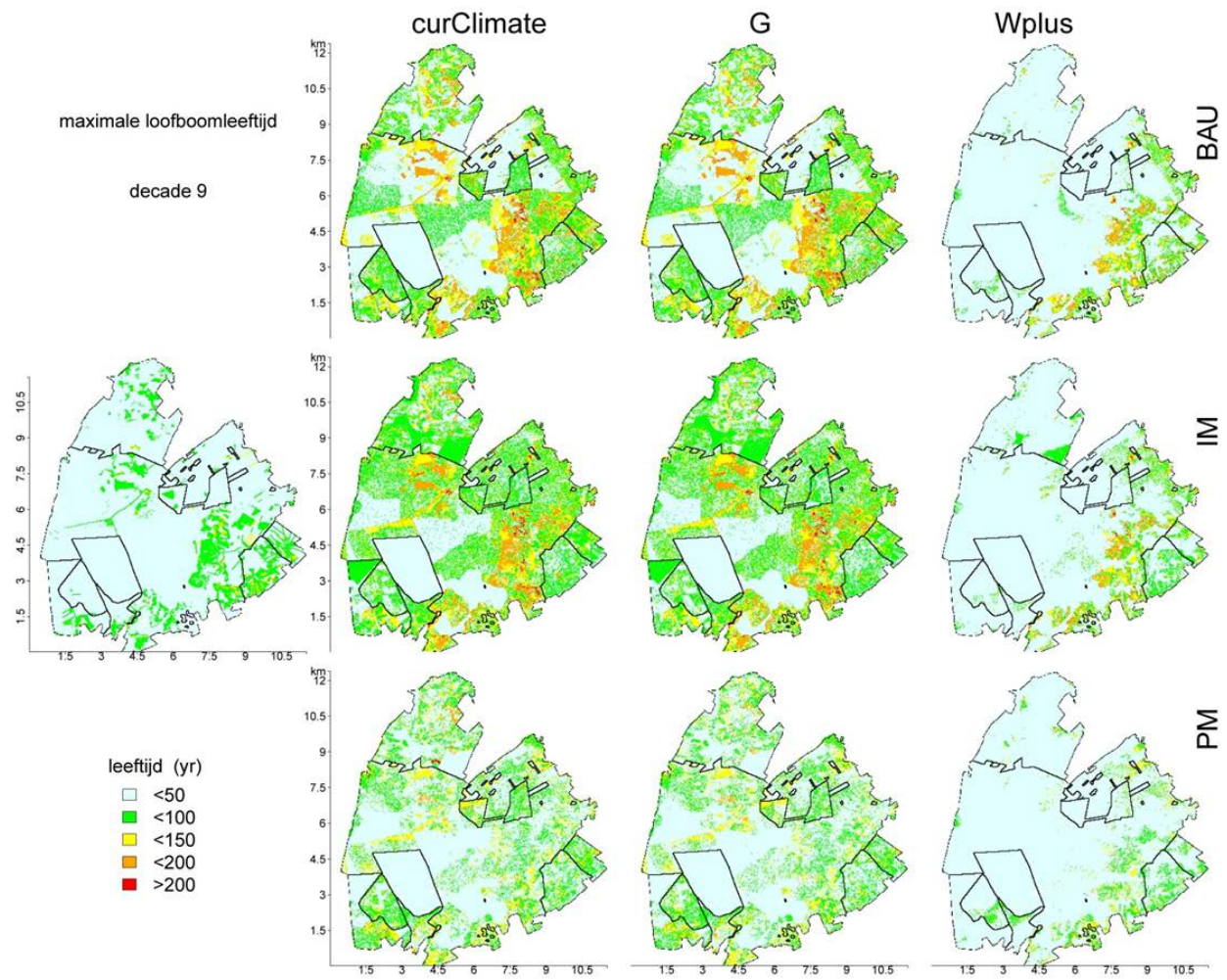
Figuur 8
 Dominante boomsoorten op tijdstip D5 (2070, boven) en D9 (2110, onder)

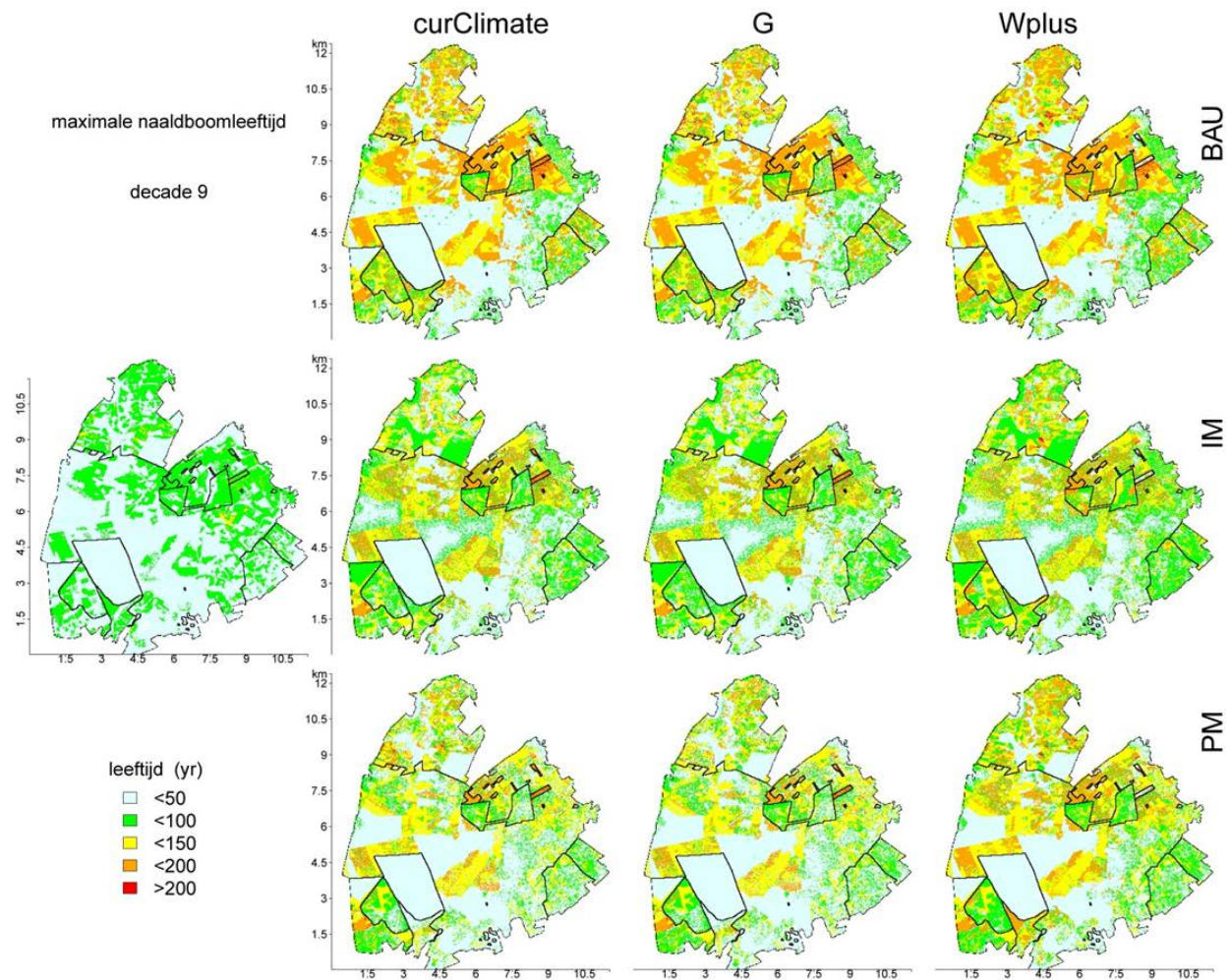




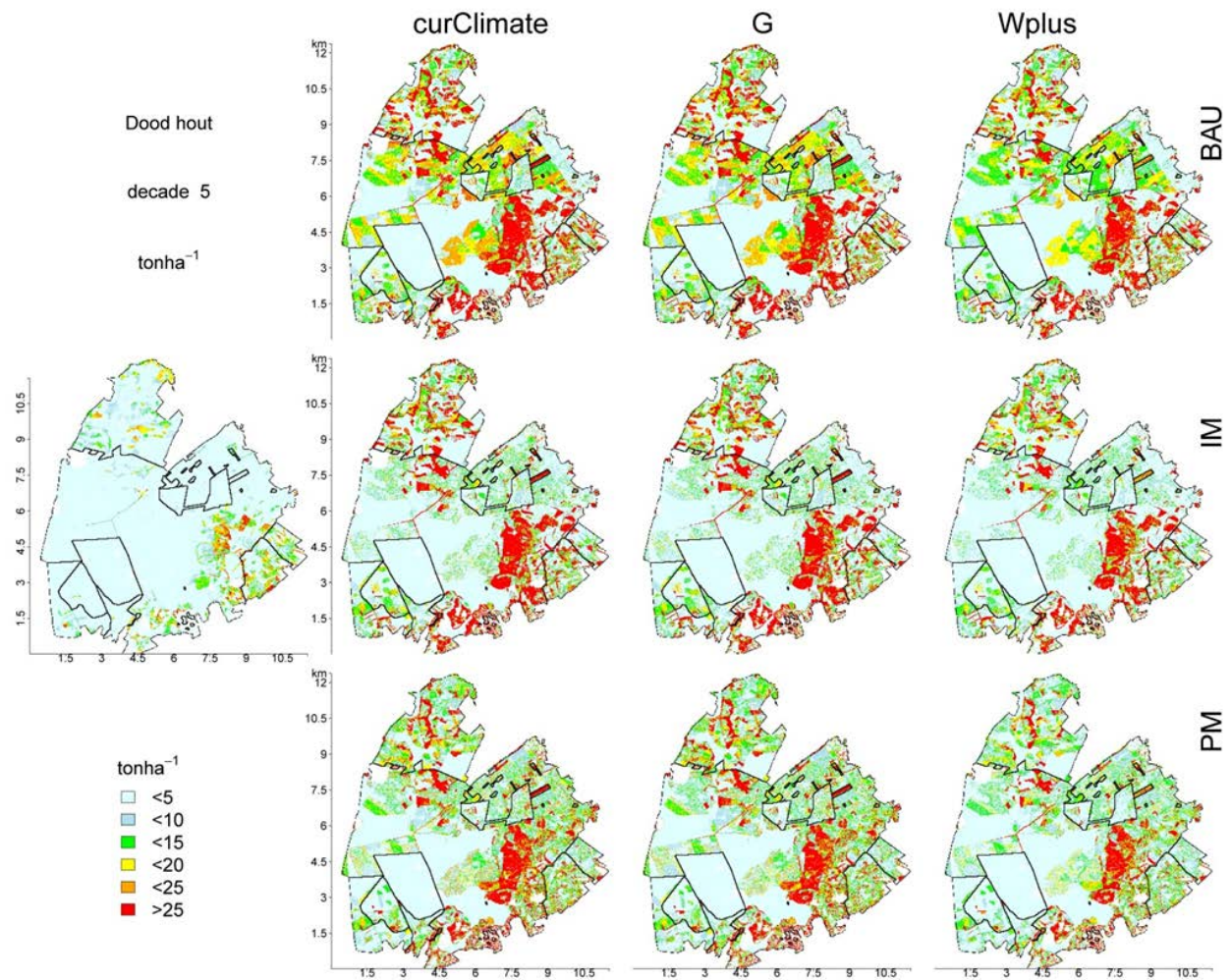
Figuur 9

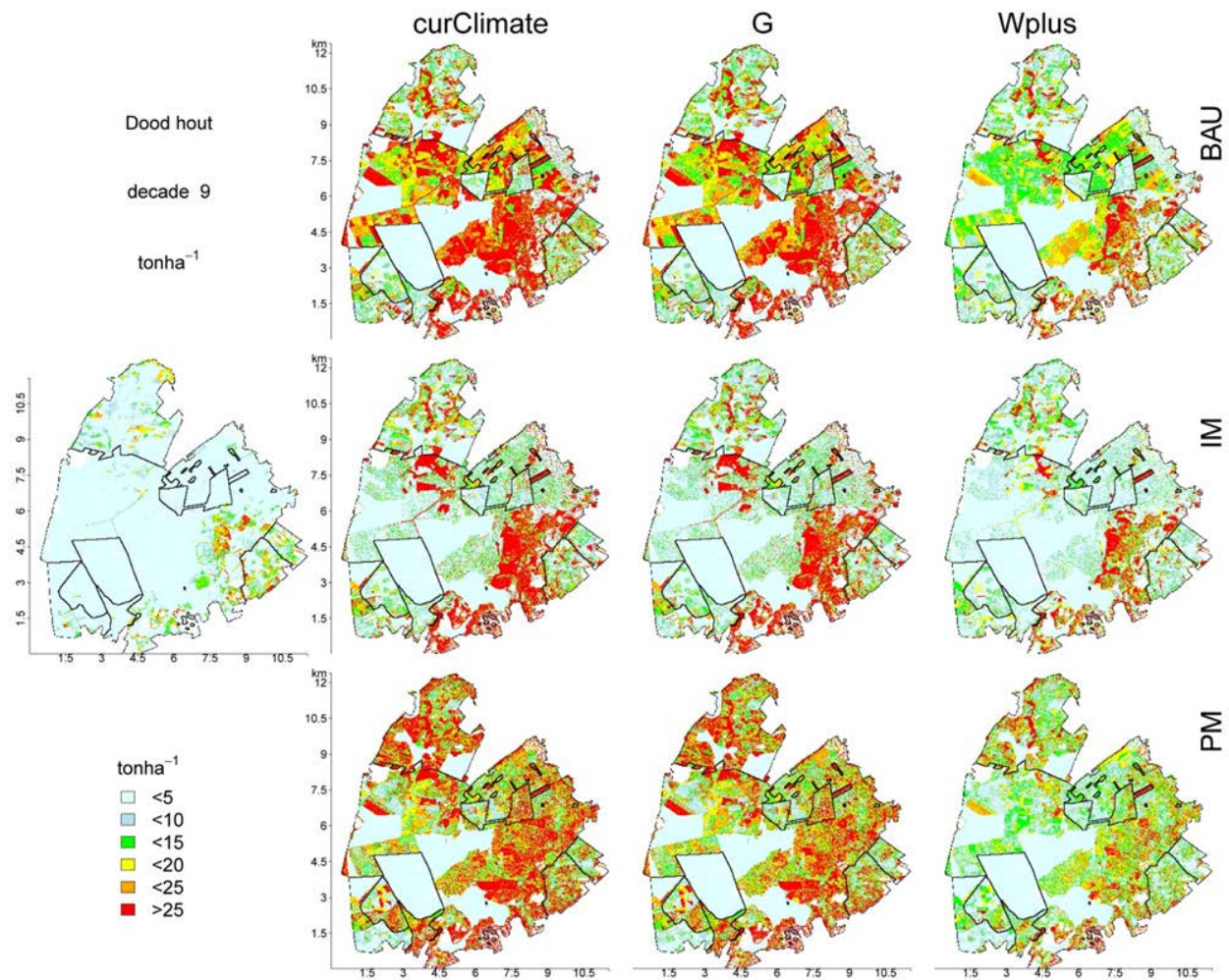
Maximale boomleeftijd op tijdstip 2070, voor loofbomen (boven) en naaldbomen (onder)



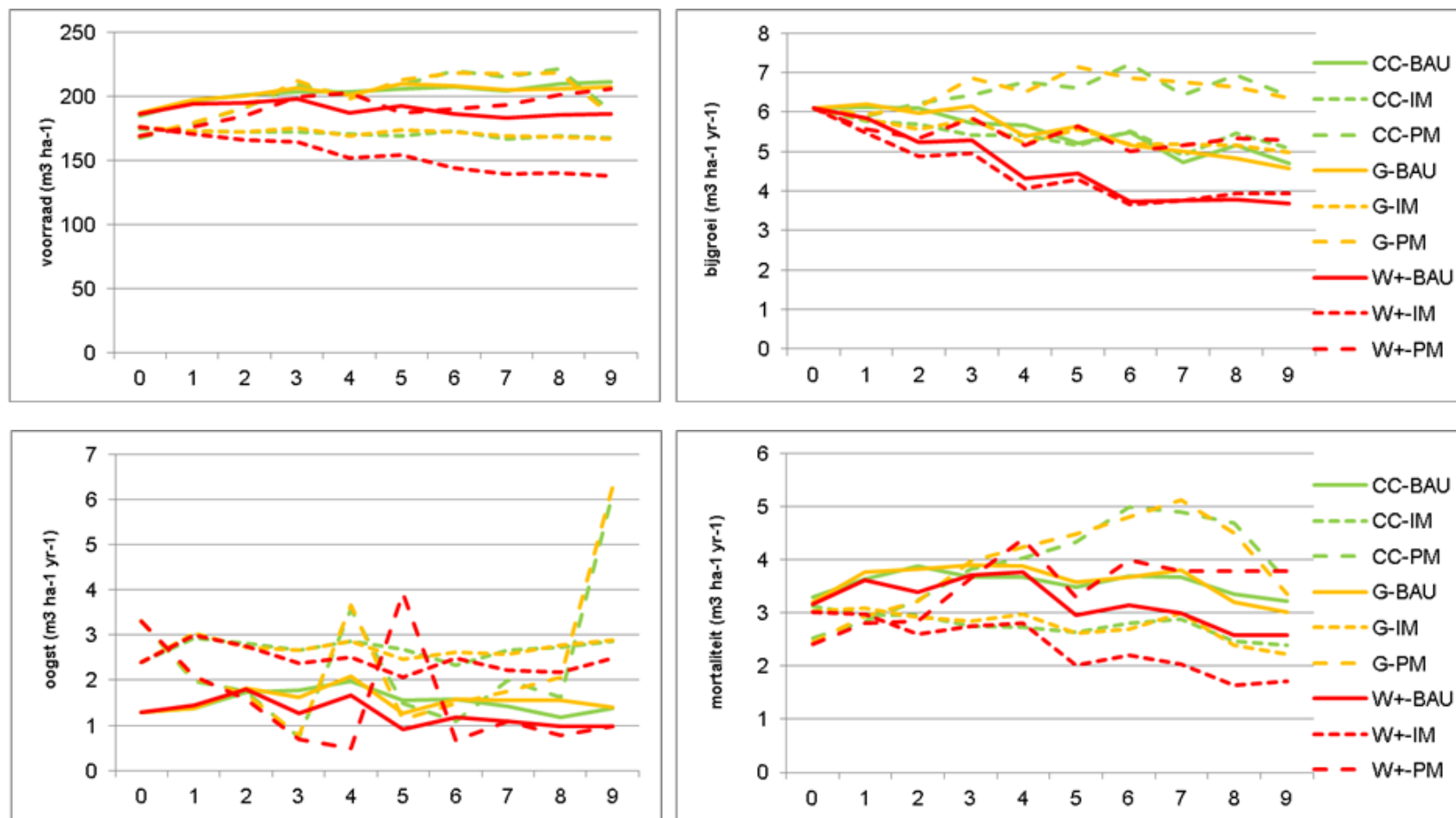


Figuur 10
 Maximale boomleeftijd op tijdstip 2110, voor loofbomen (boven) en naaldbomen (onder)





Figuur 11
 Voorraden dood hout op tijdstip 2070 (boven) en 2110 (onder)



Figuur 12

Voorraad in m^3/ha gemiddeld per decade (linksboven), bijgroei (rechtsboven), oogst (linksonder) en mortaliteit (rechtsonder) in $m^3/ha/jr.$ gemiddeld per decade

3.2 Ontwikkelingen van niet-dominantie boomsoorten

Ruwe berk

In de uitgangssituatie heeft berk een redelijk brede verspreiding in het studiegebied (zie achtergronddocument ZO-Veluwe case Gebiedskaarten). Alleen onder beuk en in de heidevelden komt berk niet voor. Bij gelijkblijvend beheer (BAU) neemt berk iets af in verspreiding en grondvlak, alleen in de Loenermark en de Nieuwe Kamp komt berk meer voor. Daarnaast is berk sterk uitgebreid in enkele grotere heidevelden.

In het W+-scenario heeft de berk het moeilijk. In 2070 is de soort al minder verspreid ten opzichte van CurClimate en G, in 2110 is de verspreiding en grondvlak nog sterker afgenomen. Berk doet het binnen alle klimaatscenario's het best in PM. Waar de soort in W+ bijna in het gehele studiegebied verdwijnt, blijft berk in PM nog in redelijke hoeveelheden aanwezig op de rijkste groeiplaatsen van de Veluwezoom en Middachten. Ook in het Voorste Schaddeveld blijft berk lang aanwezig en is zelfs in W+ op 2070 behoorlijk dominant. Van deze dominantie is in 2110 niets meer over. Dat berk als redelijk droogteresistente soort het ook binnen W+ snel aflegt, wordt verklaard door de relatief geringe leeftijd waarop berk afsterft. Daarnaast is het lichtklimaat in een overwegend door douglas gedomineerd bos erg ongunstig.

In Loenermark en Zimmermann handhaaft berk zich langer. Hier wordt multifunctioneel bosbeheer met productie bedreven als BAU en intensievere dunning om groei te bevorderen van productiesoorten grove den, douglas en eik. Dit beheer wordt ook binnen andere eenheden toegepast, waar berk het ook relatief goed blijft doen: Middachten, de Schaddevelen en Hof te Dieren. De toegenomen activiteiten in het bos houden voldoende licht in het bos waar berk positief op reageert.

Winterlinde

Aanplant van winterlinde is onderdeel van het beheer in enkele bosgebieden. Binnen BAU en IM vindt aanplant plaats in het multifunctioneel beheerde bos van de Veluwezoom en de Loenermark en in speciale eenheden gedomineerd door linde in het Rozendaalse Bos (alleen in BAU) en de Veluwezoom. Voor het Staatsbosbeheer is aanplant in kleinere aantallen opgenomen in IM terwijl als onderdeel van het PM-scenario linde wordt aangeplant in de Loenermark, Middachten, Hof te Dieren, Rhedense Bos en het zuidelijke deel van het Zimmermann bos (bijlage 1). In deze bossen is op 2070 linde redelijk verspreid, maar het grondvlakaandeel blijft kleiner dan 10m²/ha. In 2110 is de verspreiding afgenomen. De afname is voor alle gebieden het grootst in het W+-scenario (zie achtergronddocument ZO-Veluwe case Gebiedskaarten.7z).

In de zuidkant van Natuurmonumenten zijn binnen BAU en IM de eenheden met homogene aanplant van linde wat groter van omvang. Loofbomen binnen deze eenheden worden bij dunningen gespaard. Deze plekken blijven over de gesimuleerde periode lang bestaan. Tegen 2110 begint de dominantie van linde binnen deze eenheden af te nemen. In PM-scenario voor deze locaties vindt geen aanplant met linde plaats.

In het W+-scenario van BAU en IM is de afname groter dan in de andere klimaatscenario's. De oppervlakte waarop linde in 2110 voorkomt is wel uitgebreid, maar afgezien van enkele eenheden binnen Natuurmonumenten waar linde in grote aantallen is aangeplant, komt linde nergens tot een substantieel grondvlakaandeel of zelfs dominantie. Vraat kan hierin geen rol spelen omdat in het model aanplant van linde wordt beschermd. Spontane verjonging heeft echter geen kans op te groeien.

Tamme kastanje

Tamme kastanje is gezien het huidige voorkomen in de Zuidoost-Veluwe een ondergeschikte boomsoort. Het aanplanten van deze soort wordt genoemd als onderdeel van het risicomijdende PM-scenario. Hierbij spelen de verdraagzaamheid van hogere temperatuur en schaduwtolerantie een rol. Omdat onder BAU en IM geen specifieke maatregelen ten gunste van tamme kastanje zijn opgenomen, is de uitbreiding die kastanje in BAU en IM doormaakt een natuurlijke. Het IM biedt net iets meer gunstige omstandigheden voor de vestiging van de tamme kastanje dan BAU. De verspreiding op 2070 en 2110 is iets homogener. Concentraties van tamme kastanjes komen alleen voor in PM, waar kastanje in verschillende bosgebieden aangeplant is (zie bijlage 1). In 2070 heeft de verspreiding van tamme kastanje een optimum bereikt, maar is in 2110 weer sterk afgenomen en is misschien zelfs nog wat geringer in voorkomen dan in het IM-scenario. Verspreiding vindt in geen van de

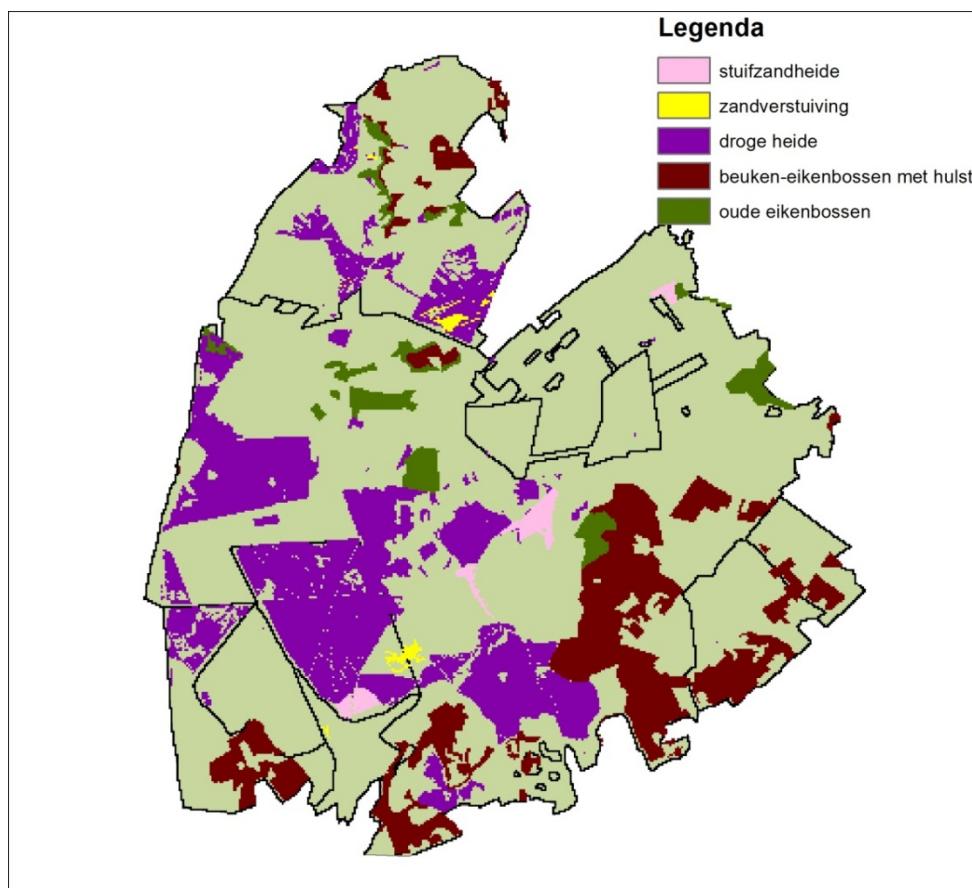
beheerscenario's plaats omdat van alle soorten in het model het dispersievermogen van tamme kastanje het geringst is. Tussen de klimaatscenario's bestaan op 2070 nog weinig verschillen per beheer. Daarna treden er wel veranderingen op. Op 2110 is binnen het W+-scenario een sterke afname in verspreiding te zien. Deze afname geldt voor alle beheerscenario's. Dat tamme kastanje in W+ weer snel verdwijnt, is het gevolg van zijn geringe dispersievermogen in vergelijking met een sterk uitbreidende douglas.

4 Ecosysteemdiensten en risico's

4.1 Successie

4.1.1 Habitattypen in de Zuidoost-Veluwe

In het kader van Natura 2000 heeft Nederland een instandhoudingsplicht voor een aantal habitattypen. Voor de Veluwe zijn enkele typen van belang zoals Oude eikenbossen, Beuken-eikenbossen met hulst (kortweg: Beuken-eikenbossen), Droge heiden en Zandverstuivingen. In Figuur 13 is weergegeven waar deze habitattypen in de Zuidoost-Veluwe voorkomen. In verband met de instandhoudingsplicht is het interessant te zien hoe deze gebieden zich ontwikkelen bij de verschillende scenario's.



Figuur 13
Verspreiding van Natura 2000-habitattypen in Zuidoost-Veluwe.

Beuken-eikenbossen met hulst

Bossen van het type Beuken-eikenbossen zijn eiken- of beukenbossen op oude bosgroeiplaatsen (van voor 1850) op de wat rijkere (lemige) bodems zoals in stuwwalmateriaal (moderpodzolgronden). Deze bossen herbergen een relatief groot aantal soorten die op een oude bosgroeiplaats (> 200 jaar) wijzen, zoals adelaarsvaren, dalkruid, grote muur, witte klaverzuring en ruige veldbies. Ook het voorkomen van wintereik is veelal een indicatie voor een oude bosgroeiplaats. Bossen die tot het Beuken-eikenbossen-type worden gerekend, bestonden aan het begin van de twintigste eeuw vaak uit eikenhakhoutbossen. Deze zijn te vinden op relatief basenrijke groeiplaatsen waar ook genoemde oud-bossoorten voorkomen. Dit in tegenstelling tot de bossen van het Oude eikenbossen type, die voorkomen op leemarme bodems (veelal dek- en stuifzand en leemarm stuwwalmateriaal), die vaak in de nabijheid van heiden of stuifzanden en een armere vegetatie vertonen (zie verder) (Bijlsma et al., 2008). Binnen het studiegebied beslaat dit habitatype 846 ha.

Binnen het studiegebied liggen enkele oude boscomplexen. Deze zijn op de Topografische en Militaire kaart van 1850 als bos ingetekend. De hele zuidrand van de Veluwezoom is dan bebost, maar de historie is veel ouder. Grote delen van de zuidelijke Veluwezoom zijn als Beuken-eikenbossen aangemerkt. Dit komt overeen met de oud-boscomplexen de Asselt, de Onzalige bossen en Essop binnen Natuurmonumenten, het Middachter Bos en de Hof te Dieren.

Verder naar het noorden liggen nog enkele bossen met dit habitatype binnen de oud-boscomplexen van de Imbos (Kouwerik) van Natuurmonumenten, en het Loenense Bos, voormalig malebos in de Loenermark.

Afgezien van enkele oude beukenbossen, is de beuk zich pas in de loop van de twintigste eeuw sterk gaan uitbreiden in de oorspronkelijke eikenbossen. Recent is daar de vestiging van hulst bijgekomen. Hulst verjongt zich vanuit tuinen in nabijgelegen woonwijken en parken. Hulst is erg gevoelig voor vorst en heeft zich daardoor waarschijnlijk moeilijk kunnen handhaven in de meer open eikenhakhoutbossen. De meer gesloten structuur van de huidige beuken-eikenbossen biedt hiertegen meer bescherming. Daarnaast is hulst niet zo vraatgevoelig en kan zich net als beuk ook bij huidige wilddruk van de Veluwe goed handhaven. Klimaatverandering zal waarschijnlijk leiden tot warmere winters, dit werkt in het voordeel van hulst. In de meeste bossen binnen de verschillende scenario's is een uitbreiding voor hulst in de komende 100 jaar verwacht (ZO-Veluwe case gebiedskaartjes.7z). Deze uitbreiding is het grootst in het IM. Ook in de W+ scenario's komt in 2110 meer hulst voor dan in 2010.

(Toekomstige) dominantie van beuk in deze bossen is ongunstig voor het voorkomen van oud-bossoorten (zie 4.2). Daartegenover staat dat ouder wordend beukenbos nieuwe natuurkwaliteit zal leveren in de vorm van dik staand en liggend dood hout, wortelkluiten en een gevarieerde bosstructuur wat o.a. meer broedgelegenheid brengt voor holenbroeders. Ook breidt de paddenstoelenflora zich uit wanneer er meer dik dood hout in het bos komt.

Belangrijke diersoorten van dit habitatype zijn zwarte specht, boomklever en hazelworm.

Bedreiging

Toenemende strooiselaccumulatie en een trendmatige toename van beuk met daardoor verzuring van de groeiplaats, leiden ertoe dat de kruiden- en epifytenflora verschuiven naar de randen en paden van het bos (Bijlsma et al., 2001). Ontwikkeling naar productiebossen met schaduwboomsoorten vormt een bedreiging voor aanwezige oud-bossoorten, waardoor op termijn karakteristieke soorten definitief uit het bos verdwijnen (Bijlsma et al., 2008). Deze omvorming is voorzien in een aantal scenario's en treedt vooral op bij een sterk veranderend klimaat (W+).

Oude eikenbossen

De minder rijke groeiplaatsen van de Veluwe, de dekzandvlakten en -ruggen, zijn vanaf de Middeleeuwen gaan verstuiven. Het zand werd soms tot honderden meters in het nabijgelegen oude bos geblazen waardoor een randwal ontstond tegen het oude gesloten bos of, bij een meer open bos, als kleinere bulten rondom een

eikenstoof die dan het zand vasthield. Zo zijn kleine, geaccidenteerde oud-bosgroeiplaatsen ontstaan (Bijlsma, 2002). Op deze ruggen en bulten ontstond een armer bostype met een slecht groeiend hakhout of de bossen degradeerden verder tot heidevelden of zandvlakten waarin verspreid struiken groeiden. Een voorbeeld van een dergelijke randwal komt voor in het Loenense Bos. Al deze armere oude bossen worden tot het habitatype Oude eikenbossen gerekend (Bijlsma et al., 2008); ze liggen per definitie op leemarme bodems. In vergelijking met de Beuken-eikenbossen, komen in het Oude eikenbossen andere soorten voor, vooral (korst)mossen en paddenstoelen van arme bodem. Belangrijkste boomsoorten zijn zomereik en ruwe berk, maar ook wintereik kan er voorkomen. De struiklaag is open en bestaat vooral uit wilde lijsterbes en sporkehout. De oud-bossoorten die typisch zijn voor Beuken-eikenbossen, ontbreken in Oude eikenbossen. Adelaarsvaren kan er voorkomen maar is niet dominant. Blauwe bosbes is de meest karakteristieke soort voor dit bostype. Oude eikenbossen zijn door geringe bodemvruchtbaarheid veelal ontkomen aan de omvorming naar meer-eisend naaldhout die in de twintigste eeuw op grote schaal plaatsvond. Eik en/of berk is altijd de hoofdboomsoort. Vergelijkbare groeiplaatsen met naaldhout behoren niet tot het habitatype.

Ook oude eikenbosjes, die ontstaan zijn in heidevelden (strubben) die aan het oude bos grensden en niet met stuifzand overstoven zijn, vormen een onderdeel van het type Oude eikenbossen. Eiken verjongden vanuit het oude bos in de hei. Door de hoge graasdruk konden deze boompjes niet goed uitgroeien en bleven als uitstoelende bosschages aanwezig. Nadat de graasdruk wegviel, konden van de bosschages de buitenste bomen overleven, de rest stierf af door onderlinge concurrentie. Hierdoor ontstonden ringen van eiken, clusters genaamd (Copini et al., 200). De clusters vormen samen met losse bomen strubbenbosjes, die worden gekenmerkt door de grillige boomstammen. In het studiegebied ligt een dergelijk strubbenbosje in de Imbos (De Braak). Strubbenbossen op moderpodzolen die onderdeel zijn van heidebebossingen worden tot de Beuken-eikenbossen gerekend. De Oude eikenbossen zijn bijzonder omdat ze op natuurlijke wijze zijn ontstaan in de heide en ze (landschappelijk gezien) liggen op de overgangen van de oude hakhoutbossen op moderpodzolen (binnen de Beuken-eikenbossen) en heiden of zandverstuivingen (Bijlsma et al., 2008). Tot slot behoren ook de minimaal honderdjarige eikenbossen in leemarm moedermateriaal tot de Oude eikenbossen.

De ligging van de bossen die tot de Oude eikenbossen worden gerekend in het studiegebied, zijn gegeven in Figuur 13. Tezamen beslaan de Oude eikenbossen 199 ha.

Bedreiging

De trend van uitbreiding met beuk is een bedreiging voor Oude eikenbossen. Door de huidige graasdruk is een snelle successie met bes-dragende struiksoorten als Amerikaanse vogelkers niet aan de orde.

Droge heide, Stuifzandheide en Zandverstuiving

Binnen de heideterreinen in het casestudygebied is habitatype Droge heiden met 1394 ha de meest voorkomende (Figuur 13). Bij dit type gaat het om struikheidebegroeiingen die in het gebied liggen op dekzandvlakten en stuwwallen. Dit type heide is door begrazing, plaggen en strooiselroof ontstaan uit de historische 'groene heide' waarin dwergstruiken en grazige, heischrale vegetaties als mozaïek voorkwamen (Bijlsma et al., 2008). Pas in de 19de eeuw is de paarse heide die slechts door struikheide wordt gedomineerd ontstaan. Beheersmaatregelen van de afgelopen 30 jaar zijn erop gericht om vergrassing als gevolg van atmosferische depositie terug te dringen om de paarse hei te behouden.

Voor een gunstige staat van instandhouding zijn meerdere aaneengesloten gebieden van samen minimaal 200 ha met structuurrijke en soortenrijke heidebegroeiing nodig, vooral om kenmerkende diersoorten te laten overleven (bv. Zandhagedis).

Meer bijzonder is het Stuifzandheiden-type op voormalige zandverstuivingen, waarin nog nauwelijks bodemvorming is opgetreden. Hierdoor onderscheidt dit type zich van de Droge heiden. Het type wordt gedomineerd door struikheide, maar ook grassen of dwergstruwelen op stuifzand (blauwe of rode bosbes) kunnen tot dit type behoren. Ook (korst)mossen spelen een belangrijke rol.

Binnen het studiegebied wordt dit type op vier plaatsen aangetroffen en beslaat in totaal 65 ha (Figuur 13). Het type is minder wijd verspreid dan Droge heiden. Nederland ligt centraal in het verspreidingsgebied en heeft daarom een grote verantwoordelijkheid voor de instandhouding van het type. Het type is gevoelig voor verrijking door atmosferische depositie en successie naar typen waarin grassen gaan domineren. De oppervlakte van dit type is vaak te klein om karakteristieke diersoorten te behouden (Bijlsma et al., 2008).

Enkele kleine plekje met open stuifzand in het Rozendaalse Zand en de Zilvense hei, behoren tot het habitattype Zandverstuivingen (samen 22 ha). Het gaat hier om nog actief stuifzand of deels door korstmossen, mossen en grassen vastgelegd stuifzand (Bijlsma et al., 2008). Hier zijn de verschillende *Cladonia*'s de belangrijkste kwaliteitsoorten voor de flora. In dit type staat de primaire successie voorop met vastlegging van het zand door algen, buntgras en korstmossen en mossen. Vaatplanten komen nauwelijks voor en de fauna is er schaars. Dit type kan vooral worden behouden als er sprake kan zijn van winderosie. Dit zal kansrijker zijn in grotere zandverstuivingen. De plekjes in de studiegebied zijn vrij klein en zullen bij afwezigheid van verstoringen snel dichtgroeien. 90% van het Europese areaal Zandverstuivingen ligt in Nederland. Nederland heeft dus ook voor dit type een grote verantwoordelijkheid voor de instandhouding ervan.

Al deze habitattypen kunnen alleen in stand worden gehouden door actief beheer. Voortschrijdende successie is voor dit type al een bedreiging omdat de korstmossen en grassen van de primaire successie alleen voorkomen op open zand waarin nog geen strooiselophoping plaatsvindt. Kolonisatie met boomsoorten is daarom een bedreiging (Bijlsma et al., 2008).

4.1.2 Transitie van habitattypen in simulaties

In bijlage 2 zijn per scenario voor genoemde habitattypen de overgangen weergegeven van de situatie in 2011 naar de situatie in 2110.

Voor de Beuken-eikenbossen met hulst zijn de veranderingen het meest dramatisch in de W+-scenario's. De meeste bossen veranderen in door douglas gedomineerde opstanden. De verklaring hiervoor is dat eik en beuk afsterven waardoor uitbreiding van douglas mogelijk wordt.

De eikenbossen binnen dit habitattype handhaven zich het best bij een gelijkblijvend beheer en klimaat. In dat geval blijven respectievelijk 65% van de zomereiken- en 73% van de wintereikenbossen door beide soorten gedomineerd. De beste kansen op voortbestaan hebben de wintereikenbossen binnen CurClimate en G voor BAU en IM. Ook in deze scenario's blijven minimaal tweederde van de beukenbossen gehandhaafd. Voor een derde van de zomereikenbossen is een overgang naar douglas in 2110 voorzien.

In het PM-scenario blijft slechts 25% van de loofbossen behouden. In deze scenario's en alle W+-scenario's gaan de waarden van de Beuken-eikenbossen dus voor een groot deel verloren. Wat dit betekent voor de bijzondere flora en fauna van deze bossen wordt in 4.2 verder beschreven. Dat het gevoerde beheer in dit scenario in strijd is met de instandhoudingsverplichting van het habitattype, is bij de invulling van de beheersscenario's buiten beschouwing gelaten. Veel bossen binnen dit type liggen in het Natuurmonumenten-nietsdoen beheer, maar het PM geeft ook voor dit gebied hoogdunning bij een dominante hoogte van 20 m waarbij alle dikke bomen worden verwijderd, ongeacht de soort. Het zagen van oude beuken creëert gunstiger omstandigheden voor de vestiging van naaldbomen, zoals douglas. Binnen het IM scenario wordt hier ook wel gedund maar hierbij worden beuk, eik en linde juist gespaard.

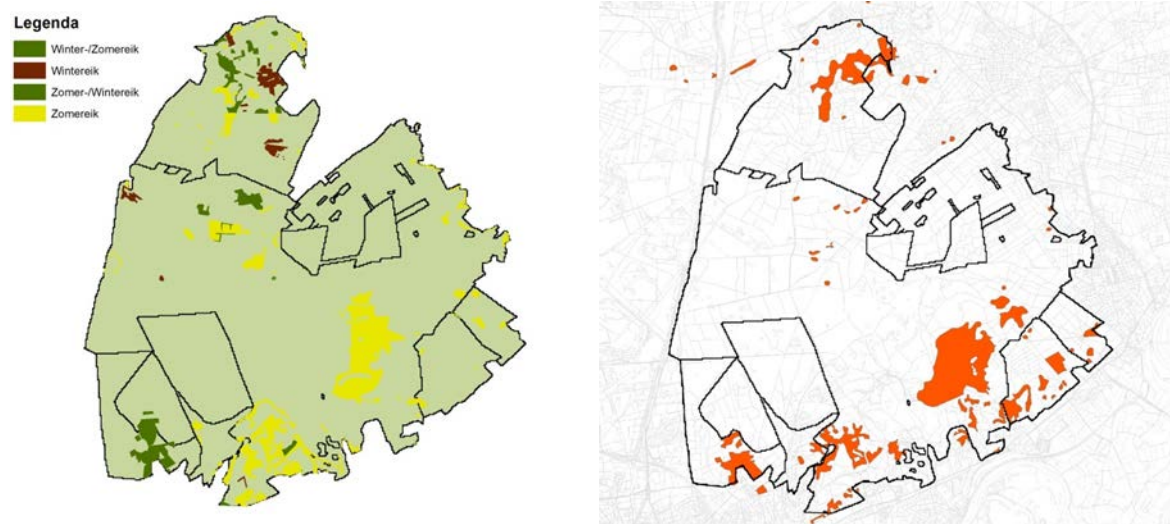
De Oude eikenbossen blijven voor scenario's (CurClimate-BAU, CurClimate-IM, G-BAU en G-IM) vrijwel in zijn geheel behouden. Ook voor de Oude eikenbossen is binnen de W+- en PM-scenario's een grote verschuiving naar door douglas of grove den gedomineerde bossen te zien (bijlage 2). Ook bij een gelijkblijvend beheer dat gericht zou moeten zijn op de instandhouding van dit habitattype, verdwijnen in W+ vrijwel alle eikenbossen, al is het aandeel douglas in deze bossen veel kleiner dan in de andere bossen. Grove den wordt de hoofdboomsoort, douglas is bijgemengd. Dit zal het lichtklimaat enigszins beïnvloeden en de kruid- en moslaag

zal er minder uitbundig ontwikkeld zijn, maar de typische soorten voor deze bossen kunnen in het systeem aanwezig blijven. Dit wordt lastiger voor de PM scenario's waarin de helft van de zomereikenbossen en ruim een derde van de wintereikenbossen veranderen in douglasbossen. Deze bossen worden veel donkerder waardoor veel kruiden en mossen verdwijnen. Ook vindt een andere humusprofielopbouw plaats.

4.2 Biodiversiteit

4.2.1 Vegetatie

Oud-bossoorten zijn beperkt aanwezig in het studiegebied. Kenmerkend voor de oud-bossoorten is dat ze moeite hebben met zich te vestigen op de huidige moderpodzolgronden. Deze gronden zijn door verzuring aanmerkelijk minder baserijk dan in de tijd dat deze soorten zich hier vestigden (Bijlsma, 2002). Ze zijn wel in staat om zich bij gunstige groeiomstandigheden te handhaven en regenereren uit de zaadbank of uit wortelstokken. Hiervoor zijn licht en minerale grond nodig. Dit is alleen voorhanden wanneer lichtboomsoorten de hoofdstand vormen en er geen strooiselophoping plaatsvindt. In tegenstelling tot de oud-bossoorten kan beuk zich wel heel gemakkelijk vestigen en uitbreiden, waardoor eik geleidelijk wordt verdrongen (Fanta, 1995). De belangrijkste oud-bossoorten voor de Zuidoost-veluwe zijn wintereik en adelaarsvaren, die nu nog in vlaktedekkende populaties aanwezig zijn (Figuur 14).



Figuur 14
Verspreiding van eikenbossen (links) en adelaarsvaren (rechts)

Het voorkomen van adelaarsvaren is gekoppeld aan lichte bossen gedomineerd door eik, grove den of lariks op een oude bosgroeiplaats. Adelaarsvaren is een voorbeeld van een oud-bossoort dat op de Veluwe in zijn voorkomen is beperkt tot de oudere bossen op moderpodzolen. Adelaarsvaren kan ook bij ontwikkeling of omvorming naar donkere bossen door dominantie van schaduwsoorten lang als wortelstok in de bodem overleven, wachtend op gunstiger omstandigheden om weer te kunnen uitgroeien. Adelaarsvaren kan zo enkele decennia ongezien overleven (Den Ouden, 2000). De dominantie van de schaduwboomsoorten moet echter niet veel langer duren, omdat de wortelstokken uiteindelijk uitgeput raken en de soort definitief verdwijnt. Eenmaal uit het bos verdwenen, kunnen de meeste oud-bossoorten zich in de relatief arme

groeiplaatsen van de Veluwe niet opnieuw vestigen. Vegetatieve uitbreiding van adelaarsvaren gebeurt alleen vanuit bestaande populaties. Uit onderzoek van Den Ouden (2000) blijkt dat in jonge douglas- en beukenopstanden adelaarsvaren voorkomt, maar naarmate die opstanden ouder worden adelaarsvaren verdwijnt. In oudere douglasopstanden (>65 jaar) neemt de bedekking van adelaarsvaren weer toe als er gaten in het kronendak ontstaan door bijvoorbeeld windworp. Wanneer het kronendak weer in sluiting komt, neemt de bedekking van adelaarsvaren weer af en concentreert zich langs de randen van de opstand (Den Ouden, 2000). Na dunningen, groepenkap of natuurlijke verstoringen breidt hij zich vandaaruit snel de opstand in, tot het weer te donker wordt. Zolang er dynamiek in het kronendak blijft bestaan, kan adelaarsvaren overleven. Zowel in IM als PM is voor veel beheerseenheden oogst of omvormingsactiviteiten gepland. Het lijkt daarom niet waarschijnlijk dat toenemende douglasdominantie zoals de simulaties laten zien een definitief einde van de adelaarsvaren is.

Andere interessante oud-bossoorten als dalkruid, ruige veldbies, hertshooi zitten veelal alleen langs de paden. De dichtheid van bossen is een belemmering voor deze soorten, die daarom alleen langs de paden kunnen overleven, waar door activiteiten en lichtstelling een gunstiger klimaat aanwezig is dan in de bossen zelf (Bijlsma et al., 2001). Binnen eikenopstanden kunnen deze soorten vaker worden gevonden. Behoud van de eikenbossen op oude groeiplaatsen is daarom van groot belang voor het behoud van de oud-bossoorten en daarmee de biodiversiteit in het gebied.

Uit de resultaten van de simulaties blijkt echter dat eik zich moeilijk kan handhaven op de schaal waarop dat nu het geval is. Bij een voortzetting van het huidige beheer en een gelijkblijvend of matig veranderend klimaat, blijft eik ongeveer in zijn huidige omvang aanwezig. In PM verdwijnen de eikenbossen en ontstaan mengingen van douglas, berk en eik. Zolang er kleinere eenheden met eik en berk aanwezig blijven, kunnen de oud-bossoorten overleven. In een W+-scenario is de kans hierop het kleinst.

Dominantie van eik is van groot belang voor de soortendiversiteit in het bos. In de open eikenbossen is het lichtklimaat veel gunstiger voor het handhaven van de verspreiding van oud-bossoorten. Daarnaast geeft eik een gunstiger strooisel dat de groeiplaats niet verzuurt (Hommel et al., 2002), dit levert eveneens een gunstige bijdrage aan het in stand houden van de oud-bossoorten.

In de Oude eikenbossen wordt de kruidlaag gedomineerd door blauwe bosbes: deze soort verdwijnt snel als de bossen dichter worden. Door de grote graasdruk in het gebied zal het dichtlopen met beuk vertraagd worden waardoor het eikenbos met bosbes lang in stand zal blijven.

De eikenbossen met een vlaktedekkende ondergroei van bosbes zijn een trekpleister voor recreanten.

Meer activiteiten in het bos bij intensivering van de beheersactiviteiten kan gunstig zijn. Toename van schaduwsoorten als douglas in de boomlaag, drukken lichtminnende kruiden en varens nog verder in de verdrukking. In de IM-scenario's waar meer dunningsactiviteiten voorzien zijn, handhaven de eikenbossen van de Essop, Onzalige Bossen en Beekhuizer bos (Natuurmonumenten) zich het langst. Omdat de ontwikkeling naar gemengde naaldbossen binnen het PM juist het grootst is, is dit beheersscenario het meest ongunstig voor de oud-bossoorten en dus soortendiversiteit van het bos.

4.2.2 Fauna

Het voorkomen van bepaalde fauna in een gebied is afhankelijk van vele factoren, zoals onder andere de continue beschikbaarheid van voedsel, nest- en schuilgelegenheid, bereikbaarheid van het gebied, grootte, aanwezigheid van predatoren en het klimaat. Een aantal van deze factoren hangt samen met de bosstructuur, en de gesimuleerde veranderingen in de bosstructuur kunnen dus een indicatie geven voor mogelijke veranderingen in geschiktheid van het gebied. Daarnaast kan klimaatverandering ook andere effecten hebben, zoals directe invloed op de soort door bijvoorbeeld een hogere overlevingskans in warmere winters, of indirect

via effecten op voedselsoorten. Deze effecten zijn hier niet meegenomen, alleen effecten die rechtstreeks met de bosstructuur samenhangen worden bekeken.

Omdat het onmogelijk is alle soorten te beschrijven, is gekozen voor enkele soorten die belangrijke indicatoren zijn voor vereisten van de habitatrichtlijn, namelijk Wespendif, Zwarte specht en Zandhagedis.

Roofvogels: Wespendif

Het voorkomen van de Wespendif is afhankelijk van (Sierdsema et al., 2008):

1. Voedselaanbod van sociaal levende wespen voor jonge Wespendifen.
2. Voedselaanbod voor volwassen Wespendifen.
3. Gevarieerd bos: van aaneengesloten bos tot bosfragmenten in open landschap.
4. (Lichte) voorkeur voor donkere sparren en zware loofbomen ter beschutting van nesten, boven de 15 m.
5. Voorkeur voor de wat rijkere vochtigere loofbossen.
6. Nestplaatskeuze mede afhankelijk van andere broedende roofvogels.

Voor de voorwaarden 1, 2 en 6 is onduidelijk hoe deze samenhangen met de bosstructuur en kunnen we verder geen uitspraken doen. Rijkere vochtige loofbossen (voorwaarde 5) komen niet voor in het studiegebied.

Uit Van Manen et al. (2011) blijkt dat Wespendifen geen uitgesproken voorkeur voor boomsoort hebben, maar vaker voorkomen in rijk gestructureerd grove-dennenbos met liefst een tweede boomlaag en/of struiklaag van loofboomsoorten. In het algemeen geldt hoe ouder het naaldbos hoe geliefder, maar dat kan ook te maken hebben met de vorming van een tweede boomlaag bestaande uit loofboomsoorten. Bij loofbossen is geen duidelijke relatie met de leeftijd van de bomen vastgesteld.

Bij inventarisatie op de Noord-Veluwe blijkt dat na grove den, douglas de tweede soort is waarin de Wespendif het vaakst broedt.

Deze voorkeuren en voorwaarden voor Wespendif afzettend tegen de resultaten van de simulaties leiden tot de conclusie dat het leefgebied van de Wespendif voldoende blijft gewaarborgd. Grove-dennenbossen en mengingen met loofbomen blijven in BAU en IM voldoende aanwezig. In PM is de afwisseling van grove den en douglas kleinschalig. Hier kan echter de afwisseling in openheid van het bos minder zijn dan in de andere beheersscenario's omdat het PM-beheer er op is gericht het bos meer gesloten te houden. Het BAU en IM-beheer zou een verhoogd stormrisico inhouden (zie §4.5) waardoor mogelijk meer structuurverschillen in het landschap aanwezig blijven. Voor het IM zou dit het dichtgroeien van de heidevelden kunnen compenseren. Ook de in W+ zichtbare sterke toename van douglas hoeft voor de Wespendif geen beperking in te houden. Aan de voorwaarden 3 en 4 lijkt dus in alle scenario's te worden voldaan.

Holenbroeders: Zwarte specht

Het voorkomen van Zwarte specht is afhankelijk van (Sierdsema et al., SOVON onderzoeksrapport 2008/14):

1. Aaneengesloten opgaand bos, bestaand uit naaldbomen (foerageermogelijkheden) liefst in korte omlopen en dikke dode bomen (dbh > 35cm) met gladde stam, zoals beuk of grove den (nestplaatsen).
2. Afwisseling gesloten bos met open plekken.
3. Voorkomen van nestplaatsconcurrenten (Bosuil, Kauw, Holenduif, Boommarter).
4. Voedsel: Rode bosmieren, Glanzende houtmieren, Schors- of hout-etende keverlarven.

Over voorkeuren 3 en 4 is op basis van de gegevens uit de simulaties geen uitspraak te doen.

Zwarte specht houdt van een aaneengesloten bosgebied met open plekken. Vooral de combinatie van oude landgoederen en open (heide) terreinen, zoals in het zuidelijke deel van het studiegebied, zijn favoriet. Naaldbos herbergt meer mierenkolonies, waar Zwarte specht graag op foerageert. Mierenkolonies bevinden zich vaak op de overgangen naar open terreinen zoals (kleine) verjongingsvlakten. Verder foerageert de zwarte specht op schors- en hout-etende insecten. Dode bomen, stomp en stobben zijn daarom aantrekkelijk. Omvorming van naaldbos naar alleen loofbos is dus ongunstig, omdat daarmee een belangrijke voedselbron wordt gereduceerd. Omvorming naar juist meer naaldbos daarentegen heeft ook nadelen. Jonge douglasopstanden bevatten vrijwel geen voedsel (mieren). Ondanks de inspanningen van het beheer om inheemse (loof)bomen te begunstigen, laten de simulaties een toename van naaldhout zien waar nu nog dominantie van loofbos is. Hoewel bij een gelijkblijvend klimaat op veel plaatsen de absolute dominantie van naaldbomen (grove den) verdwijnt en er een menging van naald- en loofbos ontstaat, hoeft deze combinatie niet slechter voor Zwarte specht voor zowel foerageer- als nestgelegenheden te zijn, zolang er maar een combinatie van voedsel en dode bomen aanwezig blijft. Open plekken blijven in elk geval aanwezig door de verspreid liggende heideterreinen. Waar deze in IM worden omgevormd, zou vooral in de Loenermark minder open ruimte aanwezig zijn. De hogere dynamiek van kappen en planten in niet al te grote verjongingseenheden geeft een continue aanwezigheid van kleine open plaatsen.

Kortere omlopen van overwegend door naaldbomen gedomineerd bos zullen vooral in IM en PM meer voorkomen. Behalve de uitbreiding van jonge donkere douglasbossen, komen ook de oude loofbossen onder druk, vooral in PM- en in de W+-scenario's. Binnen beide scenario's wordt grove den bij een dbh van rond de 40 cm al gedund en vormt daarmee geen alternatieve nestgelegenheden. In het PM gebeurt dat sneller dan in IM en is daarom ongunstiger voor het creëren van broedplaatsen. Klimaatverandering maakt voor zwarte specht niet zoveel uit zolang de combinatie aaneengesloten bos met open terreinen gehandhaafd blijft. Het PM-scenario is hierbij het meest ongunstig omdat hier de oude loofbossen bijna helemaal verdwijnen.

Tot 2090 is er een toename van dood hout, daarna neemt de hoeveelheid weer af. In de eerste helft van de simulatie periode zal er meer broedgelegenheid ontstaan, mits er voldoende staand dood hout aanwezig blijft. Het lijkt erop dat veel dood hout ontstaat in de huidige eiken- en beukenbossen die na 50 jaar ook veel meer sterfte laten zien. Eiken sterven vaak op stam en kunnen lang als staand dood hout aanwezig blijven (Van Hees en Clercx, 1999). Of er sprake is staand dood hout of liggend, blijkt niet uit de simulaties.

Reptielen: Zandhagedis

De zandhagedis (*Lacerta agilis*) komt in Nederland vooral voor op heideterreinen op hogere zandgronden in het oosten, zuiden en midden van ons land en in de duinen ten noorden van Zeeland. Voor het leggen van eieren kiezen de vrouwtjes zonnige, onbegroeide zandige plekken. De eitjes worden op 5 tot 20 cm diepte ingegraven. De warmte van de zon zorgt dan voor verdere ontwikkeling van de eieren. De zandhagedis staat op de Rode Lijst aangemerkt als 'kwetsbaar'. De soort wordt beschermd door de Flora- en Faunawet. Ook heeft deze soort een beschermingsstatus in de Conventie van Bern en in de Europese Habitatrichtlijn (bron RAVON). Zandhagedis is kwaliteitsoort voor de typen 'Stuifzandheide met struikheide' en 'Droge heiden' (Bijlsma et al., 2009).

In bijlage 2 zijn de transitie-matrices voor beide habitattypen gegeven. De door heide gedomineerde pixels blijven voor het overgrote deel heide. De meeste verschuivingen treden op binnen het IM-scenario. Hier verdwijnen ongeveer 30% van de heidepixels, die het meest in grove den veranderen. Een deel hiervan is het gevolg van de beheerveranderingen die binnen dit scenario zijn voorgesteld, waarbij geen rekening is gehouden met de instandhoudingsplicht van dit type. Dit geldt vooral voor de heidevelden in de Loenermark en het deel van de Natuurmonumenten (NM heideomvorming). In BAU en PM blijft bij CurClimate of G rond de 90% als heide gehandhaafd. In W+ is dat zelfs 95%. In de stuifzandheide liggen de percentages pixels die na 100 jaar nog steeds heide zijn 10-20% lager. Alleen voor IM zijn ze vergelijkbaar met de Droge heide.

De toenemende successie van heide en zandverstuivingen vormen een bedreiging voor de zandhagedis. Deze ontwikkeling is voor een aantal terreinen binnen de Zuidoost-Veluwe aan de orde in scenario's waar de heide niet meer wordt onderhouden. Binnen de andere scenario's blijven grote delen van de hei en stuifzandhei behouden. De zandhagedis zal volgens de simulaties grotendeels dezelfde leefruimte behouden.

4.3 Productie biomassa

Biomassa en oogst

De ecosysteemdiensten houtleverantie en biobrandstofproductie zijn de laatste tijd aan verandering onderhevig. Veranderingen in beheer en klimaat hebben een belangrijke invloed op de groei van het bos en daarmee op de beschikbaarheid van deze diensten.

Voor de multifunctioneel beheerde bossen is oogst in de vorm van dunning gericht op het behouden van een zekere stamtaldichtheid of op het bereiken van een zeker niveau voor de biomassa. Hoeveel er wordt geoogst, verschilt per eigenaar (bijlage 1). In de aangepaste scenario's zijn regels voor dunningen en oogst vastgelegd, gebaseerd op een opperhoogte (H_{dom}) en dbh. Als deze waarden niet worden bereikt, vindt de dunning dus niet plaats. Dit blijkt pas tijdens het draaien van het model.

In PM wordt de hoogste voorraad bereikt vanaf 2070, zelfs na een forse dunning die halverwege de simulaties wordt uitgevoerd. In de W+-scenario's is de voorraad wat lager vergeleken met de andere klimaatscenario's, maar binnen het PM wordt ook bij een W+-klimaat hoge waarden bereikt die vergelijkbaar zijn met de hoogste waarden van CurClim-BAU en G-BAU (Figuur 12). De behoudende dunningsintensiteit binnen PM zorgt hierbij voor een hoge bijgroei ook al groeien de individuele bomen langzamer bij dit meer extremer klimaat. Alleen in de onbeheerde bossen liggen de waarden voor de voorraad hoger.

Tegelijkertijd is de mortaliteit binnen PM hoger dan in de andere beheer scenario's. Dit verschil wordt verklaard door de geringere dunningen waardoor meer onderstandige bomen in het bos achterblijven die vervolgens een natuurlijk dood sterven. Ook binnen PM is de mortaliteit niet verschillend tussen de klimaatscenario's.

Het verschil in voorraad tussen BAU en IM bij multifunctioneel bosbeheer met productie is gering. Veel beheerders kiezen voor hetzelfde beheer als het bos al een productiedoelstelling heeft. De voorraad is voor de beheerscenario's BAU en PM iets lager bij een W+-klimaat, toe te schrijven aan droogte. Ook de bijgroei van de bomen is in W+ lager dan in de andere klimaatscenario's. Het is niet zo dat de mortaliteit hoger is, de bomen behouden voldoende vitaliteit om te overleven, maar met een geringere groei.

De oogst is het hoogst binnen de IM-scenario's, de bijgroei echter is voor CurClim en G vergelijkbaar aan de bijgroei binnen enkele ander scenario's met een bijgroei van rond de $5\text{m}^3/\text{ha}/\text{jr.}$, maar zeker niet de laagste (Figuur 12). Deze waarde is inclusief de heidevelden, dus alleen voor bos ligt het nog wat hoger. Heidevelden beslaan totaal 1778 ha (21.5% van het gebied). De bijgroei in de bossen ligt dus ruim 20% hoger ($6\text{ m}^3/\text{ha}/\text{jr.}$). Het laagst scoren de scenario's W+-BAU en W+-IM, net onder de 4m^3 (in bos ruim $4.5\text{m}^3/\text{ha}/\text{jr.}$).

De bijgroei neemt in alle scenario's af ten opzichte van 2011, met uitzondering van CurClim-PM en G-PM, maar de staande voorraad wijkt niet sterk af. Omdat er in PM en IM meer wordt geoogst dan nu gebruikelijk is, kan worden geconcludeerd dat de diensten hout- en biomassaproductie bij een gelijkblijvend of milde klimaatverandering meer kunnen leveren. Bij een extremere klimaatverandering moet hier terughoudender worden opgesteld. In dat geval houdt alleen een PM beheer de voorraad en bijgroei op peil.

4.4 Recreatie en beleving

Belangrijk voor recreatie in bos- en natuurterreinen zijn (o.a. De Boer et al., 2001):

1. Natuurlijke verschijning van het bos.
2. Aanwezigheid van voorzieningen
3. Bereikbaarheid.
4. Toegankelijkheid.
5. Grootte.
6. Aanwezigheid van bijzondere componenten.

De punten 2-5 zullen niet worden beïnvloed door de gesimuleerde veranderingen in de bosontwikkeling. Als bijzondere component kunnen de heidevelden worden beschouwd. Binnen het IM-scenario kan de omvorming van enkele heidevelden leiden tot wegblijven van bezoekers in die specifieke gebieden. Zolang er echter binnen de hele Zuidoost-Veluwe wel onderhouden heidevelden zijn, zal het hooguit leiden tot het verschuiven van bezoekersaantallen op korte afstand.

De natuurlijk verschijning (punt 1) van het bos verandert wel met veranderend beheer en klimaat. In een pilotstudie naar de beleving van bosbeelden op opstandsniveau, uitgevoerd onder bezoekers van Nationaal Park De Hoge Veluwe kwam naar voren dat de bezoekers gemengd bos het meest waardeerden, gevolgd door loofbos. Naaldbos werd als minst aantrekkelijk beschouwd. De meest gewaardeerde bosbeelden zijn gemengde opstanden met volwassen (dikke) naald- en loofbomen die een natuurlijke uitstraling hebben. De leeftijd van het bos (boomfase) speelt dus wel een rol al kwam dit niet specifiek als resultaat uit het onderzoek. Het maakte de bezoekers niet uit of de bossen gelaagd waren door de aanwezigheid van een tweede boomlaag of struiklaag. Sterker nog, het de afwezigheid van meerdere lagen was juist meer favoriet. Aanwezigheid van ondergroei wordt meer gewaardeerd. Volgens de onderzoeker van deze pilot spelen natuurlijkheid, kleur en openheid van de opstand een belangrijke rol bij de waardering (De Boer et al., 2001). Het uiterlijk van het bos speelt echter een ondergeschikte rol bij de motieven voor het bezoek aan het bos. Rust en stilte zijn hierbij de belangrijkste redenen. De meeste recreanten in de Hoge Veluwe zijn wandelaars, fietsers vormen de tweede groep. Voor het studiegebied de Zuidoost-Veluwe zal dit niet veel anders zijn.

Uit een Europees onderzoek naar voorkeuren van publiek voor verschillende bostypen volgde dat recreanten het belangrijker vinden hoe oud het bos is (boomfase wordt het meest gewaardeerd, tegen verjongingsvlakten die het minst worden gewaardeerd) dan de boomsoort (Edwards et al., 2012). De beheersvorm ligt hier tussen in. In het onderzoek werden vijf beheersvormen beschouwd: 1. Bosreservaten, 2. (Semi)-natuurlijk bos, 3. Multifunctioneel bosbeheer, 4. Productiebos, 5. Bos voor pulpproductie. De waardering voor de meest natuurlijke beheersvormen 1 en 2 komt in het onderzoek van Edwards als hoogst tevoorschijn en ook het multifunctioneel bosbeheer wordt positief gewaardeerd, terwijl de productievormen 4 en 5 negatief worden gewaardeerd. Hoewel boomsoort van minder belang werd geacht, scoren loofbossen en gemengde loof-/naaldbossen hoger dan naaldbossen.

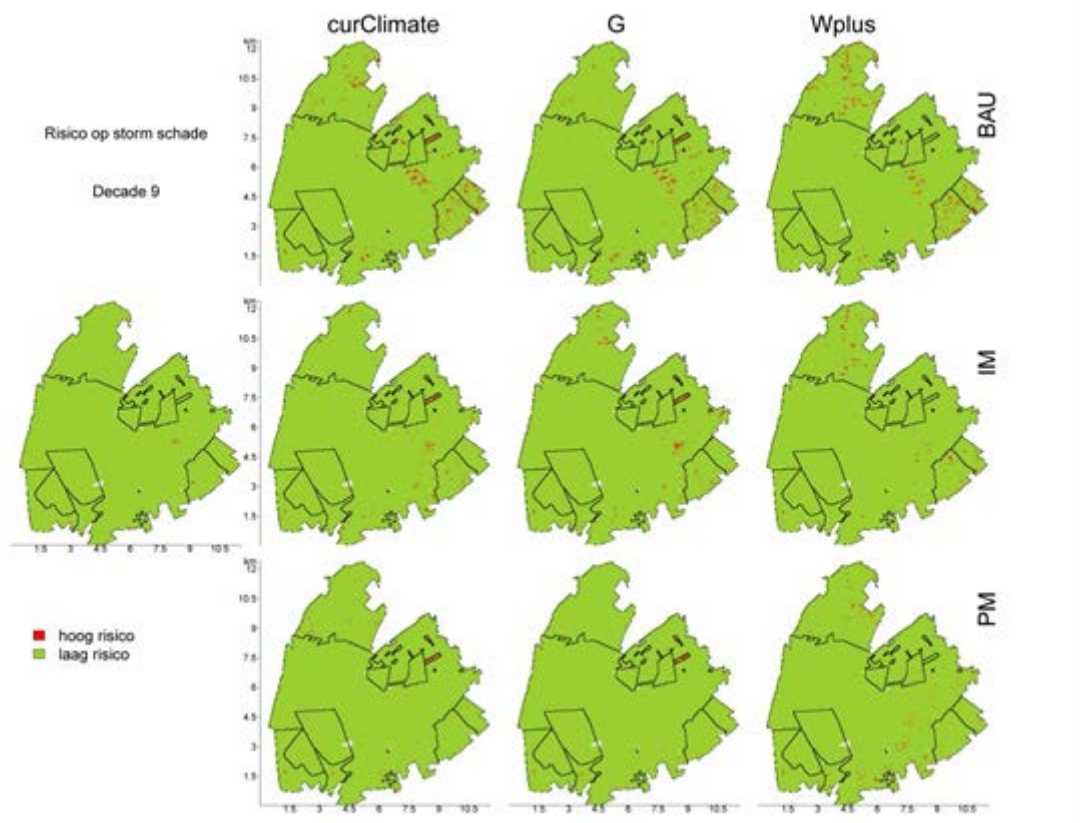
Op grond van dit recreatieonderzoek lijkt het niet waarschijnlijk dat de bezoekersaantallen in de Zuidoost-Veluwe zullen veranderen als gevolg van de gesimuleerde bosontwikkeling. In de klimaatscenario's CurClimate en G ontwikkelen de bossen zich naar kleinschaliger gemengde bossen met afwisseling van loof- en naaldbossen. Deze ontwikkeling is het meest zichtbaar in het IM-beheerscenario. Dit bos voldoet redelijk aan de favoriete bosbeelden uit het onderzoek van De Boer et al. (2001) en komt ook overeen met de Europese brede waardering voor gemengde bossen met multifunctioneel bosbeheer. In het W+-scenario ontwikkelen zich naaldbossen waarin douglas op grotere schaal domineert. Deze bossen blijken in beide onderzoeken minder favoriet te zijn. De vraag is echter of dit recreanten zal tegenhouden deze bossen te bezoeken, als rust en stilte de belangrijkste reden voor een boswandeling zijn. Zeker bij een toenemende temperatuur kan een donker sparrenbos een verkoelende uitstraling hebben.

4.5 Risico's

4.5.1 Risico op stormschade

Het ontstaan van stormschade is een complex geheel dat door allerlei factoren wordt beïnvloed. Bekende factoren zijn:

1. Bodemgesteldheid: stagnerend grondwater en aanwezigheid van niet-doorwortelbare lagen.
2. Topografie: toppen, blootstelling aan bepaalde windrichtingen.
3. Bodemtoestand ten tijde van de storm: grond bevroren of waterverzadigd.
4. Bomen in blad of niet.
5. Windsnelheid, vlagerigheid van de wind, duur van de storm.
6. Bostoestand aan loefzijde.
7. Boomsoort.
8. Opstandshoogte.
9. Opstandsdichtheid.



Figuur 15

Cellen met verhoogd stormrisico (kans op schade binnen 50 jaar) in 2110 voor naaldbomen.

Bodemgesteldheid en topografie zijn niet afhankelijk van de simulaties en zijn in het studiegebied waarschijnlijk in zijn algemeenheid van weinig belang. Factoren 3-5 hangen vooral samen met de klimaatscenario's en niet met de simulaties. Over het algemeen is de kans op een bevroren bovengrond in Nederland tijdens een winterstorm klein. In het W+-scenario zal deze kans nog verder dalen maar dat heeft waarschijnlijk weinig

invloed op het risico op stormschade. Bij klimaatverandering zouden bomen eerder kunnen uitlopen en hun blad in de herfst langer houden. Omdat stormen voornamelijk in de winter voorkomen lijkt het effect op het totale risico miniem. Wel zou met klimaatverandering het aantal extreme gebeurtenissen in de zomer toe kunnen nemen, zoals hevige wind samenhangend met onweersbuien. Het effect van klimaatverandering op winterstormen is onzeker. Sommige studies wijzen op een afnemende trend in het aantal stormen, terwijl andere wijzen op een hogere intensiteit door hogere windsnelheden en/of grotere omvang van de stormdepressies. Wel vertoont het W+-scenario een iets hogere gemiddelde windsnelheid. Grote hoogteverschillen tussen opstanden kunnen leiden tot turbulentie en daarmee tot verhoogde kans op omwaaien. Optimalisatiemodellen voor de MOTIVE-case studie in Finland geven aan dat het minimaliseren van dit soort hoogteverschillen kan leiden tot een significante vermindering van het storm risico zonder effect op kosten en opbrengsten. Voor de Veluwe zijn dit soort modellen echter niet beschikbaar. De IM-scenario's gaan meer uit van vlaktegewijze ingrepen en hebben daardoor misschien een iets hoger risico. Door het dichtgroeien van de heidevelden worden echter ook weer een aantal hoogteverschillen verkleind.

Boomsoort, opstandshoogte en -dichtheid worden duidelijk door de simulaties beïnvloed. Om de effecten hiervan zichtbaar te maken is het ForestGales-model gebruikt (versie 2.3; Gardiner et al., 2004). ForestGales berekent de windsnelheid die nodig is om een boom te breken of te doen omwaaien, aan de hand van de opstandeigenschappen en soortspecifieke eigenschappen zoals de sterkte van het hout. Op dit moment werkt ForestGales alleen voor naaldboom-soorten. Het windklimaat wordt weergegeven in de vorm van een Weibull-verdeling die de overschrijdingskans aangeeft voor een bepaalde windsnelheid. Per pixel is de kritieke windsnelheid berekend op basis van de simulatieresultaten (alleen voor naaldbomen). Op basis van de KNMI-gegevens voor De Bilt zijn vervolgens de overschrijdingskansen berekend. Figuur 15 geeft de pixels weer met een verhoogd risico (kans op schade binnen 50 jaar). Door allerlei onzekerheden en vereenvoudigingen in de modellen moeten deze resultaten vooral gezien worden als een indicatie. Het BAU-beheer geeft de hoogste toename in storm risico, met op ongeveer 1% van het areaal een verhoogd risico (Tabel 2). In het huidige klimaat en bij G levert PM-beheer het laagste risico op en IM een middelmatig risico. Onder W+ is er geen verschil tussen IM- en PM-beheer. Het risico is hier iets hoger door het grotere aandeel naaldbomen in W+. Het PM-beheer houdt opstanden over het algemeen gesloten en dat zorgt voor een hogere stabiliteit. Door het intensievere beheer in IM worden opstanden waarschijnlijk geogst voordat ze heel erg hoog zijn.

4.5.2 Natuurbrandrisico

Het risico op een (grote) natuurbrand wordt bepaald door een aantal factoren:

1. brandstof (bos, heide, e.d.)
 - a. brandbaarheid van vegetatie
 - b. oppervlakte aaneengesloten natuurgebied
 - c. accumulatie brandstof
2. zuurstof (droogte en wind)
 - a. weersomstandigheden - droogte, temperatuur en wind
 - b. seizoen (voorjaar, zomer) en droogte-effect voorgaande jaren
3. ontstekingsbronnen
 - a. menselijke oorzaken (bewust / onbewust)
 - b. technische oorzaken (vonken van treinwielen op rails, bijvoorbeeld)
 - c. aanwezigheid van risicodragende objecten, zoals brandstoftanks op campings
 - d. natuurlijke oorzaken (droge bliksem, bijvoorbeeld)
4. beschikbare capaciteit om natuurbrand te bestrijden
 - a. snelheid van signalering en melding van de brand
 - b. bereikbaarheid, toegankelijkheid en ontsluiting van het natuurgebied
 - c. bluswatervoorziening
 - d. multidisciplinair optreden van brandweer en andere hulpdiensten

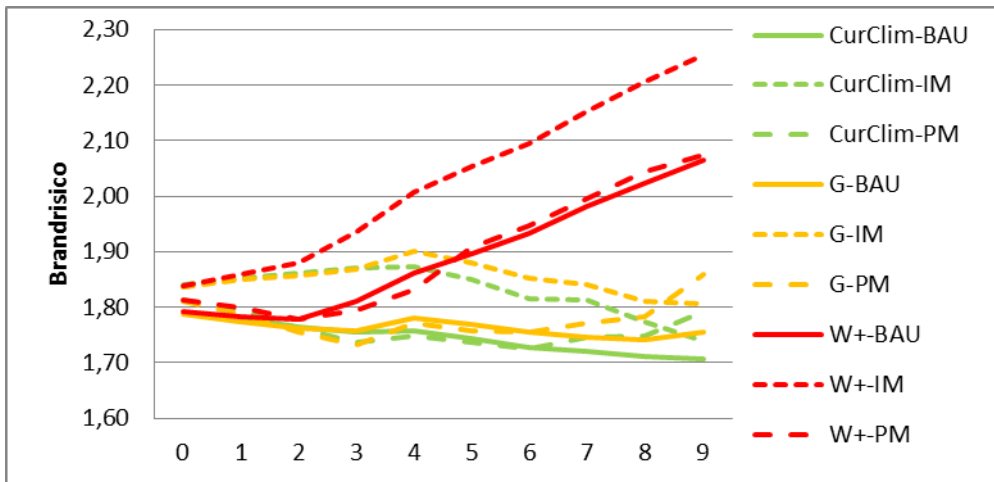
De factoren ontstekingsbronnen (3) en de beschikbare capaciteit om natuurbranden te bestrijden (4) worden niet direct beïnvloed door de bosontwikkeling in de simulaties, en worden verondersteld gelijk te blijven. Veranderende recreatiepatronen door veranderende bosontwikkeling kunnen een indirecte invloed hebben op zowel de kans op het ontstaan van een brand als de kans dat een brand snel ontdekt wordt. Aangezien geen verandering in recreatiedruk verwacht wordt, kunnen we dit effect hier buiten beschouwing laten.

Temperatuur, droogte, luchtvochtigheid, neerslag en windsnelheid (factor 2) zijn factoren die bepalen hoe snel brandbare materialen in bos- en natuurgebieden uitdrogen, hoe makkelijk ze ontbranden en hoe snel een vuurhaard zich kan verspreiden. Vooral wind is een belangrijke factor in de snelheid waarmee een brand zich uitbreidt. Er zijn verschillende risico-indexen ontwikkeld die actuele of gesimuleerde weersgegevens omzetten in een getal dat het risico op een brand weergeeft. Voor de berekening van dit soort indexen zijn dagelijkse weersgegevens nodig. Omdat LandClim met maandgegevens werkt, konden deze indexen niet berekend worden voor de verschillende klimaatscenario's. Het is echter zonder meer duidelijk dat het W+-scenario een grotere kans heeft op langere perioden van droogte en hoge temperaturen. Schelhaas en Moriondo (2007) geven aan dat in een W+-scenario de gemiddelde Canadese Fire Weather Index in de zomer in Nederland zou kunnen stijgen van ongeveer 4 nu naar 12 rond 2040, een waarde die nu hoogst zelden bereikt wordt, tot nu alleen in de zomer van 2003. In de tweede helft van de simulatie zal dit naar verwachting alleen nog maar verder stijgen.

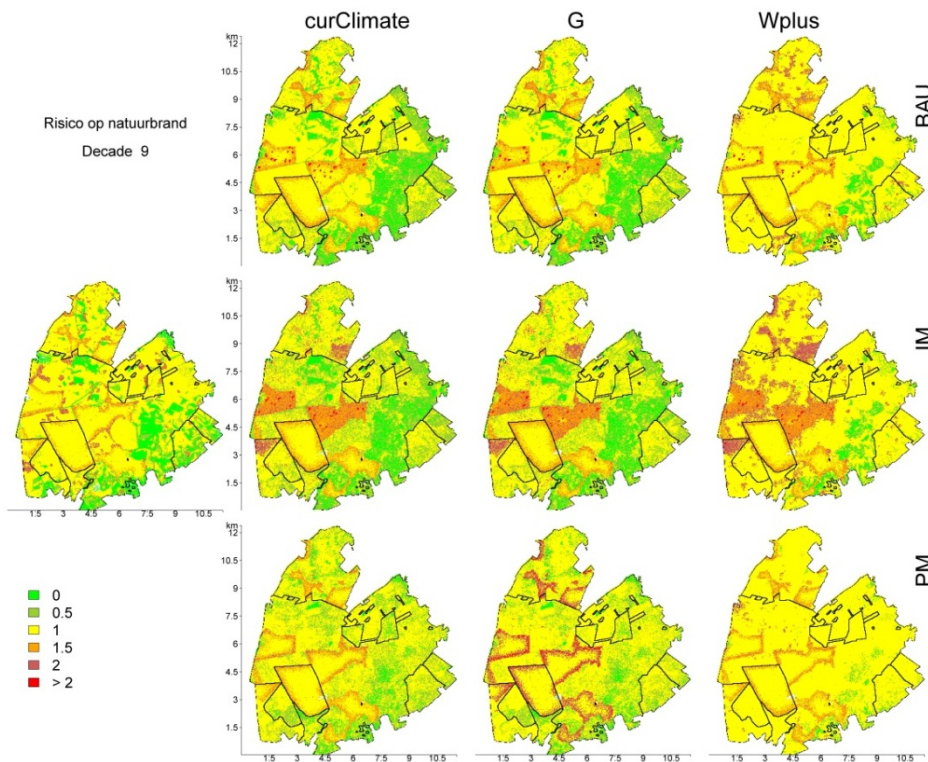
De simulaties hebben direct invloed op vegetatie en strooisel (factor 1). De brandbaarheid van de vegetatie hangt onder andere af van de (boom)soort, de grootte van het materiaal en de horizontale en verticale verdeling van brandstof over het landschap. Over het algemeen zijn heide en naaldboomsoorten brandbaarder dan loofbomen. Tussen soorten kunnen echter grote verschillen voorkomen door bijvoorbeeld de aanwezigheid van harsachtige stoffen bij bepaalde soorten. Fijn materiaal (zogenaamde *fine fuels*), zoals naalden en dunne takjes, brandt makkelijker dan grote stukken hout. Continuïteit van brandstof in een gebied bevordert een snelle uitbreiding, terwijl een continu aanbod van brandstof in verticale richting kan leiden tot kroonvuur (zogenaamde *ladder fuels*). Hoewel in grote lijnen wel bekend is welke vegetatie-eigenschappen de brandbaarheid beïnvloeden, is er geen objectieve methode beschikbaar om dit in een getal uit te drukken.

Om toch een indruk te geven hebben we een ruwe natuurbrandindex toegekend, gebaseerd op de aangenomen brandbaarheid van de vegetatie in de simulaties. Deze index is als volgt bepaald: alle pixels waar heide aanwezig is krijgen een score van 1. Alle pixels waar vegetatie anders dan heide aanwezig is van lager dan 5 m krijgt een score van 1. Vervolgens wordt per pixel bepaald welk grondvlakaandeel naaldboomsoorten hebben in het pixel. Dit geeft een fractie tussen 0 en 1. De totale score wordt bepaald door de individuele scores op te tellen. De gemiddelde scores per scenario zijn gegeven in Figuur 16. Met uitzondering van de W+-scenarios blijven de gemiddelden redelijk constant over de decennia. Voor W+ neemt het gemiddelde risico vanaf 2030 flink toe.

Volgens deze ruwe inschatting blijkt verder, dat het brandrisico niet overal even groot is. Een verhoogd risico vinden we vooral aan de randen van de heidevelden, waar opslag van bomen plaatsvindt (Figuur 17). In de IM-scenario's wordt het heide beheer bij een aantal heidevelden gestaakt. Het dichtgroeien van deze heidevelden leidt tot een groter gebied met verhoogd risico dat vooral tot 2060 toeneemt. Toenemende dominantie van naaldboomsoorten zorgt in W+ voor een hogere gemiddelde score in alle W+-scenario's, ongeacht het beheer.



Figuur 16
Gemiddelde score voor natuurbrandrisico per scenario.



Figuur 17
Voorkomen van verhoogd risico op D9

De hier vermelde risico-index houdt alleen rekening met de samenstelling van de vegetatie. In een volledige risicoanalyse moet ook gekeken worden naar de potentiële impact van een natuurbrand. Dit heeft onder andere te maken met de aanwezigheid van bewoning, bedrijvigheid, recreatie, zorginstellingen, natuurwaarden en vitale infrastructuur.

4.5.3 Insecten

De effecten van klimaatsverandering op het uitbreken van insectenplagen op de lange termijn laten zich lastig voorspellen. Elke soort reageert verschillend, en er zijn veel wisselwerkingen tussen soorten en hun waardplanten, maar ook tussen soorten onderling en tussen soorten en hun belagers. Over het algemeen wordt een onderscheid gemaakt tussen directe effecten en indirecte effecten (Verkaik et al., 2009).

Directe effecten – klimaateffecten op insectenpopulaties

Klimaatverandering heeft een direct effect op insectenplagen, onder andere door veranderende kansen op overleving in de winter en de snelheid van ontwikkelen. Dit kan zorgen voor het noordwaarts oprukken van zuidelijke soorten zoals de eikenprocessierups (*Thaumetopoea processionea*). Deze migratie treedt relatief gemakkelijk op omdat de verspreiding van de waardboom in Europa veel groter is dan het oorspronkelijke verspreidingsgebied van het insect. Zodra de klimatologische omstandigheden voor bepaalde insecten verbeteren, kan migratie eenvoudig verlopen. Als het verspreidingsgebied van de waardboomsoorten door klimaatsverandering ook nog eens uitbreidt, is te verwachten dat de verspreiding van de plaaginsecten ook groter wordt. Hogere zomertemperaturen kunnen toename van inheemse warmteminnende soorten zoals de plakker (*Lymantria dispar*) en eikenprachtkever (*Agrillus biguttatus*) bevorderen. Warmere en vochtigere winters kunnen echter ook leiden tot hogere wintersterfte van larven en kevers door verhoogde kans op schimmelinfecties (Moraal et al., 2004). Warmere winters kunnen ook leiden tot verlies van synchronisatie tussen ontwikkeling van plaagsoorten en waardplanten, zoals bijvoorbeeld bij de kleine wintervlinder (*Operophtera brumata*).

Indirecte effecten – klimaateffecten via de boom op insecten

Een vitale boom is over het algemeen minder vatbaar voor insectenplagen en ziekteverwekkers (pathogenen) dan een gestresste boom. In de Zuidoost-Veluwe vormt langdurige droogte in het groeiseizoen het grootste gevaar van klimaatsverandering voor de bosvitaliteit (Verkaik et al., 2009). Het effect van een droge zomer is vaak meerdere jaren merkbaar in groei en overleving van de bomen. De indirecte effecten zijn vaak belangrijker voor het ontstaan van insectenplagen dan de directe klimaateffecten. Na de langdurige droogte van 2003 braken in de jaren erna diverse plagen uit door de vitaliteitsvermindering bij bomen als gevolg van droogtestress. Vooral bastkevers profiteren van droogtestress bij bomen. Een voorbeeld is de letterzetter (*Ips typographus*) bij fijnspar in Nederland, maar ook bastkevers op beuk en eik namen toe na 2003 (Verkaik et al., 2009). Ook jonge eiken zijn gevoelig voor droogtestress en kunnen dan worden aangetast door eikenspintkever (*Scolytus intricatus*). Bastkevers en prachtkevers zijn het gevaarlijkst voor bomen omdat ze gangen onder de schors van verzwakte bomen maken en daarmee de sapstroom onderbreken waardoor de bomen doodgaan.

De Douglas heeft als exoot het voordeel dat hier (nog) geen soort-specifieke secundaire plaaginsecten aanwezig zijn en is dus minder gevoelig voor insectenaantastingen na droge zomers dan de inheemse soorten.

Samengevat lijkt vooral in het W+-scenario de kans op insectenaantastingen toe te nemen als gevolg van toenemende droogte. Deze aantastingen zullen vooral optreden bij de soorten die het zwaarst te lijden hebben onder de droogte, namelijk eik en beuk. Zulke aantastingen zullen de gesimuleerde successie naar meer naaldbos waarschijnlijk alleen maar versnellen. De toename van douglas in het W+-scenario is in het licht van insectenplagen gezien positief door zijn geringe gevoeligheid. In alle overige scenario's neemt de menging van boomsoorten toe, wat over het algemeen gunstig is. Niet alleen is het lastiger voor de insecten om hun waardplant te vinden, maar het is ook onwaarschijnlijk dat alle soorten op hetzelfde moment getroffen worden door een insectenplaag.

Tabel 2

Overzicht basisresultaten en interpretatie van de effecten van de scenario's op ecosystemendiensten. De beoordeling is in kleur weergegeven : positief (groen), gelijkblijvend (geen kleur), negatief (oranje) of sterk negatief (rood).

			2010	2110								
				CurBAU	CurIM	CurPM	GBAU	GIM	GPM	W+BAU	W+IM	W+PM
basisresultaten	CoverType	heath	21%	16%	13%	18%	16%	13%	18%	20%	15%	20%
		deciduous	16%	20%	19%	13%	18%	17%	10%	5%	4%	2%
		coniferous	50%	36%	23%	36%	39%	30%	41%	68%	71%	72%
		mixed	12%	27%	44%	31%	26%	39%	29%	6%	8%	5%
	Dominant Species	beuk	6%	11%	13%	4%	11%	12%	4%	3%	3%	1%
		eik	8%	14%	16%	7%	12%	14%	5%	4%	4%	1%
		grove den	43%	30%	21%	26%	30%	22%	26%	39%	30%	35%
		douglas	6%	13%	18%	21%	14%	21%	22%	25%	36%	32%
	gemiddelde maximale loofboomleeftijd		20.9	56.2	66.5	37.8	54.9	65.0	35.9	16.3	17.8	11.1
	gemiddelde maximale naaldboomleeftijd		35.4	78.5	72.8	62.5	78.5	73.2	62.2	85.0	80.2	78.8
	sterfte	m3/ha/jr.	3.3	3.5	2.6	4.5	3.5	2.6	4.5	2.9	1.9	3.7
	voorraad	m3/ha	185	207.9	169.3	211.3	207.5	170.4	210.9	186.9	143.3	195.6
	bruto bijgroei	m3/ha/jr.	6.1	5.1	5.2	6.7	5.0	5.2	6.7	3.9	3.9	5.3
oogst	m3/ha/jr.	1.3	1.4	2.7	2.5	1.5	2.7	2.5	1.0	2.3	1.5	
interpretaties	storm risico	% oppervlakte	0.05%	1.25%	0.49%	0.25%	0.96%	0.61%	0.21%	1.12%	0.50%	0.53%
	brand risico	Zie §4.5.2	1.81	1.71	1.74	1.79	1.76	1.81	1.86	2.06	2.26	2.07
	insecten risico			gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	toename	toename	toename
	biodiversiteit - Natura2000 types	BeukEik		76%	70%	48%	74%	66%	42%	28%	25%	26%
		oude Eiken		97%	89%	42%	95%	85%	36%	6%	6%	6%
		Heide en zand		85%	69%	88%	85%	70%	90%	94%	74%	74%
	biodiversiteit - vegetatie		gelijk	gelijk	negatief	gelijk	gelijk	negatief	negatief	negatief	negatief	
	biodiversiteit - fauna		gelijk	gelijk	negatief	gelijk	gelijk	negatief	gelijk	gelijk	negatief	
	recreatie		gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk	
	biomassa productie		gelijk	negatief	positief	gelijk	negatief	positief	negatief	negatief	Gelijk	

5 Effecten van klimaat en beheer

5.1 Effecten op de verschillende diensten in het gebied

Tabel 2 geeft een overzicht van de effecten van de scenario's op alle ecosysteemdiensten die bij deze studie in beschouwing zijn genomen. De effecten zijn geïnterpreteerd en beoordeeld op zijnde positief, gelijkblijvend, negatief of sterk negatief.

Voor de habitattypen binnen het studiegebied wordt in de simulaties in vrijwel alle gevallen een achteruitgang geconstateerd. Ook bij continuering van het huidige beheer en klimaat is dit het geval. Alleen de Oude eikenbossen blijven in deze scenario's grotendeels behouden. Meer beheer leidt tot meer bijmenging van douglas en grove den en dit is een ongewenste ontwikkeling binnen de habitattypen. De achteruitgang van de Heide en Zandtypen binnen IM is het gevolg van de keuze om heidevelden om te vormen naar bos, maar ook bij continuering van huidig beheer, blijven niet alle heidevelden geheel behouden. Het best is dit nog bij het W+-scenario. Dit effect kan worden verklaard dat door de toenemende droogte minder loofbomen in de heide opslaan en overleven. De heidevelden lopen daarom minder snel dicht. Het W+-scenario is evenwel desastreus voor de Oude Eikenbossen en Beuken-Eikenbossen. Welk beheer hier ook wordt gekozen, deze typen verdwijnen snel zodra de gevolgen van de klimaatverandering na 2070 echt voelbaar worden.

De biodiversiteit van met name de oud-bossoorten in het Beuken-eikenbos en typische bosbesvegetatie in de Oude eikenbossen wordt negatief beïnvloed door het PM beheer ongeacht het klimaatscenario. In een sterk veranderend klimaat gaat de biodiversiteit sterk achteruit door de uitbreiding van douglas.

Voor het behoud van de habitattypen is bij een gelijkblijvend of licht veranderend klimaat het huidige beheer het beste. Bij een sterke klimaatverandering maakt het beheer niet meer uit.

Voor kenmerkende fauna van deze habitattypen is binnen CurClim en G een vergelijkbaar effect. De achteruitgang in de flora binnen het W+-scenario geldt echter niet voor de fauna. Alleen het PM scenario is voor alle factoren van de habitattypen ongunstig.

De dienst recreatie zal naar verwachting niet worden beïnvloed door veranderingen in beheer en klimaat.

Biomassa productie is beoordeeld op basis van de verwachte ontwikkelingen van sterfte, houtvoorraad, bijgroei en oogst (Tabel 2). Als gevolg van extra oogst in IM neemt de staande voorraad geleidelijk af in de tijd, terwijl het in BAU en PM gelijk blijft of toeneemt. De bijgroei in de BAU en IM scenario's is onderling ongeveer gelijk, maar lager dan de huidige bijgroei. Bijgroei in PM is hoger dan in de andere scenario's, maar alleen in W+ lager dan nu het geval is. De sterfte is het laagst in IM, maar dat compenseert niet voor de verminderde bijgroei. Intensiever beheer zoals hier geschetst in het IM scenario lijkt op lange termijn te leiden tot hol bos, met lagere voorraad en bijgroei, en lijkt daarom minder aan te bevelen. Het PM beheer heeft wel een positief effect op de biomassaproductie. Hoewel de oogst groter is dan binnen BAU, stijgt de voorraad en bijgroei van het bos toch. De sterfte is ook hoger, maar dit beïnvloedt de voorraad niet nadelig. Zelfs bij een W+-klimaat blijft de oogst op peil bij een PM beheer, beter nog dan het huidige beheer. Bij een gelijkblijvend klimaat of een geringe verandering van het klimaat is voor de biomassa productie continuering van het huidige beheer de beste optie. Bij een sterke klimaatverandering is een PM beheer de beste optie.

5.2 Effecten beheer

BAU (Huidig beheer)

Bij een gelijkblijvend beheer zou ongeacht het klimaatscenario de huidige dominantie van grove den lang blijven voortbestaan. Het duidelijkst is dit in de onbeheerde bossen van de Natuurmonumenten, het Staatsbosbeheer bosreservaat en het reservaat in de Loenermark.

De multifunctioneel beheerde bossen die nu nog worden gedomineerd door grove den, ontwikkelen zich in de richting van kleinschalig gemengde bossen. Waar bij dit beheer loofbomen worden bevorderd, ontstaat loofbos met bijmenging van douglas en lariks, die zich daar ondanks de negatieve selectie toch kunnen handhaven. Alleen in het W+-scenario zijn de inspanningen om de loofboomsoorten te stimuleren niet afdoende tegen de effecten van het veranderende klimaat. Hier drukt douglas de minder droogteresistente loofsoorten weg. Wanneer in de loofbossen de naaldbomen consequent worden verwijderd, blijft een door eik en beuk gedomineerd bos bestaan. De dominantie van eik en beuk breidt daardoor zelfs nog wat uit. Alleen in het W+-scenario is een grote rol voor douglas weggelegd, omdat eik en beuk minder bestand zijn tegen de toenemende droogte in dit scenario. Douglas verjongt zich spontaan in deze bossen vanuit naburige bossen. Dit is een negatieve ontwikkeling voor de habitattypen en soortenrijkdom binnen het gebied.

Indien niet specifiek op loofboomsoorten wordt gestuurd en productie de hoofddoelstelling is, ontstaan gemengde bossen met douglas, lariks, grove den, eik en beuk. Het loofboomaandeel is afhankelijk van de hoeveelheid die al in de initiële fase aanwezig is.

De bossen worden gemiddeld het oudst bij gelijkblijvend beheer, omdat er ten opzichte van IM en PM minder wordt geoogst. Het aandeel bossen met een nietsdoen beheer is in dit scenario het grootst en bomen kunnen daarom doorgroeien tot ze door een natuurlijke oorzaak afsterven. In multifunctioneel beheerde bossen worden de loofbomen vaak gespaard tot op latere leeftijd.

Dood hout komt binnen BAU het meest voor in oude loofbossen waar een nietsdoen beheer wordt gevoerd. Ook in jongere niet beheerde grove-dennenbossen is gedurende de hele gesimuleerde periode dood hout aanwezig, maar in lagere hoeveelheden. In de tweede helft van de gesimuleerde periode neemt de input van dood hout weer wat af. Binnen BAU is de afname bij gelijkblijvend klimaat niet zo goed zichtbaar, maar in G is de afname al wat groter, terwijl het voor het W+-scenario het duidelijkst is. De totale hoeveelheden nemen nog wel toe tot in 2110.

De biomassa en houtproductie blijft bij continuering van het huidige beheer op het huidige niveau.

Het risico op storm neemt toe in alle doorgerekende scenario's, maar is het grootst bij continuering van het huidige beheer. De toegenomen beheersactiviteiten binnen IM en PM maken het bos stabielier dan het huidige beheer. De brandrisico index blijft nagenoeg gelijk wanneer het huidige beheer wordt aangehouden.

IM

In het IM-scenario is een hogere dunningsfrequentie ingebracht binnen de bossen met een multifunctioneel bosbeheer. De dunningen zijn erop gericht de groei te vergroten en om mogelijkheden voor spontane verjonging te creëren of om meer productiesoorten als douglas, grove den en eik in te brengen. Al deze bossen ontwikkelen zich naar mengingen met douglas, grove den, eik en beuk. In soortensamenstelling van de hoofdboomsoorten, struiklaag, grondvlakaandelen en stamtallen zijn de verschillen tussen BAU en IM verwaarloosbaar binnen het multifunctioneel beheerde bos. Wel wordt er meer uit het bos geoogst dan bij BAU, voor een deel gecompenseerd door een lagere sterfte. Deze extra oogst is ingezet met de verwachting van een hogere bijgroei. Deze bijgroei blijkt volgens de simulaties uiteindelijk niet hoger te zijn dan in BAU en de staande voorraad loopt daardoor geleidelijk terug. De grondvlak – en biomassaontwikkeling blijven binnen het IM door de extra oogst dan ook achter bij de ontwikkeling binnen BAU. De houtproductie zal dus op de

langere termijn afnemen binnen het IM-scenario. Overall is de daling van de voorraad dusdanig hoog dat op de langere termijn het IM-scenario ongunstig is. Bij de combinatie van IM met een W+-klimaatscenario is de daling van voorraad en bijgroei erg verontrustend.

In de huidige niet-beheerde bossen van Natuurmonumenten en de Loenermark wordt binnen het IM-scenario het nietsdoen beheer losgelaten door reguliere dunningen in te voeren. Het gevolg is dat het grove-dennenaandeel sterk afneemt, terwijl douglas en lariks zich uitbreiden. Ook is een geringe toename van eik, beuk en struiken te zien. De huidige eikenbossen blijven gehandhaafd, maar het grove-dennenbos verandert in een kleinschaligere menging met douglas, lariks en grove den. Alleen in W+ kunnen ondanks de begunstiging de loofboomsoorten niet meekomen en ontstaat overal een grove den-douglas menging. Veel van de huidige eikenbossen verdwijnen. In de verjonging zijn duidelijke verschillen met BAU waar te nemen. De dunningsactiviteiten geven zoveel lichtstelling in het bos dat de verjonging zich rijkelijk kan ontwikkelen, terwijl dit zich bij continuering van het nietsdoenbeheer veel minder voortdoet.

Als het nietsdoenbeheer in de bosreservaten van Staatsbosbeheer (Zwarte Bulten) en Natuurmonumenten (Imboschberg) in het IM-scenario blijft gehandhaafd, bestaat de dominantie van grove den na 100 jaar nog steeds, ook in het W+-scenario. Intensivering van beheersactiviteiten stimuleert dus de uitbreiding van douglas.

Bij de ouderdom van bossen binnen het IM-scenario zijn in 2070 wel verschillen met BAU zichtbaar, omdat aanpassingen binnen de scenario's vaak al binnen de eerste paar decennia van de simulaties plaatsvinden. Het aantal bossen met maximale leeftijd boven de 100 jaar is binnen het IM kleiner dan in BAU en PM. Slechts enkele opstanden halen 150 jaar en dit zijn dan overwegend door naaldbomen gedomineerde bossen. Hoewel er binnen het IM-scenario meer wordt geoogst, is de ontwikkeling van dood hout in de oude loofbossen binnen het IM-scenario vergelijkbaar met BAU. Het verschil tussen beide scenario's wordt gevormd door de niet-beheerde grove-dennenbossen uit BAU die binnen IM wel worden gedund, door middel van laagdunning. In deze bossen ontstaat daarom minder dood hout dan in BAU.

Voor enkele beheerders is de potentiële extra productie die de klimaatverandering met zich mee kan brengen een reden om te onderzoeken of omvorming van heidevelden naar bos inderdaad tot een grotere productie zal leiden (bijlage 1). In deze heideterreinen wordt in het IM scenario het actieve heidebeheer losgelaten zodat door successie een ontwikkeling naar bos plaatsvindt. In de Loenermark en het Staatsbosbeheer bos wordt hierbij ook grove den en douglas aangeplant. De ontwikkeling naar bos verloopt hierdoor sneller dan bij enkele heideterreinen van Natuurmonumenten waar in de helft van het oppervlakte de spontane opslag in de hei wordt verwijderd. De heide in deze laatste terreinen blijft daardoor vrij open.

De aanplant van douglas in de heideterreinen blijkt niet erg succesvol te zijn; op de dominantieplaatjes van D9 worden deze gebieden volledig gedomineerd door grove den (Figuur 8).

Door meer oogsten in het IM-scenario is de stormgevoeligheid lager dan in BAU. Gemiddeld genomen worden de bomen minder hoog doordat ze eerder geoogst worden. Het risico op natuurbrand is voor IM vooral gebonden aan de heidevelden. Waar gekozen wordt voor het laten dichtgroeien van de heide, is door het toenemen van opslag van bomen een verhoogd risico aanwezig. Het IM scenario heeft geen effecten op het risico op insectenplagen.

PM

Het PM beheer is erop gericht mogelijk nadelige effecten van de klimaatverandering te voorkomen. Dit kan het aanplanten of bevoordelen van soorten zijn die resistenter zijn voor droogte en storm. Voor verschillende beheerders zijn dit tamme kastanje (*Castanea sativa*) en winterlinde (*Tilia cordata*), al dan niet in combinatie met andere loofboomsoorten als eik, beuk en berk. In andere beheerseenheden is gekozen voor het op vroegere leeftijd kappen van de grove den gecombineerd met heraanplant met douglas en grove den. Ondanks de ruimte die er in het PM-beheer is voor loofbomen, laten de simulaties een afname zien van loofbossen (Figuur 7). Deze afname is groot onder de huidige eiken- en beukenbossen in bij

Natuurmonumenten. In 2070 zijn deze bossen sterk teruggedrongen en vervangen door mengingen met douglas, berk en eik. De eiken en beuken hebben in 2110 plaatsgemaakt voor gemengde bossen met douglas, grove den, lariks en berk waarin nog een klein aandeel van beuk en eik voorkomt. In de Loenermark is de teloorgang van het loofbos veel minder. Hoewel de omvang van de eikenbossen in het reservaat wel wat afneemt, zijn door aanplant in 2020 kleinere eikenbossen ontstaan in het onder PM-scenario als multifunctionele beheerde bos. Dunningen zijn hier gericht op naaldboomsoorten, waarbij alleen grove den en douglas mogen blijven. Loofbomen worden helemaal niet gedund. In de bossen van Natuurmonumenten wordt vooral grove den gedund, andere naaldsoorten komen minder voor. In de hele Loenermark is de bedekking van douglas toegenomen, net als in de bossen van Natuurmonumenten, de zuidrand van Staatsbosbeheer bos, Zimmermann, Rhedense Bossen, Middachten en Hof te Dieren. De bijmenging van naaldbomen in het oorspronkelijke loofbos is in het PM-scenario groter dan in de andere beheersscenario's. Grove den blijft binnen PM op de armere groeiplaatsen vaker als homogene opstand aanwezig dan binnen het IM-scenario. Deze dominantie is het grootst in het W+-scenario. In vergelijking met het IM wordt binnen PM grove den minder vaak vervangen.

Door eerder te dunnen in PM (vooral de hoogdunning wordt veel eerder ingezet) worden de bomen gemiddeld minder oud dan in BAU en IM. Dit effect is vooral in de tweede helft van de simulaties duidelijk waarneembaar (Figuur 10). De naaldbossen zijn veel jonger dan in BAU en IM, maar de leeftijdsverschillen zijn het grootst onder de loofbomen. Op 2070 is de leeftijd al lager dan in BAU en IM, in 2110 is dit verschil veel groter: ook de oude loofbossen van Natuurmonumenten en de Loenermark worden in PM nauwelijks ouder dan 100 jaar, waar ze in de beide andere scenario's plaatselijk boven de 200 jaar worden.

Door voorzichtiger te dunnen binnen het PM beheer is de bijgroei van het bos groter dan de huidige bijgroei en ook groter dan in BAU en IM het geval is. Als gevolg hiervan groeit ook de staande voorraad, meer nog dan bij het huidige beheer. Ondanks de dunningen is de sterfte binnen PM wel hoger. De accumulatie van dood hout in de bossen is in het PM beheer het hoogst. De oogst is maar iets lager dan in het IM.

Het PM-scenario heeft een lager storm risico dan de beide andere beheersscenario's. Het houdt de bossen meer gesloten wat een grotere stabiliteit met zich meebrengt. Wel is het risico iets hoger dan de huidige situatie. Bij gelijkblijvend of licht veranderend klimaat, is het risico op natuurbrand binnen het PM nauwelijks afwijkend.

5.3 Effecten klimaat

De simulaties laten weinig verschillen zien tussen de scenario's CurClimate en G. De klimaatsverandering in G werkt nauwelijks door in de bosontwikkeling. De veranderingen in dagtemperaturen en neerslag in het W+-scenario zijn veel groter en dat laat zich dan ook zien in de resultaten. Uit de voorspelde temperatuurontwikkeling en daaraan gekoppelde droogte (zie §2.4) blijkt dat de effecten van een W+-klimaat vanaf het vijfde decennium (2070) echt duidelijk worden.

Naarmate de klimaatverandering ten opzichte van het huidige klimaat groter is, zal het aandeel van naaldboomsoorten in het bos groter worden. Droogtegevoelige soorten hebben meer moeite zich te handhaven en worden vervangen door meer droogteresistente soorten. Voor de Zuidoost-Veluwe is douglas de meest droogteresistente soort, die zich vooral in het W+-scenario sterk uit kan breiden omdat soorten als beuk en zomereik moeite hebben te overleven. Er is hierbij van uitgegaan dat een droogteresistente variëteit van douglas wordt gebruikt. Douglas breidt zich binnen CurClimate en G ook wel uit, maar deze uitbreiding is meer afhankelijk van het beheer dat wordt gevoerd.

Andere droogteresistente soorten als grove den en berk handhaven zich onder het meer extreme klimaatscenario prima. Grove den wordt hierbij ook nog vaak aangeplant. Door dunningsactiviteiten ontstaan voor beide soorten gunstige kiemingsomstandigheden. Berk verdwijnt desondanks geleidelijk binnen dit scenario, waarschijnlijk omdat onder een dichter wordend douglasbos geen plaats meer is voor een lichtboomsoort als berk.

Alleen waar de loofbomen binnen BAU en IM actief behouden blijven door deze soorten niet te dunnen terwijl de naaldboomsoorten wel worden geoogst, kunnen de loofbomen in een W+-scenario een leeftijd tot 200 jaar bereiken (Veluwezoom). Elders waar douglas en grove den in de boomlaag behouden blijven (in IM in andere beheerseenheden en overal binnen het PM) worden de loofbomen minder oud. De achtergebleven grove dennen en douglassen zullen hier een betere groei vertonen dan de loofbomen die als gevolg van toegenomen concurrentie geleidelijk het onderspit delven. Ze overleven, maar vertonen nauwelijks groei of ze sterven helemaal en verdwijnen geleidelijk uit het bos. In gemengde bossen is de meer extreme droogte binnen W+ van grotere invloed op het bos dan het beheer van begunstiging van loofbomen. Oudere naaldbossen komen het meest voor binnen het W+-scenario bij gelijkblijvend beheer (BAU) en het minst in het IM-scenario.

De sterfte is binnen het W+ lager dan in de andere scenario's, maar geleidelijk neemt de hoeveelheid dood hout in het bos ook binnen het W+-scenario toe. Vanaf 2090 blijft de sterfte en de hoeveelheid dood hout constant. Dat er in W+ minder dood hout is dan in andere klimaatscenario's wordt verklaard door de combinatie van een lagere bijgroei en een lagere sterfte.

6 Discussie

6.1 Methodiek

De geprojecteerde bossituaties zijn gebaseerd op de uitvoer van het model LandClim. Zoals in elke modelstudie zijn de resultaten afhankelijk van de aannames over processen in het model, de parameterisatie van het model en de informatie over de uitgangssituatie die gebruikt is in het model. Elk van deze factoren wordt hieronder kort toegelicht, alsmede de verwachte invloed op de uitkomsten. Op basis van de uitkomsten van het model zijn vervolgens interpretaties gemaakt van de ontwikkeling van soorten en diensten die niet expliciet in het model meegenomen zijn.

Processen

Binnen LandClim wordt beheer gedefinieerd als een set oogst en plant regels. Als binnen de simulatie aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt, worden deze regels uitgevoerd. Dit kan bijvoorbeeld zijn het dunnen van de opstand bij het bereiken van een bepaald grondvlak, of het uitvoeren van een groepenkap bij het bereiken van een bepaalde hoogte. Bij deze ingrepen kan bijvoorbeeld gestuurd worden op boomsoortensamenstelling en/of stamtaal. Deze regels kunnen per beheerseenheid gedefinieerd worden, maar worden vervolgens ruimtelijk onafhankelijk uitgevoerd. Het modelbeheer simuleert hiermee een aantal belangrijke karakteristieken van het werkelijke beheer zoals zware of lichte dunning, eindkap of schermkap, vroeg of laat, maar mist de specifieke aandacht voor kwaliteit, landschap en houtmarkt die in het werkelijke beheer beslissingen mede sturen. Hierdoor ontstaat een ruimtelijke heterogeniteit in het model welke niet strookt met de huidige landschappelijke inrichting.

De groei van bomen in LandClim wordt bepaald door de hoeveelheid licht, water en nutriënten die ze tot hun beschikking hebben. Lichtbeschikbaarheid hangt af van de actuele samenstelling van het bos en is daarmee de voornaamste factor in concurrentie tussen de verschillende soorten. De beschikbaarheid van water hangt af van de hoeveelheid neerslag, verbruik door de vegetatie, en het vochthoudend vermogen van de bodem. Beschikbaarheid van nutriënten wordt alleen bepaald door de bodemsamenstelling. In de praktijk kennen bodemkarakteristieken ruimtelijke variatie en kan lokaal reliëf bijvoorbeeld beschikbaarheid van water beïnvloeden. Beschikbaarheid van nutriënten wordt mede beïnvloed door de verteerbaarheid van strooisel en de aanwezigheid van mycorrhiza. Dergelijke kleinschalige bodemvariatie en gedetailleerde processen ontbreken in het model, waardoor plaatselijk soorten zich zouden kunnen handhaven waar dat volgens het model niet mogelijk is.

In hoofdstuk 4.5 zijn de risico's op natuurlijke verstoringen besproken. Deze risico-inschattingen zijn gemaakt op basis van de gesimuleerde toestand van het bos. Er is voor gekozen om geen gebruik te maken van de LandClim-modules voor storm, brand en plagen. Voor natuurbrandrisico's is in plaats daarvan een ruwe index gebruikt om een inschatting te maken van het effect van klimaatverandering op de brandbaarheid van de vegetatie. De ruimtelijke patronen die dit oplevert, met name de risico's aan de randen van open gebieden (Figuur 17), zijn zeer herkenbaar vanuit de opgedane praktijkervaringen met het in ontwikkeling zijnde natuurbrandverspreidingsmodel (mond. med. Ester Willemsen, Instituut voor Fysieke Veiligheid). Het gebruik van een dergelijk natuurbrandverspreidingsmodel zou meer gedetailleerd inzicht kunnen leveren in de risico's van de verschillende simulatie uitkomsten. Dit verspreidingsmodel wordt gevoed door een topografische kaart, brandstofmodellen, windrichting, windsnelheid en luchtvochtigheid. Voor stormrisico is het model ForestGALES gebruikt en voor risico op insectenplagen is naar de literatuur gekeken. Voor beide verstoringstypes zou een uitgebreidere analyse mogelijk en wenselijk zijn. Doordat in de simulaties deze natuurlijke verstoringen

uitgesloten zijn, hebben verhoogde risico's geen effect op de modeluitkomsten. In de praktijk kunnen dergelijke verstoringen (meestal plaatselijk) echter een grote invloed hebben op de bosontwikkeling.

Binnen het studiegebied komen verschillende groepen herbivoren voor, zoals ree, edelhert, damhert, wild zwijn rund en paard (Groot Bruinderink et al. 2004). Deze herbivoren hebben invloed op de ontwikkeling van de vegetatie. Zowel door (wild)beheer als door populatie-dynamische en ruimtelijke processen is de graasdruk in het studiegebied niet overal en altijd gelijk. Binnen de simulaties is de begrazingsdruk echter een parameter die alleen ruimtelijk kan variëren en in de tijd vast staat. Het effect van herbivoren op de vestiging en verjonging is daardoor constant in de tijd, dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de modelstudie van Groot Bruinderink et al. 2004).

Parameterisatie

Om de ontwikkeling van de vegetatie te simuleren heeft LandClim een groot aantal parameters nodig. Voor de meeste parameters zijn de waarden geschat op basis van literatuuronderzoek, vaak zijn waarden gebruikt die voor eerder onderzoek met LandClim verzameld zijn. De boomsoorten worden gekarakteriseerd met 18 parameters. Variatie binnen soorten (bijvoorbeeld als gevolg van het gebruik van verschillende herkomsten) wordt niet meegenomen in de simulatie. Binnen deze studie is gekozen om parameterwaarden te schatten over het gehele natuurlijke verspreidingsgebied van de betreffende soorten. Hierdoor kan het gedrag van bepaalde soorten in het model anders zijn dan de lokale ervaring met deze soorten.

Uitgangssituatie

Voor dit onderzoek is de situatie in 2010 als referentie gebruikt. De gedetailleerde gegevens die nodig zijn voor LandClim zijn echter afkomstig uit het werk van Groot Bruinderink et al. (2004) en Kramer et al. (2006). Deze gegevens grijpen terug op de vierde bosstatistiek (1980-1984). Op basis van deze gegevens is de toestand van het bos rond 1980 gedetailleerd beschreven. Op basis van gesprekken met de huidige beheerders en de weergegevens van 1980-2010 is vervolgens een modelprojectie gemaakt van de situatie in 2010. Hoewel deze projectie waar mogelijk gevalideerd is met behulp van meetgegevens en beheerders, zal de gebruikte referentie afwijken van de werkelijke lokale situatie rond 2010. Omdat de scenario's onderling vergeleken worden heeft dit op de uitkomsten geen invloed.

Keuze klimaatscenario's

Het KNMI geeft voor Nederland 4 klimaatscenario's die de range van klimaatverandering weergeeft welke het KNMI waarschijnlijk acht. Van deze 4 hebben we het minst extreme (G) en het meest extreme (W+) gebruikt om de bosontwikkeling te simuleren. De tussenliggende scenario's zijn niet doorgerekend, maar zullen waarschijnlijk qua effect tussen deze twee inliggen. W+ leidt tot flinke verschillen ten opzichte van huidig klimaat en het G scenario. Uit deze simulaties kan niet afgeleid worden bij welke mate van klimaatverandering dit soort veranderingen wel of niet optreden.

6.2 Vergelijking met andere studies

De Zuidoost Veluwe is in een eerdere modelstudie ook gebruikt als studiegebied (Groot Bruinderink et al. 2004, Kramer et al. 2006). In die studie werd het model ForSpace toegepast. De processen van vegetatie groei zijn in grote lijnen vergelijkbaar met LandClim. Een belangrijk verschil is echter dat de herbivoren in ForSpace expliciet worden gemodelleerd. De graasdruk (met name op de verjonging) kan dus in de tijd variëren als gevolg van ontwikkelingen in de populaties. De scenario's zijn dan ook expliciet gericht op het effect van het reguleren van de populaties van herbivoren. In termen van bosbeheer wordt alleen onderscheid gemaakt tussen wel en niet beheren. Effecten van klimaatverandering zijn niet meegenomen. De ForSpace simulaties zijn gedaan over een periode van 50 jaar. Omdat de boomlaag in die 50 jaar niet noemenswaardig beïnvloed werd door de scenario's zijn de resultaten alleen gepresenteerd voor de struiklaag. De struiklaag (2-

8m hoogte) geeft een indruk van de nieuwe generatie bomen en daarmee een beeld van wat er op de langere termijn te verwachten valt. Over het algemeen komen de conclusies van de twee studies aardig overeen. Ook in de LandClim simulaties wordt het effect van beheer in de boomlaag pas duidelijk zichtbaar na 50 jaar. Een conclusie van de ForSpace studie was dat douglas bij nietsdoen beheer de grote winnaar in de struiklaag is. In de LandClim simulaties verjongt de douglas zich wel met mate in de onbeheerde bossen, maar pas aan het eind van de simulaties, als de grove dennen beginnen af te takelen neemt het stamtal flink toe. In de omringende beheerde bossen gaat deze ontwikkeling sneller, waarschijnlijk doordat douglas meer licht krijgt door ingrepen in de boomlaag. Waarschijnlijk is dit te wijten aan een verschil in de aangenomen schaduw tolerantie van de douglas. In zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied in Noord Amerika wordt de douglas als pioniersoort beschouwd, terwijl de douglas in Europe zich gedraagt als schaduw-tolerante soort. De waargenomen opmars van de douglas in de LandClim simulaties zou dus zelfs nog iets onderschat kunnen zijn.

6.3 Interpretatie

Het PM-scenario sorteert voor op de gevolgen van een sterke klimaatverandering, zoals weergegeven in het W+ klimaatscenario. Dit beheer heeft met name voor de biodiversiteit (soorten en habitattypen) negatieve gevolgen en ook de brandrisico-index is in dit scenario groter dan in andere beheersscenario's. Wanneer voor een dergelijk beheer gekozen wordt en de klimaatverandering is minder sterk dan het W+ scenario voorspelt, gaan dus waarschijnlijk veel natuurwaarden verloren, die niet zomaar terug te krijgen zijn.

In de simulaties worden de effecten van het W+ scenario pas zichtbaar na een periode van 40-50 jaar, waarbij de klimaat effecten de effecten van het gevoerde beheer overstemmen. Op die termijn is ook duidelijker waar te nemen in welke mate het klimaat daadwerkelijk verandert. Nu al anticiperen op klimaatverandering in de vorm van een PM beheer is dus onnodig risico's nemen met betrekking tot behoud van biodiversiteit.

Het IM-scenario gaat uit van meer oogstmogelijkheden als gevolg van klimaatverandering, zoals bijvoorbeeld te verwachten in een G klimaat scenario. Hoewel de oogst inderdaad hoger is in dit geval, neemt de voorraad langzaam af. Daarbij heeft IM negatieve effecten op een aantal diensten en risico's. Onder huidig klimaat zijn de effecten wat milder, maar onder het W+ klimaat zijn de negatieve effecten juist groter. Het IM beheer in de voorgestelde vorm lijkt daarmee te extreem geformuleerd te zijn, en levert risico's op vooral in combinatie met een wat extremere klimaatverandering. In individuele gevallen kan een verhoging van de productie echter best mogelijk zijn.

Voortzetting van het huidige beheer geeft bij gelijkblijvend klimaat of geringe klimaatsverandering de beste continuering voor de bestudeerde diensten in het gebied. Mocht er sprake blijken van een sterke klimaatverandering dan gaan waarden verloren. Het is dan afhankelijk van welke prioriteiten een beheerder stelt: bij een productiedoelstelling is een PM beheer de beste optie, voor soorten diversiteit is continuering van het huidige beheer een betere optie.

In de bosreservaten blijft binnen IM de grove-dennendominantie gehandhaafd, net zoals in alle niet beheerde bossen binnen BAU. In reservaten waar het nietsdoen beheer bij IM wordt losgelaten wordt douglas veel dominantier. Hieruit is af te leiden dat de intensivering van het beheer tot gevolg heeft dat douglas veel terrein wint. Grove den handhaaft zich het best bij een nietsdoen-beheer. Hoe minder er dus wordt gerommeld, des te minder kansen er voor douglas zijn. Toch is dit waarschijnlijk maar een tijdelijk effect; wat gebeurt er als de grove dennen aan het eind van hun leven zijn gekomen? Vindt er bij het afsterven natuurlijke verjonging plaats met grove den of neemt verjonging van douglas het over? Daarbij zal enige verstoring nodig zijn zodat er een vestigingsklimaat ontstaat. Veel bodemverstoring is ook gunstig voor grove den en berk, maar als douglas mee verjongt, zal deze de dominantie uiteindelijk over gaan nemen.

De W+ scenario's leiden tot een forse toename aan droogte-resistente soorten zoals grove den en douglas, welke echter ook als brandgevaarlijk worden beschouwd. Doordat sturen op minder brandbare (loofboom)soorten lastig is in dit scenario zal natuurbrandpreventie zich meer moeten richten op maatregelen als compartimentering en het reguleren van de brandstof opbouw in de vegetatie.

6.4 Conclusies

De simulaties laten zien dat de homogene, scherp begrensde opstandstructuur uit de initiële fase verdwijnt en kleinschaliger mengingen van naald- en loofbomen ontstaan. In alle scenario's blijft over een groot gebied grove den een belangrijke soort, terwijl douglas op veel fronten terreinwinst maakt en vaak dominant wordt. Het aandeel loofboomsoorten neemt toe binnen de BAU en IM scenario's bij gelijkblijvend of matig veranderend klimaat, maar het oppervlak ongemengde loofbossen neemt af. Het PM scenario handhaaft een individuele menging van loof- en naaldbomen als gevolg van het bevoordelen van droogteresistente boomsoorten. In gebieden met een nietsdoen beheer blijft de dominantie van grove den lang gehandhaafd, terwijl in huidige reservaten waar beheersingrepen wel weer worden toegestaan vooral douglas steeds belangrijker wordt.

Bij een geringe klimaatverandering zoals samengevat in scenario G, zijn de ontwikkelingen in het bos vergelijkbaar met die bij een gelijkblijvend klimaat. De gevolgen van een meer extreme klimaatsverandering in het W+-scenario overtreffen de beheerseffecten op de boomsoortensamenstelling. Binnen dit scenario is een duidelijke tendens naar dominantie van droogteresistente (naaldboom)soorten zichtbaar; grove den op de armere zandgronden, douglas op de rijkere gronden. Droogtegevoelige soorten als beuk en eik blijven alleen dominant aanwezig in het zuidelijke deel van het gebied, op de lemigere gronden met een betere vochtvoorziening. Het inbrengen van winterlinde of tamme kastanje als maatregel tegen de gevolgen van klimaatverandering heeft geen merkbaar effect in de simulaties.

De Oude eikenbossen blijven voor scenario's CurClimate-BAU, CurClimate-IM, G-BAU en G-IM vrijwel in zijn geheel behouden. Binnen de W+- en PM-scenario's is een grote verschuiving naar door douglas of grove den gedomineerde bossen te zien (bijlage 2). Ook bij een gelijkblijvend beheer dat gericht zou moeten zijn op de instandhouding van dit habitatype, verdwijnen in W+ vrijwel alle eikenbossen, al is het aandeel douglas in deze bossen veel kleiner dan in de andere bossen. Grove den wordt de hoofdboomsoort, douglas is bijgemengd. Dit zal het lichtklimaat enigszins beïnvloeden en de kruid- en moslaag zal er minder uitbundig ontwikkeld zijn, maar de typische soorten voor deze bossen kunnen in het systeem aanwezig blijven. Dit wordt lastiger voor de PM scenario's waarin de helft van de zomereikenbossen en ruim een derde van de wintereikenbossen veranderen in douglasbossen. Deze bossen worden veel donkerder waardoor waarschijnlijk veel kruiden en mossen verdwijnen. Ook vindt een andere humusprofielopbouw plaats.

De habitatypen Beuken-eikenbossen en de Heidetypen zullen minder goed behouden kunnen blijven, ook bij het huidige beheer en klimaat.

De verschillende ecosysteemdiensten in het studiegebied worden veelal negatief beïnvloed door beide beheervormen die voorsorteren op de effecten van klimaatverandering. Uiteindelijk is de keuze voor een beheervorm op een bepaalde plek een individuele afweging van de beheerders tussen de verschillende verwachte effecten. Op grond van de modelresultaten lijkt continuering van het bestaande beheer voorlopig een prima keuze. Wel is het belangrijk om zowel de ontwikkeling van het bos als die van het klimaat te blijven volgen, zodat bijgestuurd kan worden indien noodzakelijk of gewenst.

6.5 Aanbevelingen

6.5.1 Aanbevelingen voor het beheer en beleid

Adaptief beheer kan bij verschillend klimaat een andere bosontwikkeling te zien geven. Omdat op dit moment nog niet duidelijk is in welke mate het klimaat verandert, is het verstandig niet te vroeg te kiezen voor het begunstigen of uitsluiten van bepaalde boomsoorten. Dit kan onder meer leiden tot het verlies van natuurwaarden die niet meer terug te verkrijgen zijn, zoals het voorkomen van oud-bossoorten. Streven naar een gevarieerde boomsoortensamenstelling is in de meeste gevallen een manier om ruimte te houden om op toekomstige ontwikkelingen in te kunnen spelen.

Voor het habitattype Beuken-Eikenbos blijkt uit de simulaties dat een continuering van het huidige beheer niet perse leidt tot een handhaving van dit type. Een kwart van het oppervlak zou verdwijnen door uitbreiding van niet-karakteristieke soorten, met name douglas. Gezien de instandhoudingsverplichting van dit type, zou bekeken moeten worden onder welke omstandigheden deze soorten zich kunnen uitbreiden en hoe het beheer daarop zou kunnen inspelen.

Hoewel specifieke scenario's ontbreken, lijkt het instandhouden van de huidige habitattypen Beuken-eikenbossen en Oude eikenbossen op een aantal locaties waarschijnlijk moeilijk realiseerbaar onder het W+ scenario. De huidige regelgeving houdt echter geen rekening met dit soort gevallen, waardoor compenserende of adaptieve maatregelen niet zijn toegestaan.

6.5.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Op basis van de in deze studie uitgevoerde simulaties en interpretaties ervan, zijn een aantal richtingen voor verder onderzoek af te leiden:

1. Hoe reageert de bosontwikkeling op de tussenliggende klimaatscenario's G+ en W? Welke aspecten en welke mate van klimaatverandering zorgt voor verschillen tussen de scenario's?
2. Wanneer moet een beheerder zijn beheer aanpassen? Welke signalen in het veld geven een indicatie voor mogelijk veranderingen door klimaatverandering?
3. Hoe kunnen de resultaten omgezet worden in concrete acties door beheerders? Kunnen beheerders uit de voeten met deze resultaten?
4. Onderzoek naar de mate van mogelijke adaptatie door de huidige boomsoorten en herkomsten in het studiegebied. Hoe droogteresistent zijn de beuk en de douglas nu echt?
5. Ontwikkeling van betere methodes om effecten van de simulaties op biodiversiteit te bepalen, met name toepassing op belangrijke soorten.
6. Ontwikkeling van betere methodes om risico's van brand weer te geven in de verschillende simulaties. Een mogelijkheid zou zijn het toepassen van het natuurbrandverspreidingsmodel dat nu in Nederland operationeel gemaakt wordt. Ook het ontwikkelen van een index die zowel vegetatie als klimaat meeneemt is van belang.
7. Hoe kan het beheer inspelen op verhoogd brandrisico, welke maatregelen kunnen eventueel genomen worden en waar zijn deze het meest effectief? Daarbij valt te denken aan het inrichten van bufferzones, compartimentering, aanleg van brandgangen, ingrepen in de bosstructuur en verminderen van de brandstofopbouw op strategische locaties.
8. Welke plaagsoorten zijn belangrijk om in de gaten te houden, nu en in de toekomst? Welke soorten doen zich zuidelijk van ons voor die ons bos mogelijk kunnen koloniseren als het klimaat verandert?
9. Kan beheer de stormrisico's verlagen, en hoe groot is de kans op storm en schade onder veranderend klimaat?
10. Effecten van verstoringen op de bosontwikkeling meenemen in de modelsimulaties.
11. Analyse van meer ecosystemendiensten, zoals effecten van klimaat en vegetatie op de drinkwaterwinning.

Literatuur

Bijlsma, R.J. 2002. Bosrelicten op de Veluwe. Een historisch-ecologische beschrijving. Wageningen, Alterra-rapport 647.

Bijlsma, R.J., H. van Blitterswijk, A.P.P.M. Clerkx, J.J. de Jong, M.N. van Wijk & L.J. van Os. 2001. Wageningen, Alterra-rapport 193.

Bijlsma, R.J., J.A.M. Janssen, R. Haveman, R.W. de Waal & E.J. Weeda. 2009. Natura 2000 habitattypen in Gelderland. Wageningen, Alterra-rapport 1769.

Boer, T.A. de, E. Gerritsen & J.K. van Raffe. 2001. Belevens van bosbeelden. Een methode voor de bepaling van belevingswaarde van bosbeelden en de resultaten van een pilotonderzoek uitgevoerd met deze methode. Wageningen, Alterra Research Instituut voor de Groende Ruimte. Alterra-rapport 250.

Edwards, D. M., M. Jay, F. S. Jensen, B. Lucas, M. Marzano, C. Montagné, A. Peace, and G. Weiss. 2012. Public preferences across Europe for different forest stand types as sites for recreation. *Ecology and Society* 17(1): 27. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04520-170127>

Fanta, J. 1995. Beuk (*Fagus sylvatica* L.) in het Nederlandse deel van het NW-Europees diluvium. *Nederlands Bosbouw tijdschrift* 67(6): 225-234.

Hees, A.F.M. van & A.P.P.M. Clerkx. 1999. Dood hout in de bosreservaten. *De Levende Natuur* 100 (5) 168-172.

Hommel, P.W.F.M., Th. Spek & R. de Waal, 2002. Boomsoort, strooiselkwaliteit en odergroei op verzuringsgevoelige bodem, een verkennend literatuur- en veldonderzoek. Rapport 509. Alterra, Wageningen.

Gardiner, B., Suárez, J., Achim, A., Hale, S. and Nicoll, B. (2004). *ForestGALES: A PC-based wind risk model for British Forests. User's Guide Version 2.0.* Forestry Commission, Edinburgh.

Groot Bruinderink, G.W.T.A., R.J. Blijlsma, J. den Ouden, C.A. van den Berg, A.J. Griffioen, I.T.M. Jorritsma, R. Kluiver, K. Kramer, A.T. Kuiters, D.R. Lammertsma, H.H.T. Prins, G.J. Spek & S.E. van Wieren. 2004. De relatie tussen bosontwikkeling op de Zuidoost-Veluwe en de aantallen edelherten, damherten, reeën, wilde zwijnen, runderen en paarden. Wageningen. Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte.

Kramer, K., H. Baveco, R.J. Blijlsma, A.P.P.M. Clerkx, J. Dan, T.A. Groen, G.W.T.A. Groot Bruinderink, I.T.M. Jorritsma, J. Kalkhoven, A.T. Kuiters, D. Lammertsma, H.H.T. Prins, M. Sanders, R. Wegman, S.E. van Wieren, S. Wijdeven & R. van der Wijngaart. 2001. Landscape forming processes and diversity of forested landscapes – description and application of the model FORSPACE. Wageningen Alterra-report 216.

Van Manen W., van Diermen J., van Rijn S. & van Geneijgen P. 2011. Ecologie van de Wespandief *Pernis apivorus* op de Veluwe in 2008-2010, populatie, broedbiologie, habitatgebruik en voedsel. Natura 2000 rapport, Provincie Gelderland Arnhem NL / stichting Boomtop www.boomtop.org Assen.

- Moraal, L.G., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Siepel, H., Schelhaas, M.J., Martakis, G.F.P., 2004. Verschuivingen van insectenplagen bij bomen sinds 1946 in relatie met klimaatverandering. Met aandacht voor de effecten van stikstofdepositie, vochtstress, bossamenstelling en bosbeheer. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 856. 66 p.
- Ouden, J. den. 2000. The role of bracken (*Pteridium aquilinum*) in forest dynamics. Thesis Wageningen University
- Schelhaas, M.J. and Moriondo, M. 2007. Bosbrand en klimaatverandering. Vakblad Natuur Bos Landschap 4(8):13.
- Schumacher, S., H. Bugmann, and D. J. Mladenoff. 2004. Improving the formulation of tree growth and succession in a spatially explicit landscape model. *Ecological Modelling* 180:175-194.
- Schumacher, S. and H. Bugmann. 2006. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology* 12:1435-1450.
- Schumacher, S., B. Reineking, J. Sibold, and H. Bugmann. 2006. Modeling the impact of climate and vegetation on fire regimes in mountain landscapes. *Landscape Ecology* 21:539-554.
- Sierdsema, Henk, Jan van Diermen, Bram Aarts, Loes van den Bremer en André van Kleunen. 2008. Factsheets van broedvogels in de Natura 2000-gebieden van Gelderland. Sovon rapport 2008/14.

Bijlage 1 Beheerscenario's per beheerseenheid

		BAU	IM	PM
10	Rheden Stuifzand	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
11	Rheden Heide	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
12	Rheden Bos	Toekomstbomenselectie met loofbomen, struiken worden verwijderd Dunningen wanneer Hdom 15m/dbh> 10 is bereikt: beuk, eik en linde tot 100st/ha, overige soorten tot 75st/ha Toekomstbomen eendoogst voor 90% oppervlak als Hdom>20m: loofbomen> 55 cm, grove den>40, overige soorten > 35 cm Prunusbestrijding Geen aanplant	Toekomstbomenselectie met productiedoelstelling, wb loofbomen worden begunstigd. Dunning vanaf Hdom>15m/dbh>10cm:als in BAU Eendoogst vanaf Hdom>20m: loofbomen en douglas> 55 cm, grove den> 40, overige soorten>35 cm Herplant na oogst over 5% oppervlak met douglas (100st), grove den (50 st), bijmenging beuk en zomereik (20 st) Sporkehout en Prunusbestrijding	Omvorming van grove den als opperhoogte >15m: op 1/3 van oppervlakte wordt 80% van groveden met dbh>15 verwijderd Hoogdunning vanaf opperhoogte = 25m voor alle gd (dbh>40) over gehele oppervlakte. Planten over 5% oppervlak met douglas, beuk, eik, berk, linde, t.kastanje, 250st/ha na oogst in de eerste 2 decennia.
21	Nieuwe Kamp	Productiedoelstelling Dunningen wanneer Hdom>15 m/dbh> 15: terugbrengen stamtel 100st/ha voor lariks, douglas, grove den, beuk, eiken, overige soorten tot 50st/ha Hoofdunning vanaf Hdom=17.5m: alle bomen dbh>30cm tot 10 st/ha Over 5% oppervlak na oogst van bomen dbh>30, heraanplant met douglas, beuk, zomereik en Am. Eik 25st/ha Prunusbestrijding	Productiedoelstelling Dunning als BAU, biomassa oogst ligt iets hoger dan BAU Over 5% oppervlak na oogst van bomen dbh>30: heraanplant met douglas (100st), grove den (100 st) beuk, zomereik en Am. Eik 10 st/ha Prunusbestrijding	Dunning van alle grove dennen dbh >15 cm vanaf opperhoogte = 15m over 50% oppervlakte Hoogdunning 90% van alle bomen met dbh>40 als boomhoogte van 17.5 m over hele oppervlakte. Rest is overstaander Na oogst in eerste 4 decennia wordt in 5% van oppervlakte herplant met douglas en grove den (250 st/ha) en bijmenging van 6 loofboomsorten (100st/ha)
31	Staatsbosbeheer Heide	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Omvorming naar productiebos met aanplant in D0 van grove den en douglas (500st/ha), berk, beuk en zomereik (50 st/ha) Dunningsinterval in 40% gebied vanaf Hdom>12.5 m, dbh>10 Eendoogst bij Hdom>22m: grove den dbh> 45; Douglas, beuk, eik: dbh> 60 cm; overige soorten dbh>40 Overstaanders 4/ha/soort	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
32	Staatsbosbeheer Rozendaalse Bos	Toekomstbomenselectie Dunningen vanaf Hdom>17.5/dbh>15: beuk, eiken, linde met dbh>10 terug tot 100 st/ha, overige soorten tot 75 st/ha Toekomstbomen eendoogst voor 80% oppervlak als Hdom>17.5m: douglas, beuk, eiken dbh>55, linde dbh>45, grove den dbh>40. Overstaanders 1/soort/ha Prunusbestrijding Geen aanplant	Toekomstbomenselectie met productiedoelstelling. Dunning bij Hdom>15/dbh>15:beuk, eiken, linde: dbh>10 tot stamtel 100/ha/srt Oogst bij Hdom>17.5m: douglas, beuk, eiken dbh>55, grove den dbh>40, linde dbh>45, overige soorten dbh>35 Overstaanders 1/soort/ha Aanplant na oogst 5% oppervlak:douglas 200/ha grove den 50, beuk, zomereik, linde 25st/ha Prunusbestrijding	Korte omlopen Dunning bij Hdom>17.5m/dbh>15cm over 50% oppervlakte: 80% van alle bomen met dbh>10 Geen aanplant

		BAU	IM	PM
33	Staatsbosbeheer Nietsdoen rond Plagdel	Nietsdoen	Nietsdoen	Nietsdoen
34	Staatsbosbeheer Tilia in Rozendaalse bos	Toekomstbomeneselctie met dunningen als in Rozendaalse bos(boven) met aanplant kleine groepen linde 2m, 10000st/ha in D0 Prunusbestrijding	Productiedoelstelling als in Rozendaalse bos Prunusbestrijding	Korte omlopen als in Rozendaalse bos Geen aanplant
35	SBB ZwarteBulten Bosreservaat	Nietsdoen	Nietsdoen	Nietsdoen
41	Middachten	Dunningen 50% oppervlakte bij Hdom>12.5 Oogst vanaf Hdom>22m over 50% oppervlakte:douglas, beuk, eiken dbh>60cm, linde dbh>50, grove den dbh>45, overige soorten dbh>40. Overstaanders: 4/soort/ha Prunusbestrijding Geen aanplant	Productiedoelstelling Dunning en oogst als in BAU Prunusbestrijding Aanplant na oogst: douglas 110 st/ha, beuk en zomereik 50/ha, grove den 10/ha	Over 75% oppervlakte: Dunning Hdom>15m/dbh>10cm: fijnspar, sitkaspar, lariks, zilverden 80% van stammen dbh>10 In D0 aanplant tamme kastanje en winterlinde 250st/ha, beuk, eiken, berk: 25/soort/ha Over hele oppervlakte: bij Hdom>20 dunning 30% bomen dbh>15 Hoogdunning Hdom>20m: 90% bomendbh>40
51	Natuurmonumenten Nietsdoen beheer	Nietsdoen	Multifunctioneel bosbeheer dunning bij Hdom>15m/dbh>10cm: 50% van alle bomen dbh>10: alle naaldbomen dbh>10. Beuk, eiken en linde worden niet gedund Geen aanplant	Pinusconversie: In een derde oppervlakte bij Hdom>15m: verwijderen grove den dbh>15cm Hoogdunning bij Hdom>20m hele oppervlakte: alle bomen dbh>40cm Geen aanplant
52	Natuurmonumenten bosreservaat Imboschberg	Nietsdoen	Nietsdoen	Nietsdoen
54	Natuurmonumenten multifunctionele bos	Multifunctioneel bosbeheer Dunning bij Hdom>15m/dbh>10cm: alle bomen dbh>10 muv beuk, eiken, linde Geen aanplant	Als NM-nietsdoen beheer	Als NM-nietsdoen beheer
55	Natuurmonumenten Stuifzand	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding stuifzand (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
56	Natuurmonumenten Heide	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
57	Natuurmonumenten Heide omvorming	Er wordt selectief opslag verwijderd: lariks, zwarte en grove den, douglas, prunus en sporkehout bij opslag, overige soorten bij dbh>20	Heide wordt deels opgehouden door 50% van opslag met dbh>7.5 cm te verwijderen	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt verwijderd)
58	Natuurmonumenten aanplant Tilia in delen van het NM-Multifunctionele bos	Aanplant van winterlinde in D0: 10000 st/ha, 2 m hoog Dunningen bij Hdom>15m/dbh>10 cm: 50% van bomen met dbh>10 cm. Alle beuken, eiken en lindes worden hierbij gespaard	Als in BAU	Geen aanplant van linde Bij Hdom>15m: 50% van grove den dbh>10 cm wordt gedund. Overige soorten worden gespaard. Hoogdunning bij Hdom>20m: 90% van bomen met dbh>40 wordt geoogst
61	Loenermark Heide	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt	Omvorming naar productiebos door aanplant van	Instandhouding heide (alles dbh>7.5 cm wordt

		BAU	IM	PM
		verwijderd)	douglas en grove den (500st/ha/soort) in D0. Bijmenging met beuk, zomereik en berk 25/soort/ha. Dunning bij Hdom>12.5m: 40% van bomen met dbh>10 Oogst bij Hdom >22m: 90% van bomen: douglas, beuk, eiken: dbh>60, linde dbh>55cm, grove den dbh>45 cm Overstaander 4/soort/ha	verwijderd)
62	Loenermark Bos	Toekomstbomenselectie Dunning bij Hdom>17.5m/dbh>15cm: begunstigen beuk, eiken, linde tot 100st/ha, overige soorten dbh>10 tot 75st/ha Eindoogst bij Hdom> 25 m, 80% van bomen: douglas, beuk, eiken dbh>55cm, linde dbh>45cm, grove den dbh>40cm, overige soorten dbh>35 cm Overstaanders 1/soort/ha Prunusbestrijding Geen aanplant	Productiedoelstelling met natuurlijke verjonging Dunning Hdom>17.5m/dbh>15cm: beuk, eiken en linde dbh>10 tot 100st/ha, overige soorten 75 st. Oogst bij Hdom>24m: douglas, beuk, eiken dbh>55cm, linde dbh> 45 cm, grove den dbh> 40cm, overige soorten> 35 cm. Overstaanders 1/soort/ha	Een derde van oppervlakte: dunnen bij Hdom>15m/dbh>10cm: 80% van lariks en sparren dbh>20 cm, grove den en douglas dbh>20 tot 100 st/ha, overige soorten niet dunnen Na oogst in D0-D2 aanplant van beuk, eiken, tamme kastanje en linde 25st/soort/ha Hoogdunning bij Hdom>25m: 90% van alle bomen dbh>40 cm
63	Loenermark Reservaat	Opslag van douglas, lariks, sparren, Amerikaanse eik, hulst, prunus wordt verwijderd. Geen dunningen of oogst van overige soorten	Als Loenermark Bos	Als Loenermark Bos
71	Twickel- Hof te Dieren	Toekomstbomenselectie Dunning bij Hdom>15m/dbh>15 cm: loofboomsoorten worden begunstigd tot 100st/ha, overige soorten 75st/ha Oogst bij Hdom>25 m: 75% van alle bomen met dbh>30 cm	Productiedoelstelling: dunning bij Hdom>15m/dbh>15 cm: begunstiging van loofbomen beuk, eiken en linde: tot 100st/ha, overige soorten 75st/ha Oogst bij Hdom>22.5m: beuk, eiken, douglas en linde: dbh>50, grove den dbh>35 cm, overige soorten dbh>30 cm Overstaanders 4/soort/ha Planten na oogst 5% van oppervlakte: beuk en zomereik: 200 st/ha, douglas: 100st/ha Prunusbestrijding	75% van de oppervlakte: Dunning bij Hdom>15m/dbh>10cm: 80% van alle sparren, lariks en zilverden met dbh>10cm worden verwijderd. Overige soorten met dbh>15 cm:30% wordt verwijderd. Hoogdunning bij Hdom>20m: 90% van alle bomen met dbh>40cm Op 5% van oppervlakte wordt na dunning in D0 winterlinde en tamme kastanje (elk 250st/ha) geplant met bijmenging van beuk, eiken en berk (elk 25st)
72	Twickel- Schaddevelden	Toekomstbomenselectie als in Hof te Dieren Planten na dunning bij Hdom>17.5 en 90% van bomen met dbh>30cm : kleine groepen van douglas 25st 1.3m	Productiedoelstelling: dunning bij Hdom>14m/dbh>15cm: alle soorten met dbh>10 terugbrengen tot 75st/soort/ha Oogst bij Hdom>17.5m: alle soorten met dbh>30cm terugbrengen tot 10 st/soort/ha Planten 5% oppervlakte: douglas 500st, grove den 250 st/ha	Dunning van alle grove dennen dbh >15 cm vanaf opperhoogte = 15m over 50% oppervlakte Hoogdunning 90% van alle bomen met dbh>40 als boomhoogte van 17.5 m over hele oppervlakte. Rest is overstaander Na oogst in eerste 4 decennia wordt in 5% van oppervlakte herplant met douglas en grove den (250 st/ha) en bijmenging van 6 loofboomsoorten (100st/ha) wo linde en kastanje

Bijlage 2 Beschrijving van de ontwikkelingen per beheerder

Veluwezoom – Natuurmonumenten

In bijlage 1 is voor elk beheerscenario het gevoerde beheer gegeven voor de verschillende beheerseenheden binnen de Veluwezoom. Voor de bespreking hieronder zijn enkele beheertypen samengevoegd. In de simulaties zijn de verschillende beheertypen wel afzonderlijk doorgerekend. In dit rapport worden vier hoofdgroepen besproken:

- Bos Nietsdoen beheer (No-intervention, is Nietsdoen beheer en bosreservaat Imboschberg)
- Bos multifunctioneel, (multifunctioneel en Tilia aanplant)
- Heide (Heath maintain)
- Heide omvorming (Heath no-intervention)

Een paar weinig voorkomende typen worden buiten beschouwing gelaten (NM-cultural en NM-stuifzand).

Bos Nietsdoen-beheer

In het grootste deel (ongeveer 56%) van de Veluwezoom worden geen beheersingrepen uitgevoerd. In BAU wordt dit gehandhaafd. In IM en PM echter wordt het nietsdoen-beheer losgelaten. In IM wordt een multifunctioneel bosbeheer gevoerd waar bij dunningen de helft van alle naaldbomen worden verwijderd. Loofbomen worden bij deze dunning gespaard. Deze dunningen worden frequent herhaald. In PM wordt in een derde van het oppervlak alle grove dennen met een dbh > 15 cm gedund. Deze dunningen zijn gemiddeld minder intensief, maar hebben een piek in 2050. In bosreservaat Imboschberg wordt in geen enkel scenario beheer gepland.

In de Imbos is bij een gelijkblijvend beheer BAU (nietsdoen) na 90 jaar de dominantie van grove den onveranderd. Het grondvlak is aanvankelijk sterk toegenomen en bereikt waarden van boven de 40m²/ha rond 2070, om vervolgens weer iets af te nemen. De soortenverhouding blijft onveranderd, de blokken zomereik en wintereik hebben na 90 jaar nog steeds dezelfde vorm. De door berk gedomineerde opstanden worden geleidelijk overgenomen door grove den. Het open terrein (De Braak) in de noordwest hoek van de Imbos wordt gedomineerd door ruwe berk, maar alleen bij CurClim. Douglas breidt zich in alle klimaatscenario's uit vooral ten noorden en rondom van de oude Imbos enclave. Deze uitbreiding is het sterkst in het W+-scenario. Onder het W+- scenario verdwijnen de eiken- en berkenopstanden van de Imbos grotendeels en worden vervangen door grove den en douglas.

Beuk komt in het niet-beheerde bos vooral voor in de Imbos. Vanuit de beukenlanen van de Ringallee is hij redelijk verspreid in het bos. Onder BAU is na 5 decennia te zien dat de beuk meer geclusterd, maar op minder plaatsen voorkomt met grondvlakken tot boven de 20 m²/ha. In W+ is de verspreiding het verst teruggelopen en na 90 jaar komt beuk nog maar op een paar plekje voor en zijn ook in de directe omgeving van de huidige lanen geen beuken meer aanwezig. Het nietsdoen-beheer leidt tot een snelle toename van dood hout. De hoeveelheden zijn het grootst in de oude bossen Essop en Onzalige Bossen. De hoeveelheden nemen in de tweede helft van de komende eeuw weer geleidelijk af. De hoogste concentraties zijn aanwezig tussen 2070 en 2090.

Onder het IM-scenario neemt door de dunningen onder de grove den, de dominantie van grove den het snelst af. Hoewel de eikenopstanden van de Imbos ook na 90 jaar nog steeds worden gedomineerd door eik, is hier veel douglas ingegroeid die de eik geleidelijk verder terug zal dringen. In de drie verschillende klimaat

scenario's is de uitbreiding van douglas in het niet-beheerde bos op 2070 gelijk. Daarna gaat de ontwikkeling onder het W+ gepaard met een snelle afname van de eik en nemen douglas en prunus snel toe. Op 2110 bestaat het bos uit een mozaïek van grove den en douglas en is ook berk vrijwel geheel verdwenen. Beuk doet het in IM nog het best van de drie beheer scenario's, maar verdwijnt ook in W+. Berk blijft in CurClim en G lang aanwezig maar neemt na 2070 ook iets af. De biomassa blijft door de reguliere dunningen in IM redelijk constant en is lager in vergelijking met het bos in BAU en IM.

Ondanks het gevoerde beheer in IM neemt de hoeveelheid dood hout in de eerste 5 decennia sterk toe, maar iets minder dan in het BAU-scenario. De hoge concentraties in de oude bossen Essop en Onzalige Bossen komen ook in IM voor, het verschil met BAU is vooral de afwezigheid van dood hout in verschillende jongere bossen elders in het niet-beheerde gebied. Net als in beide andere beheersscenario's is de hoeveelheid dood hout in W+ veel lager dan in CurClim en G.

In het PM scenario vinden in 2050 en 2100 hoogdunningen plaats waarbij enkele zware bomen worden geoogst. Het bos wordt overwegend gedomineerd door grove den en kan erg dicht worden met grondvlakken van boven de 40m²/ha. Pas na 2070 breidt de douglas zich in de oostelijke delen en de noordkant van de Imbos zich meer uit. Deze uitbreiding komt in alle klimaatscenario's voor maar is het sterkst in W+, waarbij de grove den dan wordt verdrongen. In CurClim en G is berk het nog het best rond 2070 en kan tot 30m²/ha bereiken. Deze ontwikkeling is vooral duidelijk te zien in de Imbos. Berk doet het slecht in het W+ scenario. Beuk breidt zich nog enigszins uit in CurClim en G, maar de uitbreiding is minder sterk dan in IM. De eikenopstanden takelen in CurClim en G af na 2090, maar in W+ is de ontwikkeling al in 2070 duidelijk zichtbaar.

De hoeveelheid dood hout dat in PM voorkomt is minder dan in beide andere scenario's, maar net als in BAU in meerdere bossen aanwezig. Echte pieken zoals bij IM in de oudere bossen komen hier niet voor. Dit komt door de hoogdunning van zwaardere bomen die alleen binnen PM wordt uitgevoerd.

Prunus wordt nergens binnen de scenario's voor de Veluwezoom verwijderd. Prunus breidt zich uit in het hele gebied waar geen beheer wordt gevoerd, met uitzondering van de zuidrand van het beboste deel van het bosreservaat, net boven de Ringallee. De toename is het grootst onder het IM-scenario met een CurClim- of G-scenario. In BAU is de uitbreiding van prunus gering. In het W+-scenario verdwijnt de soort bijna volledig uit het niet-beheerde bos. Overigens is het grondvlak van prunus in zijn climax nog altijd lager dan 10 m²/ha.

Bos Multifunctioneel

Het multifunctionele bos ligt langs de zuid- en oostrand van de Veluwezoom. Hier wordt een extensief beheer gevoerd waarbij ongeveer 10% van de jaarlijkse bijgroei wordt geoogst door het maken van gaten in het kronendak van de grove den om de spontane verjonging te bespoedigen. Binnen IM en PM wordt een vergelijkbaar beheer gevoerd als in Bos Nietsdoen-beheer (boven).

Ook zijn verschillende plekken aangemerkt voor de omvorming naar Tilia waarvan 80 ha in 2013. Waar Tilia wordt aangeplant worden boompjes van 1.75 m gebruikt en wordt de aanplant uitgerasterd om vraatschade te voorkomen. De plekken zijn geconcentreerd in de oostelijke zone van de beheerseenheid. Aanplant van winterlinde vindt plaats in 2020, maar niet in de PM-scenario's.

Het dunningsregime is in alle beheersscenario's gelijk, alleen in PM komt daarbij nog hoogdunning voor waarbij 90% van alle bomen met dbh > 40 worden geoogst. Dit blijken in aantallen slechts om enkele tientallen bomen per keer te gaan waarbij wel 10-25% van de totale biomassa wordt verwijderd.

In het BAU scenario zal dus 10% van de jaarlijkse bijgroei worden gedund door naaldboomsoorten te verwijderen en eik, beuk en linde te sparen. Als gevolg hiervan is in 2070 de dominantie van grove den verdwenen. De negatieve selectie van naaldbomen verhindert de opmars van douglas en lariks niet. Douglas profiteert aan de oostzijde van de beheerseenheid door verder uit te breiden en plaatselijk dominant te worden, vooral in het W+-scenario. Lariks breidt eveneens uit en is in de tweede helft van de gesimuleerde periode zelfs nog iets nadrukkelijker aanwezig dan douglas. Alleen in W+ blijft lariks achter. Binnen CurClim en G vaart vooral beuk wel bij het gevoerde beheer. Alleen in de al eerder genoemde oostrand blijft beuk nog wat

achter in het kronendak, al breidt de verjonging wel geleidelijk uit, ook in W+. Beuk is hier in de uitgangssituatie nog nauwelijks aanwezig en heeft daardoor een achterstand ten opzichte van de bossen in de zuidrand. Ook zomereik geeft een groei te zien die alleen in W+ na 2090 weer afneemt.

Berk maakt in de eerste 3 decennia een groei door, maar wordt daarna weer teruggedrongen door beuk en zomereik. Deze tendens is gelijk in alle 3 de klimaatscenario's.

De beoogde aanplant van winterlinde (*Tilia cordata*) is doorgevoerd in het BAU en IM-scenario. De eenheden met winterlinde zijn gedurende de gehele simulatieperiode duidelijk herkenbaar. De dominantie blijft gehandhaafd met een grondvlak van boven de 40 m²/ha en wordt alleen in 2110 teruggedrongen in het W+-scenario.

Het IM-scenario is gericht op selectie van inheemse loofboomsoorten. Op hoofdlijnen laat de ontwikkeling dezelfde tendens zien als in het BAU, maar de uitbreiding van beuk is iets minder, terwijl zomereik juist iets meer profiteert van de vrijgekomen ruimte. Ook douglas ontwikkelt zich beter dan in BAU, vooral in de meest oostelijke punt. De oogst is in IM lager dan in BAU. De biomassaontwikkeling is daarom groter. Mortaliteit is weer vergelijkbaar. Voor beide scenario's geldt wel dat natuurlijke sterfte in W+ lager is en er veel minder dood hout voorkomt.

In PM wordt vooral meer intensief gedund, sturend op meer verscheidenheid in het bos door middel van groepenkap gedurende de eerste drie decennia en in 2080-2090. Dit uit zich in een aanvankelijke afname van het stamtal tot 2070 waarbij in eerste instantie vooral grove den, ruwe berk en later douglas onder handen worden genomen. Deze dunningen leiden vooral tot een sterkere groei van de gespaarde berken die een grondvlak bereiken van boven de 30m²/ha in alle klimaatscenario's. Op basis van dominantie van douglas in het grondvakaandeel moet worden geconcludeerd dat het PM nog het meest gunstig is, zeker in combinatie met het W+-scenario. De dunningen in douglas leiden tot een grotere aanwas van de soort. Ook grove den en sitkaspar laten een vergelijkbare ontwikkeling zien. Deze groei van de naaldbomen gaat ten koste van zomereik en beuk. Omdat de dunningen niet vlaktegwijs worden uitgevoerd, is de biomassaontwikkeling in PM wat hoger dan in IM, gevolgd door een toenemende mortaliteit die een hoogtepunt heeft rond 2070 als ook de biomassa het hoogst is. De hoeveelheid dood hout in het multifunctionele bos is iets hoger onder PM. Onder W+ is de hoeveelheid dood hout lager dan in CurClim en G.

Aanplant van winterlinde gebeurt alleen in het BAU en IM-scenario. De ontwikkeling van deze *Tilia*-bosjes verlopen gelijk voor CurClim en G voor zowel BAU als IM: snelle afname van grove den, douglas en berk door selectieve dunningen, terwijl naast de uitbreiding van winterlinde ook beuk en zomereik een verdubbeling te zien geven van grondvlak en biomassa. Het stamtal breidt niet uit, dus het gaat hier vooral om sterke groei van de bestaande populatie. In W+ bereiken beide soorten een hoogtepunt in 2060-2070, maar nemen daarna weer af. Douglas breidt zich dan uit. Ook winterlinde neemt na 2070 af.

Heide Maintain

In de zuidrand van de Veluwezoom (Posbank) wordt in alle beheerscenario's de hei actief open gehouden door begrazing en het verwijderen van bomen. Het aandeel grove den, berk en douglas dat opslaat in de hei blijft gelijk.

Heide no-intervention/conversion

In enkele delen van de heidevelden wordt geen beheer gevoerd gericht op de instandhouding van de hei, met uitzondering van enkele uitzichtspunten. Het gaat om de Therese Hei en de zuidkant van de Reder-en Worth-Reder heide. In het IM-scenario breidt de grove den zich geleidelijk uit en komt ook douglas er steeds meer voor. Na 100 jaar is de heide wel sterk teruggedrongen, maar in oppervlakte nog wel dominerend.

Aan de oostzijde van de Reder- en Worth-Reder Heide wordt wel dennen-opslag verwijderd maar de opslag van eiken en berk blijft gespaard. De noordkant is voor het beheer samengenomen bij het bosreservaat de Imboschberg.

Loenermark- Het Geldersch Landschap

Er zijn 3 beheerseenheden gedefinieerd die zijn doorgerekend volgens onderstaande beheersscenario's (zie bijlage 1).

Heide

Volgens de eigenaar is de doelstelling voor de heidevelden binnen de Loenermark ze als heide te behouden. Voor het IM scenario is echter voorzien in omvorming naar bos met productie door natuurlijke successie en aanplant van grove den en douglas. Als gevolg van dit beheer breidt vanaf 2030 de grove den snel uit in stamtal, dat vervolgens lange tijd gelijk blijft rond 600 st/ha. De biomassa en grondvlak nemen geleidelijk toe, gevolgd door berk. Douglas volgt deze ontwikkeling niet en blijft marginaal aanwezig. Berk en vanaf D6 beuk nemen geleidelijk iets toe, vooral in CurClim en G. In het W+-scenario is deze ontwikkeling eveneens zichtbaar, maar de absolute biomassa blijft als gevolg van de droogte achter bij de twee andere klimaatscenario's. Ook blijven de andere boomsoorten achter in ontwikkeling, hiervan profiteert grove den door een grotere groei in grondvlak ten opzichte van de andere scenario's. Loofboomsoorten komen veel minder op en verdwijnen aan het einde van de gesimuleerde periode ook weer grotendeels. Vanaf 2070 is het aandeel van heide in de biomassa gedecimeerd. Het beheer voorziet in dunningen bij een opperhoogte van de dominante boom van 12.5 m. Deze wordt echter niet bereikt en er vindt daardoor geen oogst plaats.

In de BAU en PM scenario's blijft de heide grotendeels open. Enige toename van verjonging in de randen van de heide is vanaf 2050 zichtbaar voor CurClim en G. In het W+-scenario komt minder uitbreiding van verjonging voor en de berk neemt in de laatste 3 decennia sterk af.

Bos

De bossen van de Loenermark worden beheerd als multifunctioneel bos, met selectie van toekomstbomen (bijlage 1). Bij selectie wordt inlandse eik bevoordeeld met beuk op de tweede plaats, met als doel mengingen van inheemse boomsoorten te verkrijgen. Dunningen zijn in het IM-scenario iets sneller en intensiever, in PM juist iets minder intensief. Binnen PM wordt in de eerste 2 decennia gedund, daarna pas weer na 2090. Dit zijn dan enkele zwaardere stammen. Door de lage dunningsfrequentie is de natuurlijke sterfte veel hoger dan de oogst. Aanplant van Tilia zal plaatsvinden in PM.

Onder continuering van huidig beheer (BAU) en klimaat (CurClim) zal de dominantie van grove den en in mindere mate lariks afnemen terwijl de aandelen van de overige boomsoorten gelijk blijven. Na 2070 nemen beuk en zomereik iets toe. Hoewel hierin dus weinig veranderingen lijken op te treden, is er wel sprake van meer mozaïekvorming. Geleidelijk breidt douglas zich uit tot dominantie in 2110.

De verschillen met het G-scenario zijn verwaarloosbaar; in het W+-scenario verdwijnen de eiken en beuken nagenoeg geheel. Douglas breidt zich geleidelijk uit en neemt de dominerende rol over van grove den. Dit gebeurt vooral in het W+-scenario.

De intensievere dunning die in het IM wordt toegepast, leidt tot een snelle afname van de biomassa met een dieptepunt in 2070, maar een daaraan gepaard gaande toename van het stamtal. Hiervan profiteren vooral fijnspar en beuk. De uitbreiding van sitkaspar is wat sterker in het G-scenario. In het W+-scenario is de toename van sitkaspar aanvankelijk wel aanwezig maar verdwijnt weer vanaf 2090. De aandelen van de loofbomen nemen in dit klimaatscenario af. Douglas is ook in dit scenario de grote winnaar.

In PM vindt als gevolg van de grotere sterfte een geleidelijke maar tamelijk forse stamtalreductie plaats, ingezet op 2050 met een dieptepunt op 2090. De sterfte en geringere oogst binnen dit scenario verklaart waarom er in de Loenermark meer dood hout voorkomt dan in beide andere scenario's. Onder CurClim en G vindt daarna toename plaats van douglas en berk. In alle klimaatscenario's is de dominantie van douglas in de tweede helft van de komende eeuw een feit. Vooral in W+ verdwijnen andere boomsoorten en kan alleen grove den overeind blijven naast de steeds verder uitbreidende douglas.

Reservaat

Het reservaat in de Loenermark bestaat uit opstanden van zomereik, wintereik en grove den, waarin geen ander beheer plaatsvindt dan het verwijderen van opslag van uitheemse soorten als douglas, sparren, lariks en prunus. Dit beheer wordt in het BAU-scenario voortgezet. In het IM en PM-scenario wordt dit beheer vervangen door een beheer dat meer is gericht op productie. Er zal weer worden gedund, waarbij beuk, eik en linde worden gespaard. Het beheer in deze scenario's wordt daarmee gelijk als in de beheerseenheid 'Bos'. Omdat de uitgangssituatie in beide beheerseenheden totaal verschillend is, verloopt de bosontwikkeling in beide eenheden erg anders.

Onder BAU blijft de grove den constant in alle klimaatscenario's. De eikenopstanden (vooral zomereik) handhaven zich de hele periode, al neemt het stamtaal van beide eikensoorten geleidelijk af. Het stamtaal van wintereik neemt geleidelijk af in zowel CurClim als G, maar is in grondvlak redelijk constant. Onder het W+ breidt vooral berk zich uit in biomassa en stamtaal, maar niet in grondvlak en laat grove den een groei zien in plaats van de lichte afname in beide meer gematigde klimaatscenario's. Onder het W-scenario verdwijnen beide eikensoorten nagenoeg geheel en wordt het reservaat gedomineerd door grove den. Alleen aan de oostkant blijft een strook met dominantie van eik aanwezig tot in 2100. Deze strook wordt geleidelijk smaller. De dominantie van grove den is in 2070 op zijn hoogtepunt. Het grondvlak neemt daarna weer af maar de dominantie van grove den blijft. In W+ neemt aan het einde van de cyclus het aandeel van grove den juist sterk toe, zowel absoluut als relatief door het verdwijnen van de andere soorten. In dezelfde periode komt douglas binnen en begint aan een opmars.

Dat douglas in tegenstelling tot in andere bostypen zich niet uitbreidt in het BAU-scenario is het gevolg van het verwijderen van exoten in dit beheer. In CC en G verandert daardoor weinig, terwijl in W+ eiken doodgaan en worden vervangen door grove den.

Doordat in deze eenheid niet wordt geoogst is de input van dood hout in het reservaat veel hoger dan in omliggende bossen. Deze hoeveelheid is het hoogst rond D5 en vooral in CurClim en G. In W+ is de hoeveelheid veel lager.

Onder IM is de ontwikkeling van het reservaat vergelijkbaar met BAU voor de eerste decennia. Vanaf decade 5 (2070) breidt ruwe berk zich meer uit in het grove-dennenbos. In het W+-scenario verdwijnen de eik en beuk geheel na D7. Dominantie in grondvlak en biomassa is er dan voor grove den. Vanaf 2080 neemt douglas de dominantie in grondvlak en stamtaal over. In biomassa is nog steeds grove den het grootst. In IM vindt de meeste oogst plaats. De hoeveelheid dood hout is hier dan ook lager dan in BAU en PM.

Onder PM bij CurClim en G is de toename van douglas duidelijker. Naast de dominantie van douglas vindt eveneens een licht toename van grove den plaats. De hoogdunning in 2090 leidt in CurClim en G eveneens tot een enorme verjonging, maar deze is gelijk verdeeld over alle voorkomende soorten. Deze dunning is gekoppeld aan biomassa, en wordt bereikt door de oogst van een gering aantal, maar wel zeer zware loofbomen. Deze omvang wordt niet bereikt in het W+-scenario, waardoor er in 2090 helemaal geen dunning plaatsvindt en het stamtaal en biomassa reductie veel kleiner is. Hier vindt net als in de andere beheersscenario's onder W+-klimaat wel een verjongingsgolf met douglas plaats. De in de PM geplande aanplant van linde, tamme kastanje, eik en beuk is in de stamtaalplaatjes (Loenermark.7z; te downloaden via de Alterra-website) wel te zien, maar deze aanplant heeft nauwelijks invloed op de biomassa- en grondvlakontwikkeling en de bomen zijn in 2080 alweer verdwenen.

Het Rozendaalse Bos - Staatsbosbeheer

Het Rozendaalse Bos is in drie beheereenheden gesplitst:

1. Heide
2. Multifunctioneel bos
3. Bosreservaat

Het beheer dat in elk van de scenario's wordt gevoerd voor deze beheerseenheden, is gegeven in bijlage 1.

Heide

De heidevelden in het Rozendaalse Bos worden actief open gehouden. Alleen binnen het IM-scenario is dit beheer losgelaten ten gunste van bosontwikkeling. In 2020 wordt door aanplant van douglas en grove den de heide omgevormd tot productiebos. De groei van grove den verloopt min of meer gelijk binnen de 3 klimaatscenario's. Het tempo waarmee dit gebeurt, is vrij rap: al in 2050 is het oppervlak voor minstens 50% bedekt met bomen. Na 90 jaar is dit bijna 100%. Douglas wordt wel aangeplant maar doet vervolgens helemaal niet mee. Zwarte den vestigt zich spontaan en is succesvoller dan douglas. Behalve grove den en douglas wordt een klein aantal van berk, eik en beuk meegeplant. Deze blijven als bijmenging aanwezig. Alleen in het W+-scenario verdwijnen deze soorten weer na 2060.

Multifunctioneel bos

Het beheer in het multifunctionele bos wordt gekenmerkt door toekomstbomenselectie. Hierbij worden beuk, eik en linde bevoordeeld en is er eindoogst van bomen met een minimale dbh (bijlage1) gepland. In het IM-scenario vindt eveneens toekomstbomen selectie plaats, maar er is ook aanplant van douglas met bijmenging van beuk, zomereik en linde ingepland in kleine groepen nadat er geoogst is. In het PM-scenario is de toekomstbomen selectie losgelaten en wordt er in korte omlopen beheerd. Nu wordt bij Hdom van 17.5 m en dbh>15 cm in de helft van het bos 80% van de bomen geoogst. Er wordt na oogst niet herplant.

De verschillen in beheer tussen de 3 scenario's leiden tot minimale verschillen in de bossamenstelling bij CurClim en G. In deze scenario's neemt grove den geleidelijk af ten gunste van douglas. Vanaf 2060 is het aandeel van douglas groter dan van grove den. Daarnaast handhaven zich wel de loofboomsoorten al is het aandeel hiervan in het PM-scenario iets kleiner vanaf 2090, na een forse ingreep. De huidige loofbossen blijven redelijk gehandhaafd. De totale grondvlakken in het IM scenario zijn iets lager als gevolg van intensievere oogst. Onder het W+-scenario verschillende de beheersscenario's onderling nauwelijks. Wel wijken ze sterk af van de andere klimaatscenario's. Opvallendste verschil is de absolute dominantie van douglas vanaf 2070. Deze uitbreiding gaat ten koste van alle loofboomsoorten. Alle door (winter)eik of beuk gedomineerde opstanden zijn na 2100 vervangen door douglasopstanden. De afname van grove den verloopt in dit scenario veel minder desastreus dan in de andere klimaatscenario's. Grove den onder het W+-scenario blijft vrij constant in BAU en PM, alleen in IM is een terugval in grondvlak in D4, waarbij wel het stamtal intact blijft.

Uit de simulaties volgt dat alle bossen in de zuidrand van de beheerseenheid die nu tot het habitatype 'Beuken-eikenbossen met hulst' behoren het in de CurClim en G-scenario's voor een aanzienlijk deel zullen worden vervangen door douglasbossen. Onder het W+-scenario zullen ze volledig zijn verdwenen.

Bosreservaat Zwarte Bulten

Het nietsdoen-beheer van het bosreservaat wordt in alle beheersscenario's gehandhaafd. De door grove den gedomineerde bossen zijn erg constant door de decennia heen.

Middachten

Het beheer in de Middachter Bossen is conform de principes van het multifunctioneel bosbeheer met enige productie. Het beheer is kleinschalig en wordt als zodanig ook ingezet als adaptief management bij klimaatverandering. De wilddruk (edelhert en ree) is groot en beïnvloedt het aantal en de kwaliteit van de verjonging. Daarnaast zitten er veel wilde zwijnen. In dit gebied is eik niet in staat zich te verjongen. LANDCLIM kan niet expliciet met wilddruk omgaan, maar heeft een vast effect op de vestigingskans. Gevolgen van wilddruk zullen daarom niet uit de resultaten van de simulaties volgen.

Op Middachten liggen grove-dennenopstanden van 1850. Omdat grove den niet zo veel voorkomt op Middachten is het een geziene soort en belangrijk onderdeel van het bos, net als beuk, douglas en lariks. Er wordt hier dus geen extra inspanning verricht om de grove dennenopstanden om te vormen.

Onder een meer intensief beheer (IM) zijn dunningen en oogst vergelijkbaar als in BAU (Bijlage 1). Wel wordt er na oogst geplant.

In het PM-scenario wordt er later begonnen met dunningen, maar dan wel over een grotere oppervlakte. Daarnaast wordt er in het eerste decennium aanplant gerealiseerd met tamme kastanje en winterlinde, met bijmenging van eik, beuk en berk.

Resultaten simulaties

Onder een continuering van het huidige beheer (BAU) zijn ontwikkelingen onder het CurClim en G klimaat vergelijkbaar. Van de Picea's (beide aanwezig) doet Sitkaspar het iets beter dan fijnspar. Lariks en grove den nemen geleidelijk af, terwijl douglas geleidelijk uitbreidt. De loofbomen eik en beuk zijn redelijk stabiel, er is een lichte afname van het grondvlak zichtbaar, voor beuk iets groter dan zomereik. Prunus serotina geeft een geleidelijke opmars weer, hoewel prunusbestrijding onderdeel vormt van het beheer. Deze tendens is vergelijkbaar in W+, alleen is de toename van douglas de laatste decennia groter en gaat dat vooral ten koste van beuk. Beuk en zomereik nemen sneller af onder W+.

De opstandsgewijze heterogeniteit van Middachten verdwijnt. Er komt een kleinschaliger mozaïek voor terug onder CurClim en G. In het W+-scenario breidt douglas zich in het hele gebied zodanig uit dat het neigt naar een meer homogene menging, waarin douglas in het hele gebied domineert.

Het totale stamtal onder W+ ontwikkelt zich sneller dan onder beide andere klimaatscenario's, ondanks de hogere mortaliteit in de eerste decennia. Omdat de biomassa tegelijkertijd afneemt daar waar die onder CurClim en G stabiel blijven, is hier deels sprake van een toename van de verjonging en een afname van de bijgroei als gevolg van grotere droogte.

In het IM-scenario wordt in het begin van de cyclus een groot deel van de staande biomassa geoogst. Dit leidt in alle klimaatscenario's tot een afname van de biomassa en uitbreiding van het stamtal. Deze verjonging betreft naaldbomen. Van de loofbomen verjongt alleen ruwe berk zich. Eik en beuk blijven constant in stamtal, maar het grondvlakaandeel is afgenomen en herstelt niet. Er is in dit scenario dus vooral een toename van het stamtal te zien. De opleving van berken na de intensieve dunning dooft na 20 jaar weer uit. De lopende bijgroei is in dit beheer hoger onder CurClim en G. Onder het W+-scenario is de bijgroei lager. Hier breidt vooral douglas zich sterk uit en is ook het stamtal en grondvlak van grove den wat hoger dan in de andere klimaatscenario's. Deze zijn voor de andere hoofdboomsoorten vergelijkbaar. Prunus serotina ontwikkelt zich minder goed, maar wordt dan ook bestreden. De toegenomen stamtallen in W+ vertalen zich niet naar een toegenomen biomassa. De biomassa ontwikkeling is in IM het laagst en daarbinnen in W+ het meest. De toegenomen kleinschaliger mozaïek waar onder BAU al sprake was, is in het IM scenario sneller tot stand gekomen. De dominantie van douglas in W+ is meer uitgesproken.

Binnen het PM-scenario is op 5% van het oppervlak aanplant van winterlinde en tamme kastanje doorgevoerd. Beide soorten zijn even te zien maar verdwijnen al heel snel. Beide soorten worden in lage aantallen aangeplant (bijlage 1). Net als in andere beheerseenheden waar lage aantallen worden geplant, verdwijnen beide soorten dus ook weer uit het Middachter bos. Waarschijnlijk zijn de oppervlakten waarin wordt geplant te klein en worden de beide soorten weggeconcurrerd door andere soorten.

In het PM scenario wordt op tijdstip 0 een forse dunning uitgevoerd. Het grondvlak en biomassa lopen daardoor aanvankelijk sterk terug, maar er komt direct een verjongingsgolf op gang met douglas, ruwe berk, grove den en sitkaspar. In de eerste 3 decennia na de ingreep, vindt er een forse toename van het grondvlak en biomassa plaats die ongeveer 25% hoger is dan in beide andere beheerscenario's. Later in de cyclus zijn er twee oogstmomenten waarin de geoogste biomassa 15% hoger ligt dan in IM. Hierdoor is de stamtalontwikkeling in PM lager dan in IM. De biomassa en grondvlakontwikkeling zijn echter veel hoger. Vooral douglas profiteert, maar ook berk, eik en beuk. De toename van douglas is sterker in het W+-scenario. Hier is de biomassa iets lager omdat bij de tweede oogstpiek meer wordt geoogst en de bijgroei in W+ wat achterblijft bij de bijgroei in IM.

Stichting Twickel

De beheerseenheden van Stichting Twickel zijn het Hof te Dieren dat in de zuidrand van de Veluwezoom ligt en het Voorste en Achterste Schaddeveld, die noordelijker liggen als twee enclaves binnen de Veluwezoom. De groeiplaats van het Hof te Dieren is met leem- en lösshoudende gronden veel rijker dan die in de stuif- en dekzandgronden van de Schaddevelden. Dit is al te zien aan de dominantie van grove den in de Schaddevelden. In het Achterste Schaddeveld ligt een groot voormalig eikenhakhoutcomplex. In Hof te Dieren komen meer beuken (als lanen), douglas, fijn- en sitkaspar en lariks voor. Grove den komt in Hof te Dieren alleen voor in de noordkant van de eenheid.

Hof te Dieren

In het Hof te Dieren wordt toekomstbomenselectie toegepast. In het BAU-scenario wordt dit voortgezet. Bij dunningen worden loofbomen bevoordeeld. In het IM-scenario wordt de productiedoelstelling vergroot door al eerder te oogsten en meer te dunnen. Na oogst wordt natuurlijke verjonging bespoedigd door overstaanders te laten staan, terwijl tegelijkertijd ook wordt beplant met beuk en eik en bijmenging van douglas. In het PM scenario wordt iets meer gestuurd op soortensamenstelling door vooral te dunnen onder sparren en lariks, terwijl andere soorten minder intensief worden gedund. De hoogdunning wordt nog sneller ingezet dan in IM. Na oogst wordt een klein deel herplant met winterlinde en tamme kastanje met bijmengen van beuk, eik en berk (Bijlage 1).

De kleinschalige opstandstructuur met dominantie van verschillende boomsoorten blijft onder voortzetting van het huidige beheer de eerste 3 decennia gehandhaafd. Daarna verdwijnen opstandsgrenzen geleidelijk door uitbreiding van douglas (Figuur 4). Vervaging van de grenzen tussen dominanties van verschillende soorten gaat sneller onder het IM en PM beheer. De uitbreiding van douglas in oppervlak is het sterkst in IM. Dit gaat ten koste van grove den. De relatieve grondvlakaandelen van douglas zijn echter het grootst in PM. In het W+-scenario is het grondvlakaandeel van douglas uiteindelijk altijd het grootst, in IM is de dominantie het snelst bereikt, maar in absolute cijfers is dit in PM groter.

Bij BAU en IM blijven zomereik en beuk gelijk binnen klimaatscenario's CurClim en G, maar in W+ nemen ze geleidelijk af. In IM (bij CurClim en G) blijven de eikenbossen het best in stand en ontstaan ook berken en grove dennen opstanden (zie transitie-matrix). In PM nemen eik en beuk al sneller af door de uitbreiding van douglas. Wintereikenopstanden handhaven zich alleen in BAU. In IM veranderen ze in beuk en grove den (in CurClim) en deels in beuk, naast handhaving als wintereik in G. In alle scenario's breidt berk zich eerst uit als gevolg van verjonging, maar neemt al na een paar decennia weer af. In het W+ scenario verdwijnen de loofbomen na 2090 bijna helemaal, met uitzondering van wat restanten beuk. In PM onder W+ bestaat het Hof te Dieren vrijwel helemaal uit douglas met een beetje sitkaspar en grove den. In alle beheerscenario's komt dan nog enige bijmenging met grove den en sitkaspar voor, zelfs in PM waar meer lariks en sparren worden verwijderd.

Binnen de opstanden met habitat type 'Beuken-eikenbossen met hulst' die in de huidige situatie uit beuken- en wintereikenopstanden bestaan, verandert er bij gelijkblijvend beheer BAU onder CurClim en G weinig. In IM veranderen de wintereikenbossen binnen deze groep in beuk en in PM tot berk (CurClim) en douglas (G). Voor alle bossen met dit habitatype geldt dat ze veranderen in douglas binnen de W+-scenario's.

Voorste en Achterste Schaddeveld

Het beheer in de Schaddevelden is eveneens gericht op toekomstbomen. Aanplant na hoogdunning gebeurt in kleine groepen met douglas. In het IM-scenario wordt sneller gedund. Aanplant van douglas vindt plaats na hoogdunning, maar in grotere groepen dan in BAU. In het PM-scenario wordt nog sneller en forser gedund, maar de hoogdunning wordt pas uitgevoerd bij dbh van 40 cm of meer. In het eerste decennium wordt een forse dunning uitgevoerd, waarbij bijna de helft van de biomassa wordt geoogst. Er wordt herplant met grove den en douglas met bijmenging van zes loofboomsoorten (bijlage1).

Onder de verschillende scenario's laat de ontwikkeling in de Schaddevelden zien dat aanvankelijk een uitbreiding van berk in de ondergroei plaatsvindt. Na 2050 neemt het stamtal weer af, maar het grondvlak groeit nog enkele decennia. Gepaard aan deze uitbreiding gaat een sterke groei van douglas en een sterke afname van grove den. Het aandeel van grove den in grondvlak blijft dominant in PM. In W+ blijft het aandeel van grove den substantieel maar is ondergeschikt aan douglas. Loofboomsoorten verdwijnen in W+ helemaal. Alleen fijnspar komt als derde soort voor.

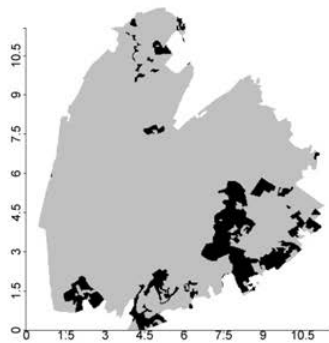
Als gevolg van de dunningen in 2020 is de groei in stamtal en biomassa in de decennia erna snel stijgend. In het PM gaat dat sneller dan in IM, dat weer sneller verloopt dan in BAU. Na deze eerste dunning wordt er in PM minder gedund ten opzichte van de andere scenario's waardoor de lopende bijgroei, maar ook de mortaliteit in dit scenario veel hoger is. Deze groei en de daaraan gekoppelde biomassaontwikkeling zijn het hoogst in CurClim en G.

Bijlage 3 Transitie matrices habitattypen

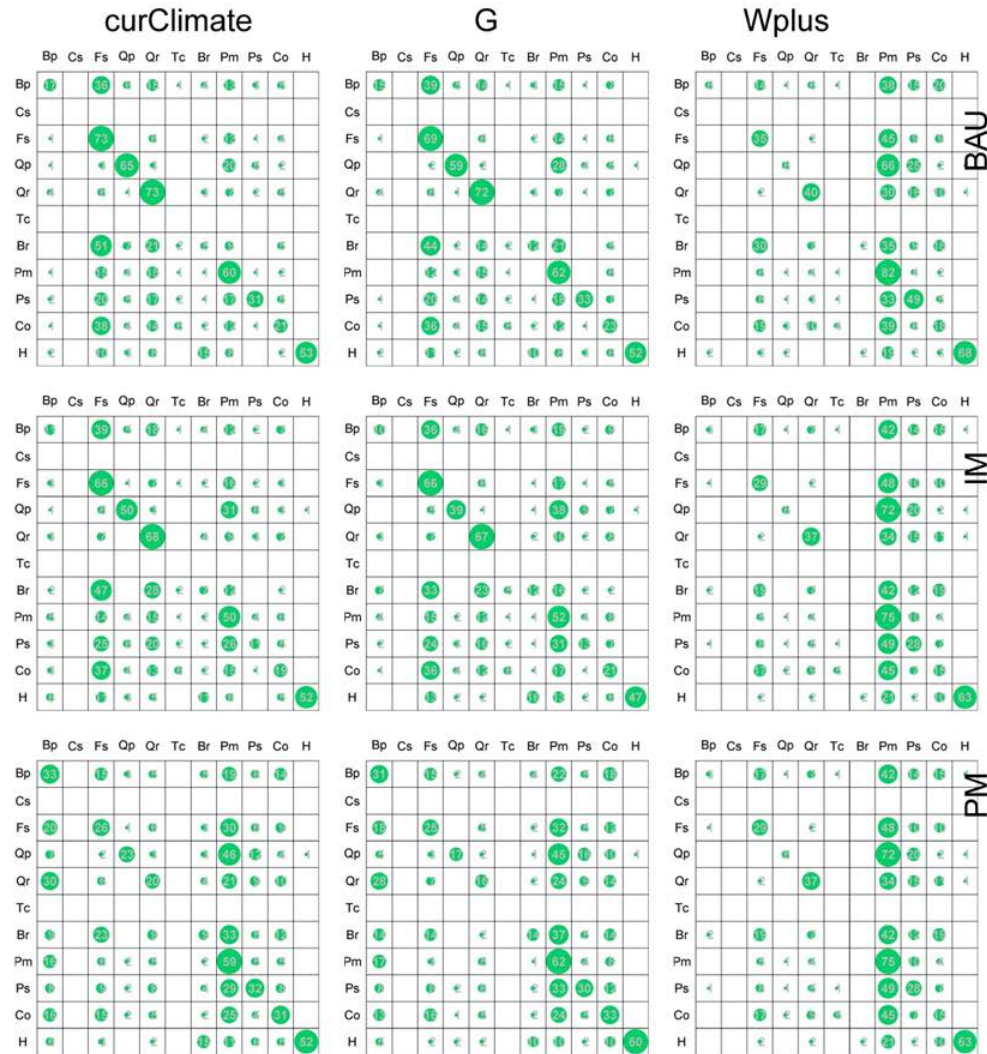
Bijlage X. Transitie matrices geven per scenario weer hoe de bossen in 2011 (verticaal) zijn veranderd in 2110 (horizontaal). De totalen per rij zijn steeds 100%. Voorbeeld: De beukenbossen (Fs) onder CurClim en BAU zijn in 2110 voor 73% beuk gebleven en voor 13% veranderd in douglas (Pm), 6% zomereik (Qr) enz.

beuken_eikenbossen_met_hulst

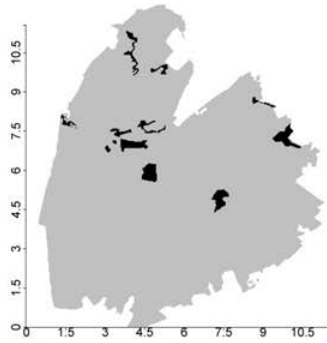
2011 - 2111
% transities in dominantie



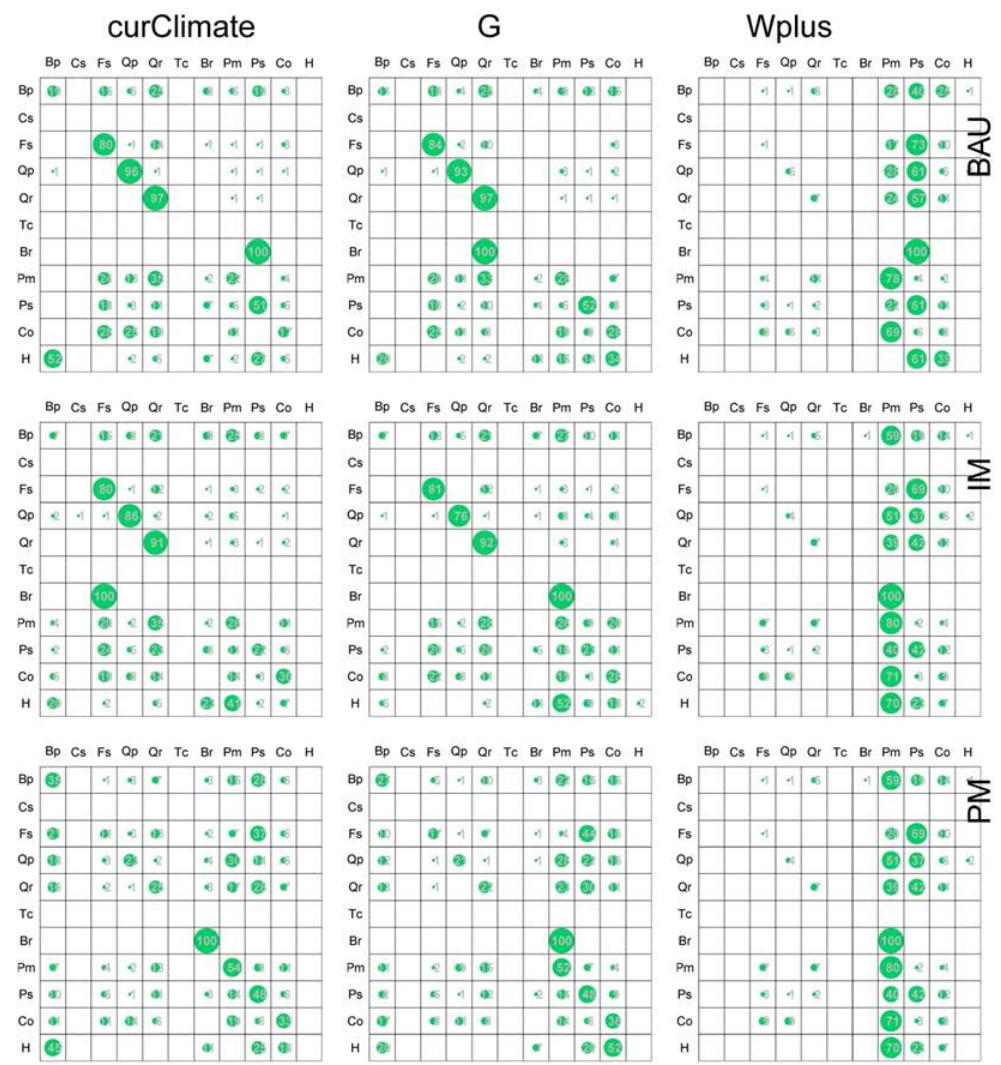
- Bp = Berk
- Cs = Kastanje
- Fs = Beuk
- Qp = Wintereik
- Qr = Zomereik
- Tc = Linde
- Br = Loof
- Pm = Douglas
- Ps = Den
- Co = Naald
- H = Heide



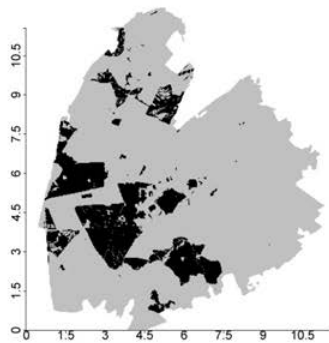
oude_eikenbossen
2011 - 2111
% transitie in dominantie



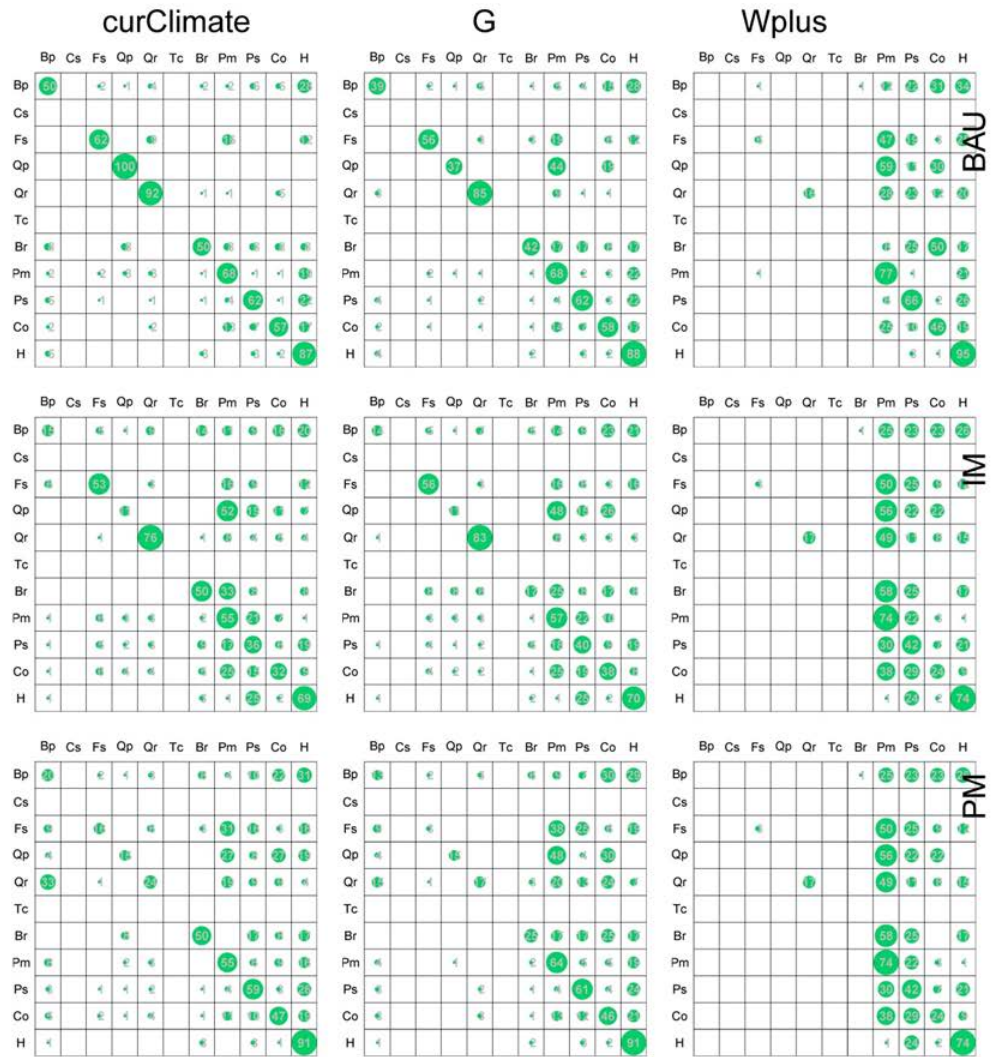
- Bp = Berk
- Cs = Kastanje
- Fs = Beuk
- Qp = Wintereik
- Qr = Zomereik
- Tc = Linde
- Br = Loof
- Pm = Douglas
- Ps = Den
- Co = Naald
- H = Heide



droge_heide
2011 – 2111
% transities in dominantie

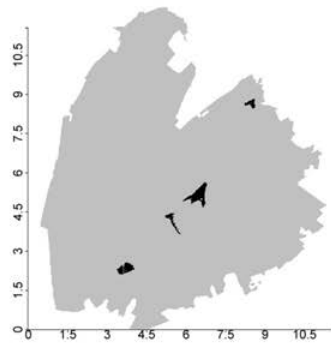


- Bp = Berk
- Cs = Kastanje
- Fs = Beuk
- Qp = Wintereik
- Qr = Zomereik
- Tc = Linde
- Br = Loof
- Pm = Douglas
- Ps = Den
- Co = Naald
- H = Heide

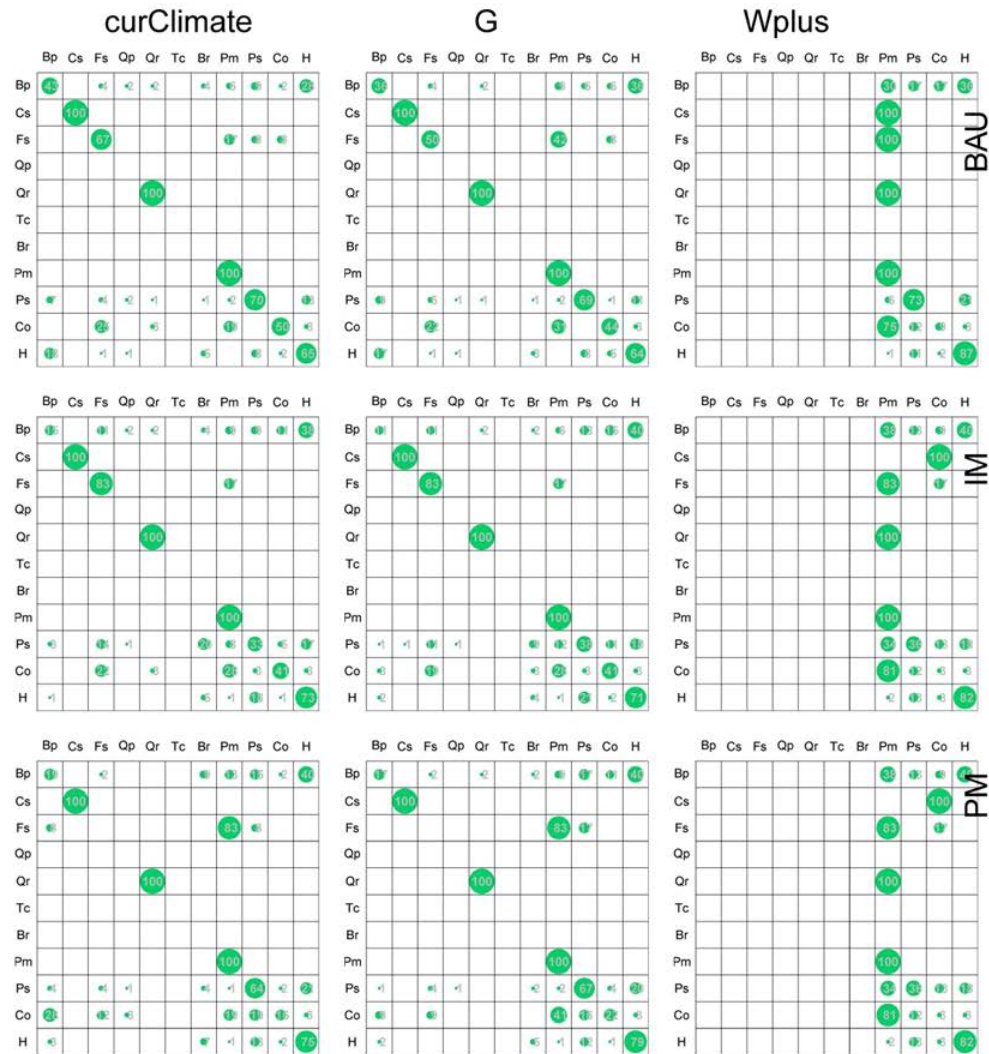


stuifzandheide

2011 – 2111
% transitie in dominantie

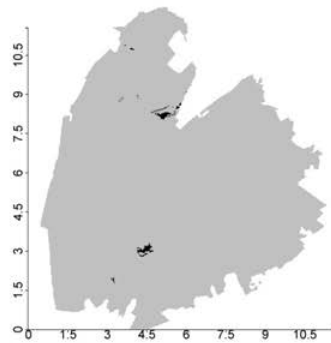


- Bp = Berk
- Cs = Kastanje
- Fs = Beuk
- Qp = Wintereik
- Qr = Zomereik
- Tc = Linde
- Br = Loof
- Pm = Douglas
- Ps = Den
- Co = Naald
- H = Heide

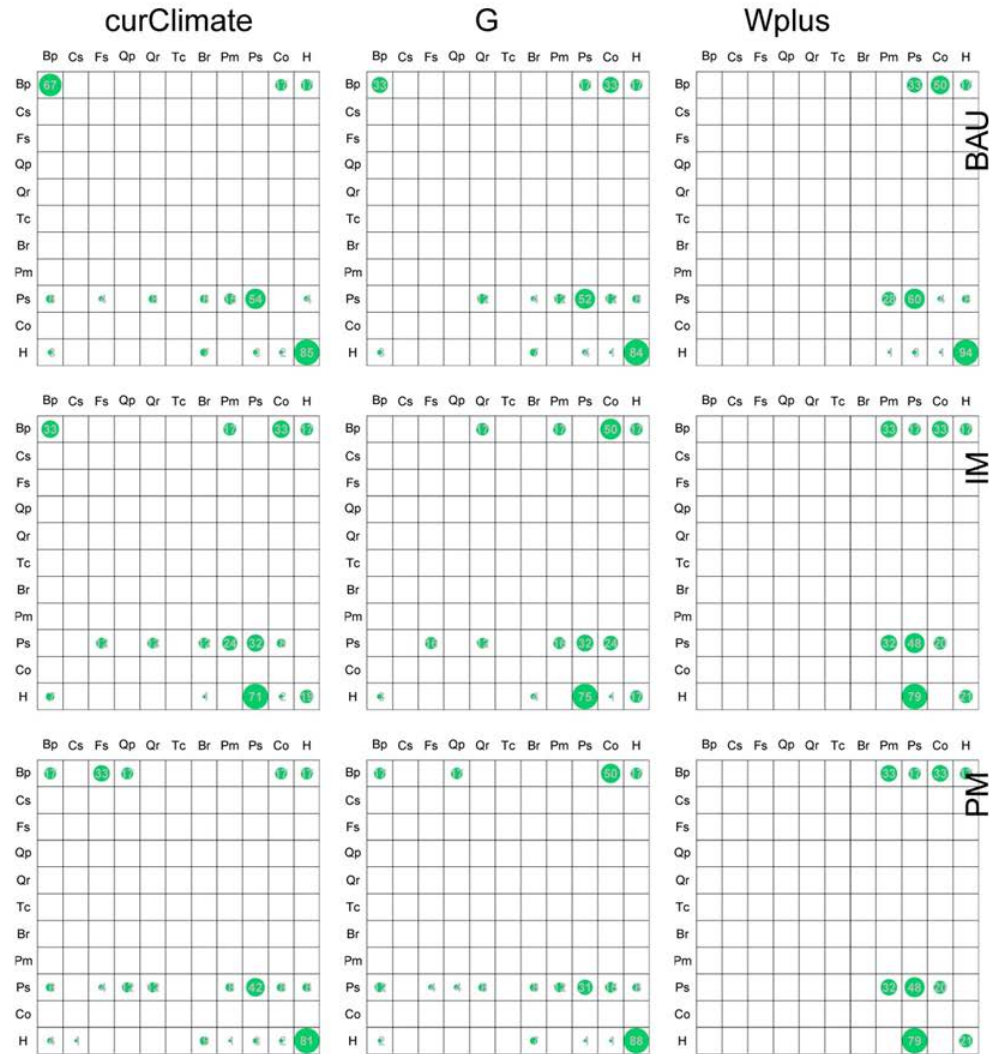


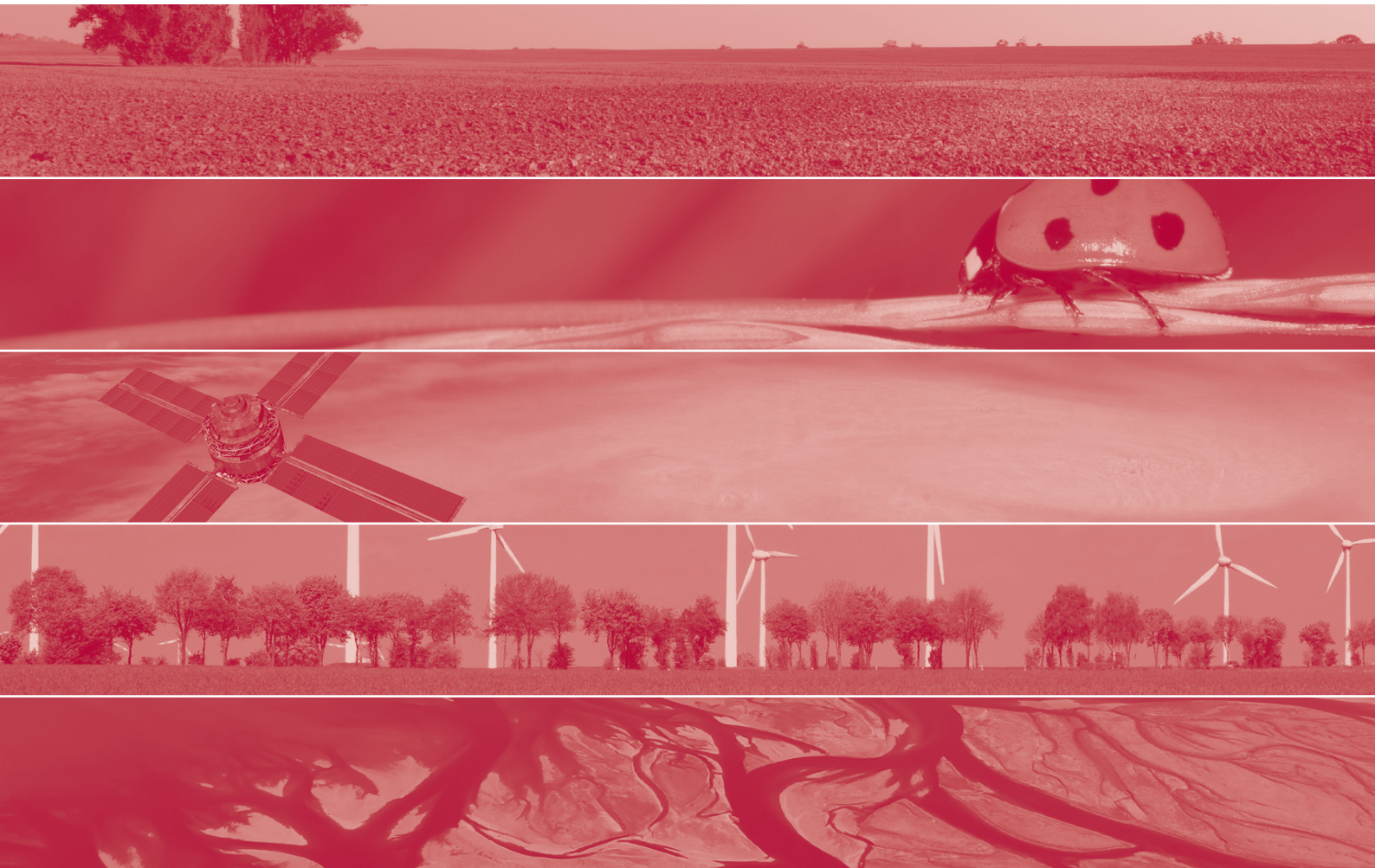
zandverstuiving

2011 - 2111
% transitie in dominantie



- Bp = Berk
- Cs = Kastanje
- Fs = Beuk
- Qp = Wintereik
- Qr = Zomereik
- Tc = Linde
- Br = Loof
- Pm = Douglas
- Ps = Den
- Co = Naald
- H = Heide





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra