

Weerbare bossen in Het Nationale Park De Hoge Veluwe

Een advies voor klimaatslim bosbeheer en bodemverbetering



Anne van Bennekom
29-8-2019

Weerbare bossen in Het Nationale Park De Hoge Veluwe

Een advies voor klimaatslim bosbeheer en bodemverbetering

Afstudeeropdracht bos en natuurbeheer

Datum:
Schrijver: A. van Bennekom
Studentnummer: 000006973
Opleiding: Bos en Natuurbeheer
Specialisatie: Beheer van Bossen en Natuur
Onderwijsinstelling: van Hall Larenstein
Interne begeleider: J. Raggers (0263695707)
Externe begeleider: L. Krul (055 378 81 00)

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport 'Weerbare bossen in Het Nationale Park De Hoge Veluwe'. Dit rapport is geschreven voor Stichting Het Nationale Park De Hoge Veluwe, in het kader van een afstudeeropdracht van Hogeschool van Hall Larenstein, opleiding bos en natuurbeheer.

Voor mijn afstudeeropdracht heb ik onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor klimaatslim bosbeheer op de Hoge Veluwe. Ik heb de kans gekregen om de bossen van de Hoge Veluwe goed te leren kennen en heb met deskundigen gebrainstormd over bestaande maatregelen voor het vergroten van de weerbaarheid van de bossen.

Ik wil graag mijn begeleiders Leontien Krul en John Ridders bedanken voor de ondersteuning en feedback die ik in de loop van het project heb ontvangen. Daarnaast wil ik ook graag Joop van der Schee bedanken voor de uitgebreide uitleg over de stand van zaken in de bossen van de Hoge Veluwe en het geven van adviezen. Ten slotte wil ik Jan den Ouden en Michael van Roosmalen bedanken voor het meedenken en het delen van hun kennis en ervaring.

Anne van Bennekom

Hoenderloo, 26 augustus 2019

Samenvatting

De bossen op de hogere zandgronden zijn veelal nog niet voldoende weerbaar tegen invloeden van klimaatverandering en bodemverzuring. Veel boomsoorten hebben het zwaar, en er is uitval zichtbaar bij o.a. fijnspar, lariks, (reuzen)zilverspar, (zomer)eik, douglasspar en beuk (Bosgroepen, 2019). De opstanden zijn verder vrij eentonig met veel dezelfde soorten, wat de opstand minder weerbaar maakt. De bodem is erg arm en zuur en dit heeft een direct effect op de veerkrachtigheid van het bos. Effecten van klimaatverandering kunnen door de slechte bodemkwaliteit niet goed opgevangen worden.

Ook op de Hoge Veluwe spelen deze problemen. Omdat er nog meer gedaan zou kunnen worden om de weerbaarheid van de bossen te vergroten, worden de mogelijkheden voor klimaatslim bosbeheer onderzocht. Dit is gedaan aan de hand van 3 onderzoeksvragen.

1. Wat zijn momenteel ontwikkelingen in klimaat en bodem en welke (negatieve) effecten hebben deze op het bos?
2. Welke maatregelen voor klimaatslim bosbeheer (op droge zandgronden) zijn op dit moment bekend en hoe worden deze toegepast?
3. Welke van de bij onderzoeksvraag 2 onderzochte methoden zijn het meeste geschikt om toe te passen op de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe?

De resultaten zijn voornamelijk verkregen door het doen van literatuuronderzoek, de informatie is verder aangevuld met ervaringen van beheerders van de Hoge Veluwe en een deskundige op het gebied van klimaatverandering.

Uit de resultaten blijkt dat een weerbaar bos veel variatie heeft in structuur, leeftijden en boomsoortensamenstelling. Hierbij kunnen droogteresistente en bodemverbeterende boomsoorten worden ingebracht. Hierbij dient voldoende inheems hout aanwezig te zijn om de biodiversiteit hoog te houden. Bij aanplant kunnen verschillende herkomsten gekozen worden zodat de genetische variatie hoog is. Door te streven naar kwaliteitshout blijft CO₂ langer opgeslagen en door de bijgroei te optimaliseren wordt de CO₂ opslag vergroot (Boosten, et al., 2018). Om droogtestress tegen te gaan kan gekozen worden voor boomsoorten met verschillende vocht toleranties en wortelstelsels en kan het stamtal laag gehouden worden.

Op de Hoge Veluwe is het meeste mogelijk op de iets rijkere gronden. Monoculturen grove den en Amerikaanse eik kunnen omgevormd worden naar weerbare bossen door het inbrengen van structuurvariatie en boomsoorten zoals esdoorn en haagbeuk. Waar de bodem te slecht is kan plaatselijk geëxperimenteerd worden met het gebruik van kalk- en meststoffen. Door het aanwijzen van toekomstbomen en boomgericht beheer kan meer kwaliteitshout geproduceerd worden, zonder te verliezen aan structuurvariatie en biodiversiteit.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	6
1.2 Kader	7
1.2.1. Relevante ontwikkelingen	7
1.2.2 Opdrachtgever	9
1.2.3 Regiobeschrijving	9
1.3 Probleemanalyse	11
1.4 Probleemstelling	11
1.5 Doel van het project	11
1.6 Hoofdvraag	11
2. Methode	12
2.1 Onderzoeksvragen	12
2.2 Werkwijze en tussenproducten	13
2.3 Afbakening	15
3. Resultaten	16
3.1 Effecten van klimaatverandering en bodemverzuring op de bossen	16
3.1.1 Effecten van klimaatverandering op de bossen op de hogere zandgronden	16
3.1.2 Afname vitaliteit van bomen door verlaging pH en afname buffercapaciteit	20
3.1.3 Conclusie	20
3.2 Maatregelen voor klimaatslim bosbeheer	21
3.2.1 Welke factoren zorgen voor een weerbaar bos tegen klimaatverandering en bodemverzuring?	21
3.2.2. Maatregelen gericht op CO ₂ opslag	24
3.2.3. Maatregelen gericht op het behouden van een gezonde bosbodem	24
3.2.4. Manier van beheren	25
3.2.5. Conclusie	25
3.3 Welke methoden zijn toepasbaar op de bossen van de Hoge Veluwe?	26
3.3.1 Welke problemen spelen in dit bosgebied?	26
3.3.2. Waarom vormen deze factoren problemen?	29
3.3.3. Wat doet het Park zelf al om de weerbaarheid van de bossen te vergroten?	30
3.3.4. Welke problemen kunnen op korte termijn aangepakt worden?	30
3.3.5. Welke maatregelen passen hierbij?	31
3.3.6. Conclusie	35

4. Conclusie	36
5. Discussie.....	37
5.1. Waarom klimaatslim bosbeheer?	37
5.2 Gebruik van uitheemse soorten.....	37
5.3 Nadelen van bodemverbeterende materialen	37
5.4. Kosten.....	37
5.5. Vervolgonderzoek	38
6. Aanbevelingen	39
7. Reflectie	40
7.1. De gebruikte methode	40
7.2. Bijdrage aan duurzaamheid.....	40
Bibliografie	41
Bijlage 1: Bodemkaart	46
Bijlage 2: Hoofdboomsoorten	47
Bijlage 3: Grove den en Amerikaanse eik op betere bodems	48

1. Inleiding

De inleiding bestaat uit de aanleiding van het project, een kader waarin de wetenschappelijke relevantie wordt aangetoond en gegevens van de opdrachtgever en het projectgebied. Vervolgens wordt er een probleemanalyse opgemaakt, waaruit een probleemstelling en ten slotte een projectdoel komen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de hoofdvraag van het project.

1.1 Aanleiding

De Nederlandse bossen op de hogere zandgronden zijn aan het veranderen. Op de droge zandgronden gaat het slecht met de eiken (*Quercus sp.*), en fijnsparren (*Picea abies*) sterven in grote aantallen (Bosgroepen, 2019). Daarnaast krijgen andere boomsoorten het ook steeds zwaarder door droge periodes, die in de toekomst steeds vaker voor zullen komen in de zomer (Kremers & Boosten, 2019). Deze problemen zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan de veranderingen in klimaat. Veranderingen in klimaat zijn er altijd geweest, maar momenteel gaat dit zo snel dat de bossen naar verwachting geen tijd hebben om zich hier op een natuurlijke manier op aan te passen (ASN Bank, 2017). Een vermindering van de vitaliteit van bomen wordt, naast o.a. droogte en windworp, vermoedelijk ook veroorzaakt door depositie van zwavel en stikstof (van den Burg, Bijlsma, & Bobbink, 2015). Ook zijn er grote problemen met het verder verzuren van de bodem waardoor veel boomsoorten het zwaar hebben (de Vries, 2017). De eik is een soort die hier momenteel zwaar onder lijdt.

Ook in Het Nationale Park De Hoge Veluwe treden deze problemen op, en blijken de huidige bossen niet voldoende weerbaar te zijn. Van de fijnsparren is niet veel meer over en ook de inlandse eik ondervindt momenteel veel problemen. Er ontstaan vooral problemen bij de zomereik, maar ook de wintereik lijkt in vitaliteit achteruit te gaan (Lucassen, et al., 2014). Het overgrote deel van de inlandse eiken in Nederland is zomereik. Het is nog niet bekend hoe de eikensterfte wordt veroorzaakt. Vermoedelijk speelt een mineralentekort door depositie een rol, maar ook droogte kan hieraan bijdragen (van den Burg, Bijlsma, & Bobbink, 2015).

Hoewel de fijnspar en de inlandse eik de grootste probleemgevallen zijn in het Park, is ook een duidelijke teruggang zichtbaar in andere soorten. De droogte van 2018 is hier de grootste boosdoener. Daarnaast versterkt de arme, zure bodem van de Hoge Veluwe het effect van de droogte doordat vocht en voedingsstoffen niet goed vastgehouden worden (Bosgroepen, 2018). Op meerdere plekken in het Park doet de Japanse lariks (*Larix kaempferi*) het slecht, en ook bij de Douglasspar (*Pseudotsuga menziesii*) is een teruggang in vitaliteit waarneembaar. Soorten die het voorsnog goed doen in het Park zijn de grove den (*Pinus sylvestris*) en exoten zoals de Amerikaanse eik (*Quercus rubra*) en de Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*). De vitaliteit van beuk (*Fagus sylvatica*) verschilt sterk per locatie.

Deze problematiek kan dilemma's veroorzaken voor de beheerders. Probeer je de bossen in stand te houden zoals ze nu zijn, of moet er gekozen worden voor aanpassingen die het bos beter bestand maken tegen deze problemen d.m.v. klimaatslim bosbeheer. Dit zijn afwegingen waar nu al over moet worden nagedacht, aangezien het bos een ecosysteem is met een relatief lange omlooptijd (Nabuurs, 2018). Om de bossen te behouden voor de toekomst is de verbetering van de kwaliteit van de bodem ook belangrijk, zodat vitaliteit en biodiversiteit behouden of zelfs verbeterd worden.

Stichting Het Nationale Park De Hoge Veluwe schrijft elke 5 jaar een nieuw beheerplan. Momenteel wordt druk gewerkt aan het nieuwe beheerplan voor het hele park. Dit moet in 2019 af zijn. In dit nieuwe beheerplan worden de nieuwe beheerdoelen opgenomen waar de komende tijd aan gewerkt

gaat worden. Dit biedt een mogelijkheid om nu al een plan op te nemen voor weerbaardere bossen en klimaatslim bosbeheer. Zo kan er de komende jaren al actief gewerkt worden aan duurzame, toekomstbestendige bossen.

1.2 Kader

In het kader worden de relevante ontwikkelingen behandeld op het gebied van klimaatslim bosbeheer en het vergroten van de weerbaarheid van het bos. Vervolgens wordt de opdrachtgever en het projectgebied toegelicht.

1.2.1. Relevante ontwikkelingen

Bodemkwaliteit krijgt een steeds belangrijkere rol in het natuurbeheer. In het verleden werd de aanplant van bomen vooral gedaan met productie als uitgangspunt. Dit verklaart de grote hoeveelheden grove den die we nu terugvinden op de zandgronden (Digibron, 1988). De dennen doen het goed op de arme zandgrond, maar hebben als nadeel dat de bodem verder verarmt door zuur, lastig verteerbaar strooisel (Bosgroepen, 2015). Naast de dennen overheersen beuk en eik op de zandgronden. Deze soorten hebben slecht verteerbaar strooisel, waardoor het lang duurt voordat nutriënten vrijkomen en de bodem verder verzuurt. Door de verzuring van de bodem neemt de biodiversiteit af en vermindert de vitaliteit van boomsoorten zoals de inlandse eik. Hierdoor komt steeds meer aandacht voor bodemverbetering door het inbrengen van soorten met rijk, snel verteerbaar strooisel. Soorten zoals de linde en de esdoorn zijn hier zeer geschikt voor. In verschillende bossen op de arme zandgronden wordt al geëxperimenteerd met de inbreng van deze bodemverbeterende soorten, tot nu met wisselende resultaten. Door inbreng van deze soorten kan verzuring plaatselijk verzacht worden en kan de biodiversiteit toenemen. Lastig hierbij is wel dat deze soorten het niet altijd goed doen op de arme, zure gronden.

Naast de verzuring van de bodem door de boomsoorten, is bodemkwaliteit momenteel ook relevant door problemen met depositie, waar de bossen duidelijk onder lijden. De depositie leidt tot aantasting van ecosystemen en kan de soortensamenstelling veranderen. Ook heeft depositie tot gevolg dat bomen vatbaarder kunnen worden voor droogte, ziekten en windschade (CLO, 2013). In de jaren '80 van de vorige eeuw was de uitstoot van zwavel en stikstof in Nederland op zijn hoogst. Na 1990 is deze depositie sterk verminderd maar uit onderzoek in eikenopstanden op arme zandgronden blijkt dat dit weinig effect heeft gehad op de bodemverzuring, die reeds was begonnen. De buffercapaciteit van de bodem was sterk afgenomen, en neemt nog steeds verder af (de Vries, 2017).

Naast aanplant van strooiselverbeterende soorten kan het toevoegen van mineralen zoals steenmeel ook een herstellende maatregel tegen verzuring zijn. Hier wordt momenteel veel onderzoek naar gedaan. Steenmeel is fijngemalen vulkanisch- of dieptegesteente dat een betere verbinding tussen organische stofdeeltjes veroorzaakt. Dit zorgt voor een betere uitwisseling van stoffen tussen planten en een betere vochthuishouding. (Groen kennisnet, 2016). Steenmeel bevat hoge concentraties van calcium (C), kalium (K), magnesium (Mg) en fosfor (P). Dit wordt al langer toegepast bij heidevegetatie (van Diggelen, 2019), maar nu wordt ook geëxperimenteerd in eikenopstanden. Tijdens de veldwerkplaats 'steenmeel in oude eikenbossen', die 26 juni 2019 plaatsvond in Het Nationale Park De Hoge Veluwe zijn de eerste resultaten gepresenteerd. In de bodem werd een stijging van Ca, K en Mg waargenomen en zelfs in de bladchemie was al een stijging van concentraties K en Mg, en een daling van stikstof (N) waarneembaar. Op langere termijn kan dit de vitaliteit van de eiken positief beïnvloeden. Mogelijk kan dit ook in opstanden met andere boomsoorten toegepast worden.

Naast de huidige problemen met de bodem, zullen de bossen in de toekomst veranderen door klimaatverandering. De winters worden zachter en natter, en de zomers worden juist droger en heter. Dit zorgt voor extreme weersomstandigheden met meer zware buien en meer hittegolven (ASN Bank, 2017). Ecosystemen als bossen hebben een relatief lange levensduur, waardoor deze zeer gevoelig zijn voor klimaatverandering. Door droogte in de zomer zullen bomen sneller in de problemen komen. Soorten zullen zich meer naar het noorden verplaatsen. Stormschade zal toenemen en doordat de vitaliteit van de bomen afneemt zullen ze gevoeliger worden voor ziekten en plagen (Boosten & Nyssen, 2018).

Een voorbeeld zijn de problemen die ontstaan zijn na de droogte in zomer 2018. Deze droogte werd veroorzaakt door hoge luchtdruk boven Scandinavië, en kan daarom niet direct gelinkt worden aan klimaatverandering (KNMI, 2019). Wel was dit een duidelijk teken dat veel bossen in Nederland nog niet voldoende weerbaar zijn tegen deze extreme weersomstandigheden.

De problemen zijn vooral duidelijk te zien in fijnsparrenopstanden. Door de stormen in januari 2018, de droogte in de zomer en de vatbaarheid voor de letterzetter zijn er niet veel vitale fijnsparren meer. Een deel van de aangetaste fijnsparopstanden is direct hierna geruimd. Hoewel er nog vitale fijnsparrenopstanden tussen staan, blijven deze verder aftakelen en sterfte komt nog steeds veel voor. Ook de lariks heeft een klap gekregen van de droogte. Nog steeds zijn de toppen bij veel lariksen kaal, en lopen ze alleen aan de onderkant weer groen uit. Vooral in ongemengde opstanden is dit veel te zien. In gemengde opstanden lijken de gevolgen van de droogte iets minder hevig. Bij de douglasspar is hetzelfde probleem waarneembaar. Op verschillende plekken op de droge zandgronden staat deze dun in de naalden (Bosgroepen, 2019).

Op de droge zandgronden is ook te zien dat beuk en eik minder volle kronen hebben ten opzichte van vorig jaar. Ook is bij met name zomereik te zien dat deze pas laat in het jaar uitloopt (Bosgroepen, 2019).

Om dit soort problemen in de toekomst te voorkomen worden maatregelen genomen. Een van de mogelijkheden is het dempen van sloten zodat het regenwater minder snel afgevoerd wordt (Bosgroepen, 2019). Een andere maatregel die veel genoemd wordt, is het veranderen van de samenstelling van de bossen. Monoculturen en gelijkjarige bossen zijn duidelijk minder weerbaar dan bossen die gemengd zijn in soortensamenstelling en leeftijdsopbouw. Als één van de soorten uitvalt, zijn er altijd nog andere soorten aanwezig zodat het bos voort bestaat (Boosten, 2018). Daarnaast wordt er ook geëxperimenteerd met de inbreng van nieuwe boomsoorten met een hogere droogtetolerantie. Voorbeelden zijn robinia (*Robinia pseudoacacia*) en tamme kastanje (*Castanea sativa*), maar ook minder bekende bossoorten als de boomhazelaar (*Corylus colurna*) en de tulpenboom (*Liriodendron tulipifera*) (Roosien, 2013).

Behalve de bodemverzuring en de droogte, kunnen ook factoren als stormen en plagen de vitaliteit van het bos beïnvloeden. Omdat veel bossen hier nog niet op ingespeeld zijn, wordt de term 'klimaatlim bosbeheer' steeds vaker genoemd. Klimaatlim bosbeheer bestaat uit twee doelstellingen: Het vastleggen van meer CO₂ in het bos, en het weerbaarder maken van het bos tegen klimaatinvloeden (Kremers & Boosten, 2019). Het vastleggen van meer CO₂ kan bijvoorbeeld gedaan worden door het optimaliseren van de bijgroei door het kiezen van snelgroeiende soorten en regelmatig dunnen (Boosten, et al., 2018). Om het bos weerbaar te maken tegen klimaatinvloeden kan gekozen worden voor het vergroten van de structuurvariatie, het vergroten van soortenrijkdom en het inbrengen van meer genetische variatie (Wijdeven, Nyssen, & Buysse, 2019).

1.2.2 Opdrachtgever

De opdrachtgever is Stichting Het Nationale Park De Hoge Veluwe. Het Park is een particulier grondbezit en vrijwel volledig afhankelijk van betalende bezoekers. Het beleid van de Hoge Veluwe krijgt vorm op basis van drie pijlers:

1. Natuur en landschap
2. Cultuurhistorie, kunst en architectuur
3. Bezoekers

In dit project wordt gewerkt met de eerste pijler: Natuur en landschap.

Een van de belangrijkste doelen is het duurzaam beheren en het in stand houden van het natuurgebied. Recreatie is daarbij ook belangrijk, aangezien het Park niet kan bestaan zonder de bezoekers. Productie vindt op kleine schaal plaats en de opbrengsten worden opnieuw geïnvesteerd in het park.

Het beheer op de Hoge Veluwe gebeurt aan de hand van actief beheer, waarbij het landschap voortdurend wordt bijgestuurd. Dit zorgt voor variatie en een grote biodiversiteit. Als niet actief beheerd wordt, zal het landschap steeds uniformer worden en hierbij gaat biodiversiteit verloren. Voor de instandhouding van de bossen ligt de nadruk op natuurlijke verjonging. Toch worden er ook bomen aangeplant als de natuurlijke verjonging van de gewenste boomsoort moeizaam gaat. Zo wordt eik aangeplant, maar ook soorten als linde en esdoorn. Daarnaast lopen momenteel ook experimenten met o.a. boswilg, schietwilg en populier. Om de jonge bomen te beschermen tegen wildvraat wordt vaak gebruik gemaakt van rasters.

Er wordt minder geoogst dan de bijgroei. Daarnaast wordt er gestuurd in boomsoortensamenstelling door gewenste soorten vrij te stellen en door het maken van openingen. Dit wordt gedaan met het oog op het creëren van een gevarieerd bos in boomsoortensamenstelling, maar ook op leeftijd en structuur met een gezond aandeel oudere bomen en dood hout (NPHV, 2018).

Belanghebbenden

De belangrijkste belanghebbenden zijn recreanten. Zij houden het park draaiende door te betalen voor entree. Daarom blijft recreatie belangrijk. Naast het feit dat het park een hoge natuurwaarde moet hebben, moet het ook interessant blijven voor recreanten. Hier moet in het bosbeheer bijvoorbeeld rekening mee gehouden worden door het verwijderen van gevaarlijke bomen langs paden, maar ook door het visueel aantrekkelijk houden van de bossen.

1.2.3 Regiobeschrijving

Een groot gedeelte van het Park is tijdens de ijstijden gevormd. In geologisch opzicht maakt het deel uit van het Veluwe-massief, een hooggelegen landschap van stuwwallen, smeltwaterwaaiers en dekzanden. Op de Hoge Veluwe zijn drie landschappen te onderscheiden. Dit zijn stuwwal- en grondmorenelandschap, dekzandlandschap en stuifzandlandschap. Deze landschappen zijn weer verder onder te verdelen in bijvoorbeeld dekzandruggen en landduinen (NPHV, 2010). Deze verschillen in landschappen zijn deels verantwoordelijk voor de verschillende bodemsoorten en uiteindelijk de vegetatie die hier verwacht kan worden. Kaart 1 toont de geomorfologische situatie van Het Nationale Park De Hoge Veluwe. Kaart 2 toont de verschillende bodemsoorten. Deze bodemsituatie, zeker op de duinvaaggronden en haarpodzolgronden, zorgt voor zeer zure, arme omstandigheden. Op plekken waar in het verleden landbouw heeft plaatsgevonden is de bodem wat rijker en doen veel boomsoorten het duidelijk beter.

Het Park bestaat uit verschillende natuurtypes waaronder bos, heide en actief stuifzand. Het grootste gedeelte van het Park bestaat uit bos.

Momenteel worden de bossen in het beheerplan onderverdeeld in de SNL beheertypen. In het Park betekent dit dat er 'droog bos met productie' en 'dennen- eiken- en beukenbos' is. Het dennen- eiken- en beukenbos in het Park bestaat vooral uit natura 2000 beheertypes 'zuurminnend eikenbos' en 'beukenbos met hulst'. Van oudsher komen hier zomer- en wintereik, beuk en ruwe berk voor. Vanaf 1800 is hier grove den bijgekomen en later is ook Douglasspar, Japanse lariks en zwarte den ingebracht. Onder dit beheertype vallen de voormalige bosreservaten als Hoog Baarlo, Deelense Start-Eikenhoutbergen, Franse Berg en het Rieselo. Ook vallen een aantal opstanden rond Kemperberg-Roggekamp, Zinkgat, en grote delen van het Otterlose Bos onder dit beheertype. Vaak betreft het oude eikenopstanden.

Onder 'droog bos met productie', vallen de overige bossen van de Hoge Veluwe. Dit zijn voornamelijk bossen met 1^e en 2^e generatie Grove den, Corsicaanse den en lokaal menging van berk en inlandse eik. Op rijkere gronden staan ook Japanse lariks, Douglasspar, beuk en Amerikaanse eik. Delen in het Park die vallen onder dit beheertype zijn het voormalige landgoed Hoenderloo en Kemperberg. Ook de oudere opstanden van voornamelijk grove den in de Sickenze Dennen en Siberië vallen hier onder (NPHV, 2015)

Grove den is verreweg het sterkste vertegenwoordigd in het park (64 %). Gevolgd door inlandse eik (12,6 %). Ook Douglas (6%), berk (4,6%), beuk (4,5%) en Amerikaanse eik (2,8%) vormen een aanzienlijk deel. Fijnspar is niet afzonderlijk geïnventariseerd maar valt onder 'overig naaldhout' (3,7 %) waar o.a. fijnspar, Japanse Lariks, reuzenzilverspar en zwarte den onder valt. Ook is er 1% toegekend aan 'overig loofhout'.

1.3 Probleemanalyse

Meer dan 20% van de bossen op de Hoge Veluwe bestaat uit boomsoorten die vallen onder de gevoelige soorten voor klimaatverandering, droogte en bodemverzuring (bijvoorbeeld eik, fijnspar, Douglas en lariks). Een groot deel hiervan laat al een verminderde vitaliteit zien. Met een aandeel van 12,6% van het totaal vormt vooral de aftakeling van de eiken in het Park een zorgwekkende ontwikkeling. In grote delen van het Park is een duidelijke teruggang in vitaliteit onder de eiken zichtbaar. Ook de sterfte van fijnsparren zorgt voor een neerslachtig beeld.

De droogte wordt in het algemeen als de grootste boosdoener aangewezen voor de verminderde vitaliteit van boomsoorten op de hogere zandgronden, zoals die op de Hoge Veluwe. Perioden van droogte zullen mogelijk in de toekomst vaker voorkomen in verband met klimaatverandering (ASN Bank, 2017). Het negatieve effect van de droogte wordt versterkt door de zure, arme bodem op de hogere zandgronden, doordat voedingsstoffen en vocht moeilijker kunnen worden vastgehouden. Hierdoor kunnen de bossen de klap van de droogte niet goed opvangen. Depositie van zwavel en stikstof veroorzaakt een verdere verzuring en verarming van de bodem. De verzuring van de bodem neemt nog altijd toe. De grote eikensterfte wordt grotendeels gelinkt aan deze verzuring door depositie. Door de klimaatverandering treden ook andere effecten op die de vitaliteit van bossen beïnvloeden. Denk hierbij aan het toenemen van stormschade, een verschuiving in groeiseizoen, een verplaatsing van soorten naar het noorden, en een toename in plagen en ziekten.

De bossen op de hogere zandgronden, en daarmee ook de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe, blijken nog niet voldoende weerbaar tegen de invloeden van klimaatverandering en bodemverzuring. Om de vermindering van vitaliteit van de bossen zo goed mogelijk tegen te gaan, moet de weerbaarheid worden vergroot.

1.4 Probleemstelling

De bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe lijden onder de veranderende klimatologische omstandigheden, depositie en verdergaande verzuring. Momenteel is nog niet duidelijk hoe de weerbaarheid van de bossen van de Hoge Veluwe het beste kan worden vergroot.

1.5 Doel van het project

Het doel van de opdracht is onderzoeken hoe de weerbaarheid van de bossen vergroot kan worden door duurzaam en klimaatbestendig beheren, met ruimte voor bodemverbeterende maatregelen. Hier zal een advies voor beheer voor worden geschreven.

1.6 Hoofdvraag

Hoe kunnen bestaande methodes voor klimaatslim bosbeheer en bodemverbetering bijdragen aan het vergroten van de weerbaarheid van de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe?

2. Methode

Om tot het gewenste resultaat te komen wordt gewerkt met onderzoeksvragen. De onderzoeksvragen zijn beantwoord aan de hand van literatuuronderzoek, case studies en interviews. De resultaten die uit de onderzoeksvragen naar voren kwamen, dienden als de basis voor het beantwoorden van de hoofdvraag. Hieronder worden eerst de onderzoeksvragen genoemd, in het volgende hoofdstuk wordt dit verder toegelicht met werkwijzen en tussenproducten.

2.1 Onderzoeksvragen

1. Wat zijn momenteel ontwikkelingen in klimaat en bodem en welke (negatieve) effecten hebben deze op het bos?
2. Welke maatregelen voor klimaatslim bosbeheer (op droge zandgronden) zijn op dit moment bekend en hoe worden deze toegepast?
3. Welke van de bij onderzoeksvraag 2 onderzochte methoden zijn het meeste geschikt om toe te passen op de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe?

2.2 Werkwijze en tussenproducten

1. Wat zijn momenteel ontwikkelingen in klimaat en bodem en welke (negatieve) effecten hebben deze op het bos?

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden is een literatuuronderzoek gedaan naar welke trends zichtbaar zijn in klimaat en depositie van stikstof en zwavel. Zo is er onderzoek gedaan naar welke effecten van (vermoedelijk) klimaatverandering momenteel zichtbaar zijn en welke effecten deze hebben op de Nederlandse bossen op de hogere zandgronden. Hiervoor is alleen gekeken naar de trends in klimaatverandering die de vitaliteit van de bossen beïnvloeden.

Werkwijze

Documenten over de te verwachten ontwikkelingen in klimaatverandering zijn veelvuldig te vinden. Betrouwbare bronnen om mee te starten zijn de website van rijksoverheid, onderwerp 'klimaatverandering en gevolgen (Rijksoverheid, sd)', en onderzoeksrapporten van het KNMI (KNMI, 2019). Voor internationale literatuur kan gebruik gemaakt worden van onderzoeksrapporten en nieuwsberichten van 'The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019)'.

Wageningen University & Research biedt informatie over de effecten van klimaatverandering op bossen in 'dossier klimaat en bos (Nabuurs, 2019)' en 'dossier klimaat en bodem (Lesschen, 2018)'. Andere betrouwbare bronnen voor dit onderwerp zijn onderzoeksrapporten als: 'Invloed van klimaatverandering op het Gelderse bos (Immerzeel & Droogers, 2007) en artikelen uit vakbladen zoals 'vakblad natuur bos landschap', met name het onderwerp eco2eco (VNBL, 2019). Daarnaast wordt er ook veel gebruik gemaakt van documenten van Probos en bosgroepen.

Voor de effecten van bodemverzuring op bossen zijn veelal dezelfde bronnen gebruikt. Zo zijn er in vakblad natuur bos en landschap al verschillende artikelen geweid aan de doorgaande bodemverzuring. Ook Stichting Probos en Wageningen University & research hebben veel beschikbare en relevante documenten.

In deze fase is dr.ir. J. den Ouden geïnterviewd over de effecten van klimaatverandering in de bossen en klimaatslim bosbeheer. Den Ouden is expert op het gebied van (klimaatslim) bosbeheer en een van de auteurs van het boek Bosecologie en Bosbeheer (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010). Den Ouden is mondeling geïnterviewd.

Tussenproduct

Het tussenproduct bestaat uit een overzicht van trends die zichtbaar zijn op het gebied van klimaatverandering en bodemverzuring en welke recente ontwikkelingen hierin relevant zijn voor de Nederlandse bossen. Ook is opgenomen welke van de onderzochte effecten ook al zichtbaar zijn op de Hoge Veluwe.

2. Welke maatregelen voor klimaatslim bosbeheer (op droge zandgronden) zijn op dit moment bekend en hoe worden deze toegepast?

In onderzoeksvraag 1 is onderzocht welke factoren van klimaatverandering en bodemverzuring de weerbaarheid van het bos beïnvloeden. Zodra de gevolgen van klimaatverandering en bodemverzuring op de bossen bekend waren, is gekeken naar hoe het bos zo weerbaar mogelijk gemaakt kan worden tegen deze effecten. Dit is onderzocht in onderzoeksvraag 2.

Er zijn al meerdere methodes bekend voor het vergroten van de weerbaarheid van bossen waarvan enkele nader onderzocht zijn. Voorbeelden zijn bodemverbetering met inbreng van nieuwe soorten, bodemverbetering door het direct toepassen van bodemverbeterende materialen (bijvoorbeeld steenmeel) en de mogelijkheden van klimaatslim bosbeheer op de droge zandgronden. Dit zijn allemaal methodes waarvan de werking wetenschappelijk aantoonbaar is. Daarnaast is actief gezocht naar andere methodes om het bos weerbaarder te maken. Deze zijn uit literatuuronderzoek en interviews naar voren gekomen.

Werkwijze

Om de mogelijkheden voor het inbrengen van klimaatsterke en bodemverbeterende boomsoorten te onderzoeken, is gebruik gemaakt van de boeken 'Bosecologie en Bosbeheer' (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010) en 'Terug naar het lindewoud' (Hommel, de Waal, Muys, den Ouden, & Spek, 2007). Daarnaast is gebruik gemaakt van het bestand 'droogtetoleranties', wat na de excursie klimaatslim bosbeheer op 16 mei in de bossen bij Mook beschikbaar is gesteld door Stichting Probos (Probos, 2019). Ten slotte is gebruik gemaakt van websites als floravannederland.nl, bomenwijzer en het Nederlands Soortenregister (Naturalis, 2016).

Om de mogelijkheden voor bodemverbetering door inbreng van bodemverbeterende mineralen te onderzoeken, is gebruik gemaakt van de rapporten 'Herstel van loofbossen op droge zandgronden' (de Vries, et al., 2017). Artikelen uit de vakbladen 'vakblad natuur bos en landschap', 'De levende natuur' en 'landschap', en documenten op de website van Stichting Probos, groen kennisnet en Wageningen University and Research. Daarnaast is contact opgenomen met een beheerder van Zuid-Limburg landschap die al langer werkt met bodemverbeterende materialen.

Om de mogelijkheden voor klimaatslim bosbeheer en het omvormen naar klimaatslim bos te onderzoeken is gebruik gemaakt van documenten op de websites van Stichting Probos, Wageningen University and Research en bosgroepen. Daarnaast is gebruik gemaakt van artikelen uit vaktijdschriften en de boeken 'Bosecologie en Bosbeheer', (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010) en 'De aanleg van nieuwe bossen' (Jansen, Boosten, Winterink, & van Benthem, 2009). Ook is gebruik gemaakt van het rapport 'gereedschapskist klimaatslim bosbeheer' (Boosten, et al., 2018).

Tussenproduct

Het tussenproduct bestaat uit een overzicht met de verschillende mogelijkheden voor het vergroten van de weerbaarheid van het bos.

3. Welke van de bij onderzoeksvraag 2 onderzochte methoden zijn het meeste geschikt om toe te passen op de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe?

Nadat de opties voor het vergroten van de weerbaarheid van bossen onderzocht waren, is er gekeken welke mogelijkheden toepasbaar zijn op de Hoge Veluwe.

Om te onderzoeken welke mogelijkheden er verder zijn voor de Hoge Veluwe, is eerst gekeken welke problemen spelen op de Hoge Veluwe, om de maatregelen hierop af te stemmen. Hierbij zijn vijf vragen gesteld:

1. Welke problemen spelen in dit bosgebied?
2. Waarom is dit een probleem?
3. Wat wordt op de Hoge Veluwe al gedaan aan klimaatslim bosbeheer?

4. Welke opstanden kunnen op korte termijn aangepakt worden?
5. Welke maatregelen passen hierbij?

Om te onderzoeken welke maatregelen mogelijk zijn dient gekeken te worden naar de bodem. Omdat de bodem zuur en arm is, is niet elke maatregel overal in het Park mogelijk. Daarbij is het ook belangrijk om te kijken wat momenteel de soortensamenstelling is in de 'probleemgebieden' in het Park en of het mogelijk en toegestaan is om hierin te sturen, in verband met de huidige functie en beheertype van het bosgebied.

Werkwijze

Om de bodemsituatie in het Park te inventariseren is gebruik gemaakt van de bodemkaarten in GIS. Om de kwaliteit van de humuslaag in te schatten, is gebruik gemaakt van de bedrijfskaart in GIS. Hierin staat per opstand wat de hoofdboomsoort is en bijzonderheden in de opstand. Zo is onderzocht of er voornamelijk arm- of rijkstrooisel soorten staan.

De voornaamste problemen in het Park zijn in kaart gebracht met behulp van beheerders van de Hoge Veluwe.

Hoe het bos weerbaarder kan worden en welke maatregelen hierbij passen is onderbouwd met de resultaten uit onderzoeksvraag 2. Welke maatregelen toepasbaar zijn is bepaald aan de hand van de huidige problemen in het bos, waarom het bos weerbaarder moet worden, hoe het 'weerbare' bos er uit moet zien en welke maatregelen gezien de bodemsituatie, soortensamenstelling en functie van het bosgebied mogelijk zijn.

Tussenproduct

Een lijst met mogelijke maatregelen voor het vergroten van de weerbaarheid van de bossen van de Hoge Veluwe.

2.3 Afbakening

Het onderzoek is gericht op het vergroten van de weerbaarheid van de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe. Omdat het Park groot is en het onderwerp complex kan niet alles behandeld worden.

Wat niet wordt aangehaald in dit rapport:

- Recreatie
- Productie
- Cultuurhistorische elementen
- Vraatdruk
- Er wordt geen werkplan op uitvoeringsniveau geschreven
- Er kan niet voor elke locatie in het Park omschreven worden wat de specifieke ontwikkelingen zijn

3. Resultaten

In het hoofdstuk resultaten wordt behandeld wat de resultaten zijn van de drie onderzoeksvragen. Elke onderzoeksvraag begint met een inleiding, vervolgens een uiteenzetting van de gevonden informatie en ten slotte een conclusie.

3.1 Effecten van klimaatverandering en bodemverzuring op de bossen

Klimaatverandering is een structurele verandering in de gemiddelde weersgesteldheden waarvan de invloeden op mens, milieu en natuur enorm zijn (Groene Ruimte, 2015).

Veranderingen in klimaat zijn er altijd geweest. De activiteit van de zon, vulkaanuitbarstingen en meteorietinslagen zijn allemaal oorzaken die in het verleden het klimaat in beweging hebben gezet. Sinds de industriële revolutie is hier een nieuwe oorzaak bijgekomen. Door de uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂ en methaan (CH₄) beïnvloedt de mens nu ook het klimaat. De verhoogde uitstoot komt met name door de verbranding van aardgas, aardolie en steenkool (CO₂) en door landbouw (uitstoot van methaan). De toename van deze zogenaamde broeikasgassen zorgt ervoor dat warmte wordt vastgehouden, waardoor de gemiddelde temperatuur op aarde stijgt. In Nederland is dit een stijging van 1,7 °C in de afgelopen 130 jaar en mondiaal een stijging van 1 °C. Deze stijging in temperatuur zorgt er ook voor dat zeewater uitzet en ijskappen en gletsjers smelten, waardoor de zeespiegel stijgt. Mondiaal is de zeespiegel al 22 cm gestegen. In Nederland zelfs al 24 cm (CLO, 2018).

Als er niets verandert aan deze uitstoot zal de temperatuur waarschijnlijk nog verder toenemen, met grote gevolgen voor de natuur. Het weer wordt extremer, wat betekent dat er vaker stormen voorkomen. Ook zijn er vaker stortbuien, waarvan het grootste gedeelte buiten het groeiseizoen valt. In het groeiseizoen zullen er juist vaker lange droogteperiodes voorkomen, waardoor in de winter een neerslagoverschot ontstaat en in de zomer een neerslagtekort. Ook begint het groeiseizoen vroeger. Veel dier- en plantensoorten zullen zich naar andere leefgebieden verplaatsen of zelfs uitsterven. Enkele dier- en plantensoorten vergroten hierdoor juist hun leefgebied, waardoor concurrentie kan ontstaan met andere soorten (Groene Ruimte, 2015).

Naast uitstoot van CO₂ en methaan is ook de uitstoot van zwavel en stikstof gestegen, dit wordt in paragraaf 3.1.2. verder toegelicht.

3.1.1 Effecten van klimaatverandering op de bossen op de hogere zandgronden

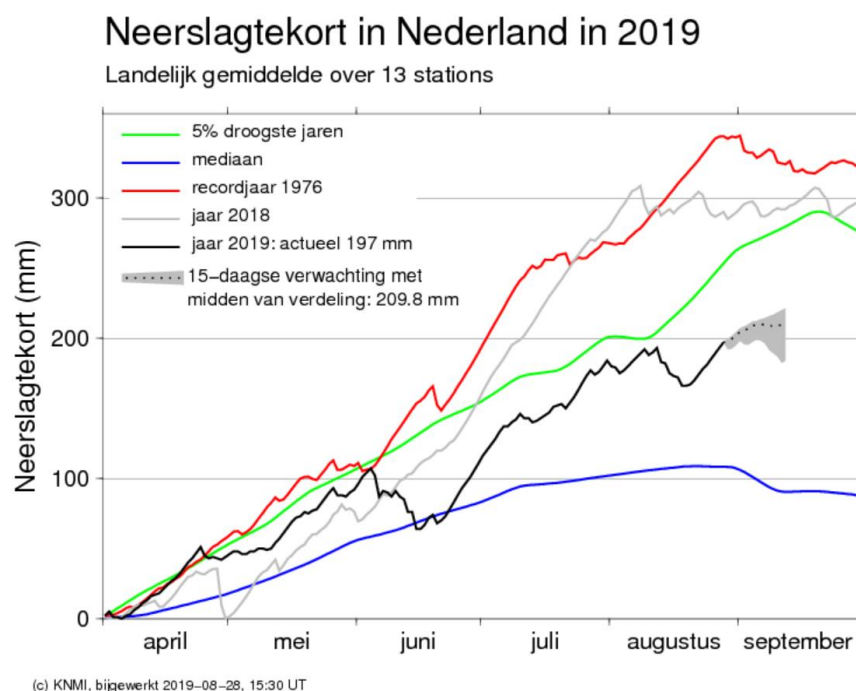
De gevolgen van de veranderingen in klimaat zijn nu al zichtbaar in de bossen en de effecten worden naar verwachting alleen maar groter. In veel bossen op de hogere zandgronden worden al problemen geconstateerd. Op deze bodem is de situatie extra problematisch omdat deze door een lage grondwaterstand, lage pH en weinig voedingsstoffen voor veel aangeplante bossoorten al niet de ideale groeiplek is (VBNE, 2015). Verdere verzuring en oplossing van nutriënten dragen nog verder bij aan de aftakeling van de bossen.

Door de droge, arme bodems staan veel boomsoorten al op het randje van hun fysiologisch optimum en hierdoor zijn de bossen weinig veerkrachtig tegen veranderingen. Een duidelijk zichtbaar probleem is momenteel dan ook de extreme weersomstandigheden die zich steeds vaker voordoen de afgelopen jaren. Vooral de terugkerende droogte wordt als groot probleem beschouwd. Daarnaast kunnen stormen ook problemen veroorzaken. Hiervan is echter nog niet wetenschappelijk bewezen dat deze door klimaatverandering vaker voorkomen (de Jong, 2010). Na de januaristormen in 2018 is er zelfs

een relatief lange periode geweest waarbij er geen heftige stormen voorkwamen (langste periode sinds 2003) (van de Laak, 2019). Wel beïnvloedt de 'stormtolerantie' van een bos de algemene weerbaarheid sterk. Daarom is besloten om deze wel mee te nemen in de analyse.

3.1.1.2 Droogte

De zomer van 2018 was een van de droogste zomers in Nederland ooit gemeten. De gevolgen voor landbouw en natuur waren groot. Ook in 2019 is er al een neerslagtekort ontstaan en het lijkt daarmee weer een bovengemiddeld droog jaar te worden (figuur 1). Hoewel de droogte in 2018 niet klakkeloos toegeschreven mag worden aan klimaatverandering, deze werd veroorzaakt door hoge luchtdruk boven zuidelijk Scandinavië (KNMI, 2019), wordt in de toekomst wel verwacht dat dit vaker voor zal komen.



Figuur 1: neerslagtekort in Nederland in 2019 (KNMI, 2019)

De droogte in de zomer van 2018 heeft vooral slachtoffers gemaakt onder soorten die sowieso al niet heel droogtetolerant zijn. Er wordt vooral veel sterfte waargenomen onder fijnsparren (*Picea abies*). Daarnaast lijken de hemlockspar (*Tsuga sp.*), de douglasspar (*Pseudotsuga menziesii*), de lariks (*Larix sp.*) en de reuzenzilverspar (*Abies grandis*) het ook zwaar te hebben.

De Fijnspar komt van oorsprong uit koudere, nattere gebieden zoals Scandinavië, maar is inmiddels door heel Europa aangeplant (Naturalis, sd). Het is een uitheemse soort die zich al buiten zijn fysiologisch optimum bevindt. De laatste jaren is een aftakeling zichtbaar onder de fijnsparren (Moons, 2017). Ook de lariks en de douglasspar staan dun in de naalden en er zijn veel dode toppen zichtbaar (Oossanen, 2019). Ook is bij met name de zomereik (*Quercus robur*) te zien dat deze pas laat in het jaar uitloopt (Bosgroepen, 2019). Ook de beuk (*Fagus sylvatica*) heeft dode toppen en dunne kronen.

3.1.1.3 Stormschade

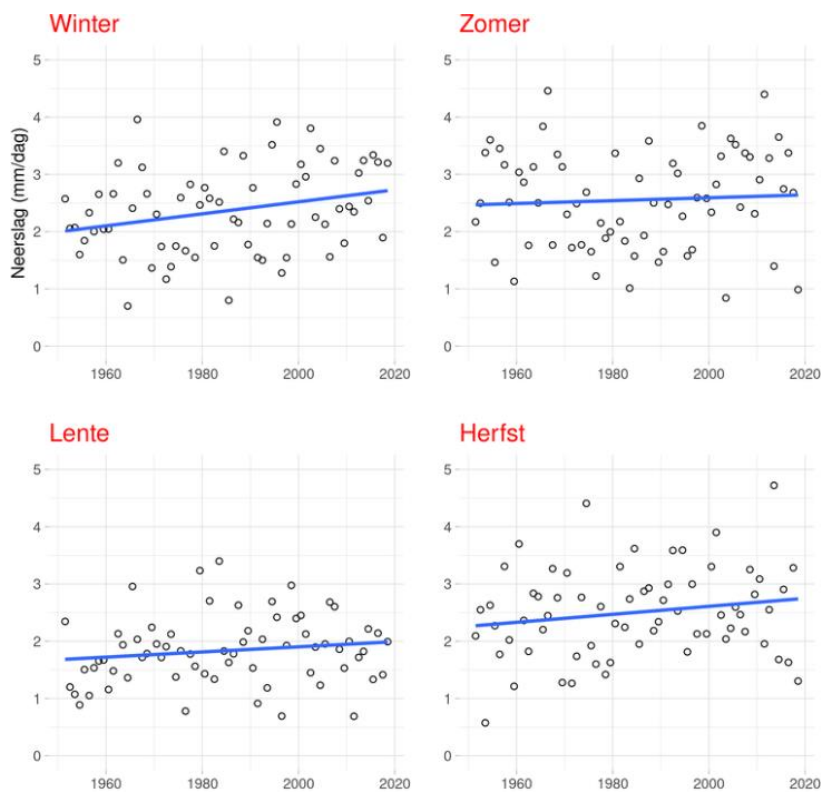
Elk jaar stormt het wel eens. De meeste bomen ondervinden hier, op een enkeling na, geen last van. Zware en zeer zware stormen komen veel minder frequent voor maar kunnen het bosbeeld wel drastisch veranderen. Een zware storm komt in Nederland gemiddeld eens per 2 jaar voor (windkracht 10 Bft), en een zeer zware storm eens per 10 jaar (windkracht 11 Bft). Dit kan vooral heel schadelijk

zijn als het gepaard gaat met hevige regenval (Schelhaas & de Vos, 2010) Regen verzwaart de kroon van de boom en in een door regen verzadigde bodem kan een boom sneller met wortel en al omwaaien (Afbeelding 1). Ook bij droge omstandigheden kan schade ontstaan, al is dit dan vaker tak- en stambreuk (Bosgroepen, 2018).



Afbeelding 1: stormschade in een bos bij Landgoed de Dellen (Goede, 2018)

Hoewel niet bewezen kan worden dat het vaker stormt door de klimaatverandering, kunnen stormen de invloed van klimaatverandering op bossen wel vergroten. Doordat bomen al verzwakt zijn door bijvoorbeeld droogte, plagen of een slechte bodemsituatie zijn ze minder weerbaar tegen windworp. Daarnaast neemt de frequentie van hevige regenbuien buiten het groeiseizoen toe, wat de effecten van stormen kan versterken (figuur 2) (KNMI, 2019).



Figuur 2: Toename neerslag buiten groeiseizoen (KNMI, 2019)

3.1.1.4 Veranderingen in groeiseizoen

Door veranderingen in neerslagpatronen, temperatuurstijging en aanhoudende droogte verandert het groeiseizoen van veel dieren, planten en bomen. Uit onderzoek van de Natuurkalender, blijkt dat bloei, bladontplooiing en vruchtrijping gemiddeld 14 dagen eerder plaatsvond in 2010 ten opzichte van 1910. Vruchtrijping van de zomereik vindt nu zelfs 35 dagen eerder plaats dan vroeger. Bladkleuring en bladval vinden daarentegen gemiddeld 7 dagen later plaats (van Vliet, 2013). Dit betekent dat het groeiseizoen nu gemiddeld 3 weken langer duurt dan vroeger. Dit heeft als nadeel dat de kans groter wordt dat verse knoppen en bloemen alsnog getroffen worden door de vorst en als de bomen in het najaar nog in blad staan, zijn zij extra kwetsbaar voor stormen. Daarnaast zijn verschillende insecten afhankelijk van de tijd van bloei van planten en bomen. Door een verschuiving in het groeiseizoen kunnen deze net buiten de boot vallen (van Vliet, 2013).

3.1.1.5. Verplaatsing van soorten richting het noorden

Door de temperatuurstijging van de afgelopen jaren, doet zich onder planten- en diersoorten een verplaatsing voor richting het noorden. In Nederland vinden we nu honderden nieuwe soorten die eerst zuidelijker voorkwamen. Dit zijn voornamelijk diersoorten die zich makkelijk verplaatsen zoals de kleine zilverreiger en de eikenprocessierups (van Vliet, 2019). Ook onder boomsoorten is een verschuiving zichtbaar. Naaldhout moet wijken voor (uitheemse) loofsoorten.

Deze verschuiving in de verspreidingsgebieden van soorten kan grote gevolgen hebben voor de Nederlandse natuur. Van 1200 inheemse planten is onderzocht bij welke gemiddelde temperaturen deze het beste gedijen. Voor ongeveer 100 soorten is het in Nederland nu al te warm. In de toekomst kan dit oplopen naar 40% van de onderzochte inheemse plantensoorten (van Vliet, 2019).

3.1.1.6 Plagen

Met de klimaatverandering wordt ook verwacht dat er meer problemen in verband met plagen ontstaan. Dit zijn vaak uitheemse schimmels of insecten waartegen de Nederlandse bossen niet goed bestand zijn. Door warmer weer, verspreiding van uitheemse (boom)soorten en de aanwezigheid van monoculturen verspreiden deze plagen zich makkelijker. Bij plaaginsecten wordt onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire plaaginsecten. Primaire plaaginsecten komen af op vitale bomen, secundaire plaaginsecten alleen op bomen die door andere factoren al verzwakt zijn. Deze aantasting ontstaat dan pas als de boom door bijvoorbeeld droogte, windworp of na aantasting van primaire plaaginsecten al in vitaliteit is afgenomen (Wageningen University and Research, 2011).

In het schema hieronder zijn de plaaginsecten opgenomen die de grootste negatieve effecten laten zien op bosbomen op de hogere zandgronden. Het risiconiveau (1-6) is bepaald aan de hand van het risico dat de boom loopt, volksgezondheid is hierin niet meegenomen.

Naam plaaginsect	Soort aantasting	Boom	Risiconiveau
Groene eikenbladroller	Primair	Eik	2
Eikenprocessierups	Primair	Eik	2
Kleine wintervlinder	Primair	Eik	2
Eikenprachtkever	Secundair	Eik	3
Eikenspintkever	(meestal) secundair	Eik	3
Letterzetter	Secundair	Fijnspar	4
Dennenscheerder	Secundair	Den	2

Tabel 1: Plaaginsecten in bosbomen op de hogere zandgronden (Moraal L. , 2011) (betere bomen, 2019)

3.1.2 Afname vitaliteit van bomen door verlaging pH en afname buffercapaciteit

De afgelopen jaren is de bodemkwaliteit op de Hogere zandgronden flink afgenomen door de depositie van stikstof en zwavel. In de jaren '80 was de uitstoot van zwavel en stikstof in Nederland op zijn hoogst. Na 1990 is de depositie sterk verminderd, maar uit onderzoek in eikenopstanden op arme zandgronden blijkt dat dit weinig effect heeft gehad op de bodemverzuring die reeds was begonnen. In dit onderzoek werd de buffercapaciteit van de bodem vergeleken met de situatie in 1990 en dit bleek sterk afgenomen te zijn. Daarnaast neemt dit nog steeds af. De grootste boosdoener hierin is de landbouw (55 % van verzuring bovengrond), maar ook het verkeer (25%) en de industrie (20%) leveren significante bijdragen aan de verzuring (de Vries, 2017).

Door de afname van de buffercapaciteit van de bodem kan de zure depositie niet langer opgevangen worden. De bodem reageert hier direct sterk op wat een daling in pH als gevolg heeft

Doordat de bodem op de hogere zandgronden sowieso al heel zuur is, heeft dit als gevolg dat regenwormen hierin niet goed aarden. Regenwormen zijn noodzakelijk voor de vermenging van organisch materiaal met de mineralen bodem. Als de regenwormen hun werk niet doen, stagneert het nutriëntentransport (Desie, Muys, & Vancamphout, 2017). Daarnaast zorgt de verhoogde pH door depositie voor een uitspoeling van noodzakelijke kationen zoals calcium, magnesium en kalium. Ook zorgt dit voor verhoogde concentraties van giftige metalen en een geremde nitrificatie door veranderingen in de verhouding tussen nitraat en ammonium.

De verhoogde pH heeft als extra effect dat in zure omstandigheden de afbraak van organisch materiaal (gevalen bladeren) langzaam gaat waardoor het langer duurt voordat de noodzakelijke nutriënten opgenomen worden (VBNE, 2015).

Kortom, de bodems worden steeds zuurder en armer.

Een duidelijk zichtbaar gevolg is een verschuiving in soortensamentelling. Daarnaast wordt een afname in vitaliteit bij verschillende boomsoorten waargenomen. Het bekendste voorbeeld is de eikensterfte, In 2013 werd al door 80% van de beheerders van eikenbossen aangegeven dat er eikensterfte werd waargenomen, waarbij een derde dit omschreef als ernstig (VBNE, 2015).

3.1.3 Conclusie

Uit de gegevens blijkt dat vooral veel uitheemse naaldboomsoorten op de hogere zandgronden de gevolgen voelen van de klimaatverandering.

Ook de eik heeft het zwaar. Dit wordt vooral toegeschreven aan nutriëntengebreken door verzuring, waardoor de bomen snel minder weerbaar worden tegen de droogte en plaaginsecten. Opvallend is ook dat eik populair is bij veel verschillende plaaginsecten. Hoewel deze plaaginsecten op zichzelf voor de boom niet veel kwaad kunnen, kan dit in combinatie met andere factoren wel grote gevolgen hebben.

Naast uitheems naalddhout en inlandse eik kunnen andere soorten ook uiteindelijk in de gevarezone komen. Verwacht wordt dat het voor 40% van de inheemse planten te warm zal worden in Nederland. Andere (uitheemse) droogteresistente of zuurminnende, soorten gaan het waarschijnlijk juist beter doen, zeker als deze minder concurrentie krijgen van inheemse soorten.

3.2 Maatregelen voor klimaatslim bosbeheer.

In onderzoeksvraag 2 is onderzocht hoe de weerbaarheid tegen de klimaatinvloeden vergroot kan worden. Eerst wordt de soortenkeuze behandeld, vervolgens het belang van een gemengd bos, structuurvariatie en genetische variatie. Daarna zal gekeken worden naar maatregelen gericht op het verhogen van de CO₂ opslag en het verbeteren van de bodemkwaliteit. Ten slotte wordt uitgelegd hoe de bossen klimaatslim omgevormd en beheerd kunnen worden.

3.2.1 Welke factoren zorgen voor een weerbaar bos tegen klimaatverandering en bodemverzuring?

Bij de keuze voor een boomsoort dient rekening gehouden te worden met enkele factoren die een boom meer of minder weerbaar maken. Vervolgens wordt toegelicht welke factoren een opstand weerbaar maken.

3.2.1.1. Soortenkeuze

De soortenkeuze kan de weerbaarheid van een bos sterk beïnvloeden. Om te kunnen zeggen of een boomsoort weerbaar is, wordt naar verschillende kenmerken gekeken.

Droogtetolerantie

- De droogtetolerantie van een boomsoort is met het oog op de toenemende droogtes een belangrijke factor om rekening mee te houden.
- Soorten als fijnspar, schietwilg en lijsterbes zijn zeer droogtegevoelig.
- Soorten als tamme kastanje, grove den en robinia zijn zeer droogtetolerant (Probos, 2019).

Stormgevoeligheid

- Omdat stormschade de vitaliteit van de opstand sterk kan beïnvloeden, is het belangrijk om rekening te houden met de windworpgevoeligheid van een soort.
- Soorten met een oppervlakkig wortelstelsel zoals fijnspar en sitkaspar zijn zeer gevoelig (Schelhaas & de Vos, 2010).

Standplaatseisen

- Een boom is het meeste weerbaar als de standplaatseisen overeenkomen met de standplaats
- Een belangrijke factor om rekening mee te houden is de zure, arme bodem op de hogere zandgronden
- Voor lichtboomsoorten moet voldoende zonlicht aanwezig zijn, voor schaduwboomsoorten moet voldoende beschutting aanwezig zijn.

Goed verteerbaar strooisel

- Goed verteerbaar strooisel zorgt ervoor dat nutriënten snel vrijkomen na bladval.
- Niet alle weerbare soorten hebben goed verteerbaar strooisel.
- Goed verteerbaar strooisel draagt bij aan de gehele weerbaarheid van een opstand.

Hoewel het niet altijd mogelijk is, voldoet een boomsoort bij voorkeur aan alle bovenstaande eisen. Mocht dit niet mogelijk zijn, zal eerst gekeken worden naar de zuurgraad en de droogtetolerantie. Voor zuurgraad is gekozen omdat een boomsoort die een veel hogere zuurgraad nodig heeft, waarschijnlijk

niet tot een vitale boom zal uitgroeien. Voor droogtetolerantie is gekozen omdat juist de droogteperiodes grote problemen veroorzaken. Bladvertering is vooral belangrijk als bodemverbetering gewenst is.

In tabel 2 staan enkele boomsoorten opgenomen die hoog scoren op weerbaarheid. Enkele soorten staan onder de tabel verder toegelicht.

Soort	Inheems	Droogte-tolerantie	Zuur- graad Range	Zuur- graad optimum	Windworp- gevoelig	Bladvertering
<i>Grove den</i>	ja	3	2-5	2-4	nee	langzaam
<i>Haagbeuk</i>	ja	2	2,5-7,5	5-6	nee	snel
<i>Winterlinde</i>	ja	2	4-7,5	5-6	nee	snel
<i>Berk</i>	ja	2	1,5-6	2,5-5,5	nee	Snel
<i>Amerikaanse Eik</i>	nee	2	2-5,5	2,5-4	nee	langzaam
<i>Tamme Kastanje</i>	nee	3	3-6	4-5,5	nee	langzaam
<i>Robinia</i>	nee	3	4-7,5	5-6	matig	snel
<i>Gewone esdoorn</i>	nee	2	4-7,5	5-6	nee	snel
<i>Boomhazelaar</i>	Nee	3	4-7,5	5-6	nee	snel
<i>Amerikaanse vogelkers</i>	nee	3	2,5-6	3-5	nee	snel
<i>Servische spar</i>	Nee	2	6-8	6-8	ja	langzaam
<i>Europese hopbeuk</i>	Nee	3	4-6	3-7,5	nee	Onbekend
<i>Pluimes</i>	Nee	3	3,5-7,5	5-6	nee	snel
<i>Zwarte walnoot</i>	Nee	2	3,5-7,6	5-6	Nee	Snel (allelopathie)
<i>Liriodendron</i>	nee	2	3 – 6,5	5-6	nee	snel

Tabel 2: Kenmerken van enkele weerbare boomsoorten, droogtetolerantie 1: laag, droogtetolerantie 3: hoog (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010), (Probos, 2019) (Agentschap voor natuur en bos, 2011), (Naturalis, 2016), (Flora van Nederland, 2015).

Boomhazelaar

De boomhazelaar (*Corylus colurna*) is een redelijke nieuwe boomsoort in Nederland. Om de hoge droogtetolerantie, snel verteerbaar strooisel en herkomst uit warmere landen wordt deze steeds vaker aangeprezen als klimaatsterke boom (Bosgroepen, 2017). De boomhazelaar kan redelijk tegen zure bodems (Janssen, 2006).

Tulpenboom

De tulpenboom (*Liriodendron tulipifera*) staat eerder bekend als stadsboom dan als bosboom, maar is wel geschikt om de weerbaarheid van de bossen te vergroten. De tulpenboom is redelijk droogtetolerant en heeft snel verteerbaar strooisel (Probos, 2019). Hoewel de tulpenboom een voorkeur heeft voor neutralere bodems (GroenRijk, 2009), kan deze het ook redelijk doen op zuurdere bodems.

Servische spar

Hoewel de Servische spar (*Abies omorika*) niet heel droogtetolerant is en gevoelig is voor windworp, is deze toch in de tabel opgenomen omdat deze net iets weerbaarder is dan fijnspar. Eventueel kan de Servische spar de fijnspar vervangen.

Europese hopbeuk

De Europese hopbeuk (*Ostrya carpinifolia*) is een weinig bekende soort die van oorsprong uit Zuid-Europa komt. De soort is zeer droogtetolerant en daarom geschikt voor op de droogste bodems. Hij verdraagt een pH van 4 tot 7,5 met als optimum 5-6 (Agenstschap natuur en bos, 2019). Hij is niet gevoelig voor windworp en verdraagt veel schaduw (Pasta, de Rigo, & Caudullo, 2016).

Pluimes

De pluimes (*Fraxinus ornus*) komt van oorsprong uit Zuid-Europa en kan goed tegen de droogte. Hij verdraagt een pH van 3,5 tot 7,5 met als optimum 5-6. Hij is niet gevoelig voor windworp of ziektes en plagen. Ook van essentaksterfte lijkt deze boom geen last te hebben (Bomenbieb, sd).

Zwarte walnoot

De zwarte walnoot (*Juglans nigra*) komt van oorsprong uit het oosten en midden van Noord-Amerika. Het is een snelgroeende soort die redelijk droogte verdraagt. Hij verdraagt een pH van 3,5 tot 7,5 met als optimum 5-6. De snel verteerbare bladeren van deze boom zijn niet alleen positief in dit geval. De zwarte walnoot veroorzaakt allelopathie. Door de productie van de stof juglon wordt de groei van sommige plantensoorten geremd. Niet alle soorten hebben hier last van. Enkele tolerante soorten zijn Amerikaanse vogelkers, Amerikaanse eik, meidoorn en gewone esdoorn (Appleton, Berrier, & Harris, 2009).

3.2.2.2 Menging

Niet alleen de soortenkeuze van de individuele boom beïnvloedt de weerbaarheid van een bos maar ook de mate van menging in een bos. Zo zijn monoculturen over het algemeen veel minder weerbaar dan een gemengd bos. Bij monoculturen is er weinig structuurvariatie waardoor het bos gevoelig wordt voor windworp, en daarnaast worden ziektes en plagen eenvoudig overgebracht tussen bomen, waardoor een opstand snel volledig kan worden uitgeroeid (Bosbalans, 2019). Daarnaast zorgt een gemengd bos voor een grotere biodiversiteit (Branquart & de Keersmaecker, 2010).

Het grote voordeel van een gemengd bos is dat er voldoende soorten aanwezig zijn om calamiteiten op te vangen. Mocht één van de soorten uitvallen, is er nog voldoende opslag van andere soorten aanwezig om de boom te vervangen. Daarnaast heeft een menging als voordeel dat niet alle soorten dezelfde eisen aan de standplaats stellen, zo kan er gewerkt worden met zogenaamde 'handige bostypes'. Dit zijn bostypes met soorten die makkelijk met elkaar op kunnen groeien. Voorbeelden zijn den-berk-eik of douglas-lariks-beuk (Wijdeven, 2013).

3.2.2.3 Structuurvariatie

Structuurvariatie wordt bereikt als een bos gevarieerd is in soortensamenstelling en leeftijd. Hierdoor staan er bomen in verschillende etages, met verschillende diktes en van verschillende soorten. Naast dat dit beschermd tegen windworp, is dit ook goed voor de biodiversiteit van een bos (Wijdeven, Nyssen, & Buysse, 2019).

3.2.2.4 Meer genetische variatie

Door bij aanplant van bomen gebruikt te maken van verschillende herkomsten, ontstaat er meer genetisch materiaal. Zo ontstaat er een risicospreiding. De kans bestaat dat één van de herkomsten

minder weerbaar blijkt te zijn, of een andere juist extra weerbaar. Zo wordt de kans groter dat bij calamiteiten het bos kan voortbestaan (Wijdeven, Nyssen, & Buysse, 2019).

Daarnaast kan er geëxperimenteerd worden met plantmateriaal van andere herkomsten. Zo staan er sterke wintereiken in Zuid-Frankrijk die weerbaarder lijken te zijn tegen de droogte dan de Nederlandse wintereiken (den Ouden, J., pers. comm). Door dit genetische materiaal te introduceren, zouden de Nederlandse wintereiken wellicht ook weerbaarder worden. Of dit echter het gewenste effect zou hebben in de Nederlandse bossen is nog niet bekend.

3.2.2.5 Tegengaan van droogtestress

De droogte kan niet alleen tegen worden gegaan door het kiezen van droogtetolerante boomsoorten, maar ook door het verlagen van het stamtal. Zo blijft er meer water over voor de overige bomen, zodat deze een grotere kans hebben op overleven (Boosten, et al., 2018).

3.2.2. Maatregelen gericht op CO₂ opslag

Zo lang de boom groeit wordt er meer CO₂ vastgelegd. Daarom is het voor de CO₂opslag gunstig als een boomsoort snel groeit. Om de bijgroei te stimuleren moet er regelmatig gedund worden in de opstand. Dit geeft kans om vaker te selecteren op vitaliteit en levert hout op voor biomassa. Na het dunnen krijgen de opslagbomen meer ruimte en licht waardoor deze doorgroeien en zo CO₂ kunnen blijven vastleggen. Om bijgroei te stimuleren kan er ook voor gekozen worden om te bekalken. Dit heeft niet alleen positieve effecten op de bijgroei, maar ook op de ondergroei in een opstand. Ook dragen rijk-strooisel soorten bij aan het optimaliseren van de bijgroei en aan de gehele gezondheid van de bosbodem (Boosten, et al., 2018).

Een andere manier om CO₂ vast te leggen is het beheer richten op kwaliteitshout. Zo wordt koolstof langer in de houtproducten opgeslagen. Dit kan gedaan worden door te investeren in jeugdverzorging en snoeien. Hier kan ook aan bijgedragen worden door te kiezen voor boomsoorten met hoogwaardig hout (Boosten, et al., 2018).

3.2.3. Maatregelen gericht op het behouden van een gezonde bosbodem

Voor een weerbaar bos is een gezonde bosbodem belangrijk. Zoals in onderzoeksvraag 1 staat omschreven zijn veel bosbodems op de hogere zandgronden verzuurd door depositie. Hierdoor zijn er steeds minder nutriënten beschikbaar voor de bomen, wat direct de weerbaarheid van het bos beïnvloedt. Zoals eerder al beschreven kan de bosbodem sterk verbeterd worden door het inzetten van rijkstrooiselsoorten. Doordat de bladeren snel verteren, komen nutriënten sneller vrij. Naast de verbetering van de bodem door goed verteerbaar strooisel, zijn er ook andere opties om de bosbodem te verbeteren.

3.2.4.1 Verbeteren van de bosbodem door toediening bodemverbeterende mineralen.

Deze negatieve effecten kunnen tegen worden gegaan door nutriëntengiften. Onder andere door toediening van steenmeel. Momenteel wordt hier al mee geëxperimenteerd in oude eikenopstanden en de eerste metingen laten positieve resultaten zien (de Vries, et al., 2017). Steenmeel zorgt niet voor een sterke stijging in pH en geeft geleidelijk calcium, magnesium, kalium en fosfaat af. Doordat dit langzaam gebeurt, raakt de bodem niet uit balans. Een andere optie voor het verhogen van de pH is het gebruik van dolokal en patentkali (de Vries, de Jong, Bloem, Weijters, & Bobbink, 2019). Hierbij zorgt dolokal voor een verhoging in pH en patentkali werkt als meststof. Dit werkt veel sneller maar kan zo ook een onbalans veroorzaken in de bodem.

3.2.4.2 Verbeteren van de bosbodem door dood hout

Ook dood hout kan de bodem verrijken. Voor het afbreken van dood hout is stikstof nodig, dit wordt voor een groot deel geleverd door bacteriën. Ook wordt een deel van deze benodigde stikstof door fungi aan de bodem in de directe omgeving van het hout onttrokken. Naar mate het hout verder verteerd wordt er een toename waargenomen van calcium en magnesium in het dode hout. Bij een onderzoek in het Zoniënwoud (België) bleek de bodem direct rond de verterende stammen minder zuur en arm dan elders in het bos (Keersmaeker, Cosyns, Thomaes, & Vandekerckhove, 2017).

3.2.4. Manier van beheren

Het beheer hangt af van de gewenste soortensamenstelling en de functie van het bos. Wel zijn er een aantal algemene aandachtspunten voor klimaatslim bosbeheer. Zo wordt de kaalkap sterk afgeraden. Kaalkap zorgt voor tijdelijke vernietiging van het microklimaat en het leefgebied van veel (micro)fauna. Daarnaast zorgt dit voor blootlegging van de bodem, waardoor vertering van organisch materiaal sneller optreedt. Hier komen nutriënten bij vrij, die vervolgens uitspoelen omdat er geen bomen aanwezig zijn om de nutriënten op te nemen. Daarnaast duurt het lang voor er een gestructureerd bos terug komt (Delforterie & Thomassen, 2016).

De algemene regel die wordt aangehouden is: Hoe kleiner de ingrepen hoe beter. Zo wordt steeds vaker aangeraden om pleksgewijs of boomgericht te beheren. Met kleinschalig kapsystemen blijft het bosklimaat behouden en voorkomt schade aan verjonging door blootstelling aan extreme weersinvloeden (Boosten, et al., 2018).

Bij boomgericht bosbeheer worden een aantal toekomstbomen gekozen waar het beheer op wordt aangepast. De toekomstbomen worden regelmatig gemonitord en de omstandigheden worden zo goed mogelijk gemaakt voor de boom. Zo ontstaat er meer open bos rond de toekomstbomen en geslotener bos waar geen toekomstbomen staan. Zo kan goed kwaliteitshout gekweekt worden en ontstaat een gevarieerd bos (Bosgroep Zuid-Nederland, 2015).

Zo kan er een veerkrachtig, gemengd bos ontstaan met (groeps)verjonging van verschillende soorten, oude bomen, staand en liggend dood hout en een rijke structuurvariatie (Wijdeven, Nyssen, & Buysse, 2019).

3.2.5. Conclusie

Uit de resultaten van de onderzoeksvraag blijkt dat een gemengd bos met veel structuurvariatie, waarbij alle boomfases en verschillende boomsoorten aanwezig zijn het meest weerbaar is. Hierbij is het belangrijk dat de juiste boomsoorten worden gekozen. Belangrijk is wel om te letten op de verhouding tussen inheems en uitheems om zo de biodiversiteit hoog te houden.

Om de CO₂ opslag te optimaliseren is regelmatig dunnen vereist, waarbij wordt geselecteerd op boomsoort en houtkwaliteit. Door op snoeien en eventueel bekalken wordt de houtkwaliteit verbeterd. In kwaliteitshout blijft CO₂ langer opgeslagen omdat deze bomen door kunnen blijven groeien. Door een keuze te maken voor snelgroeiende boomsoorten wordt CO₂ sneller opgenomen. Door de dunningen ten behoeve van het kwaliteitshout komt licht op de bodem, waar spontane verjonging mogelijk is.

3.3 Welke methoden zijn toepasbaar op de bossen van de Hoge Veluwe?

In de derde onderzoeksvraag wordt onderzocht welke methoden het meeste geschikt zijn om toe te passen op de bossen van Het Nationale Park De Hoge Veluwe.

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden moet eerst bekend zijn welke problemen spelen op de Hoge Veluwe. Vervolgens wordt met behulp van de resultaten van onderzoeksvraag 1 en 2 een beeld geschetst hoe een weerbaar bos eruit ziet. Ten slotte kunnen hier de gepaste maatregelen bij gevonden worden.

3.3.1 Welke problemen spelen in dit bosgebied?

Uit een analyse van het bosgebied blijkt dat veel van de in onderzoeksvraag 1 besproken problemen ook op de Hoge Veluwe spelen. Dit zijn voornamelijk problemen met de zure bodem en boomsoorten met een beperkte droogtetolerantie. Daarnaast ontbreekt op veel plekken in het 'dennen-, eiken- en beukenbos' en op de armere gebieden in het 'droog bos met productie' structuurvariatie. De analyse is uitgevoerd met behulp van GIS gegevens, het beheerplan 2015 van de Hoge Veluwe (NPHV, 2015) en gesprekken met beheerders van de Hoge Veluwe. Een kaart met de meest voorkomende hoofdboomsoorten in het Park is opgenomen in bijlage 2.

3.3.1.1. Boomsoorten waar het slecht mee gaat in het Park

Fijnspar

Bij een onderzoek door een stagiair in juli 2019 werd het percentage sterfte onder fijnspar vastgesteld op 23,03% (Di Giulio, 2019). Dit betekent dat bijna een kwart van alle fijnsparren in het Park al dood zijn. Hierbij werd vooral in het Zuidelijke deel van het Park een grote sterfte waargenomen, waaronder een opstand waarbij 91% van alle bomen al dood zijn. De sporen van de letterzetter zijn duidelijk zichtbaar op de afgestorven bomen in perceel 9g (Afbeelding 2). Momenteel worden alleen fijnsparren gekapt langs paden en wegen om de veiligheid van bezoekers en medewerkers te waarborgen, de rest van de stammen blijven voorlopig als staand dood hout in het bos.



Afbeelding 2: Dode fijnsparren perceel 9g, sporen van letterzetter duidelijk zichtbaar

Reuzenzilverspar

De gevolgen van de droogte zijn ook duidelijk te zien bij binnenkomst van het Park bij ingang Schaarsbergen. Langs het fietspad staan enkele reuzenzilversparren (*Abies grandis*), aangeplant in 1967 (Afbeelding 3). Ook hier is duidelijk uitval in zichtbaar. Deze sterfte begon na de zomer van 2018, maar de droogte in de zomer van 2019 heeft het effect nog verder vergroot. Op andere plekken in het park lijkt de reuzenzilverspar het echter beter te doen. Vooral met de oudere bomen gaat het best goed. Daarom kan de sterfte langs het fietspad ook door de locatie en de lage leeftijd van de bomen komen. Doordat de bomen langs het fietspad staan, staan ze minder beschermd en doordat het wortelstelsel nog niet zo ver ontwikkeld is als bij volwassen bomen kunnen ze wellicht minder goed bij hun water.



Afbeelding 3: Dode reuzenzilversparren bij fietspad ingang Schaarsbergen



Afbeelding 4: Lariks met een dode top

Japanse lariks en douglasspar

De lariks lijkt in een redelijk aantal gevallen in het Park niet opgewassen te zijn tegen twee opvolgende droge zomers en er wordt steeds meer sterfte waargenomen. De sterfte lijkt vooral hoog te zijn in het oosten van het Park, bij de camping. Opvallend is dat hier vooral de oudere bomen last lijken te hebben van de droogte. (Afbeelding 4). Ook douglasspar laat op verschillende plekken in het Park een verminderde vitaliteit zien. Hij staat op verschillende plekken vrij dun in de naalden en zijn kale toppen zichtbaar.

Naast de bovengenoemde naaldbomen wordt ook een verminderde vitaliteit waargenomen bij de beuk en de eik. Bij beuk lijkt vooral de twee droge zomers na elkaar een invloed te hebben op de verminderde vitaliteit. Veel bomen laten sinds de droogte in zomer 2019 gebreken zien.

(zomer)eik

Eikensterfte is goed zichtbaar in het Park. Vooral in het zuiden van het Park, op de Kemperberg is duidelijk zichtbaar dat de eiken het slecht doen. Momenteel loopt er een onderzoek met steenmeel in enkele eikenopstanden op de Kemperberg. Deze opstanden stammen uit begin 20^e eeuw en bij aanvang van het onderzoek werd al meer dan 10% sterfte waargenomen (de Vries, et al., 2017).

Behalve deze opstanden op de Kemperberg wordt ook sterfte waargenomen in de andere delen van het Park. Daarnaast laat het overgrote deel van de eiken een verminderde vitaliteit zien (dunne kronen, takbreuk, aantasting op stammen etc.)(afbeelding 5).



Afbeelding 5: Grote eikensterfte in Het Nationale Park De Hoge Veluwe (den Ouden)

3.3.1.2. Plaaginsecten

Plaaginsecten vormen ook in het Park een probleem. Het voornaamste probleem is de secundaire aantasting van letterzetter. In de meeste dode fijnsparren in het Park worden sporen van letterzetter gevonden. Hierom kan gezegd worden dat deze een aanzienlijke rol spelen in het sterven van de fijnspar. Ook de eiken in het Park hebben last van plaaginsecten. De inlandse eik is al verzwakt door de slechte bodem en de droogte, waardoor deze makkelijk last krijgen van zowel primaire als secundaire plaaginsecten. In het Park wordt aantasting gevonden van de groene eikenbladroller en de kleine wintervlinder. Hoewel deze insecten in korte tijd een hoge vraatdruk kunnen veroorzaken, lijken deze tot nu toe geen grote problemen te geven voor de eik. De eik kan zich aardig herstellen en loopt weer groen uit na de aantasting. In combinatie met de andere factoren die de vitaliteit van de eik verminderen kan dit echter wel een bedreiging zijn.

Als de eiken al minder vitaal zijn door bijvoorbeeld nutriëntentekorten of droogte, kan aantasting van eikenprachtkever optreden. Ook is eikenprocessierups aangetroffen in het Park, dit heeft echter geen grote gevolgen voor de vitaliteit van de eik.

3.3.1.3. Diversiteit in boomsoorten en structuurvariatie

De diversiteit in de bossen is vooral in het dennen-, eiken- en beukenbos op de meeste plekken niet groot. De meeste plekken bestaan grotendeels uit monoculturen van grove den, eik of beuk. Grove den komt wel voor in menging met wat berk, en hier en daar staat wat menging eiken-beukenbos. Veelal zijn de opstanden gelijkjarig en hebben daarmee ook weinig structuurvariatie. Plaatselijk wordt al ingegrepen door het maken van gaten, waardoor licht op de bodem komt en de opstand verjongt. Door ophoping van zuur strooisel in deze bossen is er weinig ondergroei aanwezig. Op open plekken kan vuilboom (*Rhamnus frangula*) of lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) aanwezig zijn. Wel zijn er op deze plekken bijzondere, zeldzame plantensoorten aanwezig zoals dalkruid (*Maianthemum bifolium*) en gewone salomonszegel (*Polygonatum multiflorum*).

Op de arme, meest droge delen van het 'droog bos met productie' is de diversiteit in boomsoorten ook niet groot. In grove dennen opstanden staan o.a. ook Corsicaanse den en lokaal wat menging met berk en eik. Ook de structuurvariatie op de armere delen is weinig zichtbaar door het ontbreken van loofhout. Op rijkere gronden van het 'droog bos met productie' zijn de opstanden over het algemeen wat gevarieerder in samenstelling en structuurvariatie, met veel inheems en uitheems loof- en naaldhout. Plaatselijk komt ook veel krent (*Amelanchier lamarckii*) en Amerikaanse vogelkers voor, wat zorgt voor geringe ondergroei. Ook zijn er enkele monoculturen Amerikaanse eik aanwezig.

Bij aanplant van verjonging wordt geen rekening gehouden met genetische variatie. Dit kan per opstand wel verschillen, maar binnen de opstand hebben alle gelijkjarige en gelijksoortige bomen dezelfde herkomst.

3.3.1.4. Bodemkwaliteit

De armste en droogste bossen van de Hoge Veluwe liggen op duinvaaggronden en haarpodzolgronden. De rijkere bossen liggen op de holtpodzolgronden, veldpodzolgronden en eerdgronden. De arme duinvaaggronden en haarpodzolgronden vormen echter het grootste oppervlakte van het Park (bijlage 1). Dit betekent dat er maar weinig rijkere gronden beschikbaar zijn. Een ander probleem is de lage zuurgraad van deze bodems (pH 2,7-4,6). Daarbij vindt op veel plekken strooiselophoping plaats doordat er overwegend bomen met slecht verteerbaar strooisel staan. Zo wordt de bodem die al zuur en arm is, steeds zuurder en armer.

3.3.2. Waarom vormen deze factoren problemen?

De sterfte van fijnspar vormt vooral een probleem in monoculturen. Omdat in monoculturen weinig structuurvariatie aanwezig is, is de opstand gevoelig voor stormschade. Daarnaast kunnen plaaginsecten makkelijk van de ene naar de andere boom, en in korte tijd de hele opstand aantasten. Daarom is de kans groot dat dan snel alle fijnsparren sterven. Dit zorgt voor een grote kaalslag waarbij lichtboomsoorten de overhand nemen. Daarnaast is de humuslaag slecht verteerbaar waardoor de vegetatie die hier opkomt eenzijdig is.

Voor lariks geldt hetzelfde probleem, hoewel deze nog niet zo ver heen lijkt als fijnspar. In gemengde opstanden geeft dit minder problemen, omdat er voldoende andere boomsoorten zijn om de uitval van fijnspar of lariks op te vangen.

De eikensterfte heeft veel grotere impact door de massaliteit ervan en de gevolgen voor de biodiversiteit. Zo zitten er op inlandse eik 423 verschillende soorten insecten en mijten. Om Amerikaanse eik wordt bijvoorbeeld maar 12 soorten gevonden (Moraal L., 2011). Daarnaast vormt

inlandse eik met 12,6 % het grootste aandeel loofhout in het Park. Ook heeft de inlandse eik, in de vorm van eikenhakhout een cultuurhistorische functie.

De geringe structuurvariatie en menging, vooral in de armere gebieden, zorgt voor een bos dat gevoelig is voor windworp en zorgt voor weinig biodiversiteit. Daarnaast zorgt dit ervoor dat de invloed groot is als er een plaag uitbreekt of als de hoofdboomsoort niet weerbaar blijkt te zijn tegen de klimaatinvloeden. De monoculturen grove den lijken stabiel te zijn, maar in monoculturen fijnspar, inlandse eik, lariks of beuk kunnen de effecten van klimaatverandering het bos verzwakken.

De zeer zure, arme bodem op de Hoge Veluwe zorgt voor minder biodiversiteit en veroorzaakt problemen voor veel boomsoorten. Omdat op deze zure bodems boomsoorten staan die slecht verteerbaar strooisel produceren wordt de bodem steeds armer en zuurder. Dit kan problemen veroorzaken voor de introductie van andere boomsoorten en heeft een eentonig bos als gevolg.

3.3.3. Wat doet het Park zelf al om de weerbaarheid van de bossen te vergroten?

Op de Hoge Veluwe wordt al langer geëxperimenteerd met het inbrengen van nieuwe soorten. Zo zijn er proeven gedaan met het inbrengen van esdoorn, haagbeuk en linde. Ook staan op enkele plekken in het park tamme kastanjes, welke het goed lijken te doen. Daarnaast wordt geëxperimenteerd met esdoorn. Deze lijkt goed in blad te komen, maar krijgen vervolgens wel snel vlekken op het blad. Robinia doet het redelijk in het Park, maar heeft een iets minder zure bodem nodig. Aanplant van linde slaat op veel plekken in het Park niet goed aan. Haagbeuk doet het prima op de rijkere gronden van de Hoge Veluwe.

Voor het verbeteren van de bodem wordt momenteel in een aantal oude eikenopstanden getest met steenmeel. De eerste resultaten lijken positief. Geschat wordt dat het strooien van steenmeel eens in de 15 jaar moet worden herhaald om de positieve effecten te blijven zien.

Op de Hoge Veluwe wordt dood hout zo weinig mogelijk opgeruimd. Alleen langs wegen en paden wordt voor de veiligheid staand dood hout gekapt. Om aan voldoende dood hout te komen, werden in het verleden wel eens bomen geringd. Tegenwoordig gebeurt dat niet meer omdat er al voldoende dood hout in het bos is.

3.3.4. Welke problemen kunnen op korte termijn aangepakt worden?

Enkele problemen kunnen direct aangepakt worden. De weerbaarheid kan op korte termijn vergroot worden met behulp van de maatregelen die in onderzoeksvraag 2 beschreven staan.

De keuze voor het aanpakken van deze specifieke problemen is gemaakt door te kijken naar de aard van het probleem, de boomsoorten die er staan, de bodemsoort en hoe snel dit aangepakt kan worden.

Monoculturen Amerikaanse eik en grove den omvormen naar weerbaar bos.

- Hoewel het lastig is om de opstanden om te vormen die zich op de drogere, armere gronden bevinden, zijn er ook monoculturen die zich op de betere bodems bevinden.
- Met betere bodems wordt bedoeld: holtpodzolen, veldpodzolen en eerdgronden.

Inbrengen van meer structuurvariatie, boomsoortenmenging en stimuleren bijgroei t.b.v. CO₂ opslag.

- Niet alleen in de monoculturen grove den en Amerikaanse eik ontbreekt structuurvariatie.

- Kleinschalig kan in andere opstanden meer structuurvariatie aangebracht worden.
- Kijk hiervoor specifiek naar opstanden met sterfte in lariks en douglasspar (automatisch ruimte).

Inbrengen van genetische variatie.

- Door plantmateriaal van verschillende herkomsten te gebruiken wordt de weerbaarheid van het bos vergroot.

Hier wordt niet verder ingegaan op de oude eikenopstanden. Hier doet Het Nationale Park De Hoge Veluwe, in samenwerking met Wageningen University and Research en B-WARE al veel onderzoek naar.

3.3.5. Welke maatregelen passen hierbij?’

De maatregelen zijn bepaald met behulp van de resultaten van onderzoeksvraag 2 en de analyse van de problemen die in het park spelen.

3.3.5.1 Monoculturen Amerikaanse eik

Op enkele locaties in het Park staan monoculturen van Amerikaanse eik op betere bodems. Deze bodems bieden de meeste kansen voor klimaatslim bosbeheer. Amerikaanse eik is een uitheemse soort die veel schaduw geeft. Daarnaast heeft de Amerikaanse eik slecht verteerbaar strooisel. Dit is in de opstand duidelijk zichtbaar. Er is weinig ondergroei aanwezig (afbeelding 5). Op de kaart in bijlage 3 staan de locaties van de monoculturen Amerikaanse eik aangegeven.



Afbeelding 6, weinig ondergroei in monocultuur Amerikaanse eik.

Om deze opstanden klimaatbestendig te maken kunnen een aantal stappen ondernomen worden.

1. Dunning

- Voor aanplant van schaduwboomsoorten is tenminste 10-15% licht op de bodem nodig (Buysse & Claeys, 2019).
- Naar mate deze bomen groter en sterker worden, hebben ze meer ruimte en meer licht nodig.
- Als er plotseling te veel licht op de bodem komt kan Amerikaanse eik zich makkelijk verjongen, dit is in dit geval niet gewenst (Buysse & Claeys, 2019).
- Om spontane verjonging van Amerikaanse eik zo gering mogelijk te houden, dienen verjongingsgaten niet groter te zijn dan één keer de boomhoogte (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010).
- Laagwaardig vezelhout kan in de opstand blijven liggen als dood hout, dit zorgt voor het langzaam vrijkomen van nutriënten.
- Eventueel kan gekozen worden voor het ringen van enkele bomen, zodat er naar verloop van tijd steeds meer licht op de bodem komt. De verjonging heeft hierbij tijd om sterk genoeg te worden om concurrentie te weerstaan (Buysse & Claeys, 2019).

2. Boomsoortenkeuze

- Omdat Amerikaanse eik weinig licht doorlaat is het verstandig om te werken met schaduwboomsoorten. Hierbij kan aan een menging van haagbeuk en gewone esdoorn gedacht worden. Deze bomen hebben een schaduwtolerantie van 3,73 (esdoorn) en 3,97 (haagbeuk). Dit is op een schaal van 1 tot 5 (den Ouden, Muys, Verheyen, & Mohren, 2010).
- Op lichtere plekken kan geëxperimenteerd worden met soorten als boomhazelaar, Europese hopbeuk of pluimes.
- Op lichtere plekken kan zelfs gedacht worden aan aanplant van inlandse eik of winterlinde. De bodem is hier iets beter dan gemiddeld in het Park.

3. Aanplant

- De manier van aanplanten hangt af van de gewenste functie
 - Als houtkwaliteit van groot belang is, kan gekozen worden voor aanplanten in kloempen. Vanuit een kloemp is het de bedoeling dat één boom opgroeit tot een kwaliteitsboom. De bomen worden aangeplant met bescherming van bijvoorbeeld een boomkoker.
 - Aanplant kan ook gebeuren zonder bescherming per boom, maar met een raster eromheen tegen wildvraat.
- Als er gewerkt wordt in gaten, zijn schermbomen nog steeds noodzakelijk. Schaduwboomsoorten worden vlak bij de schermboom aangeplant om zo veel mogelijk beschutting te hebben. Lichtboomsoorten kunnen hier verder vanaf geplant worden.
- Rasters tegen wildvraat zijn altijd noodzakelijk voor aanplant van loof.

4. Nazorg en eventueel kappen van overstaanders.

- Eventuele verjonging van Amerikaanse eik dient te worden verwijderd.
- Door te streven naar kwaliteitshout, en de bijgroei te stimuleren, kan CO₂ opslag geoptimaliseerd worden (Boosten, et al., 2018).
- De kwaliteitsbomen kunnen opgesnoeid worden.
- Dunningen ter behoeve van de kwaliteitsboom zijn hierbij nodig.

- De schermbomen kunnen, na een jaar of 20, (Amerikaanse eik) gekapt worden om zo de nieuwe opstand de ruimte te geven (Buysse & Claeys, 2019).

3.3.5.2. Monoculturen grove den omvormen

Ook van grove den staan er enkele monoculturen op betere bodems. Hoewel het lastig is om monocultuur grove den op arme bodems om te vormen, biedt de goede bodem wel mogelijkheden voor klimaatslim bosbeheer. Op de kaart in bijlage 3 staat aangegeven waar de monoculturen grove den op betere bodems zich bevinden.

1. Aanwijzen van een aantal toekomstbomen (10-30 per ha) en het maken van gaten

- De toekomstbomen zorgen voor schaduw en beschutting voor de verjonging.
- Een dunning zorgt voor houtopbrengst, en door het stamtal te verlagen kan bijgroei geoptimaliseerd worden en droogtestress wordt tegengegaan.
- Om de verjonging voldoende kans te geven worden gaten van verschillende groottes aangehouden. Voor lichtboomsoorten is een gat van minimaal 2 keer de boomhoogte vereist. Voor schaduwboomsoorten is een gat vaak niet eens noodzakelijk. Aangeraden wordt om een klein aantal grote groepen aan te brengen en een groter aantal kleinere groepen (Geudens & Oosterbaan, 2010).

2. Boomsoortenkeuze

- Bij de boomsoortenkeuze wordt rekening gehouden met de bodem. Hoewel dit de betere bodems van de Hoge Veluwe zijn, zijn deze nog steeds behoorlijk arm en droog.
- Op de meer schaduwrijke plekken in de verjongingsgaten, onder de schermbomen en aan de randen, kunnen schaduwboomsoorten aangeplant worden zoals esdoorn of haagbeuk. Op de lichtere plekken kunnen soorten als boomhazelaar, Europese hopbeuk of pluimes worden aangeplant.
- In beperkte mate kan wat tamme kastanje of zwarte walnoot worden aangeplant.
- Als met zwarte walnoot gewerkt wordt, kan deze het beste gemengd worden met gewone esdoorn. De gewone esdoorn heeft geen last van de allelopathie die door de zwarte walnoot veroorzaakt wordt (Appleton, Berrier, & Harris, 2009).

3. Aanplant

- De manier van aanplanten hangt af van de gewenste functie
 - Als houtkwaliteit van groot belang is, kan gekozen worden voor aanplanten in kloempen. Vanuit een kloemp is het de bedoeling dat één boom opgroeit tot een kwaliteitsboom. De bomen worden aangeplant met bescherming van bijvoorbeeld een boomkoker.
 - Aanplant kan ook gebeuren zonder bescherming per boom, maar met een raster eromheen tegen wildvraat.
- Als er gewerkt wordt in gaten, zijn schermbomen nog steeds noodzakelijk. Schaduwboomsoorten worden vlak bij de schermboom aangeplant om zo veel mogelijk beschutting te hebben. Lichtboomsoorten kunnen hier verder vanaf geplant worden.
- Rasters tegen wildvraat zijn altijd noodzakelijk voor aanplant van loof.

4. Stimuleren spontane verjonging van loof (voorbeeld eik)

- Bij aanwezigheid van enkele eiken in de opstand kan spontane verjonging hiervan gestimuleerd worden.
- Eerst worden zaadbomen geselecteerd.
- Vervolgens wordt hier een driehoek van één keer de boomhoogte afgerasterd in zuidoostelijke en zuidwestelijke richting.
- Uit dit gat worden alle schaduwboomsoorten verwijderd.
- Vervolgens schijnt het hele jaar gedempt zonlicht in het gat, en zorgt de zaadboom voor eikels, die vanzelf in het gat vallen (Buysse & Claeys, 2019).

5. Nazorg en eventueel kappen van overstaanders

- Niet alle verjonging van grove den hoeft verwijderd te worden. Grove den zorgt voor het aandeel naaldhout in de weerbare opstand en is een sterke boomsoort op de droge zandgronden. Wel moet voldoende ruimte en licht overblijven voor verjonging van loofbomen.
- Door te streven naar kwaliteitshout, en de bijgroei te stimuleren, kan CO₂ opslag geoptimaliseerd worden (Boosten, et al., 2018).
- De kwaliteitsbomen kunnen opgesnoeid worden.
- Dunningen ter behoeve van de kwaliteitsboom zijn hierbij nodig.

3.3.5.3. Inbrengen van meer structuurvariatie en nieuwe boomsoorten

Structuurvariatie aanbrengen kan overal in het bos gedaan worden, mits dit niet botst met bijvoorbeeld de cultuurhistorische waarde. Er kan ingespeeld worden op de structuurvariatie die al ontstaat door sterfte in het Park. Op verschillende plekken, ook in gemengde opstanden, wordt sterfte van fijnspar en lariks waargenomen. Door deze sterfte ontstaat er al ruimte in het bos waar licht op de bodem kan komen en verjonging ontstaat. Hier kan gebruik van worden gemaakt door te sturen in boomsoortensamenstelling. Op de armste bodems kan dit lastig zijn. Op lichte plekken kan worden gestuurd richting meer berk en op iets schaduwrijkere plekken richting tamme kastanje (negatieve invloed op de bosbodem maar zeer droogteresistent). Daarnaast zou de robinia ook goed arme bodems verdragen.

Op de iets vruchtbaardere bodems kan op lichte plekken gedacht worden aan boomhazelaar, Europese hopbeuk, zwarte walnoot, pluimes en tulpenboom. Op de iets donkerdere plekken op de vruchtbaardere bodems kan overwogen worden om gewone esdoorn of haagbeuk aan te planten.

Door aanplant van verschillend herkomsten te gebruiken, wordt de genetische variatie vergroot.

3.3.5.4. De fijnsparrenopstanden

Er is voor gekozen om voorlopig niets te doen met de fijnsparrenopstanden. De fijnsparrenopstanden bevinden zich, op een na, op de meest droge, arme gronden van de Hoge Veluwe. De fijnsparrenopstand die zich op een iets betere bodem (veldpodzol) bevindt, heeft momenteel nog een vrij laag sterftepercentage (9%) (Di Giulio, 2019). In korte tijd komt veel licht op de bodem, waardoor verjonging opkomt. Dit is voornamelijk verjonging van fijnspar en grove den. Waarschijnlijk zal zich hier vanzelf ook berk vestigen.

3.3.5.5. Bekalking

Om bovenstaande maatregelen een grotere kans van slagen te geven op de armere bodems, kan gekozen worden voor het toedienen van steenmeel of een mengsel van kalk en meststoffen. Steenmeel moet eens in de 15 jaar opnieuw toegediend worden (de Vries, de Jong, Bloem, Weijters, & Bobbink, 2019). Een mengsel van kalk en meststoffen, zoals dolokal en patentkali is eerder opgelost,

waardoor dit ook sneller opnieuw toegediend moet worden. Wel moet er een kleinere gift per keer gegeven worden, om een te grote onbalans in de bodem te voorkomen.

3.3.6. Conclusie

Om de biodiversiteit te vergroten en de rijkere bossen van meer menging en structuurvariatie te voorzien, kunnen monoculturen Amerikaanse eik en grove den omgevormd worden. De boomsoort wordt gekozen op basis van de gewenste eigenschappen van de boom en de mogelijkheden in de opstand en op de bodem. Door te streven naar kwaliteitshout, kan meer CO₂ opgeslagen worden. Omdat kwaliteitshout langer blijft staan, en de ruimte krijgt om door te groeien kan meer CO₂ opgeslagen worden en blijft dit langer opgeslagen. Door regelmatig te dunnen en op te snoeien verbetert de houtkwaliteit en kan bijgroei geoptimaliseerd worden. Door het gebruik van bodemverbeterende materialen kan de groei van veel boomsoorten verbeterd worden, en kan het alsnog mogelijk zijn om iets veeleisendere boomsoorten op arme bodems te laten groeien.

4. Conclusie

Uit de gegevens blijkt dat droogte, plagen, windworp en nutriëntentekorten door verzuring de grootste problemen veroorzaken voor de weerbaarheid van het bos. Omdat de bodem op de hogere zandgronden zo arm, zuur en droog is wegen deze effecten extra zwaar. Vooral uitheemse naaldboomsoorten die van oorsprong uit noordelijkere gebieden komen, zoals fijnspar en lariks, laten zien dat ze lijden onder de droogte. De inlandse eik lijkt vooral te lijden onder de, door depositie veroorzaakte, nutriëntentekorten. Vanwege de afnemende vitaliteit door deze tekorten wordt ook de eik minder weerbaar tegen de droogte en tegen plaaginsecten.

Om de gevolgen van verzuring en nutriëntentekorten tegen te gaan, wordt geëxperimenteerd met steenmeel. Hoewel nog weinig gezegd kan worden over de lange termijneffecten van deze methode, bevatten de bladeren van de eiken al aantoonbaar meer mineralen dan voor de proef.

Om de bodem verder te verbeteren wordt gebruik gemaakt van boomsoorten met snel verteerbaar blad en laat men dood hout liggen. Door het toepassen van deze maatregelen wordt de bodem minder zuur en wat rijker in nutriënten, waarmee de mogelijkheden voor een weerbaar bos worden vergroot. Om een weerbaar bos te creëren is de juiste menging belangrijk. Er dient gebruik gemaakt te worden van droogtetolerante soorten die weinig last hebben van de zure bodem.

Daarnaast zorgt de juiste menging ook voor meer structuurvariatie, wat zorgt voor minder problemen met windworp. Als een bos omgevormd dient te worden naar een weerbaarder bos, moet dit stap voor stap gebeuren en niet met te grote ingrepen. Het is belangrijk om goed in kaart te brengen wat er nog mist in het bos, en daarop in te spelen. Ten slotte kan er gekozen worden voor plantmateriaal van verschillende herkomsten, zodat de genetische variatie in het bos zo groot mogelijk is.

Op de Hoge Veluwe wordt al geëxperimenteerd met het weerbaarder maken van het bos. Zo worden nieuwe (bodemverbeterende) soorten geïntroduceerd en wordt in enkele oude eikenopstanden gewerkt met steenmeel. Daarnaast blijft dood hout zo veel mogelijk liggen.

Om de weerbaarheid van de bossen verder te vergroten kan het beheer zich richten op het vergroten van de structuurvariatie en het doelgericht inbrengen van nieuwe soorten in de opstanden. Monoculturen van grove den en Amerikaanse eik kunnen omgevormd worden naar opstanden met meer structuurvariatie en meer biodiversiteit. Om de biodiversiteit verder te vergroten kunnen bodemverbeterende materialen worden toegediend. In gemengde opstanden waar lariks en fijnspar uitvallen, kan gestuurd worden in boomsoortensamenstelling.

5. Discussie

5.1. Waarom klimaatslim bosbeheer?

Er zijn voldoende opties voor het vergroten van de weerbaarheid van een bos. Hierbij is het wel belangrijk om te bepalen waar de focus op ligt. Als de focus puur ligt op het vastleggen van CO₂, zijn andere waarden belangrijker dan als de focus ligt op het veerkrachtiger maken van het bos tegen klimaatinvloeden.

Ook kan er natuurlijk voor gekozen worden om het bos zijn gang te laten gaan. De minder weerbare soorten zullen vanzelf verdwijnen, en overgenomen worden door weerbaardere soorten. De grote nadelen zijn dat de productie van het bos afneemt, en dat niet gestuurd kan worden in de soortensamenstelling. Door de opstand door te dunnen blijft voortdurend hout vrijkomen, hoewel dit niet altijd hoge kwaliteit heeft. Wel zorgt dit ervoor dat er voortdurend licht op de bodem komt en voldoende ruimte is voor spontane verjonging (Geudens & Oosterbaan, 2010).

5.2 Gebruik van uitheemse soorten

Het gebruik van uitheemse boomsoorten heeft als nadeel dat hier veel minder insecten op leven dan op inheemse bomen, wat de biodiversiteit niet ten goede komt. Hierin is het wel belangrijk om een onderscheid te maken in Europese en niet-Europese soorten. Voor Europese soorten is de kans groter dat door de klimaatverandering de insecten die wel bekend zijn met deze soort alsnog bij de boom terecht komen, hoewel hier flink wat tijd overheen kan gaan. Bij niet-Europese soorten is dit lastiger.

5.3 Nadelen van bodemverbeterende materialen

Om de kans te vergroten dat oude- en nieuwe boomsoorten het goed doen kan steenmeel of een mengsel van kalk en meststof gebruikt worden. Bij snel vrijkomende stoffen als dolokalk en patentkali kan in de bodem een snelle stijging van pH en nutriënten plaatsvinden. Dit kan verruiging veroorzaken (de Vries, 2016). Steenmeel wordt langzamer opgenomen in de bodem waardoor een snelle stijging van pH en nutriënten uitblijft. Wel kan dit als gevolg hebben dat niet alleen zwakkere boomsoorten hier baat bij hebben, maar ook de boomsoorten die het al redelijk goed doen. Deze kunnen door het nutriëntengift nog sterker worden, waardoor de zwakkere boomsoorten alsnog weg worden geconcentreerd.

5.4. Kosten

Bij klimaatslim bosbeheer kan de opbrengst van hout achteruitgaan. De meest weerbare soorten zijn niet altijd de soorten die het meeste opbrengen. Daarnaast zijn klimaatslimme boomsoorten vaak uitheemse soorten. Deze uitheemse soorten vallen niet onder het SNL beheertype dennen-, eiken-, en beukenbos (max. 20 % exoot). Komt het aandeel exoot boven de 20%, dan valt de opstand automatisch in het beheertype 'droog bos met productie'. Voor dennen-, eiken-, en beukenbos wordt in 2020 €93,55 per hectare aan subsidie uitgekeerd, voor het droog bos met productie is dit slechts €26,88 per hectare. Een vermindering van het aantal hectare dennen-, eiken-, en beukenbos kan een vermindering in subsidie opleveren.

Het gebruik van steenmeel is een prijzige ingreep. In totaal worden de kosten geschat op €3500 per hectare. Dit dient eens in de 15 jaar herhaald te worden. Dit komt neer op €230 per hectare per jaar (Bij12, 2019). Omdat nog niet bekend is wat de langetermijneffecten zijn op de bossen, kan nog niet

gezegd worden of de kosten opwegen tegen de baten. Om kosten te besparen kan in plaats van steenmeel gekozen worden voor een mengsel van dolokal en patentkali (de Vries, de Jong, Bloem, Weijters, & Bobbink, 2019). Dit is goedkoper, maar werkt ook sneller in op de bodem wat een te snelle stijging van pH kan veroorzaken.

Het is mogelijk dat ondanks alle inspanningen de nieuw ingebrachte soorten niet aanslaan. De bodem bij de hogere zandgronden is nou eenmaal zuur, arm en droog en daarom voor de meeste soorten niet ideaal. Het kan veel geld en tijd kosten om te proberen een nieuwe soort in te brengen en het kan daarom frustrerend zijn als het niet lukt.

5.5. Vervolgonderzoek

Nog lang niet alles is bekend over het verloop van klimaatverandering en het effect op de bossen. Daarom kan niet met zekerheid gezegd worden dat door deze maatregelen het bos in de toekomst geen problemen meer zal ondervinden.

Omdat er weinig mogelijk is op de armste, zuurste en droogste bodems van het Park kan hier vervolgonderzoek naar gedaan worden. Ook is het interessant om o andere droogteresistente boomsoorten zoals witte hickory en peerbes te onderzoeken. Ten slotte is het interessant om te onderzoeken welke rol invasieve exoten zoals Amerikaanse vogelkers en het Amerikaans krentenboompje kunnen spelen in de droge bossen.

6. Aanbevelingen

Om hoogwaardig hout te produceren en tegelijk de structuurvariatie te vergroten, is de boomgerichte beheermethode een goede oplossing. Door te focussen op een kleiner aantal bomen, kan de bijgroei geoptimaliseerd worden, en de houtkwaliteit verhoogd. Door alleen de bomen te dunnen die deze toekomstboom direct in de weg staan, kan de rest van het bos ongestoord doorgroeien. Waar wel bomen gedund worden komt licht op de bodem, waardoor verjonging ontstaat.

Op plekken in het park waar de pH van de bodem heel laag is en waar jarenlang grove den heeft gestaan is het lastig om dit bos om te vormen tot een weerbaarder bos. De kans is groot dat de klimaatbestendige soorten hier moeilijk opgroeien. Daarom wordt aangeraden om deze stukken niet om te vormen en eventueel voorzichtig wat Amerikaanse vogelkers toe te laten bij verjonging van de grove den. Bij de excursie klimaatslim bosbeheer van de KNBV, die op 16 mei 2019 plaatsvond, was een menging grove den met Amerikaanse vogelkers zichtbaar. De grove dennen waren gezond en recht en de bodem was vruchtbaar door bladval van Amerikaanse vogelkers.

Hier is het wel belangrijk dat de verjonging van de grove den wel voldoende ruimte en licht krijgt om op te groeien, maar als de verjonging van de grove den sterk genoeg is, kan wat Amerikaanse vogelkers blijven staan. Door de Amerikaanse vogelkers te laten opgroeien met de grove den, houdt deze de stammen van de grove den takvrij en recht. Omdat de Amerikaanse vogelkers minder hoog wordt dan de grove den, zorgt deze niet voor concurrentie in het kronendak. De grove den profiteert vervolgens van de nutriënten die vrijkomen uit het blad van de Amerikaanse vogelkers. Als de cyclus van de grove den voltooid is, kunnen andere soorten aangeplant worden. Door het bodemverbeterende effect van de Amerikaanse vogelkers is de bodem rijker geworden.

Op de zeer zure, arme bodems waar de vitaliteit van loofbomen het af laten weten, kan gekozen worden voor bodemverbetering door het inzetten van steenmeel of een mengsel van dolokal en patentkali voor een snel effect. Dit is echter slechts een tijdelijke oplossing. Om het effect zo lang mogelijk te behouden, kunnen hier ook rijkstrooiselbomen bij toegevoegd worden, zodat de bodem op langere termijn meer nutriënten bevat. Wel is het strooien van kalk goed voor het stimuleren van de bijgroei, wat het zorgt voor het vergroten van de CO₂ opslag.

7. Reflectie

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op de gekozen methode voor dit onderzoek. Ook wordt hier behandeld wat de onderzoeksresultaten bijdragen aan de duurzaamheid.

7.1. De gebruikte methode

Dit onderzoek is voornamelijk gedaan door middel van literatuuronderzoek. Beter was geweest om meer contact op te nemen met beheerders die ervaring hebben met maatregelen en deskundigen op het gebied van klimaatslim bosbeheer. Door tijdgebrek heb ik dit niet voldoende gedaan.

Daarnaast had het aandeel wetenschappelijke rapporten groter kunnen zijn. Nu komt de meeste informatie uit vakbladen. Nadeel hiervan is dat de meeste artikelen in vakbladen geschreven zijn door veel dezelfde schrijvers, hierdoor worden niet alle meningen vertegenwoordigd. Ook had hier meer internationale literatuur gebruikt kunnen worden.

7.2. Bijdrage aan duurzaamheid

De bijdrage aan duurzaamheid wordt bepaald aan de hand van drie punten: people, planet and profit.

Planet

Het vergroten van de weerbaarheid van de bossen zorgt ervoor dat de bossen nog lang kunnen voortbestaan. Daarnaast wordt door klimaatslim bosbeheer en het verbeteren van de bodem de biodiversiteit vergroot. Ook wordt met klimaatslim bosbeheer CO₂ opslag vergroot en blijft dit langer opgeslagen in de boom.

People

Omdat er steeds meer uitstoot van CO₂ is, dient de opname hiervan ook verhoogt te worden. Om klimaatproblemen tegen te gaan, zijn bossen noodzakelijk. Daarnaast zorgt uitstoot van bijvoorbeeld verkeer en industrie voor veel fijnstof, wat door bomen gefilterd kan worden. Hierdoor kunnen bomen een serieuze bijdrage leveren aan de gezondheid van mensen. Ook de mentale gezondheid gaat vooruit. Het bos zorgt voor ontspanning en vermindert stress aanzienlijk.

Profit

Hoewel de maatregelen investeringen eisen, zorgt dit het op de langere termijn toch waard zijn. Door in te zetten op kwaliteitshout kan de opbrengst per boom verhoogd worden. Ook zorgen de maatregelen ervoor dat het in de toekomst mogelijk blijft om voldoende hout te oogsten.

Bibliografie

- Agentschap natuur en bos. (2019). *Ostrya carpinifolia*. Opgehaald van bomenwijzer: <https://bomenwijzer.be/boom/149?standplaats>
- Agentschap voor natuur en bos. (2011). *Home*. Opgehaald van Bomenwijzer: <https://bomenwijzer.be/>
- Appleton, B., Berrier, R., & Harris, R. (2009). *The Walnut Tree: Allelopathic Effects*. Virginia cooperative extension.
- ASN Bank. (2017). *tien feiten over het klimaat en klimaatverandering*. Opgeroepen op 4 9, 2019, van Voor de Wereld van Morgen: <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/duurzame-blogs/tien-feiten-over-het-klimaat-en-klimaatverandering>
- betere bomen. (2019). *Insecten*. Opgehaald van betere bomen: <http://beterebomen.nl/wiki/category/insect/>
- Bij12. (2019). *Tarieven*. Opgehaald van Bij12: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/subsidiestelsel-natuur-en-landschap/subsidiestelsel-natuur-en-landschap/tarieven/>
- Bomenbieb. (sd). *Pluimes*. Opgehaald van bomenbieb.nl: <https://www.bomenbieb.nl/boomsoort/pluimes-fraxinus-ornus/>
- Boosten. (2018, 11 29). *werken aan klimaatslim bosbeheer*. Opgehaald van de bosbouw: <https://www.debosbouw.nl/featured/werken-aan-klimaatslim-bosbeheer/>
- Boosten, M., & Nyssen, B. (2018, 9 28). *Klimaatslim bosbeheer*. Opgehaald van beheerdersdag: <https://beheerdersdag.nl/wp-content/uploads/Klimaatslim-bosbeheer-Beheerdersdag-2018.pdf>
- Boosten, M., de Jong, A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Borgman, D., & Kremers, J. (2018). *Gereedschapskist klimaatslim bosbeheer*. Wageningen: Probos.
- Bosbalans. (2019). *waardevol bosbeheer*. Opgehaald van bosbalans: <http://www.bosbalans.nl/visie/>
- Bosgroep Zuid-Nederland. (2015). *boomgericht beheer*. Opgehaald van boseco: <http://www.boseco.nl/aan-de-slag/boomgericht-beheer/>
- Bosgroepen. (2015). *Boomposters*. Opgehaald van Bosgroepen: <https://bosgroepen.nl/bosgroep-midden-nederland/wp-content/uploads/sites/3/2015/06/Boomposters-Bosgroepen.pdf>
- Bosgroepen. (2017, december). *Klimaatadaptie: van bewustzijn naar actie*. Opgehaald van bosgroepen: <https://bosgroepen.nl/klimaatadaptatie-bewustzijn-naar-actie/>
- Bosgroepen. (2018). *Naar een gezonde bosbodem op zandgrond*. Opgeroepen op 5 28, 2019, van bosgroepen: <https://bosgroepen.nl/naar-een-gezonde-bosbodem-op-zandgrond/>
- Bosgroepen. (2018, 1 19). *Wat te doen als u stormschade heeft in uw bos*. Opgehaald van bosgroepen: <https://bosgroepen.nl/bosgroep-zuid-nederland/als-stormschade-bos/>
- Bosgroepen. (2019, 5 27). *De droogte van 2018: Welke gevolgen zien we?* Opgehaald van Bosgroep Midden Nederland: <https://bosgroepen.nl/bosgroep-midden-nederland/de-droogte-van-2018-welke-gevolgen-zien-we/>

- Bosgroepen. (2019, 3 22). *Fijnspar, droogte en de letterzetter*. Opgehaald van bosgroep Noord-Oost Nederland: <https://bosgroepen.nl/bosgroep-noordoost-nederland/fijnspar-droogte-en-de-letterzetter/>
- Branquart, E., & de Keersmaecker, L. (2010). Effecten van boomsoortenmegning op de biodiversiteit. *Bosrevue*, 6-8.
- Buyse, W., & Claeys, D. (2019). In vier stappen naar een veerkrachtige opstand. *Vakblad natuur, bos en landschap*, 26-28.
- CLO. (2013, juni 12). *verzuring en vermesting*. Opgehaald van Compendium voor de leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0178-vermesting-en-verzuring-oorzaken-en-effecten>
- CLO. (2018, 12 4). *Zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust en monidaal*. Opgehaald van Compendium voor de leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0229-zeespiegelstand-nederland-en-mondiaal>
- de Jong, E. (2010). *Een analyse van het windklimaat in Nederland*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- de Vries, W. (2016). Doorgaande verzuring van bosbodems. *vakblad natuur bos en landschap*, 32-35. Opgehaald van <http://edepot.wur.nl/428537>
- de Vries, W. (2017). *Verzuring bosbodems gaat door ondanks forse afname zure depositie*. Opgehaald van wur.nl: <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Verzuring-bosbodems-gaat-door-ondanks-forse-afname-zure-depositie.htm>
- de Vries, W., de Jong, A., Bloem, J., Weijters, M., & Bobbink, R. (2019). *Toediening van steenmeel: een concept plan van aanpak voor beheerders*. Wageningen: Wageningen university & research. Opgehaald van file:///C:/Users/marci_000/Downloads/presentatie-wim-de-vries-wageningen-ur-aanpak-steenmeel-bossen-26-6-19.ed73fb.pdf
- de Vries, W., Weijters, M., de Jong, A., de Waal, R., Bolhuis, P., Bloem, J., . . . Bobbink, R. (2017). *Herstel van loofbossen op droge zandgronden*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Delforterie, W., & Thomassen, E. (2016). Weg van kaalkap. *vakblad natuur, bos en landschap*, 34-35.
- den Ouden, J. (sd). *Grootschalige eikensterfte in monocultuur eik op de Kemperberg*. Wageningen university & research.
- den Ouden, J., Muys, B., Verheyen, K., & Mohren, F. (2010). *Bosecologie en bosbeheer*. Den Haag: Acco Uitgeverij.
- Desie, E., Muys, B., & Vancamphout, K. (2017, 4). *De donkere kant van het bos*. Opgehaald van vakblad natuur bos en landschap: https://vakbladnbl.nl/wp-content/uploads/VNBL_apr2017_Toekomstb.pdf
- Di Giulio, G. (2019). *Inventory to mortality of the European spruce in the National Park de Hoge Veluwe*. Amsterdam: Amsterdam University.
- Digibron. (1988, juli 1). Pinus sylvestris... de mooiste van alle dennesoorten. *Reformatorisch dagblad*.
- Flora van Nederland. (2015). *Amerikaanse vogelkers*. Opgehaald van Flora van Nederland: http://www.floravannederland.nl/planten/amerikaanse_vogelkers/

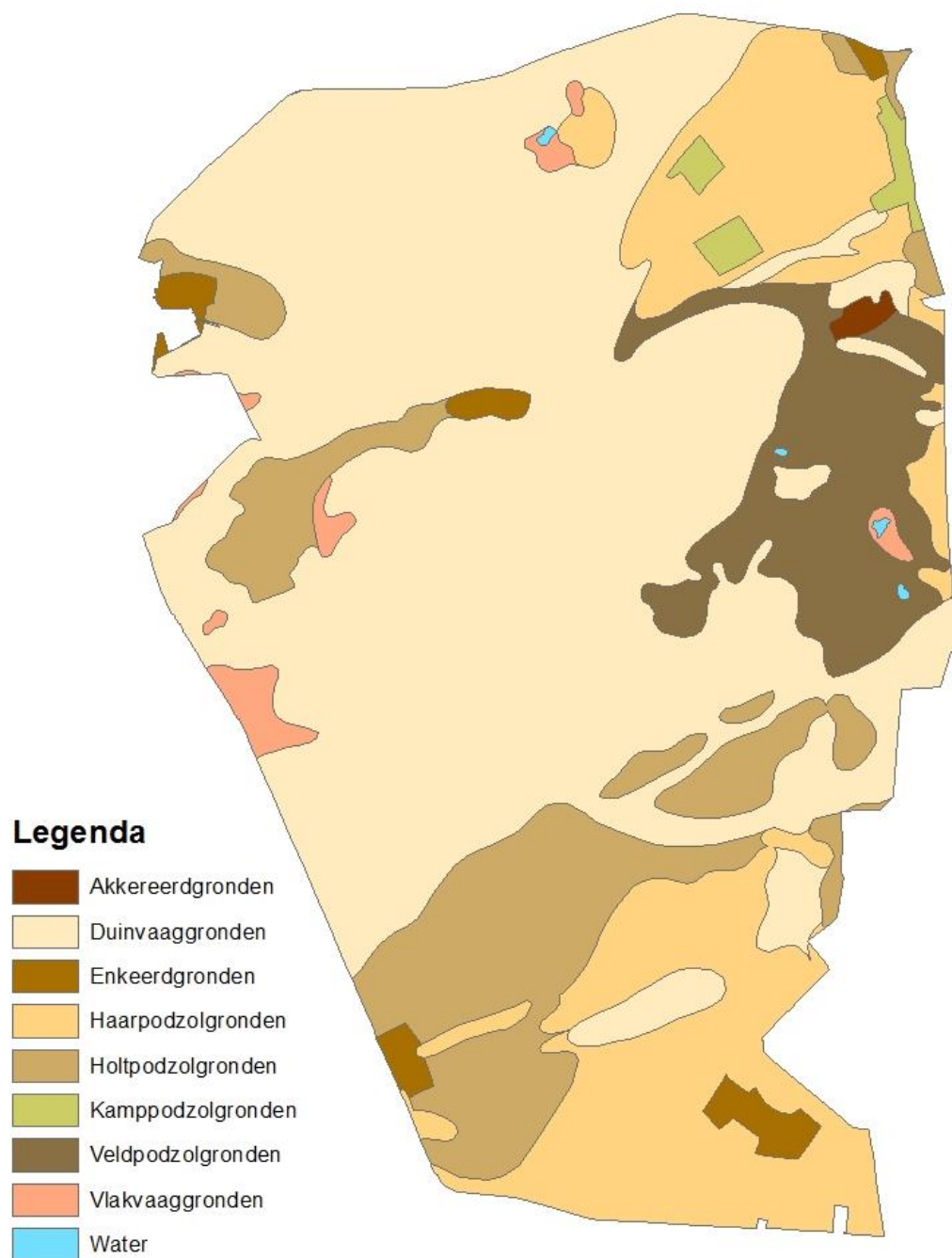
- Geudens, G., & Oosterbaan, A. (2010). Bosomvorming. In J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren, & K. Verheyen, *Bosecologie en bosbeheer* (p. 344). Den Haag: Acco Uitgeverij.
- Goede, S. (2018, 1 30). *Wandelen op de Veluwe: Landgoed de Dellen*. Opgehaald van Chital travels: <https://www.chitaltravels.nl/landgoed-de-dellen-veluwe/>
- Groen kennisnet. (2016, januari 27). *Steenmeel voor bodemverbetering*. Opgehaald van Groen kennisnet: <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/show/Steenmeel-voor-bodemverbetering.htm>
- Groene Ruimte. (2015). *dossier klimaatverandering en de groene ruimte*. Opgehaald van groeneruimte: <https://www.groeneruimte.nl/dossiers/klimaatverandering/home.html>
- GroenRijk. (2009). *Tulpenboom*. Opgehaald van Groenrijk: <https://www.groenrijk.nl/plantengids/plant/Boom/liriodendron-tulipifera-aureomarginatum>
- Hommel, P., de Waal, R., Muys, B., den Ouden, J., & Spek, T. (2007). *Terug naar het lindewoud*. Zeist: KNNV.
- Immerzeel, W., & Droogers, P. (2007). *Invloed van klimaatverandering op het Gelderse bos*. Wageningen: future water. Opgehaald van https://www.futurewater.nl/downloads/2007_Immerzeel_FW67.pdf
- IPCC. (2019). *IPCC*. Opgehaald van Intergovernmental Panel on Climate Change: <https://www.ipcc.ch/>
- Jansen, P., Boosten, M., Winterink, A., & van Benthem, M. (2009). *De aanleg van nieuwe bossen*. Stichting Matrijs: Utrecht.
- Janssen, J. (2006). *Stadsbomen Vademecum 4 - boomsoorten en gebruikswaarde*. Arnhem: IPC Groene Ruimte.
- Keersmaeker, D., Cosyns, Thomaes, & Vandekerckhove. (2017). *Kan houtoogst stikstofdepositie mitigeren*. Opgehaald van landschap.nl: https://www.landschap.nl/wp-content/uploads/2017_1_landschap_dekeersmaeker_4-13losse.pdf
- KNMI. (2019). *droogte*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>
- KNMI. (2019, 3 31). *IPCC: effecten klimaatverandering steeds duidelijker*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/ipcc-effecten-klimaatverandering-steeds-duidelijker>
- KNMI. (2019). *Neerslagtekort in Nederland in 2019*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands meteorologisch instituut: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte
- KNMI. (2019, 7 9). *Toename neerslag in meeste seizoenen*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/toename-neerslag-in-meeste-seizoenen>.
- KNMI. (2019). *Uitleg over droogte*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>
- Kremers, J., & Boosten, M. (2019). *Klimaatlim bosbeheer. bosberichten*.
- Lesschen, J. (2018). *klimaat en bodem*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Klimaat-en-bodem-1.htm>

- Lucassen, E., van den Berg, L., Aben, R., Smolders, F., Roelofs, J., & Bobbink, R. (2014). Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. *landschap*, 185-193.
- Moons, K. (2017). De kerstboom verdwijnt uit Neerlands bos. *Bionieuws*, 10-11.
- Moraal, L. (2011). Insecten op inheemse en uitheemse boomsoorten. *Arbor Vitae*, 36-39. Opgehaald van <http://dendrologie.nl/wp-content/uploads/Insecten-op-inheemse-en-uitheemse-boomsoorten.pdf>
- Moraal, L. (2011). *Insectenweg*. Opgehaald van wageningen university and research: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Projecten/Insectenweb.htm>
- Nabuurs, G. (2018). *Dossier klimaat en bos*. Opgeroepen op 5 10, 2019, van WUR: <https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Klimaat-en-bos-1.htm>
- Nabuurs, G. (2019). *klimaat en bos*. Opgehaald van Wageningen university & research: <https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Klimaat-en-bos-1.htm>
- Naturalis. (2016). Opgehaald van Nederlands soortenregister: <https://www.nederlandsesoorten.nl>
- Naturalis. (sd). *Fijnspar (Picea abies)*. Opgehaald van soortenbank.nl: http://www.soortenbank.nl/soorten.php?soortengroep=flora_nl_v2&id=260&menuentry=soorten
- NPHV. (2010). *Cultuurhistorische Visie Het Nationale Park De Hoge Veluwe*. Hoenderloo: NPHV.
- NPHV. (2015). *Beheerplan natuur en landschap*. Hoenderloo: NPHV.
- NPHV. (2018). *Natuurbeheer*. Opgeroepen op 4 11, 2019, van Hogeveluwe: <https://www.hogeveluwe.nl/nl/ontdek-het-park/natuur-en-landschap/natuurbeheer>
- Oossanen, L. (2019, 7 23). *Hoe droogte het bos verandert*. Opgehaald van boswachtersblog.nl: <https://www.boswachtersblog.nl/drentsfriesewold/2019/07/23/hoe-droogte-het-bos-verandert/>
- Pasta, S., de Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Ostrya carpinifolia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In S. Pasta, D. de Rigo, & G. Caudullo, *European atlas of forest tree species* (pp. 112-113). European Commission.
- Probos. (2019, mei 16). Bijlage 3 – Overzicht droogtetolerantie boomsoorten.
- Rijksoverheid. (sd). *klimaatverandering en gevolgen*. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/gevolgen-klimaatverandering>
- Roosien, T. (2013). Welke boomsoorten zijn droogteproof en klaar voor de toekomst. *boom in business*, 40-41.
- Schelhaas, M.-J., & de Vos, B. (2010). Invloed van storm op bos. In J. M. Den Ouden, *Bosecologie en Bosbeheer*. Opgehaald van wageningen university & research: <http://edepot.wur.nl/161756>
- van de Laak, B. (2019, 2 6). *Opmerkelijk: al een jaar lang geen storm meer in Nederland*. Opgehaald van amweb: https://www.amweb.nl/schade/nieuws/2019/02/opmerkelijk-al-een-jaar-lang-geen-storm-meer-in-nederland-101115209?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.61280171.684089093.1564995568-545108941.1564995568

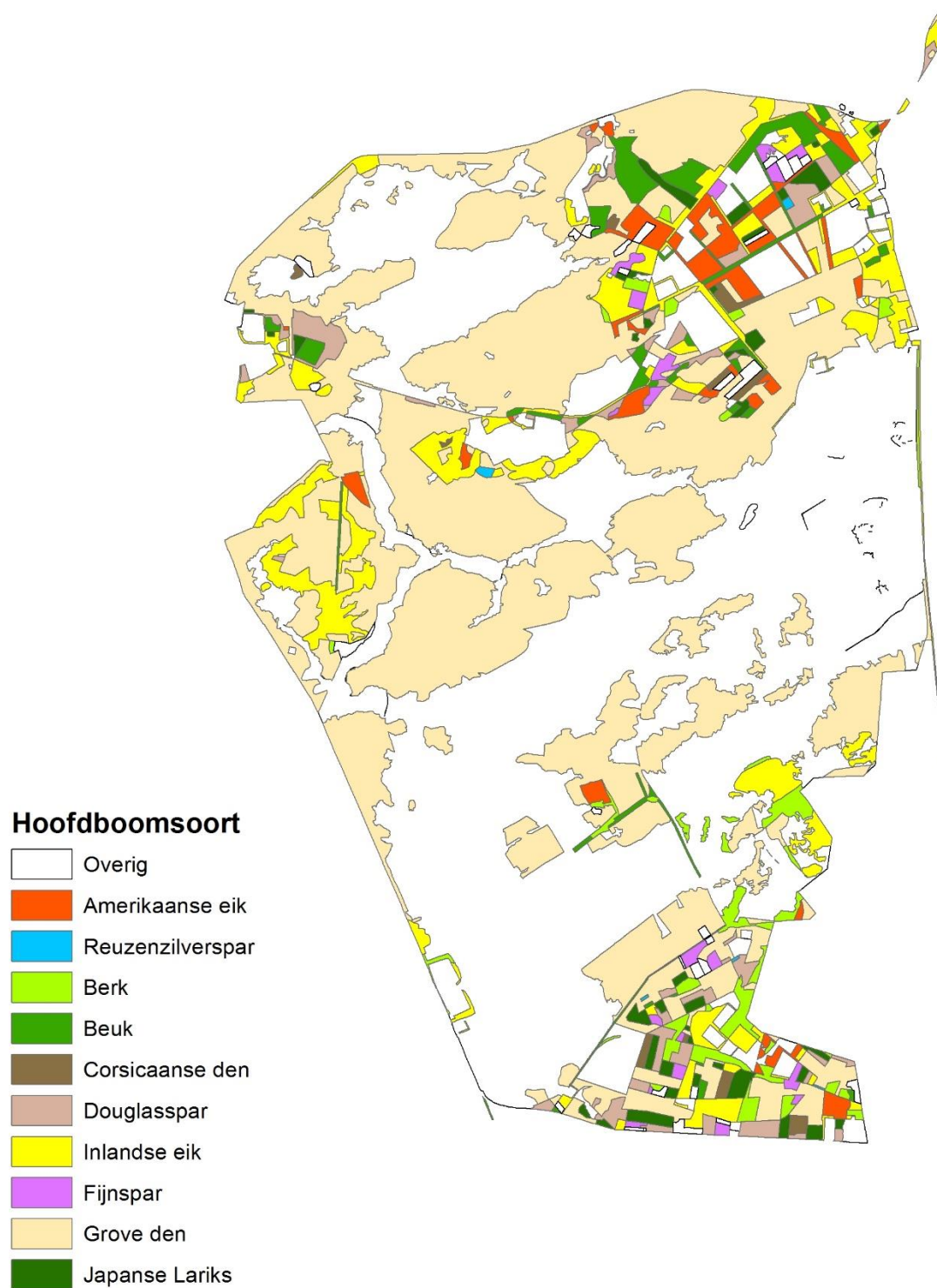
- van den Burg, A., Bijlsma, R.-J., & Bobbink, R. (2015). Arme bossen verdienen beter. *ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit*, 24.
- van Diggelen, R. (2019). steenmeel en natuurherstel. *vakblad natuur bos en landschap*, 20-23.
- van Vliet, A. (2013, 8 18). *Groeiseizoenen verschuift en wordt langer door klimaatverandering*. Opgehaald van naturetoday: <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=19373>.
- van Vliet, A. (2019, 5 10). *klimaatvraag: wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de natuur*. Opgehaald van nu.nl: https://www.nu.nl/weekend/5886039/klimaatvraag-wat-zijn-de-gevolgen-van-klimaatverandering-voor-de-natuur.html#coral_talk_wrapper
- VBNE. (2015). Arme bossen verdienen beter. *OBN-brochure*, 3-13.
- VNBL. (2019, 3). *vakblad natuur bos en landschap*. Opgehaald van VNBL: https://vakbladnbl.nl/wp-content/uploads/VNBL_mrt2019-2.pdf
- Wageningen University and Research. (2011). *Primaire plaaginsecten*. Opgehaald van Wageningen university and research: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Projecten/Insectenweb/Wat-is-een-plaag/Primaire-plaaginsecten.htm>
- Wijdeven, S. (2013). Extra kap en verjonging bij staatsbosbeheer. *vakblad natuur bos landschap*, 4-7.
- Wijdeven, S., Nyssen, B., & Buysse, W. (2019). Door de bomen het bos weer zien. *vakblad natuur bos en landschap (eco2eco)*, 5.

Overige afbeeldingen en tabellen zijn eigen werk.

Bijlage 1: Bodemkaart



Bijlage 2: Hoofdboomsoorten



Bijlage 3: Grove den en Amerikaanse eik op betere bodems

