

Revitaliseren met rijkstrooiselsoorten in de bossen op de Veluwe, een maatregel met toekomstperspectief?

Een studie naar het effect van het inbrengen en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten in de Veluwse bossen op de haar- en holtpodzolgronden



Loes Kampherbeek

Stage rapport

FEM-70424

December 2021

Revitaliseren met rijkstrooiselsoorten in de bossen op de Veluwe, een maatregel met toekomstperspectief?

Een studie naar het effect van het inbrengen en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten in de Veluwse bossen op de haar- en holtpodzolgronden

December 2021, Ede

Loes Kampherbeek

l.kampherbeek@bosgroepen.nl

Bosgroep Midden Nederland

Bennekomseweg 43

6717 LL Ede

Begeleiding Bosgroep Midden Nederland

Pieter Westerhof

Regiomanager Gelderland en Flevopolder

p.westerhof@bosgroepen.nl

Universiteit Wageningen

Master Forest and Nature Conservation

Leerstoelgroep Boscologie en Bosbeheer (FEM)

Begeleiding Universiteit Wageningen

Jan den Ouden

Jan.denouden@wur.nl



Bosgroep Midden Nederland



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Samenvatting

De laatste jaren vindt er een verhoogde sterfte van bomen plaats in de Nederlandse bossen als gevolg van droogte, insectenplagen en een gedegradeerde bosbodem. Het inbrengen en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten in de Nederlandse bossen wordt gezien als een maatregel waarmee de bossen meer bestand worden tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering, de bosbodem meer bestand wordt tegen verzuring en er een nutriëntenpomp op gang gebracht kan worden. In dit rapport is onderzoek gedaan naar de manier waarop rijkstrooiselsoorten kunnen bijdragen aan het revitaliseren van de bossen op de holt- en de haarpodzolgronden van de Veluwe.

De holtpodzolgronden van de Veluwe zijn ontstaan in opgestuwd, relatief rijk materiaal, ze bevatten een variabele fractie leem en kenmerken de wat rijkere groeiplaatsen. De haarpodzolgronden zijn ontstaan in relatief arm zand ("witte" gestuwde pleistocene zanden en dekzanden) en bevatten weinig voedingsstoffen, vrijwel geen leem, zijn vrijwel helemaal ontkalkt en kenmerken de armere groeiplaatsen. Haarpodzolgronden en holtpodzolgronden komen voor in gebieden waar geen grondwaterinvloed is. In de laatste honderd jaar is de zuurgraad van de bodem met één pH-punt afgenomen en is het buffermechanisme op deze gronden verschoven van kationenbuffering naar een aluminiumbuffering. Hierbij komt aluminium vrij in de bodem wat toxisch is voor bomen en planten. Om het buffermechanisme weer terug te brengen naar een kationenbuffering zullen kationen en nutriënten weer beschikbaar moeten komen in de bodem en zal op de haarpodzolgronden de buffercapaciteit (CEC) verhoogd moeten worden, wat onder andere kan worden bereikt door het verhogen van het organische stof gehalte.

Om te onderzoeken op welke manier het inbrengen en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten in de bossen op de holt- en de haarpodzolgronden op de Veluwe kan bijdragen aan het revitaliseren van deze bossen is literatuurstudie gedaan naar de factoren die van invloed zijn op de effecten van rijkstrooiselsoorten, hoe rijkstrooiselsoorten kunnen bijdragen om bossen bestendig te maken tegen toenemende weersextremen, welke boomsoorten geschikt zijn en of er andere maatregelen zijn die de bosbodem weerbaarder kunnen maken tegen verzuring. Om de praktische kennis binnen het werkveld mee te nemen hebben vraaggesprekken met ervaren beheerders en expertmedewerkers plaatsgevonden en zijn twee casestudies uitgevoerd naar het effect van lindes op de bosbodem en het humusprofiel.

Welke factoren hebben invloed op het effect van revitaliseren met rijkstrooiselsoorten?

Het effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem is afhankelijk van de hoeveelheid rijk strooisel, de strooiselkwaliteit en de kwaliteit van de standplaats. Om een effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem te genereren zijn grote hoeveelheden rijkstrooisel nodig en moeten rijkstrooiselsoorten minstens 30% van het grondvlak van de opstand uitmaken. De strooiselkwaliteit wordt bepaald door de hoeveelheid kationen in het blad, wat wordt bepaald door de boomsoort en de beschikbare kationen in de bodem. Daarnaast hebben de rijkstrooiselsoorten nutriënten in de bodem nodig om deze rond te kunnen pompen. Nutriënten kunnen aanwezig zijn in de fijne fractie in de bodem (leem, klei of löss) of in kalk- en leemlagen wat dieper in de bodem maar wel bereikbaar door diepwortelende boomsoorten. Wanneer deze lagen er niet zijn, moet de fijne fractie minstens (< 150 µm) 10% van de bodem in de bewortelbare zone bedragen om een effect op de bosbodem te genereren. De eerste effecten van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem kunnen na ongeveer dertig jaar worden waargenomen, maar een substantieel effect kan decennia tot honderden jaren langer duren. Een cruciale factor in het weer op gang brengen van de nutriëntenpomp is de bodemfauna. De bodemfauna verteert het bladstrooisel en zorgt dat de nutriënten weer beschikbaar komen. Hoe de bodemfauna reageert op het inbrengen van rijkstrooiselsoorten en of de bodemfauna zich kan herstellen is echter nog nauwelijks bekend.

Andere factoren die van invloed zijn op het effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem en de bestendigheid van het bos tegen weersextremen zijn de stikstofdepositie en de wildstand. Zo komt de stikstofdepositie de laatste jaren nog steeds boven de kritische depositie waarde uit en is het de vraag of het inbrengen van rijkstrooiselsoorten de effecten van de hoge stikstofdepositie kan opheffen. Met de huidige wildstand op de Veluwe kunnen loofbomen zich niet op een natuurlijke manier vestigen en zal er altijd wildbescherming nodig zijn bij in elk geval de aanplant en mogelijk ook bij de bevoordeling van reeds aanwezige rijkstrooiselsoorten.

Op welke manier kunnen rijkstrooiselsoorten de bossen op de haar- en holtpodzolgronden van de Veluwe weerbaarder maken tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering?

Door klimaatverandering nemen weersextremen, zoals een lange zomerdroogte en hevige stormen, toe. Het inbrengen van rijkstrooiselsoorten verhoogt de menging in het bos en hierdoor kunnen hulpbronnen, zoals water, beter worden benut. Ook kunnen verschillende soorten elkaar faciliteren doordat diepwortelende boomsoorten water naar boven kunnen transporteren en beschikbaar kunnen maken voor minder diepwortelende soorten. Daarnaast is het aanbrengen van een menging belangrijk om toekomstige risico's, zoals insectenplagen en uitval door droogteperioden, voor het bos te spreiden. De bossen op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe zijn volledig afhankelijk van regenwater. Het vochtvasthoudend vermogen op deze gronden wordt voornamelijk bepaald door het organische stofgehalte en de textuur van het zand in de bodem. Rijkstrooiselsoorten hebben een goed verteerbaar bladstrooisel, waarmee het organische stofgehalte in de bodem kan worden verhoogd. Ook kunnen bij de aanplant van rijkstrooiselsoorten zuidelijke herkomsten of nieuwe soorten worden geïntroduceerd die naar verwachting beter bestand zijn tegen weersextremen, mits dit past bij de visie en beheerdoelen van het bos en de beheerder. Er is vaak nog weinig kennis over het gedrag van specifieke zuidelijke herkomsten en nieuwe soorten in het Nederlandse bos, daarom wordt aangeraden om deze soorten op kleine schaal toe te passen wanneer deze gebruikt gaan worden. De menging in het bos heeft geen invloed op de weerstand van het bos tegen stormschade. Om stormschade te voorkomen is het van belang om soorten aan te planten die passen bij de groeiplaats en zo een wortelstelsel kunnen vormen passend bij de boomvorm.

Welke boomsoorten zijn geschikt voor het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten op de holt- en de haarpodzolgronden van de Veluwe?

Bij de boomsoortenkeuze voor het revitaliseren van het bos via aanplant van rijkstrooiselsoorten is het belangrijk om allereerst rekening te houden met de groeiplaats. Daarnaast zijn ook de bladkwaliteit van de boomsoort en de klimaatrobuustheid van de soort belangrijk. Allereerst kan er gekeken worden naar de rijkstrooiselsoorten die al in het bos aanwezig zijn en of deze bevoordeeld kunnen worden en natuurlijke verjonging gestimuleerd kan worden. Daarna kan er gekeken worden naar de rijkstrooiselsoorten die nieuw in het systeem gebracht kunnen worden. Rijkstrooiselsoorten stellen vaak hoge eisen aan de bodem. Op de arme haarpodzolgronden is de boomsoortenkeuze gering door het gebrek aan nutriënten en de lage vochtbeschikbaarheid. Hier kunnen zogenaamde 'kwartiermakers' ingebracht worden. Dit zijn soorten die minder eisen stellen aan de bodem, maar wel een betere bladkwaliteit hebben dan de huidige dominante boomsoort, vaak grove den. Soorten als berk, lijsterbes en ratelpopulier kunnen hier worden aangeplant om het organische stofgehalte in de bodem te verhogen en zo de bodem langzaam geschikt te maken voor veeleisende rijkstrooiselsoorten. Op de holtpodzolgronden zijn er meer mogelijkheden wat betreft rijkstrooiselsoorten. Hazelaar zou hier ingebracht kunnen worden als struiksoort en boswilg, lijsterbes en veldesdoorn als boomsoorten. De bladkwaliteit verschilt per soort en kan worden meegenomen in de keuze welke boomsoort aangeplant gaat worden. Zo heeft een linde meer kationen in het blad dan bijvoorbeeld een berk. Om een kationenrijk blad te kunnen produceren moeten deze kationen ook beschikbaar zijn voor opname door de boom. De

kationenbeschikbaarheid in het blad wordt dus niet alleen bepaald door de boomsoort, maar ook door de groeiplaats en de bladkwaliteit neemt toe als de kwaliteit van de groeiplaats toeneemt. Bomen die bestand zijn tegen weersextremen hebben de voorkeur als het gaat om revitalisering met de aanplant van rijkstrooiselsoorten. Dit kan door te kiezen voor inheemse boomsoorten die goed bestand zijn tegen droogte en vroege voorjaarsvorst, zuidelijke herkomsten van inheemse soorten aan te planten en uitheemse soorten te introduceren.

Wat zijn andere maatregelen met mogelijk een bodem- (en systeem-) verbeterend effect naast het inplanten en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten?

In het verleden zijn proeven gedaan met bekalking en nutriëntengiften om de verzuring van de bosbodem tegen te gaan en de nutriëntenhuishouding te herstellen. Bij deze proeven trad er echter snel een verruiging van de vegetatie op en na vijf of tien jaar is er nauwelijks nog een toename in basen en nutriënten te vinden in de bosbodem en vegetatie. Op dit moment lopen er proeven met steenmeel om de nutriëntenhuishouding van de bosbodem te herstellen. Hier zijn echter nog weinig resultaten van bekend. Steenmeel kan op kleine schaal toegepast worden wanneer uit een bodem- en bladanalyse is gebleken dat en welke nutriënten er te kort komen in het systeem. Wanneer dit bekend is kan een steenmeel toegepast worden die op deze tekortkomingen aansluit. Steenmeel kan toegepast worden in het plantgat bij aanplant van rijkstrooiselsoorten of op de bosbodem bijvoorbeeld het aanplanten van een groep rijkstrooiselsoorten. Omdat er nog weinig bekend is over deze maatregel combinatie van maatregelen is het van belang om het effect op de rijkstrooiselsoorten en de bosbodem te monitoren en deze kennis te delen met andere beheerders.

Conclusie

Op basis van literatuuronderzoek, vraaggesprekken en case studies kan worden geconcludeerd dat het inbrengen en bevoordelen van rijkstrooiselsoorten op de haar- en holtpodzolgronden van de Veluwe kansen biedt om de bossen weerbaarder te maken tegen weersextremen. De rijkstrooiselsoorten verhogen het organische stof gehalte in de bodem waardoor er meer water vastgehouden kan worden en het inbrengen van klimaatrobuuste rijkstrooiselsoorten maakt het bos weerbaarder tegen droogte. Daarnaast leidt het bevoordelen en/of inbrengen van rijkstrooiselsoorten tot een meer gemengde boomsoortensamenstelling. Hierdoor kunnen hulpbronnen, zoals water en licht beter worden benut. Daarbij kunnen verschillende boomsoorten elkaar faciliteren in bijvoorbeeld de watervoorziening. Wanneer er boomsoorten ingebracht worden passend bij de groeiplaats, kan het inbrengen van rijkstrooiselsoorten dus gezien worden als een 'no-regret'-maatregel. Het bevoordelen en inbrengen van rijkstrooiselsoorten om de bosbodem beter bestand te maken tegen verzuring en de nutriëntenpomp weer op gang te brengen werkt verschillend op de holt- en de haarpodzolgronden. De haarpodzolgronden bevatten te weinig nutriënten en kationen om een nutriëntenpomp op gang te brengen en deze weer beschikbaar te maken in de bovengrond. In de holtpodzolgronden is vaak een kleine leemfractie aanwezig waardoor er gunstigere omstandigheden zijn om een nutriëntenpomp op gang te brengen. Het effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem is een langzaam proces en het zal decennia kunnen duren om een effect te genereren.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	1
1. Inleiding.....	6
2. De Veluwe.....	10
2.1 Bodem en hydrologie.....	10
2.1.1 Historische situatie.....	10
2.1.2 Huidige situatie.....	10
2.2 Potentieel natuurlijke vegetaties.....	12
3. Methode.....	13
3.1 Literatuurstudie.....	13
3.2 Vraaggesprekken.....	13
3.3 Case studies.....	13
3.3.1 Dikte strooisellaag.....	14
3.3.2 Grondboring en zuurgraad.....	14
4. Factoren van invloed op het effect van rijkstrooiselsoorten.....	15
4.1 Stikstofdepositie.....	15
4.2 De wildstand op de Veluwe.....	17
4.3 Bodem.....	18
4.4 De rol van de bodemfauna.....	20
4.5 Strooiselkwaliteit.....	21
4.6 Strooiselkwantiteit.....	22
4.6.1 Struiklaag.....	23
4.7 Beheer.....	25
5. Weerbaarheid tegen weersextremen.....	26
5.1 Toenemende weersextremen en de effecten op individuele bomen.....	26
5.2 Toenemende weersextremen, effecten op gemengd bos en de pnv's.....	27
5.3 Toenemende weersextremen en rijkstrooiselsoorten.....	29
6. Boomsoortenkeuze.....	31
6.1 Rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe.....	31
6.2 Toepassen van rijkstrooiselsoorten in verschillende beheertypen.....	34
7. Potentiële andere en aanvullende maatregelen.....	36
7.1 Bescherming van rijkstrooiselsoorten tegen wild.....	36
7.1.1 Collectieve wildbescherming.....	36
7.1.2 Individuele wildbescherming.....	36
7.2 Toevoegen van voedings- en bufferende stoffen.....	37
7.2.1 Nutriëntengift.....	37

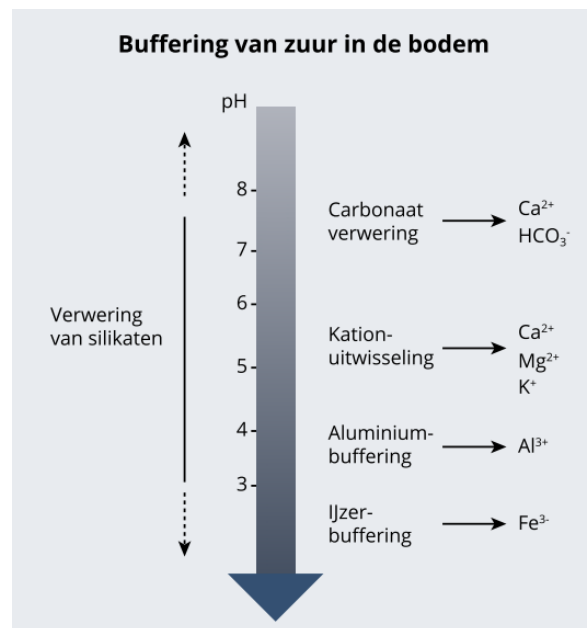
7.2.2 Bekalking	38
7.2.3 Steenmeel.....	39
7.3 Stimuleren van een kruidlaag.....	41
7.4 Maatregelen combineren.....	41
8. Synthese	42
8.1 Effecten van rijkstrooiselsoorten op de haarpodzolgronden.....	42
8.2 Effecten van rijkstrooiselsoorten op de holtpodzolgronden	43
8.3 Kanttekeningen bij de toepassing van rijkstrooiselsoorten	43
8.4 Afwegingskader revitalisering	43
9. Conclusie	46
10. Aanbevolen literatuur	49
11. Literatuurlijst	50
Bijlagen	57
Bijlage 1. Aanvullende informatie box 2.	57
Bijlage 2. Aanvullende informatie box 3.	59

1. Inleiding

De Nederlandse bossen staan onder druk door onder andere verzuring, vermisting en nutriëntenverlies veroorzaakt door stikstofdepositie, weersextremen als gevolg van klimaatverandering en versnippering (Thomassen, Wijdeven, Boosten, Delfortherie, & Nyssen, 2020). Naar aanleiding van het Klimaatakkoord hebben minister Schouten en de provincies een Bossenstrategie opgesteld waarin de doelen voor de bossen tot 2030 zijn vastgelegd (van Duinhoven & Borkent, 2021). Eén van de ambities in de Bossenstrategie is om de vitaliteit van Nederlandse bossen te verbeteren en het bos voor de toekomst veilig te stellen (LNV, 2020).

Met name de bossen op de droge zandgronden laten een versnelde bodemdegradatie zien door bovengenoemde factoren (Thomassen et al., 2020). In de bossen op de droge zandgronden is verzuring de grootste factor in de afname van de vitaliteit van bossen (Thomassen et al., 2020). Verzuring wordt onder andere veroorzaakt door zwavel en stikstof depositie, maar ook door verzurend strooisel van op de zandgronden aangeplante boomsoorten (De Vries et al., 2019; Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020; Thomassen et al., 2020). Verzuring leidt tot een lagere pH, het uitspoelen van kationen (vooral calcium, magnesium en kalium), verhoogde concentraties van de giftige stoffen aluminium en ijzer en een remming in nitrificatie waardoor er een verschuiving plaatsvindt tussen nitraat en ammonium in de bodem (van den Burg, Bijlsma, & Bobbink, 2015). Ammonium is een zwak zuur en heeft een verzurend effect op de bodem, daarnaast wisselen bomen een ammoniumion uit tegen een proton bij de opname van ammonium, wat een sterk verzurend effect heeft op de bodem (van den Burg, Dees, Huigens, Bijlsma, & de Waal, 2014). In hoge concentraties is ammonium giftig voor verschillende plantensoorten.

In de bodem kunnen zuren gebufferd worden via verschillende mechanismen (Figuur 1). De uitputting van de buffercapaciteit door vergaande verzuring heeft een regime-shift¹ veroorzaakt van het kationbuffermechanisme naar het aluminiumbuffermechanisme (Thomassen et al., 2020). Zandgronden hebben, door de geringe kleifractie, maar een beperkte kationuitwisselingscapaciteit (CEC) en hierdoor kan de kationbuffering makkelijk verschuiven naar een aluminiumbuffering (Nyssen, van der Burg, & Desie, 2016). Deze beperkte buffercapaciteit zorgt er echter ook voor dat het relatief makkelijk is om de aluminiumbuffering weer terug te brengen naar een kationbuffering. Het is echter nog onduidelijk in hoeverre er sprake is van hysteresis bij deze omslag (Nyssen et al., 2016). Tijdens de aluminiumbuffering komt aluminium vrij in de bodem dat in bepaalde concentraties giftig is voor planten en bodemleven (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020; van Diggelen et al., 2018). Gaat de verzuring verder en daalt de pH tot onder de drie, dan komt er naast aluminium ook ijzer vrij in de bodem (van den Burg et al., 2015; Figuur 1). IJzer is zeer giftig voor planten en bomen (Bowman, Cleveland, Halada, Hreško, & Baron, 2008). Dit buffermechanisme komt



Figuur 1. Overzicht van de verschillende buffermechanismen bij een verschillende pH (zuurgraad) (uit Bobbink, 2021).

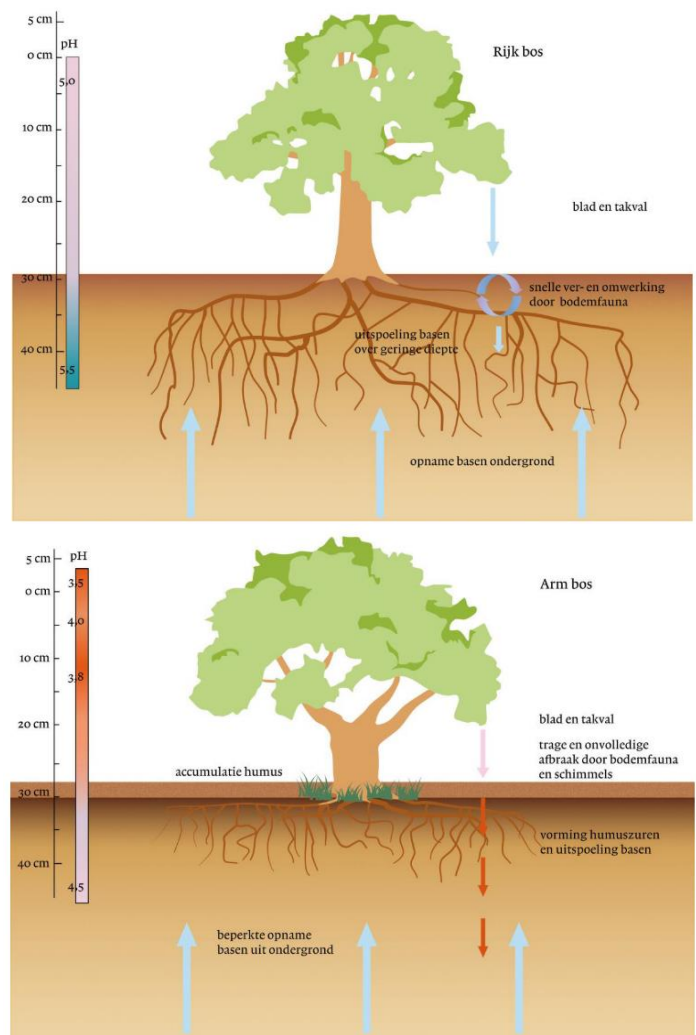
¹ Grote, abrupte, aanhoudende verandering

in Nederland nog weinig voor, maar was bijvoorbeeld in de jaren tachtig/negentig wel prominent aanwezig in de grensregio tussen Polen, Duitsland en Tsjechië waar grote hoeveelheden zwaveloxiden en stikstofoxiden werden uitgestoten door het gebruik van bruinkool en elektriciteitsopwekking (Weijters et al., 2018).

Verzuring heeft niet alleen een invloed op het buffermechanisme in de bodem. Het heeft ook een effect op de afbraaksnelheid van strooisel, dat wordt geremd door verzuring, waardoor de nutriëntenkringloop vertraagd (van den Burg et al., 2015). De afbraak van verzurend strooisel vindt vooral plaats door schimmels en is een langzaam proces. Hierdoor vindt ophoping van strooisel plaats. Bij de afbraak komen humuszuren vrij die zorgen dat kationen en nutriënten makkelijk uitspoelen, waardoor de nutriëntenbeschikbaarheid afneemt, en er vorming van een podzolbodem plaatsvindt (Thomassen et al., 2020). De humuszuren veroorzaken een daling in de pH van de bodem, wat het proces van verzuring in stand houdt (Thomassen et al., 2020). In een vitaal bos met een grote nutriëntenbeschikbaarheid wordt strooisel snel afgebroken door de bodemfauna en wordt de organische stof door de bodem gemengd. Hierdoor vindt er weinig uitspoeling van kationen plaats en kunnen de nutriënten weer opgenomen worden door de bomen en planten in het bos (Thomassen et al., 2020; Figuur 2).

Doordat een groot deel van de buffercapaciteit in de bossen met een verzuurde bodem is verdwenen door het uitspoelen van kationen, zal deze buffercapaciteit niet terugkeren zonder ingrijpen (van den Berg et al., 2021). In bossen met een verzuurde bodem en een lage nutriëntenbeschikbaarheid wordt het weer op gang brengen van de nutriëntenpomp en hierdoor het naar boven halen van kationen uit de ondergrond gezien als de oplossing tegen bodemverzuring (Thomassen et al., 2020).

Door de geringe kleifractie in de zandgronden is het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem de manier om de CEC, en daarmee de buffercapaciteit, te verhogen (De Vos, De Keersmaeker, & Van der Aa, 2020). Echter, de opbouw van de humuslaag, en daarmee de verhoging van het organische stofgehalte, is een langzaam proces en kan op arme zandbodems decennia tot honderden jaren duren (De Vos et al., 2020). Een mogelijkheid waarop de nutriëntenpomp versneld op gang gebracht kan worden is het inplanten van rijkstrooiselsoorten. Met rijkstrooiselsoorten worden boomsoorten bedoeld met een hoge concentratie kationen in het blad (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020). Uit verschillende onderzoeken blijkt dat rijkstrooisel een groot effect kan hebben op de basenverzadiging in de bodem (Desie,



Figuur 2. Boom op een rijke bodem met een functionerende nutriëntenpomp met weinig tot geen uitspoeling (afbeelding boven). Boom op een verzuurde, uitgeloopte groeiplaats met een niet functionerende nutriëntenpomp met uitspoeling van kationen (basen) (afbeelding beneden) (Van Den Berg et al., 2016).

Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020; Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). Maar of er een effect optreedt en de grootte van het effect van rijkstrooiselsoorten op de bodem is afhankelijk van de strooiselkwaliteit, de hoeveelheid rijkstrooisel en de kwaliteit van de standplaats (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020).

Naast het potentiële effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem en de nutriëntenpomp, is het bos weerbaarder maken tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering een ander belangrijk aspect bij het revitaliseren van het bos. Met het veranderende klimaat moeten bossen steeds beter bestand zijn tegen hogere temperaturen en een veranderend neerslag regime, met heviger buien en meer droogte in de zomer (KNMI, 2015). Daarnaast wordt er verwacht dat met klimaatverandering (nieuwe) ziektes en plagen vaker zullen voorkomen (Kremers & Boosten, 2019).

Box 1. Nutriënten en kationen

Nutriënten zijn stoffen in de bodem die door bomen en planten gebruikt kunnen worden als voedingsstof. Voorbeelden hiervan zijn stikstof, kalium, calcium, magnesium en fosfor. Met kationen worden positief geladen ionen bedoelt die een belangrijke rol spelen bij de (kation)buffering in de bodem, zoals calcium, magnesium en kalium.

Na de droge zomer in 2018 heeft er veel sterfte plaatsgevonden in fijnspar en lariks opstanden (Bosgroep Midden Nederland, n.d.). Deze opstanden betreffen met name monoculturen van uitheemse boomsoorten met een lage biodiversiteit en een lage tolerantie tegen klimaatverandering (Van de Peer et al., 2015). Het omvormen van naaldbossen naar gemengd loofbos zal de tolerantie tegen klimaatverandering bevorderen en de biodiversiteit versterken. Daarbij draagt menging van boomsoorten en het vergroten van de bosstructuur bij aan risicospreiding, omdat de kans wordt verlaagd dat hele opstanden in één keer ziek worden en afsterven (Kremers & Boosten, 2019). Bovendien zijn gemengde bossen vaak productiever dan monoculturen (Den Ouden & Hekhuis, 2016). Wanneer de nutriëntenbalans in bossen wordt verbeterd, bijvoorbeeld door de aanplant van rijkstrooiselsoorten, worden bossen minder kwetsbaar (Kremers & Boosten, 2019). Daarnaast neemt, bij een verbetering van de bodem, het humusgehalte in de bodem toe en wordt er meer koolstof vastgelegd. Ook neemt, met een toename in het humusgehalte, het vochtvasthoudend en adsorptie vermogen van de bodem toe (Thomassen et al., 2020).

Het bevoordelen en inbrengen van rijkstrooiselsoorten in de Nederlandse bossen wordt gezien als een maatregel waarmee de bossen beter bestand worden tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering, de bosbodem meer bestand wordt tegen verzuring en er een nutriëntenpomp op gang gebracht kan worden. De Veluwe is het grootste bosgebied van Nederland en bestaat voor het grootste deel uit loof- en naaldbossen op arme zandgronden ("Veluwe | natura 2000," n.d.).

Er zijn nog onduidelijkheden op welke manier rijkstrooiselsoorten kunnen bijdragen aan het revitaliseren van de bossen op de arme zandgronden in Nederland. In dit rapport zijn de factoren die van invloed zijn op het effect van rijkstrooiselsoorten in kaart gebracht. De focus ligt op de twee meest voorkomende bodemtypes op de Veluwe, namelijk de holt- en haarpodzolgronden ("Ondergrondmodellen | BROloket," n.d.). Deze gronden staan niet onder invloed van grondwater waardoor er geen hydrologische maatregelen kunnen worden genomen ten behoeve van het bos. Om de effecten van revitaliseren met rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe in kaart te brengen zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

Hoofdvragen:

1. Op welke manier kunnen rijkstrooiselsoorten bijdragen aan het revitaliseren van de bossen op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe?
2. Wat zijn andere maatregelen met mogelijk een bodem- (en systeem-) verbeterend effect naast het inplanten van rijkstrooiselsoorten?

Deelvragen:

3. Welke factoren hebben invloed op het effect van revitaliseren met rijkstrooiselsoorten?
4. Op welke manier kunnen rijkstrooiselsoorten de bossen op de haar- en holtpodzolgronden van de Veluwe weerbaarder maken tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering?
5. Welke boomsoorten zijn geschikt voor het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe?

Eerst zal er een kenschets worden gegeven van de Veluwe, de historische en huidige staat van de holt- en haarpodzolgronden en de potentiële natuurlijke vegetaties (pnv's) op de holt- en haarpodzolgronden in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt de methode behandeld. Gevolgd door het antwoord op vraag 3, welke factoren van invloed zijn op het effect van revitaliseren met rijkstrooiselsoorten, in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt antwoord gegeven op vraag 4, op welke manier rijkstrooiselsoorten de bossen weerbaarder kunnen maken tegen weersextremen en in hoofdstuk 6 op vraag 5, welke boomsoorten geschikt zijn voor het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe. In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op vraag 2, potentiële andere maatregelen en in de synthese, hoofdstuk 8, wordt antwoord gegeven op vraag 1, de manier waarop rijkstrooiselsoorten kunnen bijdragen aan het revitaliseren van de bossen op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe en wordt een afwegingskader geschetst voor de boomsoortenkeuze. In hoofdstuk 9 volgt de conclusie waarin kort antwoord wordt gegeven op alle vragen.

2. De Veluwe

Sinds 2014 is de Veluwe een Natura 2000-gebied. Het doel van Natura 2000 is om de biodiversiteit in stand te houden en te verbeteren (*Beheerplan Natura 2000 Veluwe (057)*, 2017). Op de Veluwe zijn instandhoudingsdoelen van achttien habitattypen, zeven habitatsoorten en tien vogelrichtlijnsoorten (*Beheerplan Natura 2000 Veluwe (057)*, 2017). Twee van deze habitattypen vallen onder de bossen op de Veluwe, namelijk Beuken-eikenbossen met hulst (H9120), die bestaan uit loofbossen die al voor 1850 bestonden of meer dan 100 jaar oud zijn en Oude eikenbossen (H9190). Oude eikenbossen zijn eikenbossen die op geaccidenteerde stuifzandbodems groeien ("Veluwe | natura 2000," n.d.). Het Natura 2000-doel voor deze twee habitattypen is het uitbreiden van het oppervlak en het verbeteren van de kwaliteit ("Veluwe | natura 2000," n.d.). De oude loofboskernen, en daarmee de boshabitattypen, liggen tussen relatief jonge bossen waarin naaldbomen een belangrijke rol spelen (Den Ouden, Lammertsma, & Jansman, 2020).

2.1 Bodem en hydrologie

In deze paragraaf worden de historische en huidige situatie van de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe beschreven.

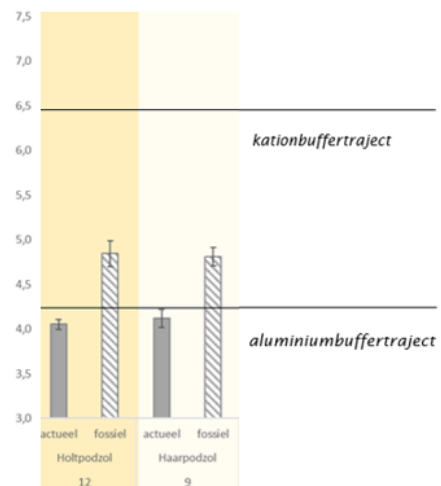
2.1.1 Historische situatie

De stuwwallen die de Veluwe vormen zijn afgezet in de voorlaatste ijstijd. Tot 1900 was het noorden van de Veluwe een groot stuifzandgebied. Relatief rijke bruine zand afzettingen van de Rijn en Maas in het zuiden en arme witte zanden van oostelijke herkomst in het noorden zijn hier opgestuwd (ten Houte de Lange et al., 1977; "Veluwe | natura 2000," n.d.). In het Holoceen raakte de Veluwe bebost met berk, den, hazelaar, iep, eik, linde, els, esdoorn en es. In de vroege middeleeuwen bestond het bos op de Veluwe uit eik, beuk en haagbeuk. In de late middeleeuwen werd de Veluwe ontbost, wat leidde tot het uitloggen van de bodem en de vorming van humuspodzolgronden in het leemarme dekzand en stuwwalmateriaal ("Veluwe | natura 2000," n.d.). Het uitspoelen van nutriënten en kationen kon minder makkelijk plaatsvinden in het lemige stuwwalmateriaal en hier hebben zich moderpodzolgronden (o.a. holtpodzolgronden) gevormd. De kationenrijke bodems komen nu alleen nog lokaal voor, vooral op de flanken van de Veluwe en waar kwelwater een rol speelt ("Veluwe | natura 2000," n.d.). De oudste (loof)bossen op de Veluwe liggen op lemig stuwwalmateriaal. Tussen 1890 en 1920 werden grote delen van het door ontbossing en plaggen van heide ontstane stuifzand en heidegebied weer bebost met grove den. Op de Veluwe valt relatief veel neerslag per jaar (800-925 mm), maar het regenwater infiltreert snel in de zandige bodem en wordt afgevoerd naar lager gelegen gebieden ("Veluwe | natura 2000," n.d.). Dit heeft bijgedragen aan de podzolvorming op de Veluwe (ten Houte de Lange et al., 1977).

2.1.2 Huidige situatie

De meeste bossen op de Veluwe staan op haarpodzolgronden en holtpodzolgronden ("Ondergrondmodellen | BROloket," n.d.). Holtpodzolgronden komen vooral voor op de gestuwde rivierzanden en lössafzettingen en zijn wat rijkere groeiplaatsen. Haarpodzolgronden komen voor op kwartsrijke zanden van oostelijke herkomst of jonge dekzanden en kenmerken de arme groeiplaatsen (de Bakker & Schelling, 1989). Haar- en holtpodzolgronden ontstaan onder invloed van

regenwater (ten Houte de Lange et al., 1977). De holtpodzolgronden zijn vanuit historisch oogpunt duidelijk rijkere gronden dan haarpodzolgronden (de Bakker & Schelling, 1989), holtpodzolgronden zijn vaak lemiger dan haarpodzolgronden, maar kunnen meestal niet beschreven worden als leemrijk (H. Smeenge, pers. comm.). De laatste honderd jaar is het verschil tussen de holt- en haarpodzolgronden afgenomen (Kieskamp & Smeenge, *in voorbereiding*). In een onderzoek naar de zuurgraad in bosbodems rond 1900 en nu, door fossiele bodems² met actuele bodems te vergelijken, is gebleken dat de pH-waarde van haar- en holtpodzolgronden ongeveer één pH-punt is afgenomen (Kieskamp & Smeenge, *in voorbereiding*; Figuur 3). In de fossiele bodems valt de pH in het kationenbuffertraject, terwijl in de huidige bodems de pH vrijwel altijd binnen het aluminiumbuffertraject valt (Kieskamp & Smeenge, *in voorbereiding*; Figuur 3). Het terugbrengen van de bosbodems naar het kationenbuffertraject kan een uitgangspunt zijn voor het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten. Om een door aluminium gebufferd systeem terug te brengen naar een systeem gebufferd door kationen, is een basenverzadiging van 30% bij een pH waarde van circa 4,5 nodig in de bodem (Desie, Muys, Jansen, Vesterdal, & Vancampenhout, 2021; Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). Wanneer er een switch plaatsvindt tussen buffersystemen, zal de pH van de bodem veranderen (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020; Figuur 1).



Figuur 3. pH-H₂O waarden van actuele (massieve balkjes) en fossiele (gestreepte balkjes) bosbodems. De getallen onderaan het figuur geven het aantal bemonsterde bosbodems weer. De fossiele bosbodems vallen binnen het kationenbuffertraject en de actuele bosbodems vallen in het aluminiumbuffertraject (naar Kieskamp & Smeenge, *in voorbereiding*).

Op dit moment zijn verdroging, verzuring, vermisting en bodemverdichting de grootste stressfactoren die van invloed zijn op de vitaliteit van de Nederlandse bossen (de Schrijver et al., 2018). Op de rug van de Veluwe zijn de grondwaterstanden permanent laag en vallen vrijwel overal buiten de wortelzone. Hierdoor is sturing in de hydrologie met effecten op het bos niet mogelijk in dit gedeelte van de Veluwe. Daarom zal er in dit rapport verder geen aandacht worden besteed aan de hydrologie. Met het veranderen van het klimaat en het neerslagregime speelt verdroging door minder neerslag tijdens het groeiseizoen wel een rol op de Veluwe. Bodemverdichting wordt veroorzaakt door zware machines die tijdens de kap worden gebruikt. De dichtheid van de bodem heeft invloed op de hoeveelheid zuurstof dat aanwezig is in de bodem, sterkte van de bodem en hydraulische eigenschappen van de bodem (Fleming et al., 2006). In bossen met een zandbodem en een laag vochtgehalte speelt bodemverdichting nauwelijks een rol en kan er zelfs een positief effect zijn op de hydraulische eigenschappen van de bodem na de kap (de Schrijver et al., 2018; Fleming et al., 2006).

Bossen die niet onder invloed staan van grondwater en van nature een zwak gebufferde bodem hebben zijn extra gevoelig voor stikstofdepositie en verzuring (van den Burg, Dees, Huigens, Bijlsma, & de Waal, 2014). Zoals beschreven in de inleiding speelt verzuring een grote rol in de bossen op de Veluwe. De voedselarme zandgronden op de Veluwe zijn vrijwel helemaal ontkalkt (Bobbink, Bergsma, Den Ouden, & Weijters, 2017; Hommel, de Waal, Muys, den Ouden, & Spek, 2007). Stikstofdepositie zorgt niet alleen voor verzuring, maar ook voor eutrofiëring van de bodem door een

² Door een wal afgedekte bodems waaronder de bodemchemie niet is veranderd sinds hij begraven is

toename in stikstofbeschikbaarheid (Thomassen et al., 2020). De bossen op de Veluwe zijn relatief voedselarm. In natuurlijke systemen is stikstof de limiterende factor voor plantengroei. Echter, door de stikstofdepositie van afgelopen decennia is niet langer stikstof de limiterende factor voor de plantengroei, maar zijn andere plantenvoedingsstoffen limiterend geworden (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020; van den Burg et al., 2014). Verzuring van de bodem draagt bij aan het uitspoelen van mineralen, waardoor dit effect wordt versterkt. Afgelopen decennia is de stikstofdepositie gestabiliseerd, maar nog steeds veel te hoog voor herstel van de stikstoflimitatie in bossen (van den Burg et al., 2014). Als er mineralen worden toegevoegd zonder dat de stikstofdepositie is afgenomen, bestaat de kans dat het voedselarme karakter van deze bossen verloren gaat (van den Burg et al., 2014). Het is dus van belang dat de toename in mineralen en de afname in stikstof geleidelijk gaat. Verzuring en vermesting hebben de laatste decennia de meeste invloed gehad op de bosbodems op de Veluwe, waarbij het effect van vermesting door stikstof kan zijn afgenomen doordat andere plantenvoedingsstoffen limiterend zijn geworden.

2.2 Potentieel natuurlijke vegetaties

Bossen op voedselarme bodems herbergen een andere vegetatie dan bossen op voedselrijke bodems en voor een hoge biodiversiteit op landschapsschaal is het in stand houden van beide type bossen belangrijk (van den Burg et al., 2014). De meest voorkomende potentieel natuurlijke vegetaties (pnv's) op de Veluwe zijn Droog Berken-Zomereikenbos op de haarpodzolgronden en Droog Wintereiken-Beukenbos op de holtpodzolgronden (van der Werf, 1991). Pnv's zijn vegetaties die zonder menselijke invloed zouden ontstaan onder de biotische en abiotische omstandigheden van de standplaats (van der Werf, 1991). De pnv hoeft niet overeen te komen met de vegetatie die oorspronkelijk op een plek voorkwam (ten Houte de Lange et al., 1977).

In de Berken-Zomereikenbossen is de zomereik de dominante boomsoort, waarna ruwe berk en soms zachte berk het meeste voorkomen. Als het bos een open structuur heeft kan er ook grove den voorkomen. Er zijn weinig struikvormers aanwezig, maar de soorten die er voorkomen zijn wilde lijsterbes en sporkehout. Vaak is de kruidlaag weinig ontwikkeld of ontbreekt (ten Houte de Lange et al., 1977; van der Werf, 1991). De karakteristieke kruiden die er kunnen voorkomen zijn bochtige smele, blauwe bosbes, rankende helmblom, wilde kamperfoelie, gladde witbol, stekelvarens, fijn schapegras, zandzegge en zandstruisgras (van der Werf, 1991). In het Wintereiken-Beukenbos domineert de beuk en heeft de wintereik een klein aandeel in de boomlaag. Sporadisch komt de zomereik, de bastaard van de twee eiken en ruwe berk voor. In de struiklaag kunnen wilde lijsterbes, hulst, boswilg, esp, wilde appel, framboos, bramensoorten, brem en gaspeldoorn voorkomen (ten Houte de Lange et al., 1977; van der Werf, 1991). In de kruidlaag komen adelaarsvaren, dalkruid, wilde kamperfoelie en bochtige smele voor. Op bospaden zijn soms waterpeper en zachte duizendknoop te vinden, die indirecte leemindicatoren zijn (van der Werf, 1991). In de huidige situatie staan er op de haar- en holtpodzolgronden op de Veluwe voornamelijk naaldbossen met grove den, oude hakhoutbossen en berken (van der Werf, 1991). De Wintereiken-Beukenbossen komen nog maar weinig voor en de huidige nog bestaande bossen van dit type zijn vaak malebossen³ (van der Werf, 1991).

³ Oude gebruiksbossen van rond 1800 oorspronkelijk in het bezit van een groep eigenaren, verenigd in een maatschap. Deze bossen liggen vaak rondom oude buurtschappen.

3. Methode

Om de hoofd- en deelvragen te kunnen beantwoorden is er een literatuurstudie gedaan, hebben vraaggesprekken plaatsgevonden met beheerders en expertmedewerkers en zijn twee case studies uitgevoerd om de literatuur en opgedane kennis bij de vraaggesprekken te ondersteunen.

3.1 Literatuurstudie

Tijdens de literatuurstudie zijn de zoekmachines Scopus en Google Scholar gebruikt. Ook de bronnenlijst van relevante artikelen is gebruikt om andere artikelen te vinden. Er is gebruik gemaakt van nationale en internationale literatuur. Zie voor de volledige literatuurlijst hoofdstuk 11.

3.2 Vraaggesprekken

Door middel van vraaggesprekken is er informatie verkregen over de invloed van rijkstrooiselsoorten op het bos, de doelen van beheerders, het aanplanten van rijkstrooiselsoorten in de praktijk en de kansen en knelpunten die er zijn omtrent het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten. De vraaggesprekken waren niet gebaseerd op een vast script, maar de kernpunten die in het gesprek naar voren moesten komen waren wel van tevoren bekend. In Tabel 1 is een lijst weergegeven met personen waarmee een vraaggesprek heeft plaatsgevonden en hun functie. De gesprekken hebben plaatsgevonden via Microsoft Teams of op locatie en zijn, na toestemming, opgenomen zodat geen belangrijke informatie gemist zou worden.

Tabel 1. Personen waarmee een vraaggesprek heeft plaatsgevonden en hun functie.

Naam	Functie
Dennis Lindenbergh	Beheerder Veluwe zuid, Bosgroep Midden Nederland
Harm Smeenge	Expert landschapsecologie en historische ecologie, Bosgroep Midden Nederland
Leon van den Berg	Expertmedewerker ecologie en bio-geochemie, Bosgroep Zuid Nederland
Jaap Bouwman	Expert ecologie, Bosgroep Midden Nederland
Etiënne Thomassen	Expertmedewerker bosecologie en bosbeheer, Bosgroep Zuid Nederland
Gerard Koopmans	Senior projectleider, Bosgroep Midden Nederland
Brian van Beek	Beheerder Veluwe Noord, Bosgroep Midden Nederland
Meindert Bruggemans	Beheerder Kroondomein het Loo
Erwin Al	Specialist / senior adviseur bos en beheer Staatsbosbeheer
Martijn Boosten	Senior adviseur stichting Probos

3.3 Case studies

Om de literatuurstudie te ondersteunen is gekeken naar de invloed van lindes op de bodem en de strooisellaag op holtpodzolgronden. Er zijn boringen gedaan op twee landgoederen op de Veluwe waar lindes van minstens vijftien jaar oud stonden. Er is gekozen voor deze plekken omdat er verwacht werd dat de lindes hier een zichtbaar effect op de bodem zouden kunnen hebben en de

Landgoedeigenaren leden van de Bosgroep zijn. De landgoederen zijn Landgoed Klein Boeschoten nabij Garderen en Landgoed De Valouwe ten noorden van Ede (Figuur 4). Er zijn geen (oudere) lindes in bos op haarpodzolgronden van de leden van de Bosgroep bekend, daarom kon hierover geen informatie verzameld worden. Bij de case studies is gekeken naar de strooisellaag, de bodem tot tachtig centimeter diepte en de samenstelling van de struik- en boomlaag.

3.3.1 Dikte strooisellaag

De strooisellaag vormt de meest recente bodemontwikkeling zichtbaar in de tijd (H. Smeenge, pers. comm.). Hierdoor is het effect van boomsoorten op de bodem als eerste zichtbaar in de strooisellaag. De strooisellaag is opgebouwd uit verschillende lagen (De Vos, 1998):

- L-laag (Litter): bestaat uit nog niet of weinig verteerde bladeren, naalden of houtachtig materiaal.
- F-Laag (fragmentatie): bestaat uit gefragmenteerde vegetatieve strooiselresten, waarvan de herkomst nog te achterhalen is en is tot 70% vermengd met fijn organisch materiaal.
- H-laag (humus): bestaat uit meer dan 70% fijn organisch materiaal waarvan de herkomst niet meer met het blote oog te bepalen is.

De dikte van de lagen verschilt per bodem. Op rijke groeiplaatsen mist de F- en de H-laag vaak (mull humusprofiel). Op armere groeiplaatsen komen de L-, F- en H-laag wel voor, maar verschillend in dikte (moder en mor humusprofiel) (De Vos, 1998). In een mor humusprofiel is er vaak een scherpe overgang tussen de strooisellaag en de minerale bodem, terwijl deze overgang geleidelijk is in een moder humusprofiel (van den Berg et al., 2021). Om het effect van rijkstrooiselsoorten op het humusprofiel in kaart te brengen zijn de dikte van de F- en de H-laag gemeten door een vierkant stuk grond uit de bodem te steken met een schep. De dikte van de L-laag is ook gemeten, maar doordat de dikte sterk afhankelijk is van het seizoen en dit onderzoek is uitgevoerd in de herfst is er verder weinig aandacht besteed aan deze laag.

3.3.2 Grondboring en zuurgraad

Om de verschillende bodemlagen en de pH in deze bodemlagen te bepalen zijn bodemboringen tot tachtig centimeter diep gedaan. Van elke laag werd de dikte gemeten, bepaald of er leem aanwezig was en de zuurgraad (pH) gemeten met behulp van pH papertjes. De pH is ook bepaald van de F- en de H-laag van de strooisellaag (indien aanwezig). Het pH papertje werd natgemaakt met gedemineraliseerd water en vervolgens in de bodemlaag gestoken. Hierna werd de grond ook natgemaakt met gedemineraliseerd water. Na vier minuten was de reactie van het pH papertje verlopen en kon aan de hand van de kleuren op het doosje de pH worden bepaald (Figuur 5).



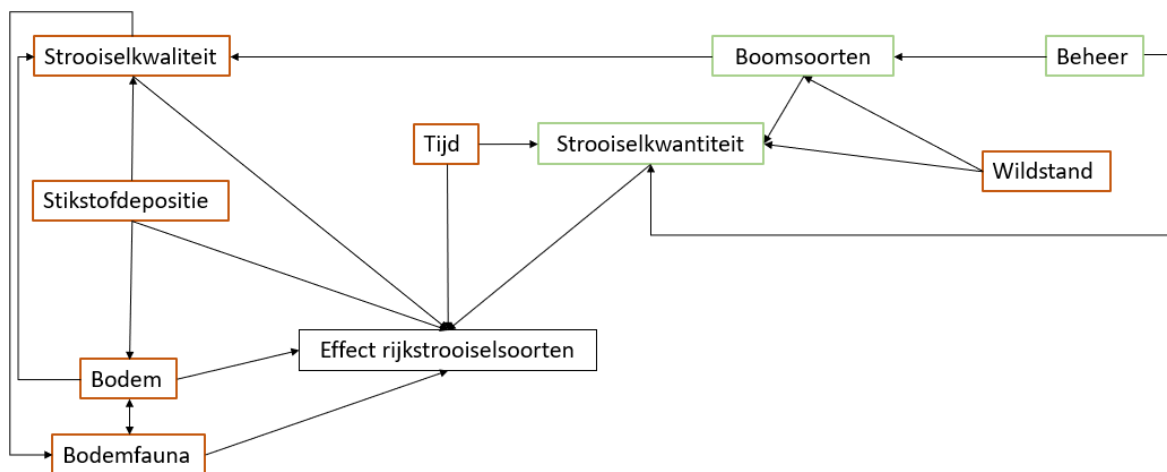
Figuur 4. Kaart van de Veluwe met de locatie van Landgoed Klein Boeschoten in rood en Landgoed de Valouwe in oranje.



Figuur 5. pH papertje na de reactie met de bodem.

4. Factoren van invloed op het effect van rijkstrooiselsoorten

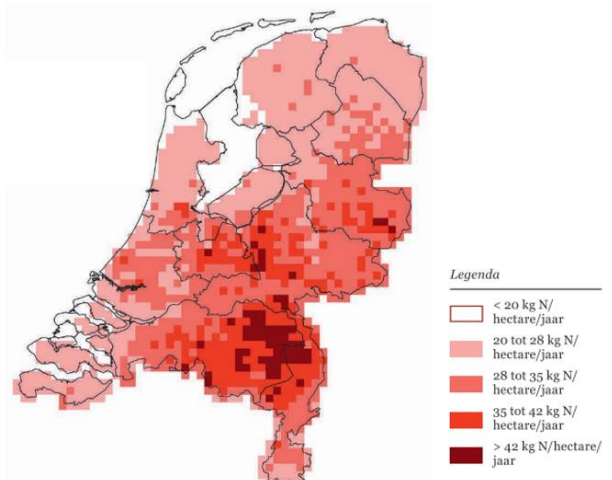
Het effect van rijkstrooiselsoorten is afhankelijk van de strooiselkwaliteit, de hoeveelheid rijkstrooisel en de kwaliteit van de standplaats (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). De strooiselkwaliteit wordt bepaald door de kationen in het blad en de kwaliteit van de standplaats (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020). Voor de kwaliteit van de standplaats is de bodem een belangrijke factor. Via de bodem kunnen bomen nutriënten en water opnemen. Op de Veluwe zijn de bosbodems sterk verzuurd en hierdoor zijn er minder nutriënten beschikbaar. Revitaliseren met rijkstrooiselsoorten zou de verzuring op de zandgronden, onder andere veroorzaakt door stikstofdepositie, moeten remmen en de nutriëntenkringloop weer op gang moeten brengen (LNV, 2020). In dit hoofdstuk worden de factoren die van invloed zijn op het effect van rijkstrooiselsoorten besproken (Figuur 6). Eerst komen de factoren waar de bosbeheerder weinig invloed op heeft aan bod, zoals stikstofdepositie, wildvraat en de bodem. Daarna wordt er ingegaan op de strooiselkwaliteit en het beheer.



Figuur 6. Factoren die van invloed zijn op de invloed van rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe. Factoren met een oranje rand hebben bosbeheerders geen of weinig invloed op. Factoren met een groene rand hebben bosbeheerders invloed op.

4.1 Stikstofdepositie

De jaarlijkse stikstofdepositie is in Nederland op veel plekken ontzettend hoog en heeft een duidelijk effect op de zuurgraad (pH) van de bodem (Figuur 7 & 8). Uit een onderzoek naar de zuurgraad in jonge loofbossen verspreid over Europa is gebleken dat in loofbossen met een stikstofdepositie van onder de 12,5 kg N/ha per jaar de pH tussen de 4,4 en 5,3 ligt, terwijl de pH bij een stikstofdepositie boven de 20 kg N/ha per jaar lager is dan 4,0 (Figuur 8; Bobbink et al., 2017). In Nederland was de gemiddelde stikstofdepositie over de periode 1990-2017 op de Veluwe hoger dan 28 kg N/ha (Figuur 7; Wereld Natuur Fonds, 2020).



Figuur 7. Gemiddelde stikstofdepositie over de periode 1990-2017 per atlasblok in Nederland (Wereld Natuur Fonds, 2020).

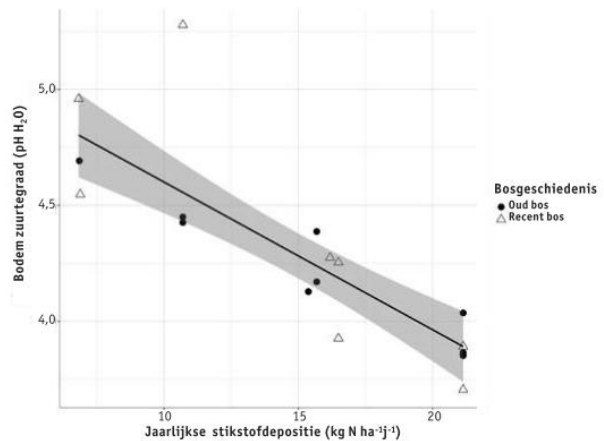
De totale stikstofdepositie bestaat uit ammoniak (NH_3), voornamelijk afkomstig van de veehouderij, en stikstofoxiden (NO_x), afkomstig van verkeer en industrie (Wereld Natuur Fonds, 2020). Het verzurende effect van stikstofdepositie wordt vooral veroorzaakt door ammonium (NH_4^+ ; gereduceerde stikstof). In Nederland komt 68% van de stikstofdepositie vanuit Nederlandse bronnen en bestaat meer dan 75% van de stikstofdepositie uit ammonium (De Vries et al., 2019; Wereld Natuur Fonds, 2020).

Vanaf 1990 is de stikstofdepositie afgenomen, maar het laatste decennium is de totale depositie weer gestabiliseerd (RIVM, n.d.). Ondanks de afname in stikstofdepositie gaan

de kenmerkende planten- en diersoorten van het droog zandlandschap de laatste 10-20 jaar nog steeds achteruit (Bobbink et al., 2017). Na het uitvoeren van herstelmaatregelen kan de verzuring en de hoge stikstofbeschikbaarheid onder de huidige, nog steeds hoge, stikstofdepositie ervoor zorgen dat het vestigingsmilieu voor planten nog niet goed is (van den Berg et al., 2021). Naast de achteruitgang van veel plantensoorten heeft de stikstofdepositie ook een invloed op de volwassen bomen in het bos. Door de verhoogde stikstofdepositie investeren bomen minder in hun wortelstelsel en worden ze gevoeliger voor omwaaien bij storm (De Vries et al., 2019). Na de storm Lothar in 1999 werden er in Zwitserland significant meer omgewaaide beuken waargenomen op bodems met een lage basenverzadiging en een hoog stikstof gehalte (De Vries et al., 2019).

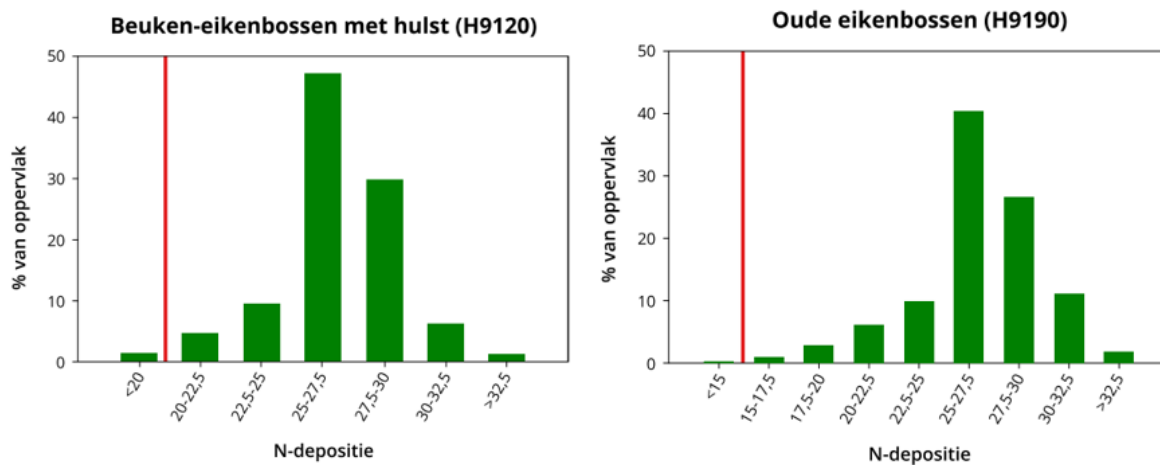
Door de stikstofdepositie heeft er de laatste decennia een verhoogde verwerking van mineralen in de bodem plaats gevonden (Bergsma et al., 2016). Hierdoor is een groot deel van de totale voorraad verweerbare mineralen uit de bodem verdwenen (Bergsma et al., 2016). In 1990 en 2015 zijn metingen gedaan aan de basenverzadiging in eikenbossen. In bossen met een basenverzadiging van 20-60% in 1990 was de basenverzadiging in 2015 gedaald tot onder de 15%, ondanks de dalende stikstofdepositie (Bobbink et al., 2017; De Vries et al., 2019). De huidige stikstofdepositie zal in bossen met een lage silicaatverwerking vrijwel zeker lijden tot een basenbezetting van 5-10% (De Vries et al., 2019). Als de zuurbelasting lager is dan de verwerkingssnelheid in de bodem kan de bodem zichzelf herstellen (De Vries et al., 2019). Echter, de Nederlandse zandbodems zijn zo ver gedegradeerd dat dit mechanisme niet meer werkt (Bergsma et al., 2016; De Vries et al., 2019).

Voor Natura 2000-gebieden in Nederland is er een kritische depositie waarde (KDW) vastgesteld. Als de stikstofdepositie boven de KDW uitkomt bestaat de kans dat de kwaliteit van het habitat significant wordt aangetast als gevolg van de verzurende en/of vermestende depositie uit de atmosfeer (van Dobben, Bobbink, Bal, & van Hinsberg, 2012). Bij het bepalen van de KDW zijn de al aanwezige effecten van verzuring niet meegenomen (Wereld Natuur Fonds, 2020). Op de Veluwe komt de jaarlijkse stikstofdepositie in bossen consequent boven de vastgestelde KDW uit. Voor het habitattype Beuken-eikenbossen met hulst is de KDW bepaald op 20 kg N/ha per jaar en voor Oude eikenbossen is de KDW bepaald op 15 kg N/ha per jaar (van Dobben et al., 2012). Onder de huidige omstandigheden wordt de KDW op 85% van het oppervlakte van Beuken-eikenbossen met hulst en 96% van het oppervlakte aan Oude eikenbossen overschreden (Figuur 9; Bobbink, 2021). De



Figuur 8. Jaarlijkse stikstofdepositie en pH-H₂O van de bovengrond in oude en jonge voedselarme loofbossen verspreid over Europa (Bobbink et al., 2017).

stikstofdepositie in Nederland komt dus al langere tijd uit boven de KDW en zorgt voor een afname in de kwaliteit van de habitattypen op de Veluwe.



Figuur 9. Verdeling van de stikstofdepositie in kg/N/ha per jaar voor Beuken-eikenbossen met hulst en Oude eikenbossen als percentage van het totale oppervlakt in Nederland. De rode lijn geeft de KDW weer (Bobbink, 2021).

Om de bossen op de Veluwe te herstellen zullen maatregelen nodig zijn die de verzuring en verhoogde stikstofbeschikbaarheid opheffen en de basenverzadiging van de bodem weer laten toenemen.

4.2 De wildstand op de Veluwe

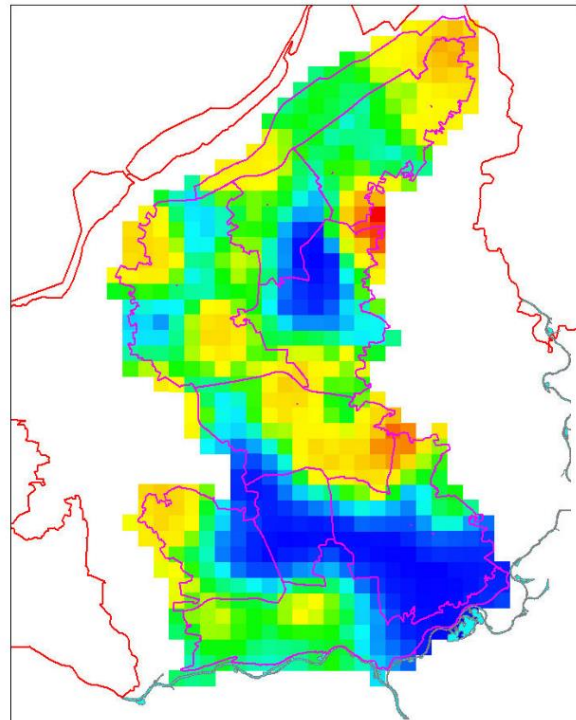
Naast de stikstofdepositie is de wildstand een andere factor waar bosbeheerders geen of weinig invloed op hebben, maar die wel invloed heeft op het effect van revitaliseren van de bossen met behulp van rijkstrooiselsoorten. In de bossen op de Veluwe leven edelherten, damherten, reeën en wilde zwijnen en de populaties zijn de laatste decennia flink toegenomen (Ramirez, Jansen, Den Ouden, Goudzwaard, & Poorter, 2019). Hoefdieren beïnvloeden de bosstructuur doordat ze over het algemeen de voorkeur geven aan loofbomen boven naaldbomen als voedselbron (Den Ouden et al., 2020; Ramirez et al., 2019). Als er veel hoefdieren aanwezig zijn, neemt de boomsoortdiversiteit van het bos af en neemt het aandeel naaldbomen toe (Ramirez et al., 2019). Voor het succesvol verjongen van loofboomsoorten is de graasdruk van hoefdieren dus een beslissende factor (Ramirez et al., 2019). Illustrerend hiervoor zijn de soorten die buiten de wildbaan langs de Amersfoortseweg staan. Onder andere lijsterbes, hazelaar, ratelpopulier, boswilg en esdoorn zijn hier door natuurlijke verjonging opgekomen. Deze boom- en struiksoorten zouden op de Veluwe voor kunnen komen als de huidige wildstand omlaag gaat (J. Bouwman, pers. comm.). Uit een onderzoek naar het effect van vraat door hoefdieren in Kroondomein het Loo bleek dat onder de huidige graasdruk zomer- en wintereik niet dominant zullen worden in de kroonlaag en weggeconcurrereerd worden door de meer graas bestendige beuk (Kuiters & Slim, 2002). Ook is uit een inventarisatie van het voorkomen van lijsterbessen op de Veluwe gebleken dat op het centrale en zuidoostelijke deel van de Veluwe nauwelijks tot geen jonge lijsterbessen meer voorkomen als gevolg van de wilddruk (den Ouden,

Schoonderwoerd, & de Klein, 2016; Figuur 10). In 2020 is het project 'Bosverjonging op de Veluwe' gestart met als doel om een monitoringsonderzoek uit te voeren naar het kwantitatieve effect van de graasdruk van grote hoefdieren op de natuurlijke verjonging in de Veluwse bossen (Reichgelt et al., 2021). Gedurende zes jaar zal er drie keer een monitoring uitgevoerd worden naar de topvraat aan jonge bomen. In 2020 zijn proef metingen uitgevoerd en de metingen zullen in 2021, 2023 en 2026 herhaald worden. De resultaten van de eerste metingen laten duidelijk meer vraat zien aan loofbomen en ook een grotere dichtheid aan verjonging van naaldbomen dan van loofbomen. Na meer monitoring rondes hopen de auteurs de consequenties van het beheer op de hoeveelheid vraat te kunnen kwantificeren en bijvoorbeeld een antwoord te kunnen geven op de vraag of er een bepaalde dichtheid is van de natuurlijke verjonging waarbij deze boven de verzadigingsgrens van de hoeveelheid vraat uitkomt en wildbescherming niet nodig is (Reichgelt et al., 2021).

Rijkstrooiselsoorten zijn vaak smakelijke soorten voor hoefdieren en onder de huidige wilddruk op de Veluwe is herintroductie zonder fysieke bescherming niet mogelijk (Den Ouden et al., 2020). Een reductie in het aantal hoefdieren is nodig om de (natuurlijke) verjonging van loofboomsoorten op gang te brengen, maar kan ook leiden tot een afname in gras- en heidevegetatie (Kuiters & Slim, 2002). Uit historisch onderzoek is gebleken dat regeneratie een episodisch proces is met lange tijden weinig regeneratie en een hoge wildstand en tijden met een lage wildstand en veel regeneratie (Kuiters & Slim, 2002). Bomen hoger dan twee meter zijn niet meer gevoelig voor vraat (Ramirez et al., 2019). Een lage wildstand tot er een nieuwe generatie bos groter dan twee meter hoog heeft kunnen ontwikkelen zou een maatregel kunnen zijn. Naast het omlaag brengen van de wildstand zijn het plaatsen van rasters om de natuurlijke verjonging te stimuleren of het gebruik van boomkokers bij aanplant mogelijke maatregelen tegen wildschade (zie paragraaf 7.1).

4.3 Bodem

Om een effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem te genereren is het belangrijk dat de bomen genoeg nutriënten uit de bodem kunnen opnemen of voldoende verweerbare mineralen in de ondergrond ter beschikking hebben om de nutriënten- en kalkpomp op gang te brengen (Nyssen et al., 2016). Het leem- of kleigehalte in de bodem is bepalend voor de grootte van het effect van rijkstrooiselsoorten (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). Klei en leem leveren een bijdrage aan de rijkdom van de bodem (van den Berg et al., 2021). Zandgronden met een klei of leemfractie groter dan 10% in de bewortelbare zone, zandgronden waar kationen aangevoerd kunnen worden via het grondwater of zandgronden waar kationenrijke lagen aanwezig zijn bieden



Figuur 10. Het voorkomen van jonge lijsterbessen op de Veluwe. De kleuren geven het aantal lijsterbessen per gemeten plot weer (straal vijf meter). Donkerblauw is geen lijsterbes, lichtblauw is gemiddeld één lijsterbes per plot, lichtgroen is gemiddeld twee jonge lijsterbessen per plot en geel is gemiddeld vier jonge lijsterbessen per plot en via oranje en lichtbruin gaat het naar de maximale waarde in rood (den Ouden, Schoonderwoerd, & de Klein, 2016).

kansen voor het op gang brengen van de nutriëntenpomp met behulp van rijkstrooiselsoorten (Desie, Vancampenhout, & Muys, 2021; Desie, Vancampenhout, et al., 2021). Via een kationenrijke laag kunnen bomen kationen (o.a. calcium) opnemen via de wortels en via het bladval naar de humuslaag brengen (de Jong, de Waal, & Al, 2015). Op bodems waar veel kationen nodig zijn, maar weinig kationen beschikbaar zal deze pomp niet goed kunnen functioneren (Hommel et al., 2007). De haarpodzolgronden op de Veluwe zijn vrijwel helemaal ontkalkt en uitgeloozd en daardoor zal de nutriëntenpomp hier niet goed kunnen functioneren.

Illustreerend hiervoor is het onderzoek van Desie, Vancampenhout, van den Berg et al., (2020) over het effect van strooisel van de Amerikaanse vogelkers in opstanden met een dominantie van zomereik op arme zandgronden. Er werd een positieve interactie gevonden tussen het effect van strooisel van de Amerikaanse vogelkers en het kleigehalte in de bodem op de dikte van de strooisellaag, basenverzadiging, organisch materiaal en nitraat in de bovengrond. Dit wijst op een groter strooisel effect van Amerikaanse vogelkers op gronden met een hoger kleigehalte. Op arme zandbodems met een lage CEC is het effect van rijkstrooiselsoorten positief ten opzichte van armstrooiselsoorten, maar het effect is minder groot dan op bodems met een klein gehalte aan leem (van den Berg et al., 2021). Dit komt doordat de negatieve effecten van uitloging, structuurgebrek en het slechte watervasthoudende vermogen groter zijn dan de positieve effecten van rijkstrooiselsoorten (Desie, Vancampenhout, et al., 2021).

Locaties in Nederland waar onderzoek is gedaan naar het effect van rijkstrooiselsoorten op de bodemchemie in zandbodems hadden vrijwel allemaal een leemlaag of leemfractie hoger dan 15% in de bewortelbare zone (van den Berg et al., 2021). Ondanks de aanwezigheid van leem in de bodem gaat de ontwikkeling richting een minder verzuurd en voedselrijker milieu erg traag in de bossen die in Nederland zijn onderzocht (van den Berg et al., 2021). Wel is er na zeventig tot honderd jaar een betere strooiselafbraak en inmenging van humus zichtbaar in de bovenste horizont, een betere buffering en hogere pH (van den Berg et al., 2021). De pH blijft echter onder de vier, maar de basenverzadiging neemt wel flink toe, wat de bosbodem beter bestand maakt tegen de input van verzurende stoffen (van den Berg et al., 2021).

Nutriënten en kationen moeten dus in voldoende mate in de bodem beschikbaar zijn, of aangebracht worden, om een effect met rijkstrooiselsoorten te kunnen genereren (De Vos et al., 2020; L. van den Berg, pers. comm.). Het is daarom van belang om goed inzicht te hebben in de bodemsamenstelling op de standplaats waar mogelijk revitalisering toegepast gaat worden. Op de holtpodzolgronden op de Veluwe waar een kleine hoeveelheid leem in de bodem aanwezig is zou revitaliseren met rijkstrooiselsoorten een effect kunnen genereren op de bosbodem. Op de haarpodzolgronden op de Veluwe kan de bodem te weinig mineralen en kationen leveren voor een goede vestiging en groei van rijkstrooiselsoorten. Op deze bodems kunnen boomsoorten met een rijker strooisel dan eik, beuk en grove den, maar met een mindere kwaliteit strooisel dan rijkstrooiselsoorten zoals linde en esdoorn fungeren als zogenaamde 'kwartiermakers' (Thomassen et al., 2020). Zij kunnen het organische stofgehalte en de nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem kunnen verhogen en zo de bodem klaar kunnen maken voor veeleisendere rijkstrooiselsoorten. Wanneer het verschil in aanwezige verweerbare mineralen groot is ten opzichte van het moedermateriaal kan het toevoegen van steenmeel noodzakelijk zijn om het aandeel verweerbare mineralen weer op niveau te brengen (van den Berg et al., 2021). Voor meer informatie over steenmeel zie paragraaf 7.2.3.

Box 2. Invloed van 15 jaar oude lindes op Landgoed Klein Boeschoten

Klein Boeschoten is een landgoed aan de westflank van de Veluwe nabij Garderen. Op het landgoed staan oude eiken spaartelgebossen en gemengd bos met loof- en naaldhout. In een opstand met beuken en Douglas zijn vijftien jaar geleden een aantal lindes aangeplant. Het gedeelte van het landgoed waar de lindes zijn aangeplant is omrasterd om het bos te beschermen tegen herten, zwijnen en reeën.



Box 2. Figuur 1. De vijftien jaar oude lindes geplant in een beuken-, Douglas opstand (foto links). locatie op vijftig meter afstand van de lindes (foto rechts).

Onder de lindes, vijftig meter en vijftig meter van de lindes vandaan zijn bodemboringen en pH metingen gedaan. De bosopstand staat op een holtpodzolgrond met zwak lemig zand. Onder de lindes zijn geen uitlogingsverschijnselen zichtbaar. Op de andere twee meetpunten waren wel uitlogingsverschijnselen zichtbaar (zie bijlage 1). Deze twee meetpunten lagen iets hoger in het landschap, waardoor er kans is dat hier meer wegzijging van regenwater plaatsvindt. Onder de lindes werd een mull humusprofiel gevonden en bij de andere twee meetpunten werd een moder humusprofiel gevonden (Box 2. Figuur 2). De F-laag en de bovenste bodemlaag van alle meetpunten hadden een pH-waarde van 3,5. Onder de lindes werd op tachtig centimeter diepte een pH gevonden van 5,0, terwijl bij de andere twee meetpunten een pH werd gevonden van 4,0 op tachtig centimeter diepte. Echter, de pH op deze diepte wordt waarschijnlijk niet bepaald door een effect van de lindes, maar duidt op gunstige omstandigheden voor het bodemleven.

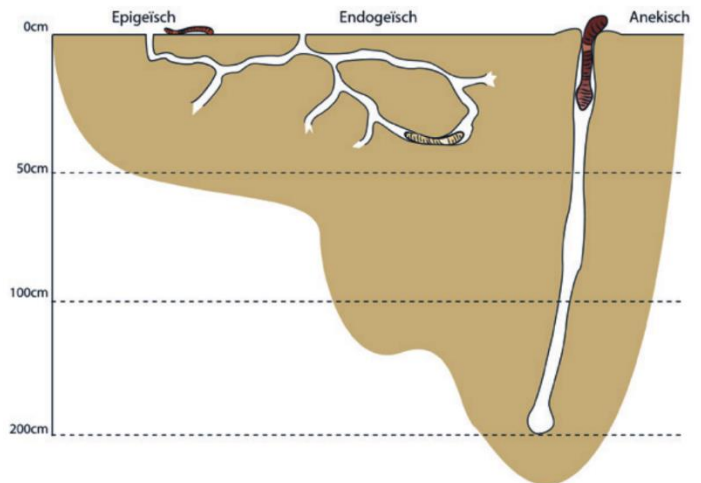


Box 2. Figuur 2. Mull humusprofiel met een dunne L-laag en zonder F-laag onder de lindes (foto links). Moder humusprofiel met een duidelijke L-laag en F-laag van vier centimeter op vijftig meter afstand van de lindes (foto midden). Moder humusprofiel met een duidelijke L-laag en een F-laag van negen centimeter op vijftig meter afstand van de lindes (foto rechts).

4.4 De rol van de bodemfauna

Zoals genoemd in de inleiding is het verhogen van het organische stofgehalte in zandbodems een belangrijke maatregel om de CEC te verhogen en verzuring tegen te gaan (De Vos et al., 2020). Het afbreken van strooisel en inmengen van organische stof in de bodem wordt gedaan door de bodemfauna. Hierdoor heeft de bodemfauna een grote invloed op het humusprofiel dat zich vormt in een bos (Hommel et al., 2007). Hoe rijker het strooisel dat op de bodem valt, hoe meer er gegeten zal worden en hoe sneller de nutriënten weer beschikbaar komen (Desie, Vancampenhout, et al., 2021). De bodemfauna kan onderverdeeld

worden in micro-, meso- en macrofauna. De microfauna is alleen zichtbaar onder sterke vergroting en bestaat voor een groot deel uit springstaarten en mijten. De groep mesofauna bestaat uit dieren tot één centimeter groot, voornamelijk pissebedden, keverlarven en potwormen. De macrofauna bestaat voornamelijk uit regenwormen. De regenwormen kunnen in drie ecologische groepen ingedeeld worden: strooiselwormen eten strooisel, bodemwoelers voeden zich met humusdeeltjes en diepgravers (of pendelaars) die zich voeden met strooisel (Figuur 11). De micro-organismen in de bodem zijn schimmels en bacteriën (Hommel et al., 2007).



Figuur 11. De indeling van regenwormen naar ecologische groep. Epigeïsch zijn de strooiselwormen. Endogeïsch zijn de bodemwoelers. Anekeïsch zijn de diepgravers (Schelfhout et al., 2014).

De bodemfauna is cruciaal bij de vorming van het humusprofiel en het mengen van organische stof in de bodem. In zure bodems ($\text{pH} < 4.5$) kunnen veel functionele bodemorganismen, waaronder diepgravende regenwormen, moeilijk overleven en dit leidt tot een mor- of moder humusprofiel en een laag organische stofgehalte in de bodem (De Vos et al., 2020). Vooral diepgravende regenwormen zijn belangrijk voor de vorming van het humusprofiel door het mengen van het strooisel in de bodem (Van Den Berg et al., 2016). Het is bekend dat onder bomen met calciumrijk strooisel, er meer regenwormen voorkomen dan onder bomen met calciumarm strooisel (Reich et al., 2005; Van Den Berg et al., 2016) en er een grotere hoeveelheid meso- en macrofauna aanwezig is bij een hogere pH in de bodem (Kemmers, 2012). Ook is de samenstelling van de bodemfauna meer divers onder bomen met een beter afbreekbaar strooisel (Van Den Berg et al., 2016).

Rijkstrooiselsoorten kunnen de bodemfauna beïnvloeden via het beschikbaar stellen van kationen en nutriënten, maar de bodemfauna is zelf ook een belangrijk onderdeel in het beschikbaar maken van deze stoffen. Echter, in Nederlandse bossen waar een effect van linde op de bodem pH en basenverzadiging is gemeten, was dit effect alleen zichtbaar in de A-horizont. Door het ontbreken van diepgravende regenwormen worden de positieve effecten van linde strooisel niet verder in de bodem verspreid (van den Berg et al., 2021).

De reproductie en mobiliteit van de bodemfauna is laag in bosbodems. Van micro-organismen is bekend dat ze zich met een aantal centimeters per jaar voortbewegen (Van Den Berg et al., 2016). Het is onbekend of en hoe snel de bodemfauna in een verzuurde bodem zich herstelt na een ingreep (L. van den Berg, pers. comm.). Een mogelijkheid om de bodemfauna te herstellen is het enten van bodem uit een gezond referentiebos. Er is hier echter nog weinig onderzoek naar gedaan. Binnenkort gaat er een onderzoek starten naar het effect van het enten van bodem uit referentiebossen in bossen met een zure bodem dat vijf jaar is behandeld met steenmeel en een controle plot waar geen

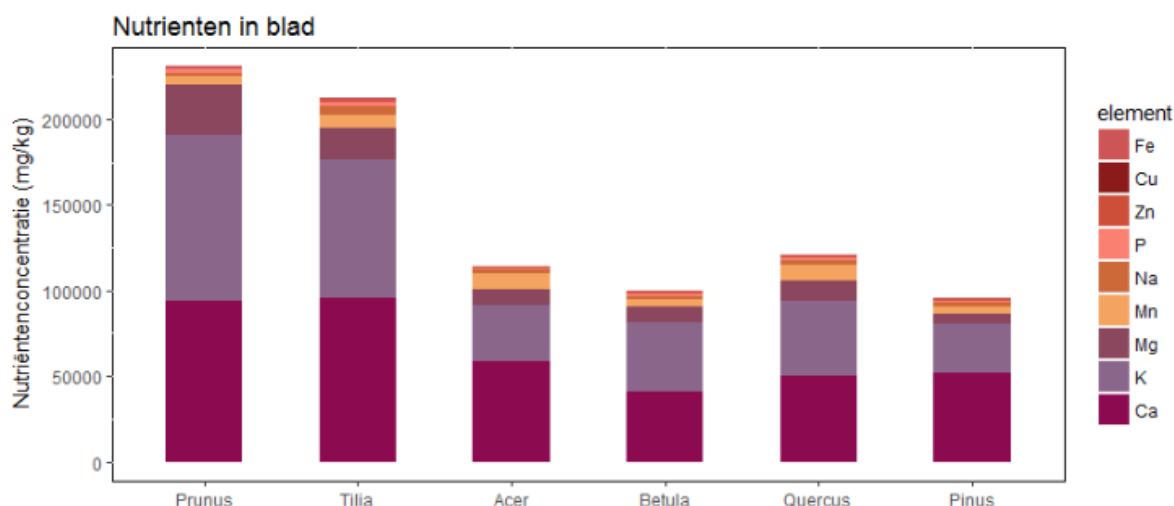
steenmeel is toegepast (L. van den Berg, pers. comm.). Er gaat onderzocht worden of het vasthouden van kationen toeneemt, wanneer er een ent van bodem heeft plaatsgevonden.

Daarnaast heeft een ontwikkelde bodemfauna ook een positief effect op de hoeveelheid stikstof dat beschikbaar is in de bodem. Meso- en macrofauna leggen veel stikstof vast in hun lichaamseiwit (afkomstig van lagere trofische niveaus uit het voedselweb) wat leidt tot stikstof immobilisatie. Wanneer het bodemleven sterk is ontwikkeld, zijn bodems minder gevoelig voor stikstofdepositie omdat het bodemleven dit kan vastleggen in hun biomassa (Kemmers, 2012). Kortom, de bodemfauna speelt een cruciale rol in de nutriëntenkringloop in het bos. Het is echter nog onbekend hoe snel de bodemfauna zich herstelt na het inbrengen van rijkstrooiselsoorten.

4.5 Strooiselkwaliteit

De strooiselkwaliteit heeft, zoals hierboven beschreven, een effect op de bodemfauna en wordt onder andere beïnvloed door de bodem. De nutriëntenbeschikbaarheid, basenverzading van de bodem en pH van de bovengrond is van invloed op de kwaliteit van het blad aan de bomen (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). Daarnaast verschilt de strooiselkwaliteit sterk per boomsoort (Van Den Berg et al., 2016). Van oudsher wordt de strooiselkwaliteit bepaald aan de hand van de C/N-ratio van het blad. Een lage C/N-ratio, dus weinig moeilijk verteerbaar koolstof en voldoende stikstof wat gebruikt wordt in de vorming van proteïne door de afbraakorganismen, werd gekwantificeerd als goed verteerbaar strooisel (Desie, Vancampenhout & Muys, 2021). Echter, uit een recent onderzoek is gebleken dat de C/N-ratio van het blad geen invloed heeft op de dikte van de humuslaag, basenverzadiging en zuurgraad van de bodem op zandgronden die sterk onder invloed staan van stikstofdepositie (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020). De kationen in het blad (calcium, magnesium en kalium) hadden wel een sterk positief effect op bovengenoemde delen van het bosesysteem (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020). Daarnaast zijn de kationen in het blad ook negatief gecorreleerd met het aluminiumgehalte in de bovengrond en positief gecorreleerd met het beschikbaar calcium en de regenwormen biomassa in de bovengrond (Desie, Vancampenhout, Nyssen, et al., 2020). Deze verschuiving kan worden veroorzaakt door de hoge stikstofbeschikbaarheid in de bossen op de zandgronden. Hierdoor is stikstof niet meer het limiterende element in de nutriëntencyclus, maar zijn kationen limiterend geworden en hierdoor bepalend voor de strooiselkwaliteit (Desie, Vancampenhout & Muys, 2021).

De hoeveelheid kationen in het blad verschilt per boomsoort. Zoete kers, linde en esdoorn zijn bomen met een hoge concentratie kationen in het blad en vallen onder de rijkstrooiselsoorten (Figuur 12). Het blad van berk bevat ongeveer dezelfde hoeveelheid kationen als eik en grove den, maar het blad van berk bevat geen verzurende stoffen in tegenstelling tot het blad van eik en grove den. Hierdoor is het strooisel van berk 'rijker' dan het strooisel van eik en grove den (L. van den Berg, pers. comm.). Rijkstrooiselsoorten kunnen deze kationen echter alleen in het blad accumuleren als deze ook in voldoende mate in de bodem aanwezig zijn (De Vos et al., 2020). De kwaliteit van de bosbodem heeft dus ook een invloed op de kwaliteit van het bladstrooisel.



Figuur 12. Totale nutriëntenconcentratie in het blad in mg/kg (cumulatief) (Van Den Berg et al., 2016).

4.6 Strooiselkwantiteit

Het aandeel rijkstrooiselsoorten in de kroonlaag dat nodig is om de bodem te bufferen is afhankelijk van de concentratie kationen in de bladeren en de samenstelling van de bodem (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). Op zwak gebufferde zandige bodems zijn grote hoeveelheden rijkstrooisel nodig om de basenverzading en nutriënten in de bodem significant te beïnvloeden (Desie, Vancampenhout, van den Berg, et al., 2020). De nutriëntenpomp gaat pas goed functioneren als rijkstrooiselsoorten een aanzienlijke bedekking in de boom- en struiklaag hebben bereikt (Nyssen et al., 2016). Het aandeel van rijkstrooiselsoorten in het grondvlak zal meer dan 30% moeten bedragen (Desie, Vancampenhout & Muys, 2021). In een onderzoek van Brandtberg et al., (2000) naar het effect van het mengen van berk (*Betula pendula* en *Betula pubescens*) in een fijnspar opstand, werd er een relatie gevonden tussen de basenverzadiging en het magnesium gehalte in de bodem en het totale grondvlak van berk in de opstand (Brandtberg, Lundkvist, & Bengtsson, 2000). Het duurt ongeveer dertig jaar voordat jonge aanplant een licht strooiseffect genereert op de bodem (L. van den Berg, pers. comm.). Onder een aantal aangeplante lindes op Landgoed De Valouwe, waar het lindestrooisel een groot deel van de totale bladval uitmaakt, was geen effect zichtbaar van de lindes op de bodem pH. Wel werd er een effect gevonden op het humusprofiel (Box 3).

Naast de hoeveelheid rijkstrooisel is ook de verspreiding van het strooisel belangrijk om te bepalen waar er een effect optreedt (Stone, 1977). In een onderzoek naar de verspreiding van het blad van esdoorns, werd maar 5% van het blad teruggevonden in de bewortelbare zone van de boom. De meeste bladeren werden teruggevonden binnen 30,5 meter van de boom en de verste afstand die werd gemeten was 61 meter (Stone, 1977). De windkracht en richting tijdens de bladval had de meeste invloed op waar de bladeren terecht kwamen (Stone, 1977). De wind heeft aan de randen van het bos de meeste invloed (Samson, Goudriaan, & Mohren, 2010). Hierdoor zal de bladval van rijkstrooiselsoorten in de randen van het bos verder verspreid worden en minder invloed hebben op de bodem onder de moederbomen dan de bladval in het midden van het bos. Om een vlakdekkend effect te krijgen van rijkstrooiselsoorten kan het verspreiden van het blad via de wind een belangrijk mechanisme zijn.

4.6.1 Struiklaag

Hoewel de kroonlaag een groter aandeel heeft in de totale bladval, kan de struiklaag bijdragen aan de kwaliteit en kwantiteit van het strooisel op de bodem (Landuyt et al., 2020). De struiklaag heeft vaak een hogere concentratie nutriënten in het blad dan de bomen in de boomlaag (Landuyt et al., 2020). Struiken kunnen door hun vele vertakkingen een grote hoeveelheid blad genereren dat in de herfst op de bodem valt. Soorten als vuilboom, lijsterbes en hazelaar zijn struiksoorten met rijkstrooisel (de Schrijver et al., 2018). De struiklaag kan gestimuleerd worden door genoeg licht door te laten via het kronendak (Landuyt et al., 2020). Bij een ingreep om meer licht op de bosbodem te brengen krijgt de struiklaag relatief een groter aandeel in de totale hoeveelheid strooisel (Landuyt et al., 2020).

Uit een onderzoek naar het effect van oude lijsterbes en oude hazelaar op de dikte van de strooisellaag en de bodem, blijkt dat hazelaar en lijsterbes minder strooiselaccumulatie veroorzaken (kleinere F-horizont) in vergelijking met eik (Bosch, 2020). De onderzochte hazelaars en lijsterbessen hadden een groot aandeel in het bladval op de bodem. Er werden geen verschillen gevonden in de pH van de bodem en het gehalte aan calcium, kalium en magnesium in de bodem onder de lijsterbes, hazelaar en eik (Bosch, 2020). In een onderzoek van Van Nevel et al., (2014) naar het effect van een struiklaag met rijkstrooisel (Amerikaanse vogelkers, vuilboom en wilde lijsterbes) op de bovengrond in eiken en grove dennenbossen op zandige podzolbodems in noordoost België, werd er ook geen effect gevonden van deze struiken op de bovengrond condities, ook niet onder een hoge dichtheid van de struiklaag (87-91%). De pH, CEC en basenverzadiging van de bovengrond werden niet beïnvloed door de struiklaag. De kwaliteit van het strooisel werd wel beïnvloed door de struiklaag, met een hogere kationen concentratie in het strooisel bij een dichtere struiklaag (Van Nevel, Mertens, De Schrijver, De Neve, & Verheyen, 2014). Dit effect was groter in eikenopstanden dan in dennenopstanden, wat waarschijnlijk werd veroorzaakt door een hogere CEC in de bodem onder de eikenopstanden. In de eikenopstanden was er geen invloed van de struiklaag op de nutriëntenbeschikbaarheid in het strooisel, terwijl dit effect er wel was in de dennenopstanden. Dit verschil kan verklaard worden doordat er in de eikenopstanden altijd een grote hoeveelheid strooisel aanwezig is (met of zonder struiklaag), terwijl in de dennenopstanden de struiklaag zorgt voor een toename in de hoeveelheid strooisel (Van Nevel et al., 2014). Echter, deze effecten van een toename in kationen concentratie en nutriëntenbeschikbaarheid in het strooisel was niet terug te vinden in de bovengrond. Dit kan worden verklaard doordat de nutriënten opgehoopt blijven zitten in de F- en H-laag en niet vrijkomen in de bodem (Van Nevel et al., 2014). De effecten van het inbrengen van struiksoorten met rijkstrooisel op een zure voedselarme bodem is pas op de lange termijn merkbaar (de Schrijver et al., 2018).

Box 3. Invloed van lindes op Landgoed De Valouwe

De Valouwe is een landgoed ten noorden van Ede. Op het landgoed staan oud eikenhakhoutbossen, naaldbout opstanden en gemengde opstanden met onder andere grove dennen, eiken, beuken en Amerikaanse vogelkers. Een stukje van het pad af zijn in één van de opstanden een aantal lindes aangeplant (locatie 1) en op een ander gedeelte van het landgoed staat een groepje lindes van ongeveer tachtig jaar oud (locatie 2). De lindes hadden duidelijke droogte schade. Waarschijnlijk veroorzaakt door de drie droge zomers afgelopen jaren (Figuur 1).



Box 3. Figuur 1. Lindes in een rijtje op locatie 1 (foto links) en lindes met duidelijke droogte schade op locatie 2 (foto rechts).

Op locatie 1 zijn onder de lindes, op vijftig meter van de lindes en op vijftig meter van de lindes bodemboringen gedaan tot tachtig centimeter diepte. Op locatie 2 zijn onder de lindes en op honderd meter afstand van de lindes bodemboringen gedaan tot tachtig centimeter diepte. De bomen staan op holtpodzolgronden met een zwak lemige zand bodem (zie voor de bodemspecificaties bijlage 2). Onder de lindes op beide locaties werd een mull humusprofiel gevonden. Op de andere boorlocaties werden moder humusprofielen gevonden (Figuur 2 en bijlage 2). Bij alle boringen werd in de bovenste tien centimeter van de bodem een pH gevonden van 3,5. Onder de lindes was de pH op tachtig centimeter diepte 4,5 op beide locaties. Echter, op locatie 1 werd op vijftig meter afstand van de lindes een pH gevonden van 5,0 op tachtig centimeter diepte wat overeenkomt met de pH op 100 meter afstand van de linde op locatie 2. Er is wel een effect van de linde zichtbaar op de strooisellaag, maar niet op de zuurgraad van de bodem.



Box 3. Figuur 2. Mull humusprofiel onder de lindes (foto links), Moder humusprofielen op vijftigmeter en vijftig meter afstand van de lindes (foto's midden en rechts) op locatie 1.

4.7 Beheer

Met het aanplanten van rijkstrooiselsoorten is het belangrijk om een beheer te voeren dat hierbij aansluit. Het beheer heeft een invloed op de hoeveelheid rijkstrooiselbomen en struiken die er in het bos aanwezig zijn. Als er bijvoorbeeld een grote plantafstand wordt gehandhaafd, zullen er minder rijkstrooiselbomen per hectare aanwezig zijn. Bosgroep Zuid Nederland plant bijvoorbeeld in Noord-Brabant vaak meerdere kleine groepen rijkstrooiselsoorten aan in het bos. Hierdoor wordt niet het hele bosoppervlak bedekt met rijkstrooiselsoorten en zullen deze groepen vooral fungeren als zaadbronnen voor de volgende generatie (E. Thomassen, pers. comm.). Het zal waarschijnlijk twee generaties duren (ongeveer 100-150 jaar) voordat deze maatregel een effect gaat genereren op de bosbodem (E. Thomassen, pers. comm.).

Als er al rijkstrooiselsoorten in het bos aanwezig zijn, kan ervoor gekozen worden om deze vrij te zetten tijdens een dunning (E. Thomassen, pers. comm.). Hierdoor hoeven geen rijkstrooiselsoorten te worden ingebracht maar wordt de groei van de aanwezige soorten gestimuleerd.

Bij het inbrengen van nieuwe soorten in het bos is het belangrijk om rekening te houden met de beoogde beheerdoelen. Een aantal soorten kunnen een invasief karakter vertonen afhankelijk van de groeiplaats, lichtomstandigheden en andere externe factoren. Dit kan een probleem opleveren met de beoogde beheerdoelen. De Amerikaanse vogelkers is hier een bekend voorbeeld van. De Amerikaanse vogelkers heeft licht nodig om door te dringen in de boomlaag en zal in een donker bos niet snel een probleem vormen, maar kan bij 10% daglicht als juveniel overleven en bij 25% van het daglicht doorgroeien naar het kronendak (Nyssen, Koopmans, & den Ouden, 2019). Om negatieve ontwikkelingen na het inbrengen van nieuwe boomsoorten te voorkomen, is het belangrijk om goede kennis te hebben van de abiotische omstandigheden in het bos, een duidelijk doel te hebben voor het bos en te kijken welke soorten hierbij passen. In paragraaf 6.1 zal verder ingegaan worden op de boomsoortenkeuze in verschillende bosbeheertypen.

5. Weerbaarheid tegen weersextremen

Met het veranderende klimaat komen er vaker weersextremen, zoals een lange zomerdroogte, voor in Nederland. Om het bos weerbaarder te maken tegen weersextremen is het belangrijk om de menging in het bos te verhogen zodat bomen elkaar kunnen faciliteren in bijvoorbeeld de watervoorziening en de risico's op afsterven worden gespreid. In dit hoofdstuk zullen eerst de gevolgen van toenemende droogte op het huidige Veluwe bos op de holt- en haarpodzolgronden worden besproken, daarna wordt het concept potentieel natuurlijke vegetatie besproken in het licht van toenemende weersextremen als gevolg van klimaatverandering en als laatste zal er ingegaan worden op de bijdrage van rijkstrooiselsoorten aan het weerbaar maken van het huidige bos tegen weersextremen.

5.1 Toenemende weersextremen en de effecten op individuele bomen

De huidige bossen op de Veluwe bestaan voornamelijk uit beuk, zomereik, fijnspar, grove den, Japanse lariks en Douglas (Schelhaas et al., 2014). Toenemende droogte stress tijdens het groeiseizoen wordt gezien als een van de verwachte weersextremen met de meeste impact op het bos. Om deze reden wordt weerstand tegen droogte stress gezien als één van de belangrijkste factoren om te bepalen of bomen bestand zijn tegen de toename in weersextremen als gevolg van klimaatverandering. Droogtestress kan de groei van bomen belemmeren, bomen vatbaarder maken voor ziekten en plagen en individuele bomen of hele opstanden kunnen afsterven (Pretzsch, Schütze, & Uhl, 2013). Ook neemt de mineralisatie snelheid in de bodem af door droogte, waardoor er minder nutriënten beschikbaar zijn.

In een onderzoek van Pretzsch et al., (2013) naar het effect van de zomerdroogte van 1976 en 2003 op de groei van beuk en fijnspar, laten beuk en fijnspar een duidelijke reductie zien in de groei tijdens een droog groeiseizoen. Fijnspar liet een snel herstel zien na de droge groeiseizoenen met eenzelfde groei in het jaar na een droog groeiseizoen als voor de droogte, terwijl het bij de beuken drie groeiseizoenen heeft geduurd voor de groei weer gelijk was aan voor de droogte. Dit verschil kan verklaard worden doordat fijnspar reageert op droogte door in een vroege fase zijn huidmondjes te sluiten en te stoppen met verdampen, zodat andere cellen in de boom niet kapot gaan en de boom snel kan herstellen na de droogte. Echter, afgelopen jaren zijn er veel fijnsparren in Nederlandse bossen dood gegaan, door een combinatie van droogte en een bastkever (Pols, 2019). Ondanks dat de fijnspar kan anticiperen op een droogteperiode neemt de vitaliteit van de bomen af en zijn de bomen vatbaarder voor insectenplagen. De beuk gaat door met verdampen tot het water in de bodem op is waardoor cavitatie, een luchtbel die het watertransport blokkeert, kan optreden in de water transporterende vaten (Pretzsch et al., 2013). Bij beuk vertraagt de celdeling van het cambium tijdens een droge periode, maar als er weer meer water beschikbaar is wordt de celdeling weer opgestart en kan de boom verder groeien (Van Der Werf et al., 2007). De beuk heeft na een droogte een langere herstelperiode nodig (Pretzsch et al., 2013). Hierdoor is het mogelijk dat wanneer beuken niet genoeg hersteltijd krijgen tussen droogte perioden in, de bomen langzaam zullen afsterven.

De zomereik heeft goede condities nodig aan het begin van het groeiseizoen, zodat de boom grote water transporterende vaten kan vormen (Van Der Werf, Sass-Klaassen, & Mohren, 2007). Door de diepe beworteling van zomereik heeft de boom gedurende het groeiseizoen een langere tijd de beschikbaarheid tot water (Huang et al., 2017). Gedurende een droogte stopt het cambium van zomereik met de celdeling en dit herstelt zich niet meer als de droogte verdwijnt (Van Der Werf et al., 2007). Echter, het jaar na een droog groeiseizoen is dit niet meer waarneembaar in de groei van de zomereik (Van Der Werf et al., 2007). Uit deze onderzoeken blijkt dat zomereik relatief goed bestand is tegen droogte. De laatste jaren is een verhoogde eikensterfte zichtbaar in Nederlandse

bossen (Oosterbaan, Bobbink, & Decuyper, 2014). In opstanden met veel eikensterfte is een verminderde groei zichtbaar tijdens droogte perioden, zitten bovenin het bodemprofiel meer wortels dan lager in het bodemprofiel en is er een lage buffercapaciteit (Oosterbaan et al., 2014). In opstanden met weinig eikensterfte werd ook een afname van de groei tijdens de droogte waargenomen (Oosterbaan et al., 2014). Het is het meest waarschijnlijk dat het afsterven van zomereiken wordt beïnvloed door de geringe buffercapaciteit en niet alleen door een gebrek aan water (De Vries et al., 2019).

In tegenstelling tot de zomereik waarvan de groei positief gecorreleerd is met de neerslaghoeveelheid in het voorjaar, wordt de groei van Japanse lariks vooral beïnvloed door de neerslaghoeveelheid in juni, juli en augustus. Tijdens een zomerdroogte of hoge temperaturen tijdens de zomer neemt de groei van Japanse lariks sterk af (Huang et al., 2017). Japanse lariks wortelt ondiep, waardoor de boom alleen beschikking heeft over water in de bovenste bodemlagen (Huang et al., 2017; Ruige, n.d.). In Nederland sterven de laatste jaren veel Japanse lariksen af. Door droogte worden de bomen minder vitaal en zijn ze niet meer bestand tegen de lariksbastkever. Hierdoor vindt er veel sterfte plaats (Willems, 2019).

Douglas is een boomsoort met een lage gevoeligheid voor droogte en een snel herstel na een droog groeiseizoen (Eilmann & Rigling, 2012; Huang et al., 2017; Rais, van de Kuilen, & Pretzsch, 2014). Zelfs tijdens een droog groeiseizoen vertoont Douglas nog een goede groei, wat verklaart kan worden door een effectieve controle van de huidmondjes en de hoeveelheid kleine vaten waardoor er minder kans is op cavitatie (Eilmann & Rigling, 2012; Huang et al., 2017). Droogte-tolerantie en productiviteit van Douglas hangt af van zijn originele standplaats (Eilmann et al., 2013). Douglas is vanuit het westen van de Verenigde Staten en Canada geïntroduceerd in Europa (Eilmann et al., 2013). Over het algemeen heeft een Douglas met een hogere productiviteit (noordelijke oorsprong) een lagere droogte-tolerantie en dit is andersom voor een Douglas met een zuidelijke oorsprong (Eilmann et al., 2013). Grove den sluit zijn huidmondjes in een vroeg stadium als reactie op een water tekort, waardoor er minder fotosynthese kan plaatsvinden. Hierdoor vindt er een sterke groei reductie plaats in grove dennen tijdens een droge periode (Eilmann & Rigling, 2012). De groei van grove den kan herstellen na een droog groeiseizoen, maar dit duurt meerdere jaren en als de droogte events gaan toenemen is er een risico dat de grove den niet genoeg hersteltijd meer heeft (Eilmann & Rigling, 2012).

Bomen in menging kunnen anders reageren op een droogteperiode dan bomen in monocultuur (Pretzsch et al., 2013). De potentieel natuurlijke vegetaties Wintereiken-Beukenbos en Berken-Zomereikenbos zijn mengingen van verschillende boomsoorten. De vitaliteit van deze pnv's in relatie tot klimaatverandering zullen hieronder worden besproken.

5.2 Toenemende weersextremen, effecten op gemengd bos en de pnv's

In de potentieel natuurlijke vegetaties op de Veluwe komen voornamelijk de hierboven genoemde boomsoorten voor. In de Berken-Zomereikenbossen op de haarpodzolgronden is zomereik de dominante boomsoort, waarnaast ruwe berk en soms zachte berk voorkomt. In de Wintereiken-Beukenbossen op de holtpodzolgronden domineert de beuk en heeft de wintereik een klein aandeel. De zomereik en ruwe berk komen sporadisch voor. Hierboven zijn de boomsoorten individueel behandeld. Het mengen van boomsoorten kan de bomen weerbaarder maken tegen droogte doordat er een betere humuslaag kan ontstaan die meer water vasthoudt en de bomen op verschillende dieptes kunnen wortelen, waardoor ze elkaar kunnen faciliteren in de watervoorziening in plaats van concurreren (Pretzsch et al., 2013).

De studie van Pretzsch et al., (2013) naar het effect van de droogte in 1976 en 2003 laat zien dat beuken in een gemengde opstand met wintereiken een grotere weerbaarheid tegen droogte tonen dan in een monocultuur. Dit komt doordat de dieper wortelende wintereiken (en zomereiken) een hydraulische lift van water veroorzaken en zo water beschikbaar maken voor de oppervlakkigere wortelende beuken (Pretzsch et al., 2013; Vannoppen et al., 2020). De wintereiken ondervinden geen voordeel van de beuken. Wintereiken toonden tijdens de droogte van 1976 en 2003 een kleine groeireductie in monoculturen en in gemixte opstanden en zijn weerbaar en veerkrachtig tegen droogte (Pretzsch et al., 2013). In België is een soortgelijk effect gevonden voor de droogte-resistentie van beuken (Vannoppen et al., 2020). In opstanden met twee of drie boomsoorten was er een snellere groei zichtbaar van beuken en ondervonden de beuken een lagere groeireductie door droogte (Vannoppen et al., 2020). Dit kan verklaard worden doordat in gemengde opstanden de lichtinval efficiënter wordt gebruikt en de bomen minder concurrentie ondervinden met hun wortels (Vannoppen et al., 2020). Ook worden voedingsstoffen en water efficiënter gebruikt en kan er distributie van voedingsstoffen en water plaatsvinden waardoor deze beter beschikbaar komen voor de verschillende bomen (Vannoppen et al., 2020).

Er is geen onderzoek gedaan naar het effect van droogte op berken in monocultuur en in gemengde opstanden. De berk is een pionierssoort met een oppervlakkige beworteling (in 't Veld & Vermeulen, 1999). Berken die groeien onder droge omstandigheden hebben een uitgebreider en dieper wortelstelsel dan berken groeiend onder nattere omstandigheden (Possen et al., 2011). Berken laten een sterke groeireductie zien tijdens zomerdroogte en vormen soms zelfs helemaal geen jaarring tijdens een droog groeiseizoen (Rubio-Cuadrado et al., 2018). Berken kunnen hun verdamping snel aanpassen aan de beschikbaarheid van water door het sluiten van de huidmondjes in het blad (Gartner, Nadezhdina, Englisch, Cermak, & Leitgeb, 2009). Wanneer de waterbeschikbaarheid afneemt, beginnen berken later in de ochtend met het verdampen van water, waardoor de sapstroom later op gang komt, in de ochtend de piek in verdamping bereikt wordt en gedurende de middag de verdamping weer afneemt door de huidmondjes te sluiten (Gartner et al., 2009). Wanneer de waterbeschikbaarheid weer toeneemt neemt de verdamping van de berken ook weer toe. Over het algemeen zijn berken beter resistent tegen droogte dan beuken, maar minder resistent dan eiken (Rubio-Cuadrado et al., 2018). Echter, de laatste jaren is er een duidelijk droogte effect zichtbaar in de vitaliteit van berken op de Veluwe (B. van Beek, pers. comm.).

Zoals hierboven beschreven zijn berken en beuken minder bestand tegen droogtestress dan eiken en hierdoor zou het kunnen dat onder de huidige klimaatverandering het evenwicht in de boomsoortensamenstelling gaat verschuiven naar een dominantie van eik (Rubio-Cuadrado et al., 2018). Echter, de boomsoortensamenstelling is van meer factoren afhankelijk dan enkel het klimaat en zoals eerder beschreven vindt er de laatste jaren in Nederland een verhoogde eikensterfte plaats. Onder al deze veranderingen is het de vraag of de pnv nog een geldend concept is in het licht van de huidige abiotische omstandigheden in de bossen. De pnv's beschreven in paragraaf 2.2 zijn opgesteld in 1991 en zijn veronderstelde eindfases van een successiereeks op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe (van der Werf, 1991). In de praktijk wordt de pnv vooral gebruikt als een hulpmiddel om boomsoorten te selecteren die bij een bepaalde groeiplaats passen (E. Al & D. Lindenbergh, pers. comm.). Echter, met de huidige doelen om het bos te revitaliseren en klimaatbestendiger te maken biedt de pnv geen uitkomst. Voor het behalen van deze doelen zal gekeken moeten worden welke boomsoorten het in de toekomst goed zullen gaan doen op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe en niet alleen naar de soorten die geschikt waren.

Daarnaast is er bij het opstellen van de pnv geen rekening gehouden met een bosbodemonwikkeling (E. Al, pers. comm.). Het zou kunnen dat met het ontwikkelen van de bodem en een verhoging van

het organische stof gehalte, er een ander bostype op de holt- en haarpodzolgronden kan ontwikkelen dan de aangegeven pnv (E. Al, pers. comm.). Bovendien, was er tijdens het opstellen van de pnv nog weinig onderzoek gedaan naar het effect van zwavel- en stikstofdepositie op de Nederlandse bossen en zijn de effecten hiervan niet meegenomen (van der Werf, 1991). Zoals eerder in dit rapport beschreven zijn de effecten van de stikstofdepositie in het bos de laatste jaren goed zichtbaar en zullen de effecten van de klimaatverandering in de toekomst nog zichtbaarder worden. Het is aannemelijk dat het bos zal veranderen door de overleving van bomen en struiken die goed aangepast zijn aan deze veranderende omstandigheden en een afname van bomen en struiken die dit niet zijn. Uit de monitoring van de in Nederland bestaande bosreservaten is gebleken dat bosontwikkeling niet altijd gelijk verloopt in terreinen met eenzelfde bodem en waterhuishouding, de bepalende factoren voor de pnv, maar dat de aanwezige soortensamenstelling ook een belangrijke sturende factor is (Bijlsma, 2008). Bij het wegvallen van beheer in de aangewezen bosreservaten ontwikkelden zich op landelijk, regionaal en lokaal niveau bosbeelden die niet in of nauwelijks passen binnen het pnv-concept (Bijlsma, Clerkx, & de Waal, 2005). Hieruit blijkt dat het concept van de pnv minder bruikbaar is geworden door de veranderende biotische en abiotische omstandigheden in de Nederlandse bossen.

5.3 Toenemende weersextremen en rijkstrooiselsoorten

Door toenemende weersextremen, zoals een lange zomerdroogte en hevige stormen, kan de vitaliteit van individuele bomen afnemen. Wanneer bomen minder vitaal zijn, zijn ze vatbaarder voor plagen en ziekten (Demey, De Frenne, & Verheyen, 2015). Het vergroten van de soortensamenstelling in het bos zorgt voor risico spreiding met betrekking tot uitval door bijvoorbeeld droogte en insectenplagen en een optimaler gebruik van de aanwezige voedingsstoffen en water (Kremers & Boosten, 2019). In een gemengd bos is de kans klein dat de opstand in één keer zal afsterven als gevolg van droogte of insectenplagen. Tijdens een droogte kunnen verschillende bomen elkaar faciliteren door bijvoorbeeld het omhoog brengen van water uit diepere bodemlagen (Vannoppen et al., 2020). Het verhogen van de menging in het bos is enorm belangrijk en het inbrengen van rijkstrooiselsoorten kan hieraan bijdragen.

Op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe heeft het bos geen beschikking over grondwater en is het bos volledig afhankelijk van regenwater voor de watervoorziening. Het vasthouden van regenwater en efficiënt gebruik door de bomen is hierbij van belang. De vegetatie heeft een grote invloed op de waterbalans in het bos, voornamelijk door verdamping (Dolman & Moors, 1993). In bossen spelen twee typen verdamping een rol. Allereerst speelt verdamping door de bladeren een rol, transpiratie genoemd. Hierbij wordt water vanuit de bodem via de wortels opgenomen en via het blad verdampt naar de atmosfeer. Daarnaast vindt er interceptieverdamping plaats (Dolman & Moors, 1993). Hierbij wordt neerslag opgevangen door het kronendak en voordat de neerslag de bodem kan bereiken verdampt het naar de atmosfeer (Dolman & Moors, 1993). De interceptieverdamping van naaldbossen is hoger dan de interceptieverdamping van loofbossen, met name in de winter wanneer de loofbomen het blad hebben verloren (Dolman & Moors, 1993). Het inbrengen van loofbomen, waaronder rijkstrooiselsoorten vallen, in het bos heeft een gunstig effect op de waterhuishouding van het bos (Dolman, Moors, Elbers, Snijders, & Hamaker, 2000).

Een andere belangrijke factor in de waterhuishouding is het vochtvasthoudend vermogen van de bodem. Op zandgronden speelt het organische stof gehalte een belangrijke rol in het vochtvasthoudend vermogen van de bodem (De Vos et al., 2020). Rijkstrooiselsoorten hebben met hun makkelijk verteerbare bladstrooisel een positieve invloed op het organische stof gehalte in de bodem, wat weer een positieve invloed heeft op het vochtvasthoudend vermogen (De Vos et al., 2020). Ook kunnen bij het inbrengen van rijkstrooiselsoorten zuidelijke herkomsten of uitheemse

soorten die beter aangepast zijn aan het te verwachten klimaat in Nederland aangeplant worden. Het inbrengen van zuidelijke herkomsten en uitheemse soorten moet echter wel passen binnen de visie en beheerdoelen van het bos en wanneer er nog weinig informatie is over deze soorten is het aan te raden om ze alleen op experimentele basis aan te planten. In het volgende hoofdstuk zal kort worden ingegaan op uitheemse soorten en zuidelijke herkomsten. De focus van dit rapport ligt echter bij de inheemse soorten, omdat deze soorten van nature op de holt- en de haarpodzolgronden kunnen voorkomen.

Sommige klimaatscenario's voorspellen hevigere stormen in de toekomst als gevolg van klimaatverandering (KNMI, 2015). Het verhogen van de menging heeft geen invloed op de bestendigheid van het bos tegen stormschade (Schelhaas & De Vos, 2010). Wel kan een geleidelijke overgang van een open gebied naar een bosrand ervoor zorgen dat de wind minder invloed heeft op het bos (Schelhaas & De Vos, 2010). Het stimuleren van een struiklaag aan de bosrand, wat een mogelijkheid is met rijkstrooiselsoorten, kan ervoor zorgen dat een bos minder last heeft van stormwinden. Daarnaast is het vooral van belang dat er boomsoorten gekozen worden die passen bij de groeiplaats, zodat ze een goed wortelstelsel kunnen ontwikkelen passend bij de boomvorm (Schelhaas & De Vos, 2010). In het volgende hoofdstuk worden rijkstrooiselsoorten die passen op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe besproken.

6. Boomsoortenkeuze

Met de boomsoortenkeuze bij het revitaliseren van bossen is het niet alleen van belang om rekening te houden met de bladkwaliteit en de groeiplaats, maar ook met de klimaatrobustheid van de soorten, bijvoorbeeld door een hoge droogte tolerantie zoals in het vorige hoofdstuk is besproken (Forceville, Mertens, Verheyen, & Devlaeminck, 2020). Daarnaast is de functie van het bos van belang wanneer er boomsoorten worden geselecteerd. In natuurbossen kunnen bijvoorbeeld andere soorten gewenst zijn dan in bossen waar houtoogst een rol speelt.

Bij het selecteren van soorten die de gewenste groei zullen vertonen is het belangrijk om rekening te houden met de groeiplaats, in het bijzonder met de bodem (Forceville et al., 2020). Zoals hierboven beschreven hebben rijkstrooiselsoorten nutriënten en kationen uit de bodem nodig om hun rijke strooisel te kunnen waarborgen. Op bodems waar te weinig kationen en nutriënten aanwezig zijn, zou gebruik gemaakt kunnen worden van zogenaamde ‘kwartiermakers’. Dit zijn soorten die de bodemverbetering op gang brengen zodat later meer eisende rijkstrooiselsoorten aangeplant kunnen worden (Thomassen et al., 2020).

In dit hoofdstuk worden boomsoorten behandeld die vaak worden genoemd om de Nederlandse bossen te verrijken en alternatieve boomsoorten genoemd die aangeplant zouden kunnen worden op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe. Linde, berk, esdoorn, iep, ratelpopulier, hazelaar en lijsterbes zijn soorten die vaak worden genoemd als geschikte rijkstrooiselsoorten op Nederlandse zandbodems (De Vos et al., 2020; Hommel & de Waal, 2003; Nyssen et al., 2016; van den Berg et al., 2021). De focus ligt op inheemse boomsoorten, zonder het gebruik van uitheemse boomsoorten uit te willen sluiten. Er is gekozen voor een focus op inheemse boomsoorten, omdat deze soorten al in de Nederlandse bossen voorkomen en er voldoende informatie is over de groei en het gedrag van deze boomsoorten om de geschiktheid voor de holt- en haarpodzolgronden te kunnen bepalen. Voor informatie over een aantal uitheemse boomsoorten, hun standplaats en strooiselkwaliteit, wordt onder andere verwezen naar de tabel op bladzijde 47 van het rapport ‘Alternatieve boomsoorten voor de es en inlandse eik’ (Ordelman, 2018). Daarna worden de mogelijkheden voor de boomsoortenkeuze binnen verschillende beheertypen van de Subsidie Natuur Bos Landschap behandeld.

6.1 Rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe

Zoals eerder beschreven stellen rijkstrooiselsoorten relatief hoge eisen aan de groeiplaats en zijn ze gevoelig voor aluminiumtoxiciteit (De Vos et al., 2020). In een onderzoek van Verheyen et al., (2021) naar een vergelijking tussen de groei en vitaliteit van boskers (*Prunus avium*), haagbeuk en winterlinde op arme zandgronden en vruchtbare lemige zandgronden, lieten deze boomsoorten al na vijf jaar een lage vitaliteit zien op de arme zandgronden en een slechte groei. De groei van winterlinde was op de arme zandgronden het laagst van alle boomsoorten (Verheyen, Terryn, De Schuyter, & Seynaeve, 2021). De groei was het hoogst op bodems met een hoge fosforbeschikbaarheid, waarschijnlijk door een landbouwvoorgeschiedenis (Verheyen et al., 2021). Bovengenoemd onderzoek illustreert het belang van een rijke bodem voor de groei en vitaliteit van rijkstrooiselsoorten en het belang van een boomsoortenkeuze aangepast aan de groeiplaats. Op arme zandgronden kan gebruik gemaakt worden van bomen met een goed afbreekbaar bladstrooisel en lagere bodemvereisten, zoals hazelaar, lijsterbes en ratelpopulier (Verheyen et al., 2021). Echter, er zijn nog weinig gegevens over groei en vitaliteit van deze soorten op zandgronden (Verheyen et al., 2021). Hieronder is een tabel weergegeven met boom- en struiksoorten met een goede tot matige bladkwaliteit. In de tabel wordt aangegeven of de boom- of struiksoort een goede groei zal vertonen op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe (rood is matig tot slechte groei, oranje is matige groei en groen is goede groei).

Tabel 2. Inheemse rijkstrooiselboom- en struiksoorten met bodemeisen, lichtbehoefte, groeisnelheid, droogte-tolerantie, concurrentiekracht en geschiktheid voor de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe. Rood is matig tot slechte groei, oranje is matige groei en groen is goede groei.

Boomsoort	Bodemeisen	Licht boomsoort	Half schaduwsoort	Groei	Strooisel kwaliteit	Droogte tolerantie	Concurrentie kracht	Opmerkingen	Geschiktheid Holtpodzol	Geschiktheid haarpodzol
Winterlinde (<i>Tilia cordata</i>)	Rijke, vochthoudende lemige zandgronden. Slechte groei op arme, droge bodems ¹		x ¹	Matig snelle groei ¹⁰	Goed ⁵	Hoog ¹¹	Hoog ¹⁰	Veel wildschade, zal uitgroeien tot struik bij een hoge wilddruk ²		
Zoete kers (<i>Prunus avium</i>)	Optimale groei op vruchtbare, kalkhoudende, matig vochtige bodems. Groeit slecht op arme, zure gronden ¹	x ¹		Snelle jeugdgroei ¹	Goed ⁵	Gemiddeld ¹¹	Hoog ¹			
Ruwe berk (<i>Betula pendula</i>)	Groeit op arme, droge gronden ¹	x ¹		Snelle jeugdgroei ¹	Matig ¹	Gemiddeld ¹¹	Laag ¹			
Gewone esdoorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	Voedselrijkere gronden met een goede vochtvoorziening. Slechte groei op zure, droge bodems ¹	x ¹⁰		Snelle jeugdgroei ¹⁰	Goed ⁵	Gemiddeld ¹²	Hoog ¹	Zaait makkelijk uit ¹		
Noorse esdoorn (<i>Acer platanoides</i>)	Voedselrijke gronden met een goede vochtvoorziening ⁴	x ¹⁰		Snelle groei ¹⁰	Goed ⁵	Hoog ¹¹	Hoog ¹	Zaait makkelijk uit ¹		
Fladderiep (<i>Ulmus laevis</i>)	Voedselrijke, goed vochtleverende bodem ³	x ¹		Snelle groei ¹	Goed ⁶	Laag ¹⁴	Hoog ¹			
Ratelpopulier (<i>Populus tremula</i>)	Groeit op minder voedselrijke, droge zandgronden ¹	x ¹		Snelle jeugdgroei ¹	Goed-matig ⁶	Hoog ¹¹	Matig ¹			
Tamme kastanje (<i>Castanea sativa</i>)	Droge tot matig vochtige, voedselarme tot matig voedselrijke, zwak zure grond ¹⁰ . Lemig zand, niet te droog en te voedselarm ¹		x ¹	Snelle jeugdgroei ¹⁵	Goed ⁹	Matig ¹¹	Matig ¹	Geschikt voor korte omlopen (40-60 jaar), duurzaam hout ¹		
Boswilg (<i>Salix caprea</i>)	Bossen op drogere gronden, matig voedselrijke plaatsen, van nature ook op vochtige en voedselrijke plaatsen ¹		x ¹	Snelle groeier bij goede bodemgesteldheid ¹	Goed ⁶	Matig ¹⁴	Hoog ¹			
Haagbeuk (<i>Carpinus betulus</i>)	Voedselrijke, vochtige gronden ¹		x ¹	Langzaam ¹	Goed ¹	Matig ¹	Hoog ¹	Droogtegevoelig ¹		
Lijsterbes (<i>Sorbus aucuparia</i>)	Kan bijna overal groeien, ook op arme, droge zandgronden ¹	x ¹⁰		Snelle jeugdgroei ¹	Goed ⁶	Matig ¹³	Matig ¹			
Veldesdoorn (<i>Acer campestre</i>)	Groeit op arme, droge gronden ¹		x ¹	Langzaam ¹	Goed ⁵	Hoog ¹¹	Hoog ¹⁰	Struikvormend op arme groeiplaatsen ¹		

Europese vogelkers (<i>Prunus padus</i>)	Voedselrijkere en vochtige gronden ¹		x ⁴	Snelle groei ¹	Goed ⁵	Laag ¹⁴	Laag ¹			
Amerikaanse vogelkers (<i>Prunus serotina</i>)	Matig voedselrijk tot voedselarme bodems, zwak zuur tot zure bodems ⁴		x ¹⁰	Snelle groei ⁸	Goed ⁵	Hoog ¹⁴	Hoog ¹	Vertoont invasieve karaktereigenschappen ¹		
Struiksoort	Bodemeisen	Licht soort	Half Schaduw soort	Groei	Strooisel kwaliteit	Droogte tolerantie	Concurrentie kracht	Opmerkingen	Geschiktheid Holtpodzol	Geschiktheid Haarpodzol
Hazelaar (<i>Corylus avellana</i>)	Groeit goed op voedselrijke, vochtige bodems ¹ , maar kan ook op armere en zuurdere bodems groeien ⁴		x ¹	Langzaam ¹	Goed ¹	Hoog ¹⁴	Hoog ¹			
Sporkehout (<i>Rhamnus frangula</i>)	Van nature op zandgrond, kan goed tegen natte en zure omstandigheden ¹		x ¹	Matig snelle groeier ¹	Goed ⁷	Matig ¹³	Matig ¹			
Amerikaans krentenboompje (<i>Amelanchier lamarckii</i>)	Vochtig tot droog, voedselarm tot rijk, zure tot neutrale bodems ¹⁰	x ¹⁰		Matige groeisnelheid ¹⁰	Goed	Onbekend	Matig ¹⁰	Vertoont invasieve karaktereigenschappen ¹⁰		
Wegedoorn (<i>Rhamnus cathartica</i>)	Van nature op vochtige, voedselrijke en kalkrijke gronden. Soms op venige grond of droge zandgrond ¹		x ¹	Langzaam ¹	Goed	Onbekend	Laag ¹			

¹(in 't Veld & Vermeulen, 1999)

²(J. Bouwman, pers. comm.)

³(S. de Vries & Kopinga, 2016)

⁴www.floravannederland.nl

⁵(Bosgroep Zuid Nederland, 2021)

⁶(De Schrijver, Janssens, Staelens, & Wuyts, 2010)

⁷(Schelfthout, De Schrijver, Vesterdal, Mertens, & Verheyen, 2013)

⁸(Nyssen et al., 2019)

⁹(“Loofboomsoorten,” n.d.)

¹⁰(Exterkate & de Beer, 2010)

¹¹(Roosien, n.d.)

¹²(De Keersmaecker et al., 2016)

¹³(Roeleveld & Ceelen, 2015)

¹⁴(Ninemets & Valladares, 2006)

¹⁵(Hein, Ehring, Wieland, & Hüttinger, n.d.)

6.2 Toepassen van rijkstrooiselsoorten in verschillende beheertypen

De keuze welke boomsoorten geschikt zijn om aangeplant te worden begint bij de visie voor het bos. Vanuit de visie kan een beheerdoel of meerdere beheerdoelen opgesteld worden. Het is belangrijk om na te gaan of de soort een gewenste groei laat zien op de aanwezige bosbodem, een soort bijvoorbeeld moet bijdragen aan de houtproductie of een natuurdoel heeft. Doordat de boomsoortenkeuze afhankelijk is van veel factoren en van verschillende visies en doelstellingen, is het niet mogelijk om een beslisboom te maken voor de boomsoortenkeuze. Wel kan er een afwegingskader worden geschetst en in hoofdstuk 8 is een vragenlijst opgenomen die de beheerder kan meenemen in zijn keuze van de gewenste boomsoortensamenstelling. Over het algemeen kan wel gesteld worden dat er wordt geadviseerd om een menging van boomsoorten aan te planten en niet in te zetten op één soort. In bovenstaande tabel is duidelijk te zien dat de boomsoortenkeuze voor de haarpodzolgronden klein is en hier minder mogelijk is in relatie tot het aanplanten van rijkstrooiselsoorten.

Op de Veluwe liggen verschillende Natura 2000-habitattypen waarvoor een Natura 2000-doelstelling geldt. In de bossenstrategie van de provincie Gelderland staat dat er geen verandering in de boomsoortensamenstelling in Natura 2000-habitattypen en oude open dennenbossen mogen plaatsvinden, om het leefgebied voor de Zwarte Specht te behouden (Provincie Gelderland, 2020). Dit illustreert ook dat revitalisering niet in alle bossen gewenst is en afhankelijk is van de visie en de doelstelling voor het bos. Omdat, vanuit de provincie, revitalisering via het inbrengen van rijkstrooiselsoorten in de habitattypen niet gewenst is, zullen de habitattypen hieronder niet besproken worden. Veel van de leden van de Bosgroep maken gebruik van de Subsidie Natuur en Landschap voor hun beheer. Daarom worden hieronder de mogelijkheden voor verschillende beheertypen vanuit de SNL-subsidie beschreven.

Vanuit de provincie is er SNL-subsidie beschikbaar voor het beheer van verschillende typen natuur. Op de holt- en haarpodzolgronden op de Veluwe zijn de dominante beheertypen N15.02 Dennen-, eiken- of beukenbos (bossen met natuurfunctie) en N16.03 Droog bos met productie. Daarnaast is er nog een klein percentage N17 Cultuurhistorisch bos. De beheerder heeft, bij gebruik making van de subsidie, een verplichting om de beheertypen in stand te houden.

In bossen met een natuurfunctie wordt vooral gestuurd op het gebruik van natuurlijke verjonging van de al aanwezige inheemse loofhoutsoorten (Provincie Gelderland, 2020). Dennen-, eiken-, of beukenbos omvat bossen en struwelen die gedomineerd worden door eiken, dennen, beuken, berken, lijsterbes, ratelpopulier of vuilboom en maximaal 20% van het areaal mag gedomineerd worden door boomsoorten die van buiten Europa zijn ingevoerd (BIJ12, n.d.-a). Deze subsidie kan ook verkregen worden voor bossen met een natuurfunctie die meer dan 20% uitheemse soorten, maar er moet dan wel een omvormingsbeheer gevoerd worden om de 20% uitheemse soorten doelstelling te behalen. Als er revitalisering met rijkstrooiselsoorten in deze bossen gaat plaatsvinden, wordt dan ook aangeraden om gebruik te maken van bovengenoemde, inheemse soorten en eventueel aan te vullen met veldesdoorn en boswilg op de haar- en holtpodzolgronden en hazelaar op de holtpodzolgronden. Boomsoorten met een zuidelijke of meer oostelijke herkomst kunnen worden aangeplant om het bos meer droogte-tolerant te maken (Maes & Hiddes, 2019). Dit moet dan echter wel passen bij de visie en doelen voor het bos. Veel van onze inheemse boom- en struiksoorten hebben een groot verspreidingsgebied en komen ook in Zuid- en Centraal-Europa voor, waar ze aangepast zijn aan andere klimaatomstandigheden (Maes & Hiddes, 2019). Soorten zoals boswilg, wilde lijsterbes en ratelpopulier zouden aangeplant kunnen worden vanuit een zuidelijkere of oostelijkere herkomst (Maes & Hiddes, 2019). Wel is het bij het introduceren van nieuwe herkomsten belangrijk om rekening te houden met de vatbaarheid voor late nachtvorst (Kranenburg

& de Vries, 2001). Autochtone inheemse soorten zijn aangepast aan late nachtvorst en lopen daardoor later uit, terwijl het kan dat zuidelijkere herkomsten hier niet op aangepast zijn en een grotere kans lopen op vorstschade (Vandekerkhove et al., 2020).

In het beheertype droog bos met productie (N16.03) is het binnen de kaders van de SNL wel mogelijk om bijmenging van uitheemse boomsoorten toe te passen om de bossen klimaatbestendiger te maken (Provincie Gelderland, 2020). In de huidige situatie bestaan deze bossen voornamelijk uit den, eik en beuk op de arme bodems en op de wat rijkere bodems uit beuk, Douglas, lariks en spar (BIJ12, n.d.-b). In dit beheertype mogen de uitheemse boomsoorten een bedekkingspercentage van meer dan 20% bedragen (BIJ12, n.d.-b). In deze bossen is het mogelijk om, naast de inheemse soorten uit tabel 2, ook uitheemse rijkstrooiselsoorten te gebruiken in een menging. Uit het onderzoek van Ordelman (2018) zijn weinig uitheemse rijkstrooiselsoorten naar voren gekomen die geschikt zijn voor de haarpodzolgronden van de Veluwe. De valse acacia lijkt een boomsoort te zijn die een redelijke kans maakt op de haarpodzolgronden, klimaatbestendig is, een goede strooiselkwaliteit heeft en waardevol hout kan leveren. Dit zou een soort kunnen zijn waarmee het experimenteren waard is. Echter, met de valse acacia moet wel voorzichtig omgegaan worden, omdat er een kans is dat deze soort invasief kan worden (Ordelman, 2018). Op de holtpodzolgronden zijn er meer mogelijkheden. Hier zouden elsbes en boomhazelaar met een hoge klimaatbestendigheid en een goed verteerbaar bladstrooisel aangeplant kunnen worden in menging met inheemse loofhoutsoorten.

Een klein deel van de Veluwe bestaat uit Cultuurhistorische bossen (N17). Dit zijn bossen die vanwege een bepaalde combinatie van cultuurhistorische en ecologische elementen in een bepaalde staat worden gehouden door actief beheer (BIJ12, n.d.-c). Vaak worden deze bossen gekenmerkt door een zekere ouderdom en zijn er structurelementen zoals lanen, sloten, greppels en wallen aanwezig (BIJ12, n.d.-c). Omdat in deze bossen andere doelen spelen dan in bossen met een natuurfunctie of in droog bos met productie, wordt de soortenkeuze hier ook op een andere manier bepaald. Het is belangrijker dat de boomsoort past binnen het cultuurhistorische beeld dan dat het bijdraagt aan een vitaler bos. Dit illustreert dat het niet in elk bostype gewenst is om te revitaliseren met rijkstrooiselsoorten.

7. Potentiële andere en aanvullende maatregelen

In dit hoofdstuk worden maatregelen behandeld die de nutriëntenhuishouding in de bosbodem zouden kunnen herstellen en verzuring van de bosbodem tegen zouden kunnen gaan anders dan via het bevoordelen of aanplanten van rijkstrooiselsoorten. Ook worden maatregelen tegen wildvraat beschreven. Maatregelen waarmee in het verleden experimenten zijn uitgevoerd maar tegenwoordig niet meer toegepast worden, worden ook behandeld.

7.1 Bescherming van rijkstrooiselsoorten tegen wild

Zoals in het vorige hoofdstuk is gebleken is wildschade een groot probleem op de Veluwe. Bij de aanplant van rijkstrooiselsoorten is het hierdoor nodig om wildbescherming toe te passen. Ook zouden rasters geplaatst kunnen worden om natuurlijke verjonging van loofboomsoorten een kans te geven om zich te vestigen en te groeien. Onder wildbescherming vallen collectieve- en individuele beschermingsmiddelen en populatiebeheer (Jansen, Verbist, Vandegehuchte, & Winnock, 2018). Omdat populatiebeheer niet direct bij de bosbeheerder ligt, zal in deze paragraaf ingegaan worden op collectieve beschermingsmaatregelen en boomkokers en boommanchetten als individuele wildbescherming.

7.1.1 Collectieve wildbescherming

Een veelgebruikte vorm van collectieve wildbescherming zijn rasters. Rasters kunnen gebruikt worden bij het beschermen van aanplant, maar ook voor het stimuleren van natuurlijke verjonging. Uit een onderzoek van Ramirez et al., (2019) op de Veluwe, waarin de boomsoortensamenstelling in plots met een raster werd vergeleken met de boomsoortensamenstelling in plots zonder een raster, werd een duidelijk verband gevonden tussen het uitrasteren van hoefdieren en de aanwezigheid van loofboomsoorten (Ramirez et al., 2019). In een onderzoek in Kroondomein het Loo werd een duidelijk effect gevonden van rasters op de dichtheid van de natuurlijke verjonging in grove den en eiken opstanden (Kuiters & Slim, 2002). Daarnaast bestond de natuurlijke verjonging binnen de rasters uit onder andere grove den, beuk, berk, eik en lijsterbes, terwijl de natuurlijke verjonging in de plots waar hoefdieren bij konden voornamelijk bestond uit beuk en grove den. Het plaatsen van een raster is een goede maatregel om natuurlijke verjonging van loofboomsoorten te faciliteren. Welk raster geschikt is voor de bosopstand is afhankelijk van de situatie ter plaatse (Rotteveel, 1988). Als er al een ander raster in de buurt aanwezig is om bepaalde soorten wild buiten te houden is dit bijvoorbeeld van belang bij het selecteren van een aanvullend raster voor het gebied. Voor meer informatie over typen rasters per diersoort zie hoofdstuk 6 in praktijkboek bosbeheer (Jansen et al., 2018).

7.1.2 Individuele wildbescherming

Individuele beschermingsmiddelen kunnen gebruikt worden bij aanplant en is bij een kleine hoeveelheid goedkoper dan het gebruik van een raster (Jansen et al., 2018). De meest gebruikte individuele beschermingsmiddelen zijn boomkokers, netkokers en spiraalvormige boommanchetten (Jansen & Boosten, 2015). Een ander voordeel van individuele boombescherming tegenover groepsbescherming met rasters is dat als er schade optreedt aan de boombescherming, niet de hele opstand wordt beïnvloed maar alleen de individuele boom schade ondervindt (Rotteveel, 1988). Boomkokers omsluiten de gehele jonge boom, in tegenstelling tot boommanchetten; spiraalvormige kokers gemaakt van geperforeerd pvc (Rotteveel, 1988). Het voordeel van deze manchetten is dat ze meegroeien met de boom en beschermen tegen veeg en schil schade, maar kleine fauna zoals konijnen en muizen kunnen tussen de openingen in de spiraal van de bast eten (Rotteveel, 1988). Ook zijn de manchetten niet hoog genoeg om te beschermen tegen vraatschade van bijvoorbeeld reeën en herten (P. Westerhof, pers. comm.). Boomkokers werken goed als bescherming tegen reeën

(D. Lindenbergh, pers. comm.). Om wildschade van herten te voorkomen is een boomkoker alleen niet genoeg en is een raster van 2,20 meter nodig (D. Lindenbergh, pers. comm.). Voor een uitgebreider overzicht van de verschillende individuele beschermingsmiddelen zie hoofdstuk 6 in praktijkboek bosbeheer (Jansen et al., 2018).

7.2 Toevoegen van voedings- en bufferende stoffen

Het toedienen van voedings- en bufferende stoffen kan worden gedaan om het nutriëntentekort in de bodem op te heffen en de bodem weerbaarder te maken tegen inkomend zuur. In het verleden zijn proeven gedaan met nutriëntengiften en bekalking en op dit moment lopen er experimenten met het toedienen van steenmeel. Deze drie verschillende soorten toedieningen van voedings- en bufferstoffen worden hieronder behandeld.

7.2.1 Nutriëntengift

Omdat bepaalde voedingsstoffen in de bossen op de zandgronden limiterend zijn geworden, zou een nutriëntengift gedaan kunnen worden om de vitaliteit van het bos te bevoordelen. In een landelijk bemestingsonderzoek van 1986-1991 in bossen op de zandgronden is er onderzoek gedaan naar het effect van fosfor, kalium en magnesium bemesting op de vitaliteit en groei van verschillende boomsoorten (van den Burg, 1995). In grove dennen, Douglas, lariks en Corsicaans dennen opstanden werden positieve effecten gevonden op het fosfor, kalium en magnesium gehalte in de naalden na bemesting. In oudere Douglas en lariks opstanden induceerde een fosforbemesting kopergebrek, wat een negatief effect heeft op de groei (van den Burg, 1995). In zomer- en Amerikaanse eiken werd ook een positief effect gevonden op het fosfor, kalium en magnesium gehalte in het blad door respectievelijk een fosfor-, kalium- of magnesiumbemesting. Er was een zwak positief effect op de hoogtegroeï na een kalium- en magnesiumbemesting (van den Burg, 1995). Naar aanleiding van deze positieve resultaten heeft bemesting in het overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) de status van reguliere maatregel gekregen binnen multifunctionele bossen (Wolf & Olsthoorn, 2006).

Via het OBN zijn in de periode van 1995-2005 Effectgerichte Maatregelen uitgevoerd (EGM) met als doel om onomkeerbare problemen door verzuring, vermesting en verdroging te voorkomen (Olsthoorn & Wolf, 2006). Het toevoegen van voedingsstoffen via bemesting had als doel het herstellen van de mineralenbalans in bossen. Om te onderzoeken of een bos in aanmerking kwam voor een bemesting, is er gekeken naar de voedingsstoffenvoorziening in bladeren of naalden (absoluut of in verhouding tot het stikstofgehalte) van bomen uit de opstand en naar de pH, fosfor en kopervoorziening in de bodem (Olsthoorn & Wolf, 2006). Hierna is een bemesting uitgevoerd op basis van de tekorten aan voedingsstoffen. Vier of vijf jaar na een bemesting met fosfor, kalium en/of magnesium kon er geen significante verandering in de nutriëntensamenstelling van blad of naalden worden vastgesteld, hoewel de toename in fosfor gehalte wel bijna significant was ($p=0.06$). Wel werd er een verandering in de bodem pH vastgesteld. Na de bemesting nam de bodem pH gemiddeld met 0,2 eenheid af, wat een gevolg is van de uitwisseling van H^+ -ionen in de bodem na bemesting (Olsthoorn & Wolf, 2006). In een onderzoek naar het effect van het toedienen van kalium, fosfor en magnesium bemesting in een grove dennen opstand in Finland, werd tien jaar na toediening geen effect meer gevonden van de nutriëntengift op het nutriëntengehalte in de organische horizont en de bovenste bodemlaag (Aarnio, Rätty, & Martikainen, 2003).

Ook is er in het kader van de EGM onderzoek gedaan naar het effect van bemesting op de groeisnelheid van bomen. In de vijf jaar na de bemesting werd er geen toename gevonden in de groeisnelheid ten opzichte van voor de bemesting. Ook werd er geen verschil gevonden in groeisnelheid tussen de bemeste plots en de controle plots (Wolf, Engels, Knotters, Schraven, &

Boertjes, 2006). Als er wordt gekeken naar de groei van individuele bomen binnen een opstand, laten sommige bomen wel een duidelijke groeiverandering zien na de bemesting en andere bomen niet (Wolf et al., 2006). In de meeste opstanden is dit een positieve groei, in andere opstanden is er na bemesting een groeireductie waargenomen in individuele bomen (Wolf et al., 2006). Een kanttekening bij deze resultaten is dat de boomgroei voor het bemesten ook al redelijk goed was (Wolf et al., 2006). Na het toedienen van de voedingsstoffen was er een toename in het aantal plantensoorten en de totale bedekking van de kruidlaag. Het gaat hier echter vooral om stikstof indicerende soorten en dit is een negatieve ontwikkeling voor de biodiversiteit (Olsthoorn & Wolf, 2006). In de bemeste percelen is er een toename gevonden in de natuurlijke verjonging, wat op de lange termijn een positief effect kan hebben voor de biodiversiteit door een gevarieerdere boom- en struiklaag (Olsthoorn & Wolf, 2006). De opbouw van het humusprofiel en de aanwezige humusvorm, evenals de bodemfauna is door bemesting niet veranderd (Olsthoorn & Wolf, 2006). In 2007 is de EGM regeling komen te vervallen.

Door het gebrek aan het effect van bemesting op de vitaliteit en groei van de bomen, het humusprofiel en de bodemfauna en het negatieve effect op de samenstelling van de kruidlaag wordt een nutriëntengift niet meer (op grote schaal) toegepast in de Nederlandse bossen.

7.2.2 Bekalking

Om het effect van verzuring tegen te gaan, zijn er in de periode van 1985-1990 in Nederland proeven uitgevoerd met het bekalken van verschillende bosopstanden (van Dobben, 2009). Bekalking leidt onmiddellijk tot een verhoging van de pH in de strooisellaag en de bovenste bodemlaag en vervolgens tot een front van een verhoogde pH dat met één cm/jaar de bodem intrekt (van Dobben, 2009). Bij de meeste experimenten in Nederland is er een lage dosis kalk gebruikt (1 ton/ha) en werd er geen gunstig effect op de ondergroei vastgesteld. Wel was er in sommige experimenten een verruiging van de ondergroei zichtbaar door een vermestings-effect (van Dobben, 2009). Dit kan verklaard worden door een verhoogde stikstof mineralisatie bij een hogere pH en het vrijkomen van opgeslagen fosfor door een snellere decompositie (van Dobben & Vocks, 1992; L. van den Berg, pers. comm.). In een bekalkingsproef met hogere dosissen dolokal, namelijk 0, 3, 6 en 9 ton/ha, werden drie jaar na het uitvoeren van de behandelingen ook geen significante vegetatie veranderingen gevonden (van Dobben & Vocks, 1992). Wel werd er een toename in ruigte kruiden waargenomen en een afname in bepaalde soorten mossen en droge heide (van Dobben & Vocks, 1992). In 2009 is er in een aantal van deze experimenten opnieuw gekeken naar de vegetatie. In de meeste experimenten zijn geen waarneembare effecten meer zichtbaar (van Dobben, 2009).

In een onderzoek naar de effecten van bekalking op de boomgroei, bleek dat in de vijf jaar na de behandeling met kalk, de groei niet verschilde van de vijf jaar voor de behandeling. Ook was er geen verschil zichtbaar in de boomgroei tussen bekalkte proefvlakken en onbekalkte controleplots (Wolf et al., 2006). Bij het toevoegen van kalk aan de bodem bestaat de mogelijkheid dat de nutriëntenvoorraad in de bodem uit balans raakt, doordat er wel calcium wordt toegevoegd maar bijvoorbeeld geen natrium en magnesium (Bergsma et al., 2016).

In de hierboven genoemde proeven is het kalk vlakdekkend toegevoegd door het uit te strooien over de bosbodem. Een andere manier voor het toedienen van kalk is het toevoegen aan het plantgat tijdens aanplant van nieuwe bomen. Bij een lindeproef in het Zoniënwoud, waar de bodem in de bovenste meters sterk gedegradeerd en ontkalkt is, werden dolomiet en thomaskali toegevoegd aan het plantgat tijdens aanplant. Bij een referentie werd geen kalk toegevoegd. De maximum dosis was 750 gram dolomiet en 200 gram thomaskali. Twaalf jaar na aanplant werd het blad opgevangen tijdens de bladval en vergeleken met een referentiesite in de Vlaamse Ardennen op een rijke leembodem met een neutrale pH. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de

mineralen stikstof, fosfor, kalium, calcium, magnesium en zwavel in het bladval uit blokken waar dolomiet en thomaskali was toegevoegd en de referentie waar geen toevoeging had plaatsgevonden. Wel werd er een groot verschil gevonden tussen de mineralen in het bladval van de lindes in de Vlaamse Ardennen en die in het Zoniënwoud. Winterlinde is dus in staat om via bladval nutriënten en kationen te recyclen, mits deze in de bodem aanwezig zijn. Het standplaatsverbeterende effect is nihil als deze mineralen niet aanwezig zijn (De Vos et al., 2020).

Zoals hierboven beschreven heeft het toevoegen van kalk geen significante positieve effecten in het bos gehad en daardoor wordt deze maatregel ook niet meer vaak toegepast in de Nederlandse bossen. Door de snelle verwerking van kalk is het effect van verkalking snel weer uit het bos verdwenen. Een alternatief voor bekalking is het toepassen van steenmeel, dat nutriënten en mineralen in een langzamer tempo vrijgeeft (L. van den Berg, pers. comm.).

7.2.3 Steenmeel

Van steenmeel als maatregel om verzuring tegen te gaan op ongeplagde heide kan voorzichtig worden gezegd dat het een effectieve maatregel is (Weijters et al., 2018). Echter, in bossen wordt steenmeel nog maar kort toegepast en zijn de experimenten nog volop aan de gang. Voor het toepassen van steenmeel is het belangrijk om eerst een bodem- en bladanalyse uit te voeren, om te kijken of en welke tekorten er aanwezig zijn (L. van den Berg, pers. comm.). Wanneer er tekorten zijn aan calcium, magnesium en/of kalium kan er steenmeel toegepast worden (De Vries et al., 2019). Er kan dan gekozen worden voor een steenmeel dat past bij de tekorten en dat lijkt op het moedermateriaal van de bodem (De Vries et al., 2019). Lurgi (Soilfeed) past goed bij de verweerbare mineralen in het moedermateriaal van de bodems in Noord- en Midden-Nederland (Weijters et al., 2018). Echter, het is gebleken dat het belangrijker is dat steenmeel past bij de mineralen tekorten dan bij het moedermateriaal (Weijters et al., 2018).

In de winter van 2015/2016 is er een experiment opgestart met het toedienen van steenmeel in twee eikenbossen op de hogere zandgronden (De Vries et al., 2019). Steenmeel is een slow-release mineralengift en hierdoor zijn de effecten van steenmeel pas enkele jaren na toediening te meten (G. Koopmans, pers. comm.). Er wordt verwacht dat tien ton steenmeel per hectare genoeg is om de huidige zuurlast gedurende tien jaar te neutraliseren en het verlies van kationen deels terug te draaien (van Diggelen et al., 2019). Gebaseerd op modelberekeningen, zal het toedienen van tien ton steenmeel per hectare leiden tot een kleine verhoging in de pH en een toename in de basenverzadiging van 40-50% (De Vries et al., 2019). Hierdoor worden er geen negatieve effecten verwacht van een te hoge toename in basenverzadiging en stijging in pH op bijvoorbeeld de vegetatie en het bodemleven. Daarnaast wordt er met het opbrengen van steenmeel nauwelijks stikstof en fosfor, belangrijk voor de plantengroei, opgebracht en wordt er geen effect van verzuiging op de vegetatie verwacht (L. van den Berg, pers. comm.).

Drie jaar na de toepassing van steenmeel in het experiment in de eikenbossen is er een hogere basenverzadiging meetbaar in de bovenste twintig centimeter van de bodem en een toename in de beschikbaarheid van kationen (De Vries et al., 2019). Ook is een zeer kleine toename in de pH gemeten (gemiddeld 0,1 pH-eenheden) (De Vries et al., 2019). Na het toedienen van steenmeel is een toename waargenomen in de hoeveelheid fijne wortels, die helpen bij de opname van nutriënten en vocht en beschermen tegen infecties (De Vries et al., 2019). In de bladchemie werd een toename van kalium, calcium en magnesium gemeten en een afname van stikstof (De Vries et al., 2019). De toediening van steenmeel heeft weinig effect gehad op de samenstelling van de bodemfauna, bacteriën en schimmels. Wel is er een toename in het aantal regenwormen en op één locatie van het experiment is een afname in het aantal miljoenpoten gemeten (De Vries et al., 2019).

Ook is een toename gemeten in mineraliseerbaar stikstof, wat wijst op een gemakkelijker afbreekbare organische stof en betere omstandigheden voor het bodemleven (De Vries et al., 2019).

Naast veranderingen in bodemchemie en bladchemie is er geen verandering in de vegetatie waargenomen drie jaar na toediening van steenmeel (De Vries et al., 2019). Steenmeel werkt te langzaam om nu al een effect in de vegetatie te zien (L. van den Berg, pers. comm.). Hoewel er in Nederland nog geen onderzoeken zijn naar de effecten van steenmeel op de lange termijn, loopt er in Finland al langere tijd een onderzoek naar de effecten van slow-release nutriëntengiften in bossen. In een onderzoek naar het effect van slow-release nutriëntengiften in grove dennen opstanden tien jaar naar toediening, werd een toename in het magnesium, kalium en fosfor gehalte gevonden in de organische horizont en in de bovenste bodemlaag (Aarnio et al., 2003).

Steenmeel kan handmatig, met een trekker of met een helikopter opgebracht worden (G. Koopmans, pers. comm.). Handmatig toedienen van steenmeel is alleen mogelijk bij kleine hoeveelheden. Bij het toedienen van steenmeel met een trekker kan plaatselijke insporing ontstaan door het berijden (De Vries et al., 2019). Door de methode waarmee de trekker het steenmeel verspreid en de eigenschappen van het materiaal, moet er om de tien meter door het bos gereden worden (G. Koopmans, pers. comm.). Hierdoor heeft het toedienen van steenmeel met een trekker een grote invloed op de bosbodem. Vanaf honderdvijftig hectare is het toedienen van steenmeel het meest voordelig met een helikopter. Dit komt door de efficiëntie waarmee een helikopter kan werken (G. Koopmans, pers. comm.). Daarnaast is de milieu belasting van het toedienen met een helikopter een stuk kleiner dan met een tractor. Doordat een helikopter sneller een groter gebied kan bestrooien is per saldo de CO₂-uitstoot lager (Sauren et al., 2020).

Steenmeel kan ook toegepast worden in het plantgat bij aanplant. In het kader van het project eco2eco zijn in 2016-2017 bij de aanplant van kloempen met verschillende boomsoorten steenmeel en andere meststoffen toegevoegd ("Kloempen? Kloempen!," 2017). Er zijn hier echter nog geen resultaten van bekend. In Kroondomein het Loo zijn afgelopen jaar esdoorns aangeplant en is in elk plantgat een handje steenmeel bijgevoegd (J. Bouwman, pers. comm.). Het idee hierbij is dat de jonge aanplant deze voedingsstoffen kan opnemen en in circulatie kan brengen in het bos. Of dit effect ook gecreëerd wordt en hoe lang dit effect zal aanhouden is echter nog niet bekend (J. Bouwman, pers. comm.).

Bij Bosgroep Zuid Nederland wordt steenmeel al toegepast in bossen op de arme zandgronden (L. van den Berg, pers. comm.). Wel wordt er rekening mee gehouden dat in een bos altijd onbewerkte patches aanwezig blijven en steenmeel wordt niet vlak dekkend toegepast (L. van den Berg, pers. comm.). De oude bijzondere bodems worden overgeslagen bij het toepassen van deze maatregel (L. van den Berg, pers. comm.).

Er is dus nog weinig bekend over hoe lang steenmeel een effect heeft op de bodemsamenstelling en doorwerkt in de vitaliteit van het bos. Steenmeel kan op kleine schaal toegepast worden wanneer uit een bodem- en bladanalyse is gebleken dat en welke nutriënten er te kort komen in het systeem. Wanneer dit bekend is kan een steenmeel toegepast worden die op deze tekortkomingen aansluit. Steenmeel kan toegepast worden in het plantgat bij aanplant van rijkstrooiselsoorten of op de bosbodem bij bijvoorbeeld het aanplanten van een groep rijkstrooiselsoorten. Omdat er nog te weinig bekend is over deze maatregel is het van belang om het effect op de rijkstrooiselsoorten en de bosbodem te monitoren en deze kennis te delen met andere beheerders. Wat er precies gaat gebeuren na het toedienen van steenmeel in het bos zal de toekomst uitwijzen.

7.3 Stimuleren van een kruidlaag

De kruidlaag in een bos is een reactie op de omgevingsfactoren (J. Bouwman, pers. comm.). De kruidlaag levert een grote bijdrage aan de biodiversiteit in een bos (Gilliam, 2007). Net als bij de struiklaag is de kruidlaag afhankelijk van het licht dat het kronendak doorlaat. Met een hogere lichtinval is er over het algemeen een hogere productiviteit van de kruidlaag (Landuyt et al., 2019). Het aanbrengen van een kruidlaag wordt niet gezien als een toepasbare beheermaatregel, maar de kruidlaag kan wel gestimuleerd worden door de lichtbeschikbaarheid in het bos en rijkstrooiseersoorten kunnen de kruidlaag stimuleren door een betere nutriëntenbeschikbaarheid (Gilliam, 2007). Echter, de kruidlaag reageert uiterst traag op de positieve ontwikkeling van rijkstrooiseersoorten in de Nederlandse bossen (van den Berg et al., 2021). Ondanks dat er in Nederlandse bossen een positief effect is gemeten van linde op de bodem pH en basenverzadiging, is er een gering effect van de flora zichtbaar (van den Berg et al., 2021). Door de verzuring als gevolg van stikstofdepositie en de hoge stikstofbeschikbaarheid is het vestigingsmilieu mogelijk niet geschikt voor de flora ondanks de verhoogde buffercapaciteit en beschikbaarheid van kationen (van den Berg et al., 2021).

De kruidlaag heeft een directe invloed op koolstofvastlegging, nutriëntenopname en verdamping van water. Indirect heeft de kruidlaag invloed op de aanwezigheid van andere functionele organismen, zoals bodemfauna (Landuyt et al., 2019). De organische stof in de kruidlaag kan direct en indirect fungeren als voedselbron voor de bodemfauna (Van Den Berg et al., 2016). Nutriëntenconcentraties in de struiklaag zijn 1,5 tot 5 keer hoger dan in het blad van de bomen (Landuyt et al., 2019). Dit komt onder andere doordat de kruidlaag nutriënten efficiënter kan opnemen en de worteldiepte gering is, zodat de nutriënten uit de bovengrond gehaald kunnen worden (Landuyt et al., 2019). De decompositiesnelheid van afgestorven kruiden is sneller dan van blad (Gilliam, 2007). Hierdoor kan de kruidlaag een positieve bijdrage leveren aan de nutriëntenkringloop in de bodem. Ook kunnen kruiden in het vroege voorjaar al nutriënten opnemen uit de bodem, waardoor er minder nutriënten uitspoelen. Als de kruiden later in het voorjaar of begin van de zomer weer afsterven komen de nutriënten weer beschikbaar voor de bomen (Gilliam, 2007). Een dichte kruidlaag kan een negatief effect hebben op de kieming, vestiging en groei van jonge bomen (Gilliam, 2007; Landuyt et al., 2019). Echter, op plekken waar jonge bomen worden blootgesteld aan hoge temperaturen en droogte kan een kruidlaag faciliterend werken op de vestiging en groei (Landuyt et al., 2019).

7.4 Maatregelen combineren

Zoals hierboven is gebleken is er niet één maatregel die toegepast kan worden om de bodem in de bossen op de Veluwe te herstellen. Door het gebrek aan nutriënten en vocht heeft het inplanten van rijkstrooiseersoorten op de haarpodzolgronden als enige herstelmaatregel waarschijnlijk een te klein effect om een bodemverbetering tot stand te brengen (L. van den Berg, pers. comm.). Het combineren van verschillende maatregelen kan waarschijnlijk leiden tot een succesvol herstel (Bobbink et al., 2017). Bijvoorbeeld het aanpassen van de boomsoortensamenstelling in het bos in combinatie met het toedienen van steenmeel zou de jonge aanplant de tijd kunnen geven om goed aan te slaan en de tijd te overbruggen tot ze een substantiële bijdrage leveren aan de kroonlaag. Als steenmeel wordt toegepast in bijvoorbeeld beuken-, eiken- of grove dennen bossen zonder een verandering in boomsoortensamenstelling, zijn de effecten van steenmeel waarschijnlijk binnen tien jaar weer verdwenen (L. van den Berg, pers. comm.). Welke maatregelen waar gecombineerd kunnen worden is maatwerk. Een bodem- en bladanalyse geeft een duidelijke indicatie van de knelpunten in de nutriëntenhuishouding in een bos. Vanuit deze basis kan er gekeken worden naar welke maatregelen toegepast kunnen worden.

8. Synthese

De bossen op haar- en holtpodzolgronden op de Veluwe hebben de laatste jaren sterk geleden onder de stikstofdepositie waarbij veel nutriënten zijn uitgespoeld en de bodem sterk is verzuurd. Daarnaast is in de laatste honderd jaar het zuurbuffermechanisme in de bodem van een kationbuffermechanisme naar een aluminiumbuffermechanisme verschoven, waarbij het toxische aluminium vrijkomt in de bodem. Doordat de verwerkingssnelheid enorm is toegenomen, en een groot deel van de aanwezige kationen in de bodem is uitgespoeld, kan de bodem zich naar verwachting niet meer herstellen zonder maatregelen te nemen. Met het revitaliseren van de Nederlandse bossen is het de bedoeling om de bosbodem weer vitaal te maken, door een hogere buffercapaciteit en het weer op gang brengen van de nutriëntenpomp, de bossen bestendiger te maken tegen weersextremen als gevolg van klimaatverandering en de bossen weerbaarder te maken tegen risico's zoals insectenplagen. Om de bosbodem te herstellen is het van belang om het buffermechanisme weer terug te brengen naar het kationbuffermechanisme. Hiervoor is het belangrijk dat de boomsoortensamenstelling, de samenstelling van de bodemorganismen en nutriëntenbeschikbaarheid in orde zijn. Daarvoor is vaak een combinatie van maatregelen nodig. Het inbrengen van rijkstrooiselsoorten zou één van de maatregelen kunnen zijn.

Zoals in dit rapport beschreven zijn er veel factoren van invloed op de effectiviteit van rijkstrooiselsoorten. De huidige hoge stikstofdepositie draagt niet bij aan een positief effect en met de huidige wilddruk op de Veluwe kunnen loofbomen zich zonder wildbescherming niet via een natuurlijke weg verjongen en wordt nieuwe aanplant aangevreten. Het is daarom allereerst van belang om de stikstofdepositie verder terug te dringen en voor de aanplant van rijkstrooiselsoorten na te denken over welke wildbescherming nodig is om de aanplant de kans te geven om door te groeien tot het kronendak. In situaties waar genoeg moederbomen van de gewenste soorten aanwezig zijn kan uitrasteren van een plek waar verjonging gewenst is genoeg zijn om de natuurlijke vestiging van loofbomen op gang te brengen. Daarnaast is de samenstelling van de bodem een bepalende factor voor de (grootte) van het effect dat bereikt kan worden met het inplanten van rijkstrooiselsoorten. Zo is het effect van rijkstrooiselsoorten op zandgronden groter naarmate er meer klei of leem in de bewortelbare zone van de bodem aanwezig is. Vervolgens zijn de boomsoortenkeuze en het beheer van belang. In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden voor het revitaliseren met rijkstrooiselsoorten op de haar- en holtpodzolgronden besproken en een afwegingskader geschetst om tot de gewenste (herstel)maatregel en boomsoortenkeuze te komen.

8.1 Effecten van rijkstrooiselsoorten op de haarpodzolgronden

Om een nutriëntenpomp op gang te kunnen brengen, moeten er binnen de bewortelbare zone nutriënten aanwezig zijn om rondgepompt te kunnen worden. Op de haarpodzolgronden zijn vrijwel geen voedingsstoffen in de bodem aanwezig en zullen de rijkstrooiselsoorten geen nutriëntenpomp op gang kunnen brengen. Het effect van rijkstrooiselsoorten op de nutriëntenpomp en basenverzadiging is op deze bodems nihil. Wel kan de aanplant van rijkstrooiselsoorten helpen om het bos diverser en klimaatbestendiger te maken en zorgen voor risicospreiding voor onvoorspelbare omstandigheden zoals insectenplagen. Hierbij is het belangrijk om de menging in het bos te verhogen. Soorten met een rijker strooisel dan de huidige soortensamenstelling kunnen ingebracht worden om het organische stofgehalte in de bodem te verhogen en de bodem niet verder te laten degraderen. De boomsoortenkeuze op de haarpodzolgronden is klein, maar soorten zoals berk, lijsterbes en ratelpopulier hebben al een beter verteerbaar strooisel dan de nu vaak in grote getale aanwezige grove den. Wanneer het organische stofgehalte in de bodem toeneemt wordt de CEC van de bodem verhoogd, waardoor er meer buffering in de bodem plaats kan vinden. Op de hele lange termijn zouden er dan meer veeleisendere rijkstrooiselsoorten op de haarpodzolgronden kunnen

vestigen. Op de haarpodzolgronden liggen de kansen niet bij het verbeteren van de bodemgesteldheid van het bos, maar kan het inbrengen van andere soorten het bos wel bestendiger maken tegen weersextremen.

8.2 Effecten van rijkstrooiselsoorten op de holtpodzolgronden

Op de holtpodzolgronden, waar de bodem enigszins lemig is, zou er een effect van rijkstrooiselsoorten op de nutriëntenpomp gegenereerd kunnen worden. Diep wortelende bomen kunnen de nutriënten in diepere bodemlagen via hun bladval weer beschikbaar maken in de bovengrond. Ook heeft het inbrengen van rijkstrooiselsoorten in deze bossen een positief effect op de bestendigheid van het bos tegen weersextremen, leidt het tot meer menging en daarmee ook tot risico spreiding voor onvoorspelbare omstandigheden.

8.3 Kanttekeningen bij de toepassing van rijkstrooiselsoorten

Het is belangrijk om in gedachten te houden dat we niet goed weten hoe snel het effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem zichtbaar wordt. Wel is er een duidelijk verband gevonden tussen het effect op de bosbodem en de grootte van de fijne fractie in de bewortelbare zone. Ook is het aandeel rijkstrooisel dat in een bos nodig is om een effect op de nutriëntenpomp en basenverzadiging te creëren hoog. Zo moeten de rijkstrooiselsoorten minstens 30% van het grondvlak in een bos uitmaken om een effect te genereren. Het bosbeeld kan hierdoor aanzienlijk veranderen wanneer er rijkstrooiselsoorten worden ingeplant of bevoordeeld door vrijstellen. Met de huidige stikstofdepositie is het de vraag of het aanplanten van rijkstrooiselsoorten de effecten van deze depositie kan mitigeren. Mogelijk degradeert de bodem met de huidige verwerkingssnelheid sneller dan de rijkstrooiselsoorten kunnen opvangen. Om de nutriëntenpomp op gang te brengen is het van cruciaal belang dat het herstel van de bodemfauna ongeveer gelijk opgaat met het inbrengen van kationen en nutriënten, zodat de bodemfauna deze stoffen beschikbaar kan maken voor de vegetatie en de basenverzadiging verhoogd kan worden. Of dit zo zal gaan is echter nog onbekend. Daardoor is het ook nog de vraag of de weer in het systeem gebrachte kationen in het systeem zullen blijven circuleren of toch weer gaan uitspoelen.

8.4 Afwegingskader revitalisering

Het op gang brengen van de nutriëntenpomp kan lange tijd duren. Het bos bestendiger maken tegen weersextremen en risicospreiding door het soortenpalet te verbreden zijn twee andere doelen waartoe rijkstrooiselsoorten ingebracht kunnen worden in het bos en die sneller een effect zullen hebben. Voorafgaand aan revitalisering in een bos is het van belang om de visie en beheerdoelen voor het bos scherp te hebben. Op basis van deze beheerdoelen kunnen er knelpunten in het bos geïnventariseerd worden om deze beheerdoelen te behalen. Als er geen knelpunten aanwezig zijn voor de beheerdoelen, hoeft er niet over gegaan te worden op revitalisering. Op basis van bosbodemonderzoek van Kieskamp & Smeenge (*in voorbereiding*) is er een beslisboom gemaakt om na te gaan welke maatregelen er genomen kunnen worden om de vitaliteit van de bosbodem te herstellen (Figuur 13). Het is van belang om de processen die er in het bosgebied spelen goed in kaart te brengen voor er een herstelmaatregel wordt toegepast. Zoals te zien is in de beslisboom is het inbrengen van rijkstrooiselsoorten met name van belang als er geen grondwaterinvloed is, de bodem pH onder de vier is en er nog een zwakke buffering of een fijne fractie (klei, leem of löss) in de bewortelbare zone aanwezig is. Hieruit blijkt ook dat alléén het aanplanten van rijkstrooiselsoorten op de haarpodzolgronden op de Veluwe, waar deze fractie niet aanwezig is, geen aanbevolen herstelmaatregel is. Wel zouden maatregelen, zoals het toedienen van steenmeel en het inplanten van rijkstrooiselsoorten gecombineerd kunnen worden. Het is echter nog onbekend wat de effecten van deze gecombineerde maatregelen zijn.



Figuur 13. Beslisboom op basis van de bodemsamenstelling (Smeenge & Kieskamp, *in voorbereiding*). Bodemgroep 1 bestaat uit rijke bodems, bodemgroep 2 uit matig rijke bodems (o.a. holtpodzolgronden), bodemgroep 3 zijn arme (droge) bodems (o.a. haarpodzolgronden) en bodemgroep 4 zijn arme (vochtige) bodems.

Wanneer een beheerder op basis van bovenstaande beslisboom uitkomt bij het inbrengen of vrijstellen van rijkstrooiselsoorten, is het van belang om via de volgende vragen na te gaan welke boomsoorten passen binnen de beheerdoelen:

- Zijn er al rijkstrooiselsoorten aanwezig in het bos en kunnen die worden bevoordeeld?
- Wil ik ingrijpen in de boom- en/of struiklaag van het bos?
- Welke rijkstrooiselsoorten passen in dit bos?
- Moet er op basis van de visie en beheerdoelstelling onderscheid gemaakt worden tussen inheemse en uitheemse soorten?
- Zijn er aanvullende maatregelen, zoals wildbescherming, nodig?

Omdat er nog weinig kennis is over de groei en ontwikkeling van rijkstrooiselsoorten op arme zandgronden op de lange termijn, wordt aanbevolen om na de aanplant van rijkstrooiselsoorten

gegevens over de groei en overleving bij te houden en te delen met andere beheerders. Zo kan de kennis over rijkstrooiselsoorten op verschillende bodems worden vergroot.

9. Conclusie

Het bevoordelen en inbrengen van rijkstrooiselsoorten op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe kan bijdragen aan het beter bestand maken van de bossen tegen weersextremen. Het effect van de rijkstrooiselsoorten op de bosbodem verschilt daarbij sterk per bodemtype en is afhankelijk van verschillende factoren die deels binnen de invloedssfeer van de beheerder liggen en deels ook niet.

De factoren die van invloed zijn op het effect van revitaliseren met rijkstrooiselsoorten zijn tijd, de bodem, bodemfauna, boomsoort, de strooiselkwaliteit en -kwantiteit, het beheer dat gevoerd wordt, de stikstofdepositie en de wildstand (Figuur 6).

Onder de huidige wilddruk kunnen loofbomen en daarmee ook rijkstrooiselsoorten zich niet natuurlijk vestigen en zal er wilddescherming nodig zijn om de aanplant, of natuurlijke vestiging, te laten slagen. Wanneer moederbomen van de gewenste soorten in de buurt aanwezig zijn kan het uitrasteren van een plek genoeg zijn om via natuurlijke vestiging rijkstrooiselsoorten in het bos te brengen. Wanneer moederbomen van gewenste boomsoorten niet aanwezig zijn, zal gekozen moeten worden voor geschikte wilddescherming bij aanplant.

Om een nutriëntenpomp op gang te kunnen brengen en kationen weer naar de bovengrond te transporteren via het bladval van rijkstrooiselsoorten, is het van cruciaal belang dat deze nutriënten en kationen in de bodem aanwezig zijn. Deze nutriënten kunnen beschikbaar zijn in een leemrijke laag waar diepwortelende boomsoorten bij kunnen, of door een fijne fractie van meer dan 10% binnen de wortelzone.

De bodemfauna speelt een belangrijke rol in de nutriëntencyclus en hiermee bij het herstel van de bosbodem. Het herstel van de bodemfauna zou ongeveer gelijk op moeten gaan met de toename in bladstrooisel van de rijkstrooiselsoorten om de nutriënten beschikbaar te maken voor heropname door bomen. Hoe de bodemfauna op het inplanten van rijkstrooiselsoorten reageert is nog onbekend.

De strooiselkwaliteit wordt bepaald door de hoeveelheid kationen in het blad, wat sterk verschilt per boomsoort en afhankelijk is van de aanwezige kationen in de bodem. Om een effect van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem te genereren is het van belang dat een groot aandeel van het totale bladval bestaat uit rijkstrooisel. De effecten worden zichtbaar als meer dan 30% van het grondvlak van de opstand uit rijkstrooiselsoorten bestaat.

Het beheer dat gevoerd wordt bepaald welke boomsoorten er worden aangeplant, in welk plantverband en of rijkstrooiselsoorten in het bos worden bevoordeeld. Bij het beheer is het van belang om de visie van het bos scherp te hebben, beheerdoelen te stellen die hierbij passen en zo te bepalen welk beheer er gevoerd gaat worden en of het inbrengen of bevoordelen van rijkstrooiselsoorten hierbij past.

Een factor waar de bosbeheerders geen invloed op hebben is de stikstofdepositie. De stikstofdepositie komt op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe boven de kritische depositie waarde uit. Het is de vraag of het inplanten van rijkstrooiselsoorten de doorgaande bodemverzuring en nutriëntenuitspoeling veroorzaakt door de verzuring kan opheffen, of dat het te lang duurt voor de rijkstrooiselsoorten een substantieel deel van de totale bladval uitmaken en een effect op de bosbodem kunnen genereren.

Rijkstrooiselsoorten kunnen bijdragen aan het weerbaar maken van het bos tegen weersextremen door het verhogen van het organische stof gehalte in de bodem, waardoor het vochtvasthoudend

vermogen van de bodem wordt vergroot, het verbreden van het soortenpalet in het bos waardoor boomsoorten elkaar kunnen faciliteren in het gebruik van nutriënten en water en er risicospreiding plaatsvindt voor bijvoorbeeld insectenplagen. Het risico op stormschade wordt niet verminderd door het verhogen van de menging door het inbrengen van rijkstrooiselsoorten. Om stormschade te voorkomen is het belangrijk om boomsoorten te kiezen die goed bij de groeiplaats passen, zodat zij een wortelstelsel kunnen ontwikkelen dat past bij de boomvorm.

Rijkstrooiselsoorten stellen vaak hoge eisen aan de bodem. De rijkstrooiselsoorten met de meeste kationen in het blad, zoals linde en zoete kers, zullen op de holt- en haarpodzolgronden van de Veluwe geen goede groei vertonen. De focus in dit rapport ligt op inheemse boom- en struiksoorten. Op de holtpodzolgronden zijn nog enige nutriënten en buffercapaciteit aanwezig en hierdoor kunnen er boswilg, lijsterbes, ratelpopulier, veldesdoorn, wegedoorn en hazelaar aangeplant worden. De boomsoortenkeuze op de haardpodzolgronden is, door het gebrek aan nutriënten en buffercapaciteit, beperkt. Wel kunnen zogenaamde 'kwartiermakers', met rijkere strooisel dan de aanwezige boomsoorten, voornamelijk grove den, aangeplant worden. Hierdoor kan het organische stof gehalte in de bodem worden verhoogd zodat de bodem op termijn geschikt wordt voor veeleisende rijkstrooiselsoorten. De boomsoortenkeuze op de haarpodzolgronden bestaat voornamelijk uit berk, lijsterbes en ratelpopulier.

Een potentiële aanvullende maatregel die genomen kan worden om de nutriënten- en kationenbeschikbaarheid op de haarpodzolgronden te verhogen is het toedienen van voedings- en bufferstoffen. Nutriënten en kationen kunnen toegevoegd worden zodat de bomen deze op kunnen nemen en via hun bladstrooisel in de nutriëntencyclus kunnen brengen. In het verleden zijn proeven gedaan met nutriëntengiften en bekalking, maar kort na toediening is er verruiging van de vegetatie op getreden en na vijf tot tien jaar zijn de effecten nauwelijks meer terug te vinden in het bos. Op dit moment lopen er proeven met het toedienen van steenmeel om de nutriëntenhuishouding weer op pijl te brengen. De onderzoeken lopen echter nog te kort om uitspraken te doen over het effect van deze maatregel en over het toedienen van steenmeel in combinatie met rijkstrooiselsoorten is ook nog geen informatie bekend. Steenmeel kan op kleine schaal toegepast worden wanneer uit een bodem- en bladanalyse is gebleken dat en welke nutriënten er te kort komen in het systeem. Wanneer dit bekend is kan een steenmeel toegepast worden die op deze tekortkomingen aansluit. Bij het toepassen van deze maatregelen is monitoring van de effecten op de bodem en de groei van belang, zodat deze informatie gedeeld kan worden met andere beheerders.

Kortom, rijkstrooiselsoorten kunnen op de wat kortere termijn bijdragen aan het weerbaar maken van bossen tegen weersextremen door soorten aan te planten die goed tegen het veranderende klimaat kunnen en het bos robuuster maken doordat er meer soorten in het bos aanwezig zijn, het bosklimaat verbeterd en de risico's op ziekten en plagen worden gespreid. Mits er boomsoorten toegepast worden die passend zijn bij de groeiplaats kan het inbrengen van rijkstrooiselsoorten gezien worden als een 'no-regret'-maatregel.

De effecten van rijkstrooiselsoorten op de bosbodem zijn verschillend per bodemtype. Op de holtpodzolgronden van de Veluwe, waar nog enige leem en buffering in de bodem aanwezig is, kunnen rijkstrooiselsoorten bijdragen aan het revitaliseren van het bos door het op gang brengen van de nutriëntenpomp en het naar boven halen van kationen uit de bodem. In de haarpodzolgronden van de Veluwe zijn echter naar verwachting te weinig nutriënten en kationen beschikbaar om een nutriëntenpomp op gang te kunnen brengen. Wel kan het inbrengen van zogenaamde kwartiermakers het organische stof gehalte in de bodem verhogen. Hiermee wordt de CEC verhoogd en kan op termijn veeleisendere rijkstrooiselsoorten worden ingebracht. Hoe de bodemfauna zich gaat ontwikkelen en of de effecten op de bosbodem snel genoeg optreden in het

licht van de doorgaande stikstofdepositie is nog nauwelijks bekend. Het blijft dus de vraag of onder de huidige stikstofdepositie de aanplant van rijkstrooiselsoorten zal leiden tot een systeemherstel of dat het alleen de invloed van de stikstofdepositie zal vertragen.

10. Aanbevolen literatuur

Hieronder zijn een aantal artikelen aangegeven die worden aangeraden om te lezen:

Desie, E., Vancampenhout, K., & Muys, B. (2021). De donkere kant van het bos: kansen voor rijkstrooisel - Bosrevue. Retrieved October 13, 2021, from <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2021/10/06/De-donkere-kant-van-het-bos-kansen-voor-rijkstrooisel?originTag=Bosrevue>

Desie, E., Vancampenhout, K., van den Berg, L., Nyssen, B., Weijters, M., den Ouden, J., & Muys, B. (2020). Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management*, 474(118377). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118377>

Van Nevel, L., Mertens, J., De Schrijver, A., De Neve, S., & Verheyen, K. (2014). Can shrub species with higher litter quality mitigate soil acidification in pine and oak forests on poor sandy soils? *Forest Ecology and Management*, 330, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.002>

Verheyen, K., Terry, R., De Schuyter, W., & Seynaeve, J. (2021). Rijkstrooiselsoorten op arme groeiplaatsen: limits to growth? Retrieved October 13, 2021, from <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2021/10/12/Rijkstrooiselsoorten-op-arme-groeiplaatsen-limits-to-growth?originNode=398&originTag=Bosrevue>

11. Literatuurlijst

- Aarnio, T., Rätty, M., & Martikainen, P. J. (2003). Long-term availability of nutrients in forest soil derived from fast-and slow-release fertilizers. *Plant and Soil*, 252, 227–239.
- Beheerplan Natura 2000 Veluwe (057)*. (2017).
- Bergsma, H., Vogels, J., Weijters, M., Bobbink, R., Jansen, A., & Krul, L. (2016). Tandrot in de bodem; Hoeveel biodiversiteit kan de huidige mineral bodem nog ondersteunen? *Bodem Nummer 1*, 27–29.
- BIJ12. (n.d.-a). N15.02 Dennen-, eiken-, en beukenbos. Retrieved October 28, 2021, from <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/n15-droge-bossen/n15-02-dennen-eiken-en-beukenbos/>
- BIJ12. (n.d.-b). N16.03 Droog bos met productie (nieuw per 01-01-2018). Retrieved October 28, 2021, from <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/n16-bossen-met-productiefunctie/n16-03-droog-bos-productie-nieuw-per-01-01-2018/>
- BIJ12. (n.d.-c). N17 Cultuurhistorische bossen. Retrieved October 28, 2021, from <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/n17-cultuurhistorische-bossen/>
- Bijlsma, R. J. (2008). *Bosreservaten: koplopers in de natuurlijke ontwikkeling van het Nederlandse boslandschap*. Wageningen.
- Bijlsma, R. J., Clerkx, A. P. P. M., & de Waal, R. W. (2005). *Diversiteit uit zand. De ontwikkeling van bosstructuur, vegetatie, bodem en humusvorm in bosreservaten op stuifzand*. Wageningen.
- Bobbink, R. (2021). *Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse*. Nijmegen.
- Bobbink, R., Bergsma, H., Den Ouden, J., & Weijters, J. M. (2017). Na het zuur geen zoet? Bodemverzuring in droog zandlandschap blijvend probleem. *Landschap*, 34(2), 60–69. Retrieved from http://www.landschap.nl/wp-content/uploads/2017_2_na-het-zuur-geen-zoet.pdf
- Bosch, W. (2020). *Zijn hazelaar, lijsterbes en vuilboom rijk-strooiselsoorten? Onderzoek naar het effect van deze soorten op de vegetatie en bosbodem van bossen op zandgrond*.
- Bosgroep Midden Nederland. (n.d.). De droogte van 2018: welke gevolgen zien we? Retrieved September 8, 2021, from <https://bosgroepen.nl/bosgroep-midden-nederland/de-droogte-van-2018-welke-gevolgen-zien-we/>
- Bosgroep Zuid Nederland. (2021). *Correlatief onderzoek Rijk-strooiselsoorten in Natuurgericht Bosbeheer - Fase 2*.
- Bowman, W. D., Cleveland, C. C., Halada, L., Hreško, J., & Baron, J. S. (2008). Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity. *Nature Geoscience*, 1(11), 767–770. <https://doi.org/10.1038/ngeo339>
- Brandtberg, P.-O., Lundkvist, H. Å., & Bengtsson, J. (2000). Changes in forest-floor chemistry caused by a birch admixture in Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 130, 253–264.
- de Bakker, H., & Schelling, J. (1989). *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland: de hogere niveaus* (2e druk). Wageningen: Pudoc.
- de Jong, A., de Waal, R., & Al, E. (2015). Negen vragen over ecologie van bosbodems. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 12(119), 18–21.

- De Keersmaeker, L., De Haeck, A., De Vos, B., Leyman, A., Roskams, P., Thomaes, A., ... Vandekerckhove, K. (2016). *De ecologische positie van gewone esdoorn (Acer pseudoplatanus) en de mogelijkheden van deze boomsoort in landschaps- en bosbeheer*. Brussel. Retrieved from www.inbo.be
- de Schrijver, A., Ampoorter, E., van der Burg, R., Demey, A., Schelfhout, S., Olsthoorn, A., ... Verheyen, K. (2018). Groeiplaatsverbetering. In *Praktijkboek bosbeheer* (p. 560). Stichting Probos en Inverde.
- De Schrijver, A., Janssens, I., Staelens, J., & Wuyts, K. (2010). Koolstof- en nutriëntenkringloop. In Jan den Ouden, B. Muys, F. Mohren, & K. Verheyen (Eds.), *Bosecologie en Bosbeheer* (pp. 167–175). Leuven: Acco Leuven / Den Haag.
- De Vos, B. (1998). *Praktische methodiek voor bodemstaalname in het kader van de bosinventarisatie*.
- De Vos, B., De Keersmaeker, L., & Van der Aa, B. (2020). *Advies over duurzaam bosbeheer in de Kempen in het licht van verzuring en klimaatverandering*. Retrieved from <https://www.eco2eco.info/duurzaam-bosbeheer/bosverjonging/>
- de Vries, S., & Kopinga, J. (2016). Opstanden voor zaadoogst van de inheemse fladderiep uitgebreid. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 18–19.
- De Vries, W., Weijters, M. J., De Jong, J. J., van Delft, S. P., Bloem, J., van den Burg, A., ... Bobbink, R. (2019). *Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstel mogelijkheden door steenmeeltoediening*. Driebergen.
- Demey, A., De Frenne, P., & Verheyen, K. (2015). *Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer*.
- Den Ouden, J., & Hekhuis, H. (2016). Waarheen met het Nederlandse bos? *Vakblad Natuur Bos Landschap*, (september), 4–7.
- Den Ouden, Jan, Lammertsma, D., & Jansman, H. (2020). *Effecten van hoefdieren op Natura 2000-boshabitattypen op de Veluwe*. Wageningen. <https://doi.org/10.18174/525450>
- den Ouden, Jan, Schoonderwoerd, H., & de Klein, J. (2016). *Graasdruk - monitoring op de Veluwe. Een voorstel*. Wageningen.
- Desie, E., Muys, B., Jansen, B., Vesterdal, L., & Vancampenhout, K. (2021). Pedogenic Threshold in Acidity Explains Context-Dependent Tree Species Effects on Soil Carbon. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4(May), 1–9. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.679813>
- Desie, E., Vancampenhout, K., & Muys, B. (2021). De donkere kant van het bos: kansen voor rijkstrooisel - Bosrevue. Retrieved October 13, 2021, from <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2021/10/06/De-donkere-kant-van-het-bos-kansen-voor-rijkstrooisel?originTag=Bosrevue>
- Desie, E., Vancampenhout, K., Nyssen, B., van den Berg, L., Weijters, M., van Duinen, G. J., ... Muys, B. (2020). Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. *Science of the Total Environment*, 699, 134383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134383>
- Desie, E., Vancampenhout, K., van den Berg, L., Nyssen, B., Weijters, M., den Ouden, J., & Muys, B. (2020). Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management*, 474(118377). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118377>
- Dolman, A. J., & Moors, E. J. (1993). De waterhuishouding. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 6, 306–314.

- Dolman, H., Moors, E., Elbers, J., Snijders, W., & Hamaker, P. (2000). *Het waterverbruik van bossen in Nederland*. Wageningen.
- Eilmann, B., De Vries, S. M. G., Den Ouden, J., Mohren, M. J., Sauren, P., & Sass-Klaassen, U. (2013). Origin matters! Difference in drought tolerance and productivity of coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)) provenances. *Forest Ecology and Management*, *302*, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.031>
- Eilmann, B., & Rigling, A. (2012). Tree-growth analyses to estimate tree species' drought tolerance. *Tree Physiology*, *32*, 178–187. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps004>
- Exterkate, B., & de Beer, G. (2010). *Bosplantsoen. Bomen en struiken in bos en landschap*. Arnhem: IPC Groene Ruimte.
- Fleming, R. L., Powers, R. F., Foster, N. W., Marty Kranabetter, J., Andrew Scott, D., Ponder, F., ... Stone, D. (2006). Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on 5-year seedling performance: a regional comparison of Long-Term Soil Productivity sites 1. *Canadian Journal of Forest Research*, *36*, 529–550. <https://doi.org/10.1139/X05-271>
- Forceville, E., Mertens, J., Verheyen, K., & Devlaeminck, R. (2020). *Droogte-robuuste aanplantingstechnieken; Rapport voor het verkrijgen van vitaal en weerbaar (jong) bos*.
- Gartner, K., Nadezhdina, N., Englisch, M., Cermak, J., & Leitgeb, E. (2009). Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management*, *258*, 590–599. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.04.028>
- Gilliam, F. (2007). The Ecological Significance of the Herbaceous Layer in Temperate Forest Ecosystems. *BioScience*, *57*(10), 845–858. Retrieved from www.biosciencemag.org
- Hein, S., Ehring, A., Wieland, A., & Hüttinger, M. (n.d.). Waldbau mit der Edelkastanie. Retrieved November 26, 2021, from <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/waldwachstum/waldbau-mit-der-edelkastanie#c84409>
- Hommel, P., & de Waal, R. (2003). Rijke bossen op arme bodems; alternatieve boomsoortenkeuze verhoogt soortenrijkdom ondergroei op verzuringgevoelige gronden. *Landschap: Tijdschrift Voor Landschapsecologie En Milieukunde*, *20*(4), 193–204.
- Hommel, P., de Waal, R., Muys, B., den Ouden, J., & Spek, T. (2007). *Terug naar het lindewoud; strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer*. Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Huang, W., Fonti, P., Larsen, J. B., Raebild, A., Callesen, I., Pedersen, N. B., & Hansen, J. K. (2017). Projecting tree-growth responses into future climate: A study case from a Danish-wide common garden. *Agricultural and Forest Meteorology*, *247*, 240–251. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.016>
- in 't Veld, Y., & Vermeulen, J. (Eds.). (1999). *Bosplantsoen*. Arnhem: IPC groene ruimte.
- Jansen, P., & Boosten, M. (2015). *Bestellen van bosplantsoen Handvaten voor de praktijk*. Wageningen: Stichting Probos.
- Jansen, P., Verbist, B., Vandegehuchte, M., & Winnock, M. (2018). Voorkomen van wildschade. In *Praktijkboek bosbeheer* (p. 560). Stichting Probos en Inverde.
- Kemmers, R. (2012). Zijn bodemorganismen van belang voor herstel van verzuurde bossen? *De Levende Natuur*, *113*(1), 24–28.
- Kloempen? Kloempen! (2017). Retrieved October 11, 2021, from

<https://www.eco2eco.info/kloempen/>

- KNMI. (2015). *KNMI '14 Klimaatscenario's voor Nederland*. Retrieved from www.klimaatscenarios.nl
- Kranenborg, K. G., & de Vries, S. M. G. (2001). *Internationaal herkomstonderzoek beuk in Nederland*. Wageningen.
- Kremers, J., & Boosten, M. (2019). *Klimaatslim bosbeheer*. Retrieved from www.klimaatscenarios.nl
- Kuiters, A. T., & Slim, P. A. (2002). Regeneration of mixed deciduous forest in a Dutch forest-heathland, following a reduction of ungulate densities. *Biological Conservation*, *105*, 65–74. Retrieved from www.elsevier.com/locate/biocon
- Landuyt, D., Ampoorter, E., Bastias, C. C., Benavides, R., Müller, S., Scherer-Lorenzen, M., ... Verheyen, K. (2020). Importance of overstorey attributes for understorey litter production and nutrient cycling in European forests. *Forest Ecosystems*, *7*(45). <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00256-x>
- Landuyt, D., De Lombaerde, E., Perring, M. P., Hertzog, L. R., Ampoorter, E., Maes, S. L., ... Verheyen, K. (2019). The functional role of temperate forest understorey vegetation in a changing world. *Global Change Biology*, *25*, 3625–3641. <https://doi.org/10.1111/gcb.14756>
- LNV. (2020). *Bos voor de toekomst*.
- Loofboomsoorten. (n.d.). Retrieved November 26, 2021, from https://www.doordebomenhetboszien.nl/html/loofbomen.html#_Toc19344972
- Maes, B., & Hiddes, C. (2019). Inheemse boom- en struiksoorten en klimaatveranderingen. *IVN Natuureducatie*.
- Ninemets, Ü., & Valladares, F. (2006). Tolerance to Shade, Drought, and Waterlogging of Temperate Northern Hemisphere Trees and Shrubs. *Ecological Monographs*, *76*(4), 521–547.
- Nyssen, B., Koopmans, G., & den Ouden, J. (2019). *Beslisboom Amerikaanse Vogelkers. Bestrijden, uitfaseren, integreren en bos weerbaar maken*. Provincie Gelderland.
- Nyssen, B., van der Burg, R., & Desie, E. (2016). Regime shift in bossen op zandgronden; LESA toont de kansen. *De Levende Natuur*, *117*(6), 230–234. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/325334575>
- Olsthoorn, A. F. M., & Wolf, R. J. A. M. (2006). *Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen*. Retrieved from <http://www.alterra.wur.nl/>
- Ondergrondmodellen | BROloket. (n.d.). Retrieved August 31, 2021, from <https://www.broloket.nl/ondergrondmodellen>
- Oosterbaan, A., Bobbink, R., & Decuyper, M. (2014). *Onderzoek naar de relatie van eikensterfte met droogte en bodemchemie*. Wageningen. Retrieved from www.wageningenUR.nl/alterra
- Ordelman, R. (2018). *Alternatieve boomsoorten voor de es en de inlandse eik*. Ede.
- Pols, M. (2019). Eerst de droogte, toen de kever: bijna alle fijnsparren zijn dood. *De Gelderlander*. Retrieved from <https://www.gelderlander.nl/achterhoek/eerst-de-droogte-toen-de-kever-bijna-alle-fijnsparren-zijn-dood~a06597c9/>
- Possen, B. J. H. M., Oksanen, E., Rousi, M., Ruhanen, H., Ahonen, V., Tervahauta, A., ... Vapaavuori, E. (2011). Adaptability of birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.) genotypes to different soil moisture conditions. *Forest Ecology and Management*, *262*, 1387–1399. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.035>

- Pretzsch, H., Schütze, G., & Uhl, E. (2013). Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, *15*, 483–495. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x>
- Provincie Gelderland. (2020). *Vitaal en divers bos. Uitvoeringsprogramma Bomen en Bos*. Arnhem. Retrieved from https://www.gelderland.nl/bestanden/Documenten/Gelderland/03Natuur/DOC_Uitvoeringsprogramma_Bomen_en_Bos_vastgesteld_15_dec_2020.PDF
- Rais, A., van de Kuilen, J. W. G., & Pretzsch, H. (2014). Growth reaction patterns of tree height, diameter, and volume of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) under acute drought stress in Southern Germany. *European Journal of Forest Research*, *133*, 1043–1056. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0821-7>
- Ramirez, J. I., Jansen, P. A., Den Ouden, J., Goudzwaard, L., & Poorter, L. (2019). Long-term effects of wild ungulates on the structure, composition and succession of temperate forests. *Forest Ecology and Management*, *432*, 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.049>
- Reich, P. B., Oleksyn, J., Modrzyński, J., Mrozinski, P., Hobbie, S. E., Eissenstat, D. M., ... Tjoelker, M. G. (2005). Linking litter calcium, earthworms and soil properties: A common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters*, *8*, 811–818. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x>
- Reichgelt, A., Penninkhof, J., de Groot, M., Spliethof, N., Teeuwen, S., Scholten, J., ... Spek, G.-J. (2021). *Bosverjonging op de Veluwe. Tussenrapportage topvraatmonitoring 2020*. Wageningen. Retrieved from www.probos.nl
- RIVM. (n.d.). Stikstof. Retrieved November 29, 2021, from <https://www.rivm.nl/stikstof>
- Roeleveld, L., & Ceelen, R. (2015). *Bomen en struiken van hier*. Randwijk. Retrieved from www.heggen.nu
- Roosien, T. (n.d.). Welke boomsoorten zijn droogteproof en klaar voor de toekomst? *Boom in Business*, 42–42.
- Rotteveel, K. (1988). Wildschade is te voorkomen. *Huid En Haar*, *7*(2), 63–67.
- Rubio-Cuadrado, Á., Camarero, J. J., Del Río, M., Sánchez-González, M., Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., ... Montes, F. (2018). Long-term impacts of drought on growth and forest dynamics in a temperate beech-oak-birch forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, *259*, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.04.015>
- Ruige, P. N. (n.d.). Wortelontwikkeling van japanse lariks, 29–38.
- Samson, R., Goudriaan, J., & Mohren, F. (2010). Stralings- en energiebalans. In J den Ouden, B. Muys, F. Mohren, & K. Verheyen (Eds.), *Bosecologie en Bosbeheer* (pp. 151–160). Leuven: Uitgeverij Acco.
- Sauren, P., Buysse, W., Wijdeven, S., Seynaeve, J., Winnock, M., Van Nevel, L., & Nyssen, B. (2020). *Ecologie in Boomgericht Bosbeheer*.
- Schelfhout, S., De Schrijver, A., van Nevel, L., Vesterdal, L., Mertens, J., & Verheyen, K. (2014). Boomsoorten, bodemvruchtbaarheid en regenwormen : een intrigerend netwerk van interacties. *Bosrevue*, *48*, 11–15.
- Schelfhout, S., De Schrijver, A., Vesterdal, L., Mertens, J., & Verheyen, K. (2013). Over de intieme relatie tussen boomsoorten en regenwormen. *De Levende Natuur*, (september), 191–193.
- Schelhaas, M.-J., & De Vos, B. (2010). Invloed van storm op bos. In Jan den Ouden, B. Muys, F.

- Mohren, & K. Verheyen (Eds.), *Bosecologie en Bosbeheer* (pp. 451–458). Leuven: Acco Leuven / Den Haag.
- Schelhaas, M., Clerkx, A., Daamen, W., Oldenburger, J., Velema, G., Schnitger, P., & Schoonderwoerd en Kramer, H. H. (2014). *Zesde Nederlandse Bosinventarisatie: methoden en basisresultaten*. Wageningen. Retrieved from www.wageningenUR.nl/alterra
- Stone, D. M. (1977). Leaf dispersal in a pole-size maple stand. *Canadian Journal of Botany*, 7, 189–192.
- ten Houte de Lange, S. M., Maarleveld, G. C., de Lange, G. W., Pape, J. C., Bannink, J. F., van de Brink, G., ... Brugge, T. (1977). *Rapport van het Veluwe-onderzoek; Een onderzoek van natuur, landschap, en cultuurhistorie ten behoeve van de ruimtelijke ordening en het recreatiebeleid*. Wageningen.
- Thomassen, E., Wijdeven, S., Boosten, M., Delforterie, W., & Nyssen, B. (2020). *Revitalisering Nederlandse bossen*.
- Van de Peer, T., Vanhellemont, M., Ampoorter, E., Baeten, L., Muys, B., Ponette, Q., & Verheyen, K. (2015). 5 jaar FORBIO. Een tussentijdse update van het Belgische boomsoortendiversiteitsexperiment. *Bosrevue*, 54, 5–9.
- Van Den Berg, L., Nyssen, B., Desie, E., van Duinen, G.-J., Al, E., Weijsters, M., ... van den Burg, A. (2016). *Correlatief onderzoek rijk-strooiselsoorten in natuurgericht bosbeheer - Fase 1*.
- van den Berg, L., Schmitz, P., Nyssen, B., van der Burg, R., Sauren, P., Smeenge, H., & Bouwman, J. (2021). *Biodiversiteit van Brabants Bialowieza - Fase 1*.
- van den Burg, A., Bijlsma, R.-J., & Bobbink, R. (2015). *Arme bossen verdienen beter*. Zeist.
- van den Burg, A., Dees, A., Huigens, T., Bijlsma, R.-J., & de Waal, R. (2014). *Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden*.
- van den Burg, J. (1995). Het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986-1991: Een samenvatting van de resultaten. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 185–192.
- Van Der Werf, G. W., Sass-Klaassen, U. G. W., & Mohren, G. M. J. (2007). The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.03.004>
- van der Werf, S. (1991). *Bosgemeenschappen*. Wageningen: Pudoc, Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie.
- van Diggelen, J. M. H., van Dijk, G., Cusell, C., van Belle, J., Kooijman, A., van den Broek, T., ... Smolders, A. J. P. (2018). *Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- En trilvenen*. Driebergen.
- van Diggelen, R., Bergsma, H., Bijlsma, R., Bobbink, R., van den Burg, A., Sevink, J., ... Weijters, M. (2019). Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie? *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 16, 20–23.
- van Dobben, H., Bobbink, R., Bal, D., & van Hinsberg, A. (2012). *Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000*. *Alterra-rapport 2397*. Wageningen.
- van Dobben, H. F. (2009). *Lange-termijn effecten van bekalking op bosvegetatie: bruikbaarheid van oude experimenten*. Wageningen.

- van Dobben, H. F., & Vocks, M. J. M. R. (1992). *Effect van bekalking en bemesting met fosfor, magnesium en kalium op de ondergroei van eiken- en dennenopstanden op arme grond*. Wageningen.
- van Duinhoven, G., & Borkent, I. (2021). De Bossenstrategie is mensenwerk. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 172, 9–11.
- Van Nevel, L., Mertens, J., De Schrijver, A., De Neve, S., & Verheyen, K. (2014). Can shrub species with higher litter quality mitigate soil acidification in pine and oak forests on poor sandy soils? *Forest Ecology and Management*, 330, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.002>
- Vandekerkhove, K., Verstraeten, A., Sioen, G., Cools, N., De Keersmaeker, L., De Vos, B., ... Mijnsbrugge, V. (2020). *Klimaat Klimaat bosbeheer: van wetenschappelijke achtergrond naar aandachtspunten voor de praktijk*. Retrieved from www.ecopedia.be.
- Vannoppen, A., Treydte, K., Boeckx, P., Kint, V., Ponette, Q., Verheyen, K., & Muys, B. (2020). Tree species diversity improves beech growth and alters its physiological response to drought. *Trees*, 34(4), 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01981-0>
- Veluwe | natura 2000. (n.d.). Retrieved August 31, 2021, from <https://www.natura2000.nl/gebieden/gelderland/veluwe>
- Verheyen, K., Terry, R., De Schuyter, W., & Seynaeve, J. (2021). Rijkstrooiselsoorten op arme groeiplaatsen: limits to growth? Retrieved October 13, 2021, from <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2021/10/12/Rijkstrooiselsoorten-op-arme-groeiplaatsen-limits-to-growth?originNode=398&originTag=Bosrevue>
- Weijters, M., Bobbink, R., Verbaarschot, E., van de Riet, B., Vogels, J., Bergsma, H., & Siepel, H. (2018). *Herstel van heide door middel van slow release mineralengift; Resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek*. Driebergen.
- Wereld Natuur Fonds. (2020). *Living Planet Report Nederland. Natuur en landbouw verbonden*. Zeist.
- Willems, I. (2019). Lariksbastkever velt bijna duizend bomen Loenermark en Bruggelen. *De Stentor*. Retrieved from <https://www.destentor.nl/apeldoorn/lariksbastkever-velt-bijna-duizend-br-bomen-loenermark-en-bruggelen~a0774708/>
- Wolf, R. J. A. M., Engels, M., Knotters, M., Schraven, R., & Boertjes, M. (2006). *Bekalking en toevoegen van nutriënten. Evaluatie van de effecten op de vitaliteit van het bos - een veldonderzoek naar boomgroei*. Wageningen. Retrieved from www.alterra.wur.nl,
- Wolf, R. J. A. M., & Olsthoorn, A. F. M. (2006). *Bekalking en toevoegen van nutriënten. Evaluatie van de effecten op flora en bodemfauna - een literatuurstudie. Alterra-rapport 1337.4*. Wageningen.

Bijlagen

Bijlage 1. Aanvullende informatie box 2.

Op landgoed Klein Boeschoten zijn bodemboringen gedaan onder vijftien jaar oude lindes, op vijftientwintig meter afstand van de lindes onder een gemengde opstand van beuk en Douglas en op vijftig meter afstand van de lindes onder een gemengde opstand van beuk en Douglas. Hieronder zijn de afbeeldingen van de bodemboringen weergegeven (Figuur 1) en is de informatie over boom-, en struiklaag, de bodemhorizonten en pH-waardes weergegeven in Tabel 1-3.



Bijlage 2. Figuur 1. Bodems tot tachtig centimeter diepte onder de lindes (foto links), op vijftientwintig meter afstand van de lindes (foto midden) en op vijftig meter afstand van de lindes (foto rechts).

Bijlage 1. Tabel 1. Gegevens van de veldopname onder de lindes.

Locatie	Onder de lindes			
Boomlaag	Linde, beuk			
Struiklaag	Verjonging van vuilboom, hulst, tamme kastanje, lijsterbes en Amerikaanse vogelkers			
Bodemtype	Holtpodzol			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	0,5		Diepte (cm)	pH
F-laag	0		5	3,5
H-laag	0		15	3,5
	Bodemprofiel		40	4,0
Diepte (cm)	Horizont		80	5,0
0-10	Ah			
10-30	Bw		Zwak lemig	
30-80	BwCy		Sterk lemig	

Bijlage 1. Tabel 2. Gegevens van de veldopname op vijftientwintig meter afstand van de lindes.

Locatie	25 meter afstand van de lindes			
Boomlaag	Beuk, Douglas			
Struiklaag	Hulst			
Bodemtype	Holtpodzol met uitlogingsverschijnselen			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	3,0		Diepte (cm)	pH
F-laag	4,0		F-laag	3,5
H-laag	0		5	3,5
	Bodemprofiel		15	4,0
Diepte (cm)	Horizont		40	4,0
0-5	Ah		80	4,0

5-10	EBw	Blekingsverschijnselen		
10-35	Bw	Zwak lemig		
35-70	BwCy	Zwak lemig		
70-80	Cy	Zwak lemig		

Bijlage 1. Tabel 3. Gegevens van de veldopname op vijftig meter afstand van de lindes.

Locatie	50 meter afstand van de lindes			
Boomlaag	Beuk, Douglas			
Struiklaag	Hulst			
Bodemtype	Onthoofde holtpodzol (lijkt geplagd)			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	11,0		Diepte (cm)	pH
F-laag	9,0		F-laag	3,5
H-laag	0		5	3,0
	Bodemprofiel		10	3,8
Diepte (cm)	Horizont		40	4,0
0-3	Ah		80	4,0
3-40	Bw	Zwak lemig		
40-60	BwCy	Zwak lemig		
60-80	Cu	Leemarm zand		

Bijlage 2. Aanvullende informatie box 3.

Op Landgoed De Valouwe, ten noorden van Ede, zijn op twee locaties bodemboringen gedaan onder en nabij aangeplante lindes. Op locatie 1 was een 30-40 jaar oude lindelaan aanwezig in een bosopstand met als hoofdboomsoorten fijnspar en grove den en langs de randen berk en eik. Op locatie 2 stonden ± 80 jaar oude lindes omrand met opstanden met Douglas, grove den, beuk en Amerikaanse eik. Op locatie 1 is een bodemboring gedaan onder de linde, op vijftig meter afstand van de linde en op vijftig meter afstand van de linde. Op locatie 2 is een bodemboring gedaan onder de lindes en op 100 meter van de lindes vandaan. Hieronder zijn de afbeeldingen van de bodemboringen weergegeven (Figuur 1 & 2), de humusprofielen op locatie 2 (Figuur 3) en is de informatie over boom-, en struiklaag, de bodemhorizonten en pH-waardes weergegeven in Tabel 1-5.



Bijlage 2. Figuur 1. Bodems tot tachtig centimeter diepte onder de lindes (foto links), op vijftig meter afstand van de lindes (foto midden) en op vijftig meter afstand van de lindes (foto rechts) op locatie 1.

Bijlage 2. Tabel 1. Gegevens van de veldopname onder de lindes op locatie 1.

Locatie	Locatie 1, onder de linde			
Boomlaag	Linde, fijnspar, eik			
Struiklaag	Varens, Amerikaanse vogelkers			
Bodemtype	Holtpodzolgrond			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	0,5		Diepte (cm)	pH
F-laag	0,5		F-laag	3,5
H-laag	0		5	3,2
	Bodemprofiel		40	4,0
Diepte (cm)	Horizont		80	4,5
0-10	Ah	Zwak lemig		
10-45	Bw	Zwak lemig		
45-80	C	Zwak lemig		

Bijlage 2. Tabel 2. Gegevens van de veldopname op vijftig meter afstand van de lindes op locatie 1.

Locatie	Locatie 1, op 25 meter afstand van de lindes			
Boomlaag	Fijnspar, grove den			
Struiklaag	-			
Bodemtype	Holtpodzolgrond			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	0,5		Diepte (cm)	pH
F-laag	2		F-laag	3,5

H-laag	0		5	3,5
	Bodemprofiel		40	4,0
Diepte (cm)	Horizont		45	5,0
0-5	AhE	Zwak lemig	80	4,0
5-45	Bw	Zwak lemig		
45-80	C	Leemarm grind		

Bijlage 2. Tabel 3. Gegevens van de veldopname op vijftig meter afstand van de lindes op locatie 1.

Locatie	Locatie 1, op 50 meter afstand van de lindes			
Boomlaag	Fijnspar, grove den, berk			
Struiklaag	Kiemplant van hulst			
Bodemtype	Holtpodzolgrond			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	0,5		Diepte (cm)	pH
F-laag	2		F-laag	3,5
H-laag	0		5	3,5
	Bodemprofiel		10	4,0
Diepte (cm)	Horizont		40	4,5
0-5	AhE	Zwak lemig	80	5,0
5-40	Bw	Zwak lemig		
40-80	C	Leemarm grind		



Bijlage 2. Figuur 2. Bodems tot tachtig centimeter diepte onder de lindes (foto links) en op honderd meter afstand van de lindes (foto rechts) op locatie 2.



Bijlage 2. Figuur 3. Mull humusprofiel onder de tachtig jaar oude lindes op locatie 2 (foto links). Moder humusprofiel op honderd meter afstand van de lindes op locatie 2.

Bijlage 2. Tabel 4. Gegevens van de veldopname onder de lindes op locatie 2.

Locatie	Locatie 2, onder de lindes			
Boomlaag	Linde. Eromheen: Grove den, Douglas, beuk			
Struiklaag	-			
Bodemtype	Holtpodzolgrond			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	1		Diepte (cm)	pH
F-laag	0		5	3,5
H-laag	0		10	3,5
	Bodemprofiel		40	4,0
Diepte (cm)	Horizont		45	4,2
0-5	Ah	Zwak-sterk lemig	75	4,5
5-30	AB	Zwak-sterk lemig		
30-65	Bw	Zwak-sterk lemig		
65-80	C	Fijn grind		

Bijlage 2. Tabel 5. Gegevens van de veldopname op honderd meter afstand van de lindes op locatie 2.

Locatie	Locatie 2, op 100 meter afstand van de lindes			
Boomlaag	Grove den, Amerikaanse eik			
Struiklaag	Rododendron			
Bodemtype	Holtpodzolgrond			
	Strooiselprofiel (cm)	Opmerkingen	pH-profiel	
L-laag	1		Diepte (cm)	pH
F-laag	4		F-laag	3,5
H-laag	0		5	3,5
	Bodemprofiel		15	3,5
Diepte (cm)	Horizont		40	4,0
0-10	AE	Zwak lemig	80	5,0

10-35	A	Zwak lemig		
35-60	Bw	Zwak lemig		
60	C	Leemarm		