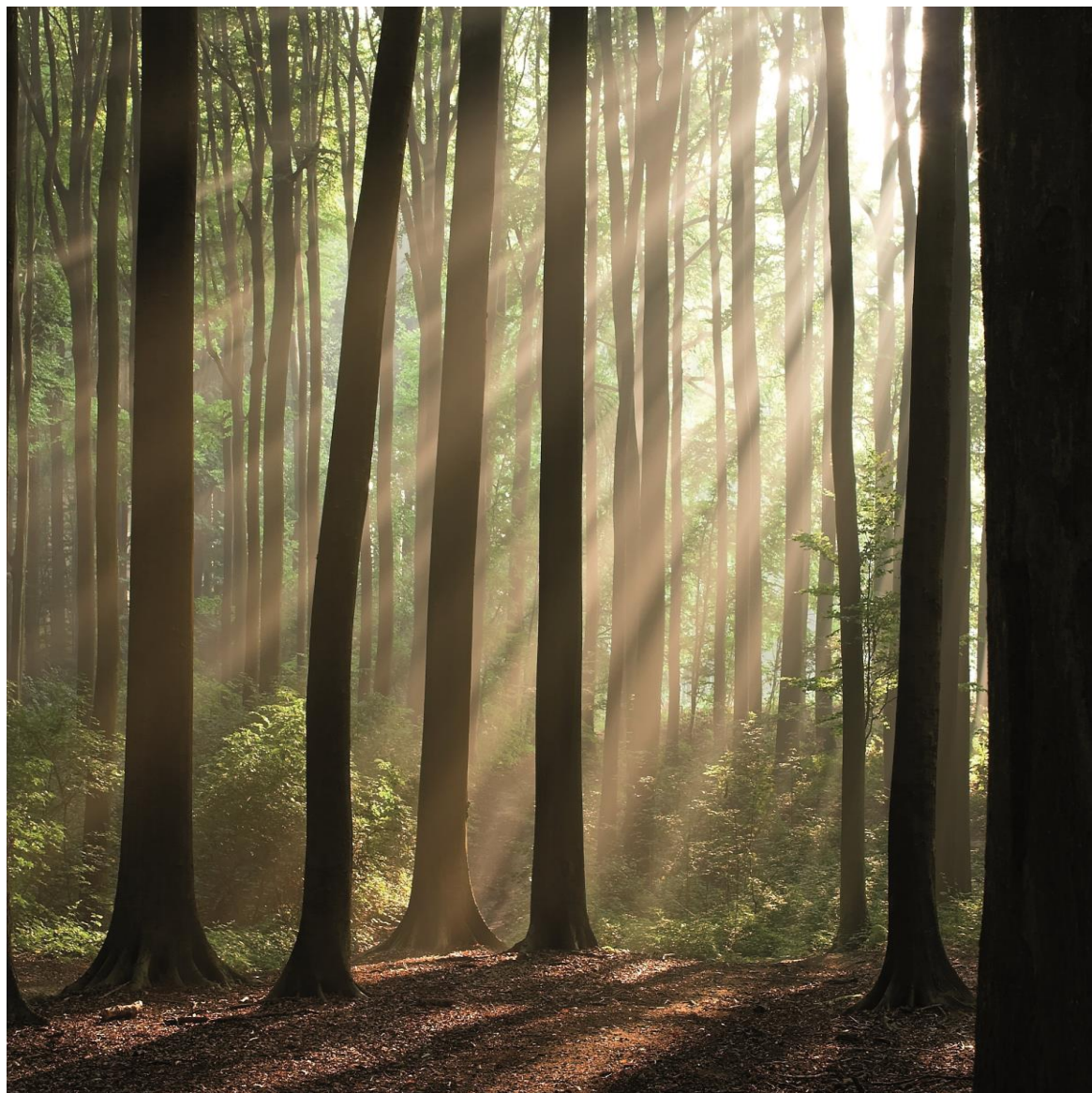




Klimaatadaptief Natuurbeheer

Het boslandschap

Sanne Van Den Berge, Isaac Lievevrouw, Marijke Thoonen, Maud Raman, Toon Spanhove, Pieter De Frenne, Kris Verheyen

Rapport in opdracht van Agentschap Natuur en Bos (ANB)

DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Klimaatadaptief Natuurbeheer

Het boslandschap

Dit rapport verschijnt in een reeks rapporten over klimaatadaptief natuur- en bosbeheer.

Samenstellers

Sanne Van Den Berge¹, Isaac Lievevrouw¹, Marijke Thoonen², Maud Raman², Toon Spanhove², Pieter De Frenne³, Kris Verheyen³

¹BOS+ Vlaanderen vzw

²Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

³Universiteit Gent, Labo voor Bos & Natuur

Leden begeleidende stuurgroep

Jeroen Panis (ANB)

Geert Sterckx (ANB)

Wim Buysse (ANB)

Jurgen Rombaut (ANB)

Contactpersonen uitvoerder

Bert De Somviele (BOS+ Vlaanderen vzw)

Kris Verheyen (Universiteit Gent, Labo voor Bos & Natuur)

Wijze van refereren

Van Den Berge, S., Lievevrouw, I., Thoonen, M., Raman, M., Spanhove, T., De Frenne, F., Verheyen, K. (2021) Klimaatadaptief Natuurbeheer - het boslandschap. Rapport in opdracht van het ANB.

Verantwoordelijke uitgever

Agentschap Natuur en Bos

De informatie in dit rapport komt niet noodzakelijk overeen met de visie van het Agentschap Natuur en Bos.

Depotnummer D/2021/3241/232

Dankwoord

Veel dank aan iedereen binnen het consortium van deze opdracht. De fijne samenwerking tussen zowel de partners van BOS+, het INBO en ForNaLab mondde uit in een wetenschappelijk onderbouwde methode en databank voor klimaatadaptief natuur- én bosbeheer.

We danken ook de stuurgroep van het ANB, met name Wim Buysse, Jeroen Panis, Geert Sterckx en Jurgen Rombauts voor hun nuttige commentaar en aanvullingen tijdens deze opdracht.

Collega's Sanne Baeten en Kristien Ooms danken we voor hun inbreng tijdens de eerste maanden van het project. Ook bedankt aan Nele Schillebeeks, Ruben Debelder en Ward Baetens voor hun bijdragen aan dit project tijdens hun stage bij BOS+.

In het bijzonder danken we alle beheerders en geïnteresseerden die deelnamen aan een of meerdere van de workshops die we gaven in het kader van het project. Ook een bijzonder grote dankjewel aan boswachter Karel Flipkens voor de boeiende rondleiding in Ophovenderheide.

Sleutelboodschappen

- **Waarom is klimaatadaptief natuurbeheer nodig?**

Klimaatverandering bedreigt het voortbestaan van heel wat soorten en ecosystemen. Het steeds frequenter en langduriger voorkomen van droogte, hitte, storm, brand ... bovenop de overige drukken tast ecosystemen telkens weer aan.

Als mens staan wij hier niet los van, zelfs in die mate dat we sterk afhankelijk zijn van de natuur. We benutten als samenleving allerlei producten en diensten die de natuur ons levert. Belangrijke ecosysteemdiensten zijn onder andere houtproductie, recreatie, cultuur en educatie, waterberging en -zuivering en zo veel meer. We hebben er dus alle baat bij om onze waardevolle natuur weerbaar te maken ten aanzien van klimaatverandering.

Deze studie gaat na wat een beheerder kan doen om de effecten van klimaatverandering beter op te vangen. Via klimaatadaptief natuurbeheer worden de negatieve effecten van klimaatverandering op de biodiversiteit en ecosysteemdiensten van het boslandschap zo klein mogelijk gehouden. Beheerders gaven mee vorm aan concrete en gebruiksvriendelijkere richtlijnen voor het klimaatadaptief natuurbeheer via drie workshops.

- **Klimaatadaptatie vergt voorzorg en monitoring**

Veel parameters in het klimaatverhaal zijn nog onbekend of onzeker. Daarom vertrekken we in dit rapport vanuit het voorzorgsprincipe. We bereiden ons namelijk beter voor op een *worst-case* scenario. Als dan blijkt dat het beter wordt dan voorspeld, hebben we niets verloren. Bovendien vertrekt dit rapport vanuit de adaptieve beheercyclus waarbij regelmatig wordt getoetst of de vooropgestelde doelen gehaald worden. De monitoring en evaluatie is de beginstap voor elke nieuwe beheercyclus. Klimaatverandering is een complex en langdurig proces. Daardoor is het nodig om monitoring en evaluatie ook als een continu en flexibel proces te zien.

- **Vertrekken vanuit structuren en processen opdat bos ook bos blijft**

We definiëren in dit rapport drie types beheerdoelen:

1. Biodiversiteitsdoelen of natuurdoelen
2. Ecosysteemdiensten
3. Structuren en processen

In dit rapport pleiten we er voor om te vertrekken vanuit die structuren en processen die een bos een bos maken. Ze liggen aan de basis van de ecosysteemdiensten en vormen het kader voor biodiversiteit. Het is op dit niveau dat klimaatverandering zal ingrijpen.

- **De effecten van klimaatverandering op het boslandschap in een notendop**

Het steeds frequenter en langduriger voorkomen droogte, hitte, storm, brand... onder invloed van klimaatverandering, bovenop de huidige milieudrukken, tast bosecosystemen (met name hun processen en structuren) telkens weer aan. Wanneer deze aantastingen zich opstapelen en het boslandschap niet voldoende tijd krijgt om zich te herstellen, zal het er op een gegeven moment in de toekomst totaal anders uitzien, waarbij de typische structuren en functies van het

bos (met name bomen die groot en oud worden, een bosmicroklimaat, een bosbodem, microreliëf, horizontale structuurdiversiteit, een systeem dat CO₂ vastlegt, ...) gewijzigd worden. Wanneer dit gebeurt en hoe dit nieuwe ecosysteem er zal uitzien, kunnen we niet voorspellen. We kunnen wel beschrijven welke klimaatgerelateerde mechanismen het grootste risico betekenen voor een zogeheten 'regimeshift' van het boslandschap in Vlaanderen.

De combinatie van klimaatverandering, verdroging en vermesting kan een drastische achteruitgang van natte bostypes veroorzaken in Vlaanderen. Het dieper en langer wegzakken van de grondwatertafel en de (periodieke) en soms langdurige verlaging van het bodemvocht heeft gevolgen voor natte natuurtypes in het boslandschap, die het karakter van de drogere bostypes krijgen.

Droogte kan de vitaliteit van boomsoorten rechtstreeks beïnvloeden, maar kan vooral de soort ook verzwakken waardoor secundaire zwakteparasieten de boom afdoden. Bij de ineenstorting van een volledige lokale populatie aan boomsoorten onder invloed van droogte en plagen, veranderen ook de structuren, processen en diensten van het boslandschap ingrijpend.

De impact van klimaatverandering op Vlaamse bossen zal niet overal aan dezelfde snelheid en met dezelfde intensiteit gebeuren. Vandaar dat een gediversifieerde adaptatiestrategie wordt voorgesteld in dit rapport.

- **De basisprincipes voor klimaatadaptief natuurbeheer**

De basisprincipes om tot klimaatadaptief natuurbeheer te komen verschillen eigenlijk niet van de algemene en goed gekende principes om de natuurkwaliteit te verbeteren. De studie verduidelijkt hoe deze principes de effecten van klimaatverandering verminderen of opvangen. Een beheerder kan de algemene principes gebruikt als toetssteen bij het opstellen van natuurbeheerplannen die rekening houden met de effecten van klimaatverandering. De basisprincipes en maatregelendatabank voor klimaatadaptief natuurbeheer werden generiek uitgewerkt voor al de landschapstypes omdat er veel overlap is. De uitwerking van de maatregelen kan variëren voor uiteenlopende landschappen, maar de bovenliggende mechanismen kennen veel overeenkomsten en interacties. Ontwikkelingen in de verschillende landschappen beïnvloeden elkaar en er is sprake van allerlei interacties, onder andere in de overgangen tussen landschapstypen. Deze klimaatadaptieve principes gaan op voor al de landschapstypes en zijn onder te brengen onder deze vier pijlers:

- Pijler 1) Robuuste natuur
 - Pijler 1.1 Vergroot de oppervlakte natuurkernen
 - Pijler 1.2 Buffer kwetsbare natuur
 - Pijler 1.3 Bevorder klimaatgedreven soortverspreiding
- Pijler 2) Goede milieuomstandigheden
 - Pijler 2.1 Beheer waterhuishouding
 - Pijler 2.2 Verminder drukken als vermesting, verzuring en verzilting
 - Pijler 2.3 Bescherm de bodem
 - Pijler 2.4 Verhinder de vestiging van schadelijke soorten
- Pijler 3) Gevarieerde ecosystemen

- Pijler 3.1 Streef naar soortenvariatie
- Pijler 3.2 Verhoog de genetische diversiteit van soorten
- Pijler 3.3 Creëer maximale structuurvariatie
- Pijler 3.4 Herstel spontane processen
- Pijler 4) Voorkomen van natuurrampen of hun impact milderen

- **Hoe veerkrachtig is je gebied voor klimaatverandering?**

Hoe kom je te weten welke maatregelen je best toepast in jouw gebied? Wellicht ben je al bezig met klimaatadaptatie, zonder het te weten of zo te benoemen. Misschien zijn nog extra inspanningen nodig en haalbaar? Via de tool (scoretabel) uitgewerkt in dit rapport kan je de veerkracht voor klimaatverandering van je gebied bepalen. Vanuit de structuren en processen van het boslandschap hebben we criteria afgeleid om deze analyse te kunnen maken. Deze criteria worden opgedeeld in:

- Criteria die de externe drukken op het gebied bepalen. Deze verzwakken het gebied bovenop de grote (toekomstige) druk van klimaatverandering.
- Criteria die over de intrinsieke ecosysteemkwetsbaarheid gaan. Sommige ecosystemen zijn namelijk gevoeliger voor klimaatverandering dan andere.

De scores op deze criteria geven uiteindelijk een inschatting van hoe klimaatweerbaar een gebied is en daaruit kan afgeleid worden welke gebieden het gevoeligste zijn én op welke criteria prioritair kan worden ingezet.

In de meeste gevallen zal je vaststellen dat een aantal veerkrachtcriteria kunnen verbeterd worden. Andere criteria liggen mogelijks buiten je directe invloedssfeer. In de databank klimaatadaptieve beheermaatregelen kan je gaan zoeken welke beheersmaatregelen kunnen ingezet worden om bepaalde criteria te verbeteren

- **Gebruik de beheermaatregeldatabank!**

We presenteren in dit rapport een overzicht van mogelijke maatregelen die een beheerder kan nemen om tegemoet te komen aan bepaalde 'slecht scorende' criteria om deze te gaan verbeteren opdat het gebied klimaatweerbarder zou worden.

Wil je snel screenen wat je kunt doen om bijvoorbeeld droogteproblemen aan te pakken of het herstelproject dat je uitwerkt extra te onderbouwen, dan kan je de maatregeldatabank doorzoeken op dit specifieke probleem. Door bv. te filteren op het klimaateffect 'droogte' lijst je de verschillende maatregelen op die dit klimaateffect milderen.

De databank werkt als een soort van kruispunt-databank om verbanden te leggen tussen klimaatverandering, effecten op landschappen en adaptieve maatregelen en is daarmee ook een leerinstrument. In de databank zijn maatregelen opgenomen van zeer praktische aard, bv. om aangeplante bomen beter te laten overleven. Maar de databank bevat ook maatregelen die een effect hebben op een hoger schaalniveau. Wat alle maatregelen gemeen hebben, is dat ze het ecosysteem veerkrachtiger maken voor klimaatverandering.

We hebben bij het inventariseren van de mogelijkheden voor natuurherstel geen onderscheid gemaakt tussen maatregelen waar een beheerder aan kan werken, binnen natuurgebieden en maatregelen die buiten zijn invloedssfeer liggen. Voor een aantal belangrijke klimaatadaptieve maatregelen is de beheerder afhankelijk van andere partijen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de aanleg van bufferzones, het wegnemen van puntbronnen van stikstofdepositie of herstel van hydrologische systemen

- **Handvaten en technische fiches voor beheerders**

Enkele beheermaatregelen worden besproken in de vorm van handvatenfiches. Die bieden meer informatie over de klimaatadaptieve (wissel)werking van (groepen van) beheermaatregelen. Voor enkele 'nieuwe' klimaatadaptieve praktische maatregelen die niet in standaardwerken beschreven staan, ontwikkelden we technische fiches. Deze omvatten technische informatie over hoe de maatregel uit te voeren en zullen worden aangeboden via Ecopedia.

We benadrukken graag nog eens dat de keuze van de uiteindelijke maatregel steeds sterk context- en doelafhankelijk is.

De volgende handvaten komen aan bod:

- Handvat behoud en versterken bosmicroklimaat
- Handvat verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems
 - Technische fiche: Steenmeel toevoegen in bossen
 - Technische fiche: Mulching bij aanplant bosplantsoen
- Handvat vertragen waterafvoer in bossen
- Handvat aanpassing van waterhuishouding
- Handvat kandidaat boomsoorten
- Handvat strategieën t.a.v. brand

- **Klimaatadaptief beheer speelt op meerdere niveaus**

- Vooreerst zijn er de ruimtelijke niveaus

Om je beheer klimaatadaptief te maken, is een analyse nodig op bestandsniveau, maar je kan de ruimere context van het landschap waarin je gebied zich bevindt niet negeren. Daarom spreken we in deze rapporten ook steeds over het boslandschap. Op dat grotere schaalniveau is het onderscheid tussen de verschillende natuurtypes minder scherp waardoor ook hierop moet gelet worden. In dat opzicht is in deze rapporten zoveel mogelijk getracht om tot één helder kader te komen dat over verschillende natuurtypes kan worden gebruikt.

De basisprincipes en maatregelendatabank voor klimaatadaptief natuurbeheer werden daarom generiek uitgewerkt voor al de landschapstypes omdat er veel overlap is. De uitwerking van de maatregelen kan variëren voor uiteenlopende landschappen, maar de bovenliggende mechanismen kennen veel overeenkomsten en interacties.

- Daaraan gelinkt zijn er de beslissingsniveaus

Tijdens de workshops en uit de gevalstudie bleek dat de veerkrachtcriteria die verbeterd kunnen worden vaak buiten de directe invloedssfeer van natuurbeheerders liggen en voorwerp zijn van politieke, beleidsmatige en maatschappelijke afwegingen en keuzes.

Voor een robuust herstel van de natuurkwaliteit zijn daarom in toenemende mate ingrepen buiten de natuurterreinen noodzakelijk die zich op een 'hoger beslissingsniveau' afspelen:

- Het verminderen van de depositie van stikstof en input van andere schadelijke stoffen op de natuur moet vooral door maatregelen buiten de natuurgebieden genomen worden zoals emissiereductie.
- Hydrologisch herstel heeft bijvoorbeeld de meeste impact wanneer dit in complete hydrologische systemen plaatsvindt en niet beperkt blijft tot relatief kleine maatregelen in de natuurterreinen zelf.
- Verbinden en vergroten van natuurgebieden en het creëren van bufferzones. Duurzaam herstel van de natuurkwaliteit is niet mogelijk zonder een omslag naar een meer duurzaam ruimtegebruik. Op de lange termijn is herstel van het landschap alleen mogelijk als een heel ruime schil rondom natuurgebieden een zekere ecologische basiskwaliteit heeft. De natuurgebieden zelf zijn te klein en staan te veel onder invloed van externe factoren om de natuurkwaliteit en het behoud van biodiversiteit te kunnen garanderen.

Het klimaatadaptief maken van bossen is dus een complexe opdracht die niet alleen door de beheerder kan ondernomen worden, maar een holistische kijk op het ecosysteem vergt.

Toch zijn we ervan overtuigd dat er wel heel wat zaken zijn die een beheerder kan ondernemen om zijn of haar bos weerbaarder te maken voor klimaatverandering. We hopen dat dit rapport een bron van inspiratie kan bieden aan iedereen die een klimaatadaptief beheer wil implementeren.

Inhoudstafel

Dankwoord	i
Sleutelboodschappen.....	ii
Inhoudstafel	vii
Inleiding	1
0.1 Klimaatbestendige ecosystemen door klimaatmitigatie en -adaptatie	1
0.2 Adaptieve beheercyclus als kader voor dit rapport	3
Stap 1: Doelen van het boslandschap	6
1.1. Beschrijving en geografische verspreiding boslandschap	6
1.1.1. Definitie	6
1.1.2. Situatie Vlaanderen	7
1.2. Belangrijkste ecologische structuren en processen	8
1.2.1. Ecologische structuren	9
Bomen en struiken	9
Vegetatiestructuur en structuurvariatie	10
Dood hout	12
Het microklimaat	12
De bodem	13
Micro- en macroreliëf in het bos	15
1.2.2. Ecologische processen	16
Primaire productie en koolstofopslag	16
Neerslagverdeling, infiltratie, evapotranspiratie	16
Nutriëntenrecyclage	17
1.3. Externe drukken op boslandschap	18
1.3.1. Fragmentatie	18
1.3.2. Milieudruk	19
Wateronttrekking en drainage	19
Bodemverrijking & Verzuring	19
Verontreiniging	20
Bodemcompactie	20
Recreatiedruk	22
1.3.3. Biotische druk	22
Invasieve exoten	22

Plagen en ziektes	23
1.3.4. Calamiteiten	23
1.4. Belang van biodiversiteit	24
1.5. De belangrijkste ecosysteemdiensten	25
1.5.1. Houtproductie	25
1.5.2. Groene ruimte voor buitenactiviteiten	26
Stap 2: Effecten van klimaatverandering	27
2.1. Waargenomen en verwachte Klimaatverandering in Vlaanderen.....	27
2.1.1. Temperatuur	28
2.1.2. Verdamping en neerslag	29
2.1.3. Wind	30
2.2. Effecten van klimaatverandering op het boslandschap.....	31
2.2.1. Effecten van klimaatverandering op de belangrijkste ecologische structuren en processen	31
Effect op ecologische structuren.....	31
Ecologische processen.....	33
2.2.2. Effecten van klimaatverandering op externe drukken.....	35
Fragmentatie	35
Milieudruk	35
Biotische druk.....	37
Calamiteiten	38
2.3. Effect van klimaatverandering op biodiversiteit	39
2.4. Effect van klimaatverandering op de belangrijkste ecosysteemdiensten	39
2.4.1. Houtproductie	39
2.4.2. Groene ruimte voor buitenactiviteiten	40
2.5. Tipping points en regimeshifts van het boslandschap	41
Stap 3: Adaptatiestrategie	44
3.1 Principes voor adaptief natuurbeheer	45
Pijler 1 Robuuste natuur	45
- Vergroot de oppervlakte natuurkernen	45
- Buffer kwetsbare natuur	46
- Bevorder klimaatgedreven soortverbreding.....	46
Pijler 2 Goede milieumomstandigheden	47

- Beheer de waterhuishouding.....	47
- Bescherm de bodem	48
- Verhinder de vestiging van schadelijke soorten	49
Pijler 3 Gevarieerde ecosystemen.....	49
- Streef naar soortenvariatie	49
- Verhoog de genetische diversiteit van soorten	50
- Creëer maximale structuurvariatie	50
- Speel in op spontane processen.....	51
- Behoud gebufferd microklimaat	51
Pijler 4 Voorkomen van natuurrampen of hun impact milderen.....	52
3.2 Werkwijze voor het bepalen van lokale adaptatieprioriteiten	54
3.2.1 Veerkrachtcriteria	54
1. Criteria voor de beoordeling van externe drukken op landschapsniveau	54
2. Criteria voor de beoordeling van de kwetsbaarheid van ecosystemen.....	54
3.2.2 De scoretabel invullen.....	55
3.2.3 De veerkracht en potenties van je gebied visueel weergeven	57
3.3 Kies adaptieve beheermaatregelen	60
Stap 4: Implementatie beheermaatregelen.....	61
4.1 Toelichting bij de maatregelentabel	61
4.1.1. Opbouw maatregelendatabank	61
4.1.2. Gebruik maatregelendatabank	61
4.2. Handvaten voor beheerders	65
4.2.1. Handvat behoud en versterken bosmicroklimaat.....	65
4.2.2. Handvat verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems	76
4.2.3. Handvat vertragen waterafvoer in bossen.....	83
Vertragen ontwatering boslandschap.....	83
Retentiecapaciteit boslandschap verhogen	88
4.2.4. Handvat aanpassing van waterhuishouding	90
Water besparen.....	91
Water vasthouden.....	92
Water bergen	95
Aanpassen	96
Waterafvoer	98

Randvoorwaarden bij het toepassen van hydrologische herstelmaatregelen	98
Studie van je gebied	100
4.2.5. Handvat kandidaat boomsoorten	102
Geobserveerde en voorspelde reacties van boomsoorten op de klimaatverandering	102
Situatieschets Vlaanderen.....	104
Nood aan meer onderzoek en praktijktesten	116
Boomsoortenmenging blijft sleutelboodschap	117
4.2.6. Handvat strategieën t.a.v. brand	118
Inleiding.....	118
Natuurbranden in Vlaanderen	118
Natuurbrand en klimaatverandering	120
Typering natuurbranden	121
Wat kan de beheerder aan brand doen?	123
Stap 5: Monitor effectiviteit.....	134
Suggesties voor verdere ontwikkelingen, onderzoek en beleid	135
Casussen boslandschap.....	137
Ophovenderheide	137
Algemene info	137
Situering	137
Eigendom en beheer	137
Toelichting bij het bestand.....	138
Identificeren adaptatiestrategie	139
Bepalen van het Europees habitattypes	139
Y-as: Criteria voor externe drukken	139
X-as: Criteria voor ecosysteem-kwetsbaarheid	143
Overzicht	147
Implementatie beheermaatregelen.....	148
Aelmoeseneiebos.....	151
Algemene info	151
Situering	151
Evolutie land- en bosgebruik.....	151
Eigendom en beheer	151
Toelichting bij de bestanden	152

Overzicht 5J	152
Identificeren adaptatiestrategie	152
Implementatie beheermaatregelen	154
Overzicht 2H	154
Identificeren adaptatiestrategie	154
Implementatie beheermaatregelen	156
Bibliografie	157
Bijlages	168
Bijlage 1. Natuurstreefbeelden en Europese habitats	168
Bijlage 2. Politiek mondiaal relevante omslagelementen	168
Bijlage 3: Technische fiche: Steenmeel toevoegen in bossen	168
Bijlage 4. Technische fiche: Mulching bij aanplant bosplantsoen	168
Bijlage 5: Criteria veerkracht: Ophovenderheide 205a	168
Bijlage 6: Criteria veerkracht: Aelmoeseneiebos 5J	168
Bijlage 7: Criteria veerkracht: Aelmoeseneiebos 2H	168

Inleiding

0.1 Klimaatbestendige ecosystemen door klimaatmitigatie en -adaptatie

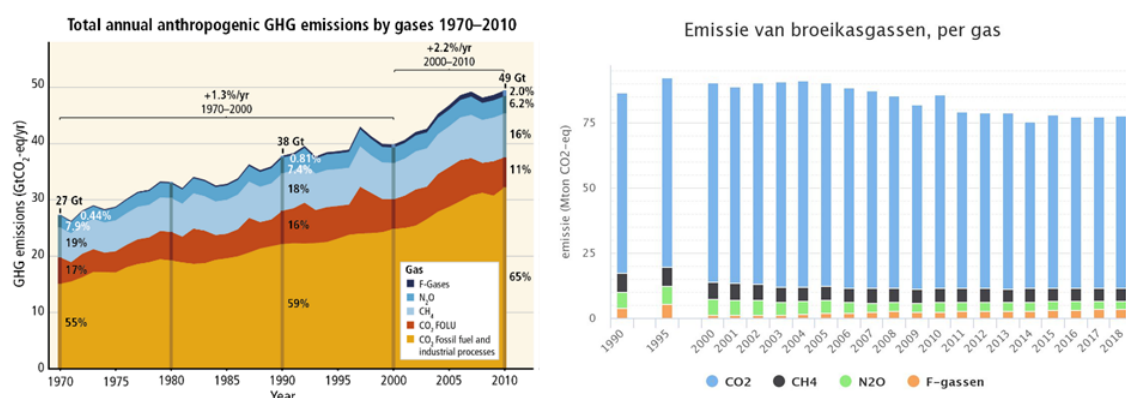
De aarde warmt op, met zware gevolgen voor soorten, ecosystemen en de mensheid.

Het vijfde synthesesrapport van het toonaangevende Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014) concludeert dat de voorbije drie decennia de warmste waren sinds het begin van de metingen. De oorzaak van dit alles wordt met uitermate hoge zekerheid toegeschreven aan menselijke factoren, in het bijzonder de toegenomen uitstoot van broeikasgassen zoals koolstofdioxide, methaan en stikstofoxides als gevolg van economische vooruitgang en de groei van de wereldbevolking. De atmosferische concentraties CO₂ zijn de hoogste in 800.000 jaar.

De gevolgen zijn enorm: de temperatuur van de atmosfeer en oceanen neemt hierdoor toe. De sneeuwkapen smelten aan ongezien tempo waardoor de zeespiegel stijgt. Oceanen verzuren. Een aantal extreme fenomenen zoals hittegolven, extreem lange droge periodes, hoge zeespiegels en felle regenbuien zitten in meerdere regio's in stijgende lijn.

Het voortbestaan van heel wat soorten en ecosystemen komt hierdoor in het gedrang. Ook voor de mensheid zijn er ernstige bedreigingen door deze klimaatverandering zowel rechtstreeks door onder andere weersextremen als onrechtstreeks door onder andere instabiliteit van ecosystemen.

Internationaal werd afgesproken om de opwarming onder de drempel van 2°C ten opzichte van het pre-industriële tijdperk (< 1750) te houden via het inperken van onze uitstoot aan broeikasgassen (Paris Agreement, 2015). Uit onderzoek blijkt namelijk dat een stijging hoger dan 2 graden rampzalige gevolgen zal hebben voor mens, dier en natuur (Paris Agreement, 2015). Als we echter naar de huidige evolutie kijken van de uitstoot van de broeikasgassen, zien we dat deze trend nog niet ingezet is. Zowel globaal als in Vlaanderen (Figuur 1) neemt de uitstoot niet snel genoeg af. Afhankelijk van het scenario ligt de verwachte verandering in gemiddelde temperatuur in België tussen de 0,7°C en 5,0°C tegen het einde van de eeuw (KMI, 2020).



Figuur 1. Links: De evolutie in de mondiale uitstoot van broeikasgassen tot 2010. Op de figuur is nog geen daling van de uitstoot te zien. (Bron: (IPCC, 2014)). Rechts: De evolutie in de uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen tot 2018. Op de figuur is een stagnatie te zien in de uitstoot. (Bron: <https://www.milieurapport.be>, geraadpleegd op 12/05/2021).

Voor deze studie werd geopteerd voor het hoge impact scenario, omdat dit het best overeenkomt met de meest recente voorspellingen (Van Der Aa et al., 2015). Dit betreft een 'business-as-usual'-scenario inzake wereldwijde uitstoot en concentraties aan broeikasgassen, waarbij het huidige uitstootpad blijft aangehouden en de mens er niet in slaagt de komende decennia de weg naar een mondiale, koolstofarme economie in te slaan.

Het feit dat er onzekerheid bestaat over de aard en ernst van de impact klimaatverandering op ecosystemen wordt niet gezien als een reden om maatregelen uit te stellen. We gingen uit van het voorzichtigheidsbeginsel (Brundtland rapport, 1987) waarbij de kans op serieuze of onomkeerbare schade voldoende aanleiding is om nu al maatregelen te nemen.

Er moeten dus extra en drastische maatregelen genomen worden als we de vooropgestelde doelen willen behalen. Die maatregelen focussen zich op twee strategieën:

1. Enerzijds zijn er **mitigatiemaatregelen**. Mitigatie verwijst naar maatregelen die gericht zijn op het reduceren van atmosferische concentraties van broeikasgassen.
2. Naast deze emissiereductie-verplichtingen moeten de partijen van het Kyoto-protocol ook maatregelen nemen om de negatieve gevolgen van klimaatverandering te verminderen. Dit zijn **adaptatiemaatregelen**. Adaptatie omvat maatregelen om de negatieve effecten van klimaatveranderingen beter op te vangen, zonder de oorzaak aan te pakken.

Klimaatmitigatie en -adaptatie staan niet los van elkaar. Acties die worden ondernomen rond klimaatadaptatie hebben vaak een effect op vlak van klimaatmitigatie en vice versa.

Het ontwerp van het Vlaamse Energie- en Klimaatplan (2021-2030) stelt doelen en maatregelen voor op de sectoren die niet gevat worden door het Europees Systeem van Verhandelbare Emissierechten (EU ETS): de gebouwen, transport, landbouw, afval en een klein deel van de industrie. Het is immers enkel voor deze sectoren dat de lidstaten zelf doelstellingen moeten naleven. De focus ligt op de directe emissies van elke sector. Het nieuwe Vlaamse Regeerakkoord bevestigt eveneens het cruciale belang van natuurbeheer in dit kader. Men zet daarbij niet alleen in op klimaatmitigatie door duurzaam en zorgvuldig landgebruik en -beheer, de natuur krijgt ook een prioritaire rol in klimaatadaptatie.

Met klimaatmitigatie en -adaptatie proberen we de risico's voor biodiversiteit en ecosysteemdiensten, of de kwetsbaarheid van natuur en de samenleving voor en door klimaatverandering, te verminderen. Mogelijks biedt het veranderend klimaat ook kansen waar we van kunnen profiteren. Het centrale concept is de natuur en haar relatie tot de samenleving meer weerbaar te maken.

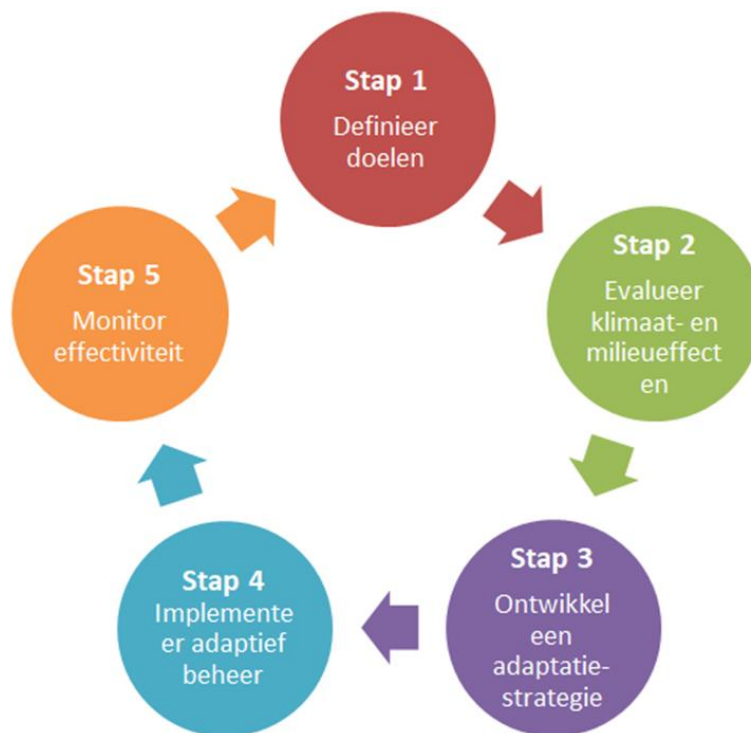
Het doel van dit rapport is concretere en gebruiksvriendelijkere richtlijnen voor het boslandschap, graslandschap, landschap van open wateren en moerassen en het heidelandschap aan te bieden. In opdracht van het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) onderzoeken we hoe verschillende landschapstypes meer klimaatbestendig kunnen gemaakt worden via klimaatadaptief beheer.

Er werd in dit project gekozen voor een opdeling in landschapstypes. De processen en structuren, impact van klimaatverandering en de beheermaatregelen zijn immers vaak landschapsspecifiek. Uiteraard zijn in de meeste gebieden elementen aanwezig uit verschillende landschappen en kunnen klimaatverandering en milieudrukken op sommige van die elementen eenzelfde invloed uitoefenen.

0.2 Adaptieve beheercyclus als kader voor dit rapport

Als we rekening willen houden met klimaatverandering moeten we ons beheer aanpassen. Dit wil zeggen dat we een beheerstrategie en beheermaatregelen kiezen die rekening houden met klimaat- en milieueffecten. De veranderende klimatologische omstandigheden, de onzekerheid daarvan en de onzekerheid van de specifieke effecten op individuen, populaties en ecosystemen, vragen om een adaptief beheer (Demey et al., 2015).

Het rapport bestaat dan ook uit vijf hoofdstukken die overeenstemmen met de vijf 'stappen' binnen de adaptieve beheercyclus (Figuur 2).



Figuur 2 Schematische weergave van adaptief beheer onder invloed van klimaatverandering en andere milieudrukken (naar Demey et al. 2015).

- **Definieer doelen**

De eerste stap van de adaptieve beheercyclus bestaat uit het stellen van de doelen. Welke biodiversiteitsdoelen en ecosysteemdiensten (ESD) wil je verkrijgen via beheer? In het eerste hoofdstuk worden dan ook de belangrijkste ecologische structuren en processen die aan de basis liggen van deze biodiversiteitsdoelen en ESD omschreven en opgelijst.

- **Evalueer klimaat- en milieueffecten**

De tweede stap beschrijft wat de impact is van klimaatverandering op de ecologische structuren, processen en beheerdoelen die daaruit volgen. Het tweede hoofdstuk geeft eerst een algemene toelichting bij klimaatverandering en beschrijft dan de verwachte impact van klimaatverandering.

- **Ontwikkel een adaptatiestrategie**

In de derde stap ga je zelf aan de slag. Je ontwikkelt een strategie om de belangrijkste structuren en processen zoveel mogelijk te behouden. Dit doe je door rekening te houden met landschapsspecifieke klimaateffecten.

Het bepalen van de strategie bestaat uit 2 delen:

- Algemene principes voor adaptief beheer om landschappen weerbaarder te maken tegen klimaatverandering, of om effecten te milderen;
- Een werkwijze en tool om na te gaan hoe kwetsbaar/veerkrachtig je gebied is voor klimaatverandering. Met de tool kan je een gebiedsanalyse uitvoeren door een aantal criteria voor klimaatkwetsbaarheid/weerbaarheid te scoren. Hierdoor wordt duidelijk wat de lokale adaptatieprioriteiten kunnen zijn.

Via de adaptatieprioriteiten, kom je terecht bij een reeks van maatregelen waaruit je de meest geschikte kan kiezen voor je gebied.

- **Implementeer adaptief beheer**

Eenmaal de te volgen strategie duidelijk is, kan je adaptieve maatregelen toepassen om het gebied klimaatrobuuster maken.

We bieden hulpmiddelen aan voor het implementeren van adaptatiebeheer:

1. Databank klimaatadaptieve beheermaatregelen: Elke maatregel is gekoppeld aan de effecten van klimaatverandering die ze milderen (H2), adaptieve beheerprincipes (3.1) en klimaatkwetsbaarheidscriteria (3.2). We voorzien ook een kolom met een link naar naslagdocumenten/-pagina's waarin de beheermaatregel uitgebreider wordt besproken.
2. Handvaten: Voor een aantal (groepen) van de beheermaatregelen hebben we handvaten voor beheerders ontwikkeld in aparte hoofdstukjes. Hierin wordt de samenhang tussen verschillende maatregelen voor 1 bepaald beheerdoel beschreven.
3. Technische fiches: We stelden enkele fiches op van beheermaatregelen (en hun klimaatadaptieve werking) die niet beschreven staan in standaardwerken voor beheerders. De technische fiches worden ook via Ecopedia aangeboden.

- **Monitor effectiviteit**

Beheermaatregelen zijn pas effectief wanneer de gestelde doelen worden bereikt. Wanneer doelen niet bereikt worden, moeten beheermaatregelen immers aangepast of veranderd

worden. Indien dit geen optie is, moet onderzocht worden waarom de doelstellingen met deze maatregelen niet kunnen bereikt worden. Kan de oorzaak hiervan worden weggenomen? Eventueel kan overwogen worden om de beheerdoelen zelf bij te stellen. In hoofdstuk 5 gaan we hier kort in

Binnen dit rapport werd voor elk landschapstype een casus uitgewerkt waarbij we stap 1 tot en met stap 4 van dit rapport doorlopen. De casussen demonstreren hoe je zelf aan de slag kan gaan met de hulpmiddelen uit dit rapport.

Stap 1: Doelen van het boslandschap

Het doel van dit eerste hoofdstuk is het definiëren van de structuren en processen die een bos een bos maken én die beïnvloed zullen worden door klimaatverandering. Bijgevolg is het belangrijk in te zetten op het behoud van deze structuren en processen in het kader van klimaatadaptief beheer. Als beheerder van een boslandschap zijn er natuurlijk meerdere beheerdoelstellingen mogelijk. Zo kunnen er in het algemeen drie types beheerdoelen onderscheiden worden:

- Het behoud van de structuren en processen die een bos een bos maken;
- Het behoud van biodiversiteit;
- Het behoud van de ecosysteemdiensten.

De focus in dit rapport ligt op het eerste type beheerdoel. De structuren en processen van bossen liggen namelijk onder sterke druk en zullen onder nog meer druk komen te staan bij een doorgedreven klimaatverandering. De structuren en processen liggen aan de basis van ecosysteemdiensten en zijn grotendeels het gevolg van biodiversiteit en/of beheer. Deze moeten dus in eerste plaats beschermd en behouden worden.

In dit inleidend hoofdstuk geven we eerst een definitie van het boslandschap en beschrijven in een notendop de situatie van de Vlaamse bossen. Vervolgens beschrijven we de voornaamste ecologische structuren en processen in dit landschapstype en de voornaamste externe drukken op bos die relevant zijn om in acht te nemen bij een klimaatadaptief beheer. We onderscheiden immers twee vormen van klimaatgevoeligheid van het boslandschap: enerzijds de intrinsieke gevoeligheid van het ecosysteem en anderzijds de gevoeligheid die voortkomt uit externe drukken (zoals fragmentatie, milieudrukken, biotische drukken en calamiteiten). De intrinsieke gevoeligheid van het ecosysteem wordt bepaald door de ecologische structuren en processen binnen dat ecosysteem. Een ecosysteem dat nu reeds sterke externe drukken ondervindt, zal waarschijnlijk minder veerkrachtig kunnen reageren op de extra druk veroorzaakt door klimaatverandering. We bespreken ook kort het belang van biodiversiteit en de belangrijkste ecosysteemdiensten van het boslandschap.

1.1. Beschrijving en geografische verspreiding boslandschap

1.1.1. Definitie

Het boslandschap wordt in deze studie gedefinieerd als een landschap dat wordt gedomineerd door bos, met bomen en struiken met inbegrip van open plekken en erop aansluitende open vegetaties en de overgangen daarnaartoe.

De term 'landschap' wordt gehanteerd om de lezer er attent op te maken dat het bij de aanpak van klimaatverandering cruciaal is om over de eigendoms- en bosgrenzen heen te kijken omdat de matrix waar het bos zich in bevindt een grote invloed uitoefent op het bos en haar bestanden.

1.1.2. Situatie Vlaanderen

Bos is op veel plaatsen in Vlaanderen de potentieel natuurlijke vegetatie (Hermy et al., 2003; *Potentieel Natuurlijke vegetatie*, n.d.). Door een intensief beheer of andere verstoringen- of milieufactoren wordt de successie naar bos echter op vele plaatsen tegengehouden. In totaal beslaat het Vlaamse bosareaal - volgens de laatste cijfers - 138.815 ha (± 4904 ha) (Quataert et al., 2019). Dat komt overeen met 10,38% ($\pm 0,36\%$) van de totale Vlaamse oppervlakte. Vlaanderen vormt hierdoor één van de meest bosarme regio's in West-Europa (BOS+, 2019). Bos in Vlaanderen komt dan ook sterk versnipperd voor, met grotere complexen in de Antwerpse en Limburgse Kempen, maar met het gros van de bossen aan een gemiddelde oppervlakte van slechts één hectare. 60% van de Vlaamse bossen is dan ook in privé-eigendom (*Tweede Vlaamse Bosinventaris*, 2019), en wordt beheerd door verschillende partijen wat de impact van beheervorschriften moeilijker maakt.

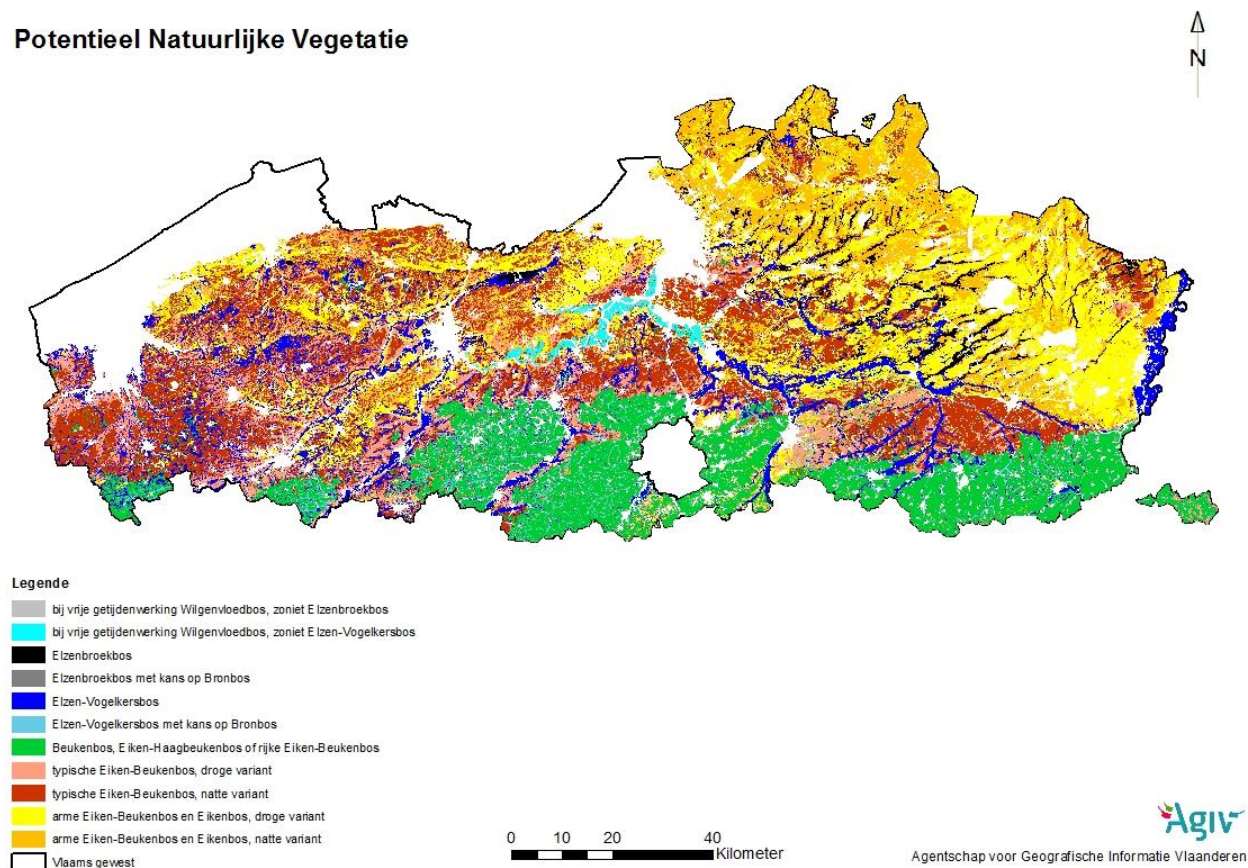
Bovenop het lage bosareaal vormt ook de kwaliteit van onze bossen een belangrijk aandachtspunt. Zo zijn de Vlaamse bossen sterk versnipperd (den Ouden, Verheyen, et al., 2016; Hermy et al., 2003) en staan onze bossen onder verschillende drukken (Hermy et al., 2003). Bovendien werden veel bossen in de (voor bos) recente geschiedenis geteisterd door onder andere een reeks oorlogen of ontbossingen door bezettingen. Vlaanderen heeft daardoor niet alleen een relatief klein aandeel aan bos met heel oude bomen maar ook op landschapsniveau verdween veel bos voor andere vormen van landgebruik. Dit zorgde er voor dat het aandeel oud bos in Vlaanderen laag is¹.

Uit de eerste analyses van de tweede Vlaamse bosinventarisatie blijkt echter dat de kwaliteit van onze bossen op andere vlakken wel een positieve evolutie doormaakt. Tussen 2000 en 2020 werden onze bossen meer divers in boomsoortensamenstelling en nam het relatieve aantal inheemse boomsoorten toe. De omvorming van (homogene) naaldbestanden is verder ook duidelijk ingezet met een daling van 37% naar 27% van alle geïnventariseerde bestanden met een grondvlak van meer dan 80% naaldhout. Ook qua structuur is het bos verbeterd. Het bosbeeld van gelijkvormige bestanden met slechts één etage is minder prominent aanwezig en het aandeel staand dood hout is significant gestegen. Tenslotte is ook het gemiddelde bestandsvolume gestegen van 216 m³/ha naar 274 m³/ha (Govaere, 2020).

Een uitgebreidere beschrijving van de situatie in Vlaamse bossen kan gevonden worden in de tweede Vlaamse Bosinventaris (*Tweede Vlaamse Bosinventaris*, 2019) of in de natuurrapporten van INBO (instituut voor natuur- en bosonderzoek).

¹ Oud bos is een plaats waar reeds sinds 1775 (op de kaarten van Ferraris) onafgebroken bos staat.

Potentieel Natuurlijke Vegetatie



Figuur 3. Potentieel Natuurlijke Vegetatie Vlaanderen. Alle gekleurde gebieden tonen waar potentieel bos zou kunnen voorkomen in Vlaanderen (Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen, 2002).

1.2. Belangrijkste ecologische structuren en processen

Met ecologische structuren bedoelen we de verschillende elementen waaruit het boslandschap is opgebouwd. Het gaat om biotische elementen zoals gemeenschappen van dieren, planten (bomen en struiken in het bijzonder), micro-organismen en dood hout, maar ook hun abiotische omgeving. Ecosysteemstructuren variëren in functie van abiotische kenmerken zoals bodemtype, zuurgraad, voedselrijkdom, vocht, temperatuur, hoogte en reliëf en in functie van biotische factoren zoals aantallen en diversiteit van levende organismen (Van Reeth et al., 2014).

Biotische en abiotische elementen beïnvloeden elkaar via diverse ecologische processen of ecosysteemprocessen (Van Reeth et al., 2014). Zo bepalen de abiotische standplaatsfactoren welk type levensgemeenschap zich kan ontwikkelen en hebben deze levensgemeenschappen op hun beurt een invloed op de abiotiek. Het samenspel tussen de verschillende ecologische structuren en processen zal uiteindelijk leiden tot een uniek bosbeeld. Om de ecologische kwaliteit van onze bossen te garanderen en controleren worden bepaalde streefbeelden gehanteerd naargelang de standplaats. In Europa zijn de Europese habitattypes daarvoor het belangrijkste instrument. Deze Europese habitattypes werden voor de Vlaamse context vertaald en uitgebreid met enkele specifiekere Vlaamse bostypes tot de natuurstreefbeelden (zie Bijlage

1). Dit rapport werd echter opgesteld los van deze natuurstreefbeelden, gezien het adaptief beheer zich richt op het behouden van de belangrijkste structuren en processen die een bos een bos maken wat geldt in elk type bos en bij het opstellen van de natuurstreefbeelden geen rekening werd gehouden met de impact van klimaatverandering.

In onbeheerde climaxbossen zijn het spontane processen en biodiversiteit die tot een bepaalde structuur leiden, maar in het grootste deel van de Vlaamse bossen is bosbeheer de belangrijkste driver op de ecologische structuur en heeft een beheerder dus veel invloed hierop. Dit is van belang in het vervolg van dit rapport.

In dit hoofdstuk trachten we kort duiding te geven bij die structuren en processen die van belang zijn in kader van klimaatverandering en -adaptatie. Voor een uitgebreide beschrijving van de structuren en processen in het boslandschap verwijzen we graag naar onder meer het boek *Bosecologie en Bosbeheer* (den Ouden, Muys, et al., 2016) en het boek *Natuurbeheer* (Hermly et al., 2004).

1.2.1. Ecologische structuren

Wat het boslandschap uniek maakt ten opzichte van andere landschappen, is de dominante aanwezigheid van houtige planten, bomen en struiken. Deze soorten creëren de ecologische structuren die een bos tot een bos maken, zoals de vegetatiestructuur, de aanwezigheid van dood hout, het bosmicroklimaat en de typische bosbodem met haar unieke bodembiota.

Bosbeheer speelt vaak rechtstreeks in op deze ecologische structuren van bossen. De hieronder beschreven structuren beïnvloeden op hun beurt sterk de belangrijkste parameters voor de groei van planten: licht, vocht en nutriënten. Het is dan ook via een aangepast beheer van deze structuren dat het bos weerbaarder kan gemaakt worden tegen de verwachte gevolgen van klimaatverandering.

Bomen en struiken

De meest typerende ecologische structuurelementen in een bos zijn ongetwijfeld de bomen en struiken. Hun lange levensduur, grote hoeveelheid boven- en ondergrondse interactie, wisselwerking met andere organismen, onderlinge competitie, externe verstoring, ... zijn de belangrijkste sturende factoren in de bosontwikkeling en leiden tot structuurdiversiteit (zie volgende hoofdstukje).

De meeste boomsoorten in onze regio kunnen potentieel heel oud worden, een grove den kan bijvoorbeeld 200 – 300 jaar oud worden (Schütt & Stimm, 2014) en uitzonderlijk zelfs tot 600 jaar. Eiken kunnen nog ouder worden.

De aanwezigheid van oude bomen is essentieel voor het ondersteunen van de biodiversiteit in bossen. Grote, oude bomen hebben de grillen van het weer doorstaan, en bieden door inwerking van insecten en ziekten via kleine holtes vele verschillende niches aan tal van faunasoorten. Oude bomen zijn dus belangrijker in termen van biodiversiteit gezien ze een bredere range aan soorten zullen ondersteunen. Ook in termen van koolstofopslag en

koolstofstocks is de aanwezigheid van oude bomen belangrijk. Hoe groter de boom, hoe meer koolstof er opgeslagen zit in zijn biomassa. Tot slot slaan de oudste bomen in een bos actief het meeste koolstof op uit de atmosfeer gezien hun grote bladoppervlakte (Stephens et al. 2007, Luyssaert et al. 2008, Lewis 2009).

Vegetatiestructuur en structuurvariatie

Binnen het boslandschap onderscheiden we enerzijds verticale structuur(variatie) en anderzijds horizontale structuur(variatie). Structuurvariatie van bossen is een belangrijke indicator voor de kwaliteit van een bos. De biodiversiteit van de fauna is bijvoorbeeld in belangrijke mate afhankelijk van een goede structuuropbouw. Structuurvariatie zorgt immers voor heterogeniteit in standplaats en microklimaat, waardoor er potentieel meer soorten op eenzelfde oppervlakte kunnen leven.

Verticale structuurvariatie slaat op de verschillende 'lagen' van bos. Naast de bomen zijn namelijk ook andere vegetatiestructuren zoals struiken en bosplanten van groot belang in bossen. Ze vormen respectievelijk de struiklaag en de kruidlaag. Soms wordt ook nog van de moslaag gesproken die de onderste laag vormt. Deze lagen zijn belangrijke structuurlagen. Ze worden namelijk zelden door de mens aangeplant – in tegenstelling tot de boomlaag – en bieden op die manier een betere indicatie van de abiotische omstandigheden binnen het bos. De boomlaag kan verder worden opgedeeld in de bovenetage met volwassen bomen, de nevenetage en de onderetage met verjonging. De onderetage maakt mee deel uit van de struiklaag.

De horizontale structuurvariatie slaat op het voorkomen van verschillende vegetatiestructuren langs een horizontale gradiënt zowel op bestandsniveau als op schaalniveau bos. We onderscheiden verschillende ontwikkelingsfasen: open fase (inclusief verjongings-/vestigingsfase), jonge fase, dichte fase, stakenfase, boomfase en vervalfase.

In (theoretisch) volledig ongestoorde bosontwikkeling bepalen vooral de standplaats, de verjongingsdynamiek van aanwezige zaadbomen, de mate van verstoring, de wilddruk, humusvorm en andere factoren hoe die verschillende fasen naast en door elkaar heen voorkomen (Bijlsma et al., 2010). Een ongestoorde bosontwikkeling verloopt dus niet lineair naar een climaxvegetatie maar verloopt cyclisch waarbij de cyclus in aanpalende cellen in de tijd kan verschoven zijn en de oppervlakte van die cellen kan verschillen (den Ouden, Muys, et al., 2016; Scherzinger, 2004).

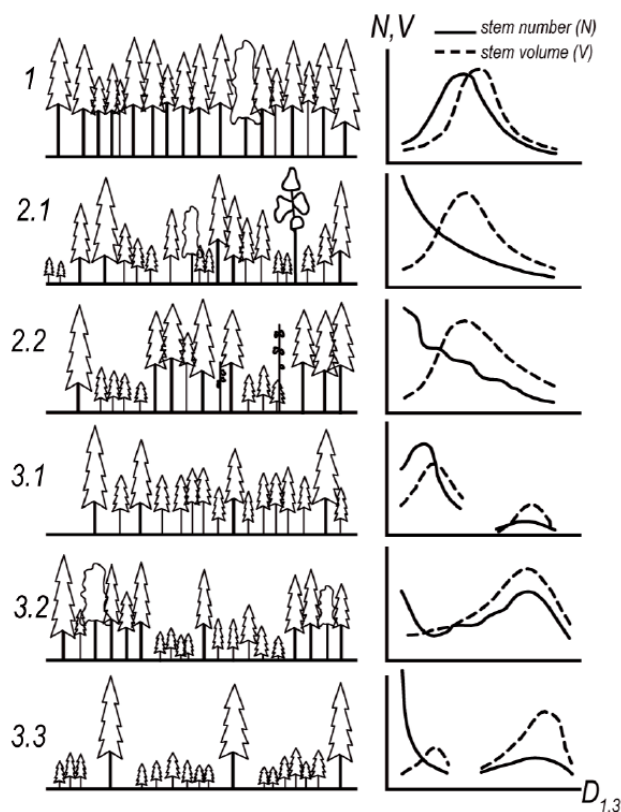
Uit referentiebeelden van Europese bossen die zich lange tijd ongestoord konden ontwikkelen blijkt dat ongeveer de helft (50%) van de oppervlakte uit cellen bestaan die zich in de boomfase bevinden, 35 % - 45 % bevindt zich in jonge, dichte of vervalfase en 5 – 15 % zit in de open fase (inclusief vestigingsfase met boompjes tot 2 à 3 m hoog). Gebeurt de verstoring door individueel afstervende bomen dan ligt het aandeel open fase eerder tegen 5 %, bij schoksgewijze verstoring ligt dat laatste aandeel eerder tegen de 15 % (Sauren et al., 2020).

De structuurvariatie wordt nog verhoogd door de aanwezigheid van open plekken in het bos. Open plekken kunnen integraal deel uitmaken van de bosontwikkeling (Hermý et al., 2003) en behoren zowel juridisch (*Bosdecreet*, 1993) als ecologisch (wanneer relatief klein) tot het bos (Hermý et al., 2004). Denk maar aan de naakte bodems die interessant zijn voor bepaalde bijen of open corridors voor vlinders. Het is echter wel belangrijk dat men de invloed van open plekken op bossen goed inschat. De geslotenheid van een bos is namelijk ook van groot belang voor het bosmicroklimaat (Zie Handvat behoud en versterken bosmicroklimaat). Grote open plekken creëren midden in een boskern is daarom sterk af te raden gezien hun invloed tot ver in het omliggende bos (<https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2020/06/12/Coldspots-in-bossen-belangrijke-hotspots-voor-bosgebonden-soorten>, laatst geraadpleegd 26 juni 2021).

Verhogen van structuurdiversiteit in bossen houdt voor een beheerder echter veel meer in dan

het creëren van open plekken en er moet met de ontwikkelingstermijn eigen aan bossen worden rekening gehouden. In bossen van voldoende oppervlakte streef je er als beheerder best naar dat de verschillende fasen in voldoende mate aanwezig zijn, rekening houdend met de ontwikkelingstermijn eigen aan bos.

In de Vlaamse bosbeheerplannen wordt er daarom uitgegaan van een continuïteit in het beheer. Continuïteit in beheer wordt bekomen door een geleidelijke verjonging van het bomenbestand door te voeren door een gevarieerde leeftijdsopbouw na te streven (Situaties 2 en 3 in Figuur 4).



Figuur 4 Boomleeftijd en diameter distributies in bestanden met verschillende leeftijdsstructuren. 1: Gelijkjarige opstanden; 2.1: 'alle leeftijd' opstanden met gelijkmatige verdeling van bomen in verschillende diameterklassen, 2.2: 'alle leeftijd' opstanden met fragmentarische verdeling van bomen in verschillende diameterklassen; 3.1: Opstanden van ongelijkmatige leeftijd met een dominantie van jonge bomen, staat hersteld na verstoring; 3.2: Opstanden van ongelijkmatige leeftijd met een dominantie van oude bomen, als gevolg van geleidelijke afsterving climaxboomsoorten, 3.3: Opstanden van ongelijkmatige leeftijd met een onderbreking in de regeneratiedynamiek. Bron: Shorohova et al. 2009

Zowel in het kader van klimaatadaptief beheer als in het kader van biodiversiteitsdoelen is het aangewezen om te streven op bestandsniveau naar variatie in leeftijd, boomsoort en eindbeeld (zie verder).

Dood hout

De aanwezigheid van dood hout is indirect gelinkt aan de structuurvariatie, maar is ook een belangrijk structuurelement op zich. De hoeveelheid, het type en de dimensies van dood hout zijn belangrijke indicatoren voor de kwaliteit van een bos (Hermy et al., 2004). Zo wordt er een onderscheid gemaakt tussen staand en liggend dood hout, 'halfdood' hout, en is de aanwezigheid van dood hout in verschillende diameterklassen van belang. Door de aanwezigheid van dood hout wordt het bosmicroreliëf extra gebufferd tegen droogte en hitte, kan het vochthoudend vermogen van de bodem verhogen (zie Handvat 'verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodem') en kan de retentiecapaciteit van het bos stijgen (zie Handvat 'vertragen waterafvoer in bossen').

Dood hout vormt bovendien een belangrijk habitat voor verschillende soorten via het creëren van verschillende microhabitats. Denk bijvoorbeeld aan de vochtige, bemost plek achter strompen. Dood hout vormt bovendien een voedselbron (direct en indirect) voor verschillende soorten (<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/dood-hout>).

Het microklimaat

Een generieke definitie voor microklimaat luidt: de lokale klimatologische omstandigheden (in een straal van maximum 100 m), gemeten nabij de grond (op minder dan 1 m hoogte) (Chen et al. 1999, Geiger et al. 2009). Dit wordt gestuurd door de geografie, begroeiing, overheersende windrichting en soms ook menselijk ingrijpen, zoals stedelijke bebouwing. Dit beïnvloedt de temperatuur, aantal zonuren en neerslaghoeveelheid.

Het bosmicroklimaat wordt gekenmerkt door gebufferde schommelingen in temperatuur (De Frenne et al., 2019), vochtigheidsgraad en wind in vergelijking met het microklimaat in aangrenzende open percelen. Het bos zelf vormt dus een buffer, zonder bosmicroklimaat kan je dus eigenlijk niet van een bos spreken. Denk maar aan de koelte die een bos biedt op een hete dag (<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/microklimaat>). Dit microklimaat verschilt afhankelijk van het type en de mate van begroeiing, de verticale en horizontale vegetatiestructuur, de aanwezigheid van bosranden en de helling van het terrein.

Grote stukken bos open kappen of ontbossen (kaalslagen, corridors aanleggen, ...) hebben een negatief effect op het bosmicroklimaat tot diep in het bos. Uit onderzoek van kaalslagen in Noord-Amerikaanse naaldbossen blijkt bijvoorbeeld dat ze het bosmicroklimaat veranderen over een zone van 4 tot 6 keer de boomhoogte vanaf de scherpe bosrand (Chen et al 1999). Een review van meer diverse overgangszones (van open veld microklimaat tot bosmicroklimaat) in gefragmenteerde landschappen legt de breedte van die overgangszones tussen 25 en 50 m (met uitschieters tot 125 m) (Schmidt et al., 2017). Soms kan het echter wel te verantwoorden zijn in functie van open natuurstreefbeelden en daaraan gebonden biodiversiteit. Daarom is steeds

een goed onderbouwde afweging nodig die rekening houdt met alle doelen op landschapniveau.

De sturende variabelen die het bosmicroklimaat beïnvloeden boven het kronendak zijn het macroklimaat (bepaalt de hoeveelheid licht, het neerslagregime en de temperatuur). Sluitingsgraad of dichtheid van het kronendak zijn dus een belangrijke bepalende factor voor het microklimaat (zie Handvat 'Behoud en versterken bosmicroklimaat'). Onder het kronendak en op de bosbodem kan de lichthoeveelheid en vochthoeveelheid ook nog sterk verschillen.

De bodem

De bodem speelt een uiterst belangrijke rol voor bossen. Een gezonde bosbodem is een vereiste voor een goed functionerend en weerbaar, oftewel veerkrachtig bos (<https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=25928>, laatst geraadpleegd 26 juni 2021). De bodem heeft een grote invloed op welke plantensoorten er het best kunnen groeien door haar invloed op de vochtbeschikbaarheid en nutriënten die via mineralisatie en humificatie in de bodem terechtkomen in de vorm van organische stof. Organische stof is van essentieel belang voor een optimale bodemvruchtbaarheid. Sturende factoren bij het mineralisatieproces zijn de temperatuur en de vochtigheid, de bodemtextuur, de bodemstructuur, de bodemdrainage, het bodemprofiel, de zuurtegraad en buffercapaciteit, de nutriëntenrijkdom, het bodemleven, en de strooisel- en humuskwaliteit.

Bodemtextuur en bodemstructuur

Terwijl de textuur de korrelgrootteverdeling aangeeft van de minerale bestanddelen waaruit de bodem gevormd is (verhouding van zand, leem en klei), slaat bodemstructuur op de opbouw van de verschillende bodembestanddelen, de soort en intensiteit van de verbindingen tussen hen (Prosensols 2012).

De bodemtextuur bepaalt in grote mate de infiltratiecapaciteit van een bodem en het organische (kool)stofgehalte in de bodem, waarbij water het snelst infiltreert in zandbodems, gevolgd door leembodems en het traagst in kleibodems en het organische stofgehalte het laagst is in zandbodems, gevolgd door leembodems, en het hoogst in kleibodems.

De bodemstructuur is van groot belang wegens de rol die ze heeft in de groei van planten. Het samenklitten van bodemdeeltjes tot aggregaten en de manier waarop ze in de ruimte gerangschikt zijn, bepaalt de structuur: zandkorrels (de grootste deeltjes), leemdeeltjes en kleideeltjes (de kleinste deeltjes), maar ook organisch materiaal vormen kleine aggregaten of kluitjes. Tussen de kluitjes zitten "holtes of "leemtes" die de porositeit van de bodem vormen. Deze poriën zijn gevuld met water of met lucht.

Bodemdrainage

Bodems in Vlaanderen variëren van zeer droog (drainageklasse a) tot zeer nat (drainageklasse e). Bodems kunnen grondwatergebonden zijn waardoor ze gevoeliger worden voor droogte bij een verlaging van de grondwatertafel. In de bodem kunnen bovendien lagen voorkomen die het

doorlatende vermogen en de capillaire werking verstoren (door bijvoorbeeld historische bodemverdichting of een aparte bodemhorizont).

Zuurtegraad, buffercapaciteit en nutriëntenrijkdom

De zuurtegraad van de bodem en de beschikbare nutriënten zijn belangrijke indicatoren voor de hoeveelheid stress die bomen ondervinden. De aanwezigheid van bufferende stoffen in de bodem of grondwater bepaalt de weerstand van het boscosysteem tegen verzuring.

Sommige plantensoorten gedijen goed bij een zekere zuurtegraad en in enkele gevallen vindt ook natuurlijke verzuring plaats. Bomen en bosflora hebben verder ook een specifieke nutriëntenhoeveelheid nodig om goed te gedijen. Dit verschilt naargelang de soort.

In veel Vlaamse bossen (22%: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/vermesting-verzuring/verzuring/oppervlakte-natuur-met-overschrijding-van-de-kritische-last-verzuring>) is de bodem echter dusdanig verzuurd dat de groei zwaar verstoord wordt en in alle Vlaamse bossen is er bovendien een overschrijding van de kritische last aan stikstof vastgesteld (<https://www.milieurapport.be/milieuthemas/vermesting-verzuring/vermesting/oppervlakte-natuur-met-overschrijding-kritische-last-vermesting>).

Verzurende en vermestende deposities zorgen ook voor een verminderde kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater. Zo verhoogt het nitraatgehalte en spoelen er zware metalen en aluminium uit. Dit kan het grond- en oppervlaktewater en de bodem toxisch maken voor planten en het bodemleven. Door het uitspoelen van voedingsstoffen zoals kalium, calcium en magnesium, vermindert de buffercapaciteit van bepaalde bodems. Zo kunnen ze minder weerstand bieden tegen het verzurende effect van atmosferische stikstof- en zwavelpolluenten (<https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermesting/impact-op-ecosystemen>). Bovendien geldt dat wanneer deze mineralen uitgespoeld worden, zijn ze niet meer beschikbaar voor de vegetatie. Dit leidt tot verminderde groei en een verhoogde gevoeligheid voor ziektes en plagen.

Een sterk verzuurde bodem tast ook het noodzakelijke bodemleven aan. Verzuring heeft een negatief effect op mycorrhiza. Verder zullen er minder regenwormen voorkomen in een zure bodem. Dit beïnvloedt de bodemverluchting en de vermenging van humus met de minerale bodem.

Een sterk bemeste bodem kan leiden tot de groei van competitieve plantensoorten plantensoorten (vnl. in bossen met een open kronendak) welke andere soorten kunnen weg concurreren. Daarmee kan de samenstelling van de vegetatie wijzigen.

Strooisel- en humuskwaliteit

Een humeuze bovenlaag ontstaat wanneer organisch materiaal (afgestorven planten- en dierresten, uitwerpselen) wordt afgebroken door het bodemleven. De strooisel- en humuskwaliteit zegt iets over het vochtvasthoudend vermogen van de bodem en over de nutriëntenrijkdom. Het bevat niet alleen 'nutriënten' (onder meer stikstof, fosfor en kalium) voor de vegetatie maar kan deze ook tijdelijk opslaan. Hierdoor voorkomt humus dat de voedingselementen uitspoelen naar diepere bodemlagen waardoor de plant ze niet meer kan

opnemen. Verder verbetert humus de bodemstructuur in klei- en zandgronden en houdt het de bodem luchtig en vochtig (<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/humus>).

Bodemleven

Bodembiota, zoals vele soorten bacteriën, schimmels en zwammen, slakken en talloze invertebraten zoals aaltjes, springstaarten, pissebedden, duizendpoten en regenwormen, spelen een essentiële rol in de afbraak van organisch materiaal en het beschikbaar maken van nutriënten. Een actieve en vitale bodemgemeenschap is van erg groot belang voor de bodem. Eén van de grootste organismegroepen van het bos leeft in de bosbodem, namelijk een uitgebreid netwerk van mycorrhiza, schimmels die in symbiose leven met de bomen. Ze zijn vastgehecht aan de wortels en door hun fijne uitstulpingen verhogen ze sterk het oppervlak waarmee de boomwortels water en nutriënten kunnen opnemen. In ruil daarvoor geeft de boom koolstof aan de wortels die de schimmels gebruiken voor hun groei. In sterk verzuurde bodems is de bodem zodanig zuur dat mycorrhiza er niet kunnen overleven. Doordat grote bosoppervlaktes in Vlaanderen sterk verzuurd zijn, zijn de mycorrhiza in die bossen sterk onderdrukt of helemaal verdwenen. Ook sommige beheeringrepen zoals bodemcompactie en kaalslagen hebben een sterk negatieve impact op het bodemleven en mycorrhiza in het bijzonder.

Micro- en macroreliëf in het bos

Reliëf wordt doorgaans opgedeeld in macro- en microreliëf, al spreekt het voor zich dat het om een gevoelsmatige opdeling gaat. Het is eigenlijk veeleer een schaalgradiënt tussen micro en macro. Het reliëf is geen ecologische structuur an sich, maar het is wel een factor die vele structuren mee beïnvloedt en het bosbeeld mee zal sturen.

Vlaanderen is tamelijk vlak met slechts beperkte verschillen in macroreliëf: van 0m in Veurne tot 156 m op de top van de Kemmelberg. In de Voerstreek is het reliëf iets meer uitgesproken (van 60 m tot 287,5m) maar dit 5.000 ha grote gebied behoort tot de continentale biogeografische regio in tegenstelling tot de rest van Vlaanderen die tot de Atlantische biogeografische regio behoort. Nochtans zijn deze beperkte verschillen in macroreliëf van belang. Een bos dat op een helling ligt zal gevoeliger zijn voor erosie; een bos dat onderaan een dal ligt zal gevoed worden met water uit het omliggende gebied en minder snel uitdrogen in vergelijking met een bos op de top van een heuvel, dat sneller kan uitdrogen bij aanhoudende droogte. Op noordhellingen komen ook gebufferde temperatuurschommelingen voor omdat ze vaak langer beschaduw blijven, terwijl op zuidhellingen door de afwisseling van zon en schaduw sterkere dag-nacht schommelingen optreden (<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/microklimaat>).

Op niveau van microreliëf bekijken we eerder kleine reliëfverschillen op bosniveau die een plaatselijke gradiënt kunnen vormen. Het gaat dan bijvoorbeeld om grafheuvels, rabatten, grachten, plaatselijke verzakkingen, bomkraters of poelen, etc. Microreliëf kan door de specifieke omstandigheden die er heersen unieke plaatsen vormen waar bepaalde soorten in kunnen groeien, verschillend van het omgevende terrein.

1.2.2. Ecologische processen

Terwijl de ecologische structuren een eerder statische beschrijving geven van een ecosysteem, kunnen de processen als een meer dynamisch aspect gezien worden. Verschillende processen hebben een grote rol binnen bossen en zullen ook sterk beïnvloed worden door klimaatverandering. Beheerders kunnen echter vooral invloed uitoefenen op de ecologische processen in hun bos door in te zetten op de bescherming van de ecologische structuren van het bos. In het kader van klimaatadaptief bosbeheer beschrijven we kort de processen primaire productie en koolstofopslag, waterhuishouding en nutriëntenrecyclage. Voor andere belangrijke bosprocessen en de impact van klimaatverandering erop, verwijzen we naar een uitgebreid overzicht gegeven in (Van der Aa et al., 2015).

Primaire productie en koolstofopslag

Net als alle vegetaties leggen bosvegetaties CO₂ vast via fotosynthese in hun weefsel. Via tal van fysiologische processen worden de suikers uit het fotosyntheseproses verder verwerkt tot organische koolstofverbindingen in de biomassa van de boom. In contrast met andere vegetatietypes, worden de meeste aangemaakte koolstofverbindingen in bomen voor lange tijd opgeslagen in zowel het kernhout (dode materie) als het spinhout (het niet-verkernde en levende hout) van de boom. Ook via de wortels wordt een deel van de geassimileerde koolstofverbindingen in de grond opgeslagen. Via blad- en takval komt koolstof in de vorm van organisch materiaal in de strooisellaag en eveneens in de bodem terecht. De aanrijking van de bodem met koolstof heeft een belangrijke impact op infiltratieprocessen (zie hoofdstuk Bodem). Bossen fungeren dus als echte *koolstof-sinks*, met vastgelegde koolstof in de levende biomassa, de bodem, en in mindere mate in strooisel en dood hout. De primaire productie die in bossen gerealiseerd wordt ligt aan de basis van een van de 'oudste' ecosysteemdiensten van bossen: de houtproductie (zie hoofdstuk Houtproductie).

Neerslagverdeling, infiltratie, evapotranspiratie

Water en de daaraan gerelateerde processen zijn in alle ecosystemen cruciaal. Ook in het boslandschap wordt de soortensamenstelling en de structuur van de vegetatie in grote mate bepaald door abiotische kenmerken zoals grondwaterniveaus, overstromingsfrequentie en chemische samenstelling van het grondwater. Heel wat factoren spelen een rol in de hydrologische cyclus.

De klimatologische omstandigheden bepalen bijvoorbeeld de hoeveelheid neerslag en potentiële evapotranspiratie. De hoeveelheid neerslag heeft een impact op de totale beschikbaarheid van water, het overstromingsregime van een rivier, de aanvulling van grondwatervoorraden e.d. Met een gemiddelde neerslag van 800 mm/jaar, komt er zo'n 11 miljard m³ water per jaar op de Vlaamse bodem en vegetatie terecht (Michielsen et al., 2012). De aanvoer is vrij evenwichtig verdeeld over de verschillende maanden, met af en toe een sterke piek in neerslag voornamelijk in de wintermaanden. De weg die het hemelwater daarna aflegt, wordt bepaald door vier locatiespecifieke parameters: de topografie, de bodemtextuur, de lokale grondwaterstand en het type landgebruik. Deze parameters samen bepalen de verblijftijd

van het water in het systeem, wat bijvoorbeeld van groot belang is tijdens droogteperiodes (Vrebos et al., 2014).

Naast klimatologische omstandigheden, speelt dus ook de topografie een belangrijke rol: de grootte van het stroomopwaarts gelegen deelbekken bepaalt mee hoeveel water er passeert in een vallei. Hoogteverschillen in het omliggende landschap beïnvloeden grondwaterstromingen, kweldruk.... Ook de ondergrond een aanzienlijke invloed op de waterhuishouding. De ligging en exacte opbouw van watervoerende lagen (aquifers) en weinig doorlatende lagen (aquitards) bepalen zowel de kwantiteit als kwaliteit van het grondwater. Regenwater bevat weinig mineralen. Hoe langer dit water doorheen de ondergrond stroomt, hoe meer mineralen die zal opnemen. Oppervlakkige grondwaterstromen verblijven typisch veel korter in de ondergrond (tijdschalen van dagen tot maanden) en geven in veel gevallen slecht aanleiding tot tijdelijke kwel, terwijl diepere grondwaterstromen meestal langer transitietijden hebben (maanden tot decennia) en vaak voor een veel constantere kwel zorgen.

Omgekeerd heeft de vegetatie ook een impact op heel wat processen van de hydrologische cyclus. Een complexere en gelaagde vegetatiestructuur zoals deze in bossen zal typisch meer water opvangen en verhinderen om de bodem in te dringen, terwijl dit voor graslanden veel minder het geval is. Ook de ondergrondse wortelstructuur is van belang. Aan de ene kant kunnen de wortels van bomen water dieper halen dan de meeste grassen en kruiden, waardoor de grondwatertafel dieper kan dalen. Anderzijds zorgen zowel levende als afgestorven diepe wortels voor transportkanalen waardoor een snellere herverdeling van het water mogelijk wordt (i.e. actief transport door plant of passieve infiltratie bij afgestorven materiaal).

We noemen het geheel van water dat afstroomt en uitspoelt tot onder de wortelzone van bossen de wateropbrengst, m.a.w. de wateropbrengst van een ecosysteem is grotendeels het verschil tussen de hoeveelheid neerslag en verdamping. De totale wateropbrengst onder bossen is lager dan onder ander landschapsgebruik (Staelens & Mohren, 2016). Bossen verbruiken tijdens het groeiseizoen relatief veel water omdat de boomkruinen in nauw contact staan met de omringende lucht. Een deel van het regenwater verdampt onmiddellijk vanaf de natte bladeren, nog voordat de regen de bosgrond heeft bereikt en in de bodem infiltreert. Deze hoeveelheid neerslag wordt interceptie genoemd. Daarnaast verbruikt een bos bodemwater doordat water met de wortels wordt opgenomen waarna het opgenomen water via de bladeren verdampt.

Nutriëntenrecyclage

Allerhande fysische en biochemische processen in de bodem (mineralisatie, nitrificatie, denitrificatie, redox, ionenvrijstelling) bepalen de beschikbaarheid van de nutriënten. Verschillende fysische omgevingsvariabelen spelen hierop in, zodat deze cycli sterk kunnen verschillen tussen ecosystemen (Vrebos et al., 2014).

Vooraf in permanent vochtige of overstromde bostypes spelen deze processen, in het bijzonder voor de verwijdering van stikstof en binding of vrijstelling van fosforverbindingen. Door de gecombineerde aanwezigheid van anaerobe en aerobe condities in natte bossen op korte afstand van elkaar, kunnen oxiderende (bv. nitrificatie) en reducerende (bv. denitrificatie) reacties elkaar efficiënt opvolgen. Ook voor de fosforcyclus spelen natte bossen een relevante

rol. De reacties zijn een combinatie van sorptie/desorptie en het precipiteren/oplossen van mineralen (House, 2003). De fosfaatbeschikbaarheid hangt af van verschillende oxidatie-reductie processen (redox) en de aërobe/anaërobe condities van de bodem.

1.3. Externe drukken op boslandschap

Externe drukken zijn factoren en processen die op lokale, regionale of globale schaal rechtstreeks of onrechtstreeks (vaak negatieve) veranderingen teweegbrengen in ecosystemen en dus potentieel ook op de geleverde ecosysteemdiensten. Hier bespreken we externe drukken die een invloed hebben op het boslandschap en die belangrijk zijn in het kader van klimaatverandering en -adaptatie. Klimaatverandering zelf is ook een externe druk die bovenop de andere externe drukken komt. De invloed van klimaatverandering op deze externe drukken bespreken we in Stap 2.

1.3.1. Fragmentatie

In 'situatie Vlaanderen' haalden we het reeds kort aan: Onze Vlaamse bossen zijn zeer sterk versnipperd (Bosforum, 2018; den Ouden, Muys, et al., 2016; Hermy et al., 2003). Zowel fysiek als op vlak van eigendom als op vlak van beheer (Bosforum, 2018). We hebben het hier verder echter specifiek over de fysieke versnippering. Maar liefst 85% van de Vlaamse bossen is kleiner dan 5 hectare (Hermy & Vandekerckhove, 2004) en deze versnippering is de laatste 100 jaar nog sterk toegenomen (Hermy et al., 2003).

Fragmentatie of versnippering vormt een heel belangrijke druk voor de Vlaamse bossen. Heel wat bosplantensoorten hebben namelijk een geringe kolonisatiecapaciteit, wat inhoudt dat ze zich moeilijk en traag van één bos naar een ander bos kunnen verplaatsen of nieuwe bossen kunnen koloniseren (den Ouden, Muys, et al., 2016; Hermy et al., 1999; Verheyen et al., 2003). Dit zorgt er dan ook voor dat geïsoleerde kleine populaties een grotere kans op uitsterven hebben op lange termijn (den Ouden, Muys, et al., 2016).

Bovendien hebben versnipperde bosjes een hoger aandeel bosrand in vergelijking met grote aaneengesloten stukken bos, waardoor sterkere randeffecten spelen. De invloeden van buitenaf (droogtes, warmteperiodes, windwerking, omliggend landgebruik) zullen zich proportioneel gezien in grotere delen van hun bos doorvertalen (zie ook hoofdstuk Bosrandbeheer in het Handvat 'Behoud en versterken bosmicroklimaat'). Amerikaans onderzoek geeft echter ook een indicatie dat dit verhoogde randeffect kan zorgen voor meer invasieve exoten (McDonald & Urban, 2006).

Kleine bosfragmenten – de Vlaamse 'postzegelbosjes' – hoeven niet op alle vlak onder te doen voor de grotere boskernen (Decocq et al., 2016; Hertzog et al., 2019). Ze slaan relatief meer koolstof op net door dit randeffect (Meeusen et al. 2020) en de soortenrijkdom is er groter dan verwacht. Ze vormen immers een ecologische gradiënt tussen twee biotopen met soorten van beide biotopen. Grote, gesloten bossen blijven echter enorm veel voordelen hebben en het inzetten op verbinden en vergroten blijft cruciaal (Vandekerckhove, 2020).

1.3.2. Milieudruk

Wateronttrekking en drainage

Enerzijds kan water lokaal worden onttrokken/opgepompt voor drinkwater, teelten of industriële toepassingen. Dit leidt tot een kegelvormige verlaging van het grondwater rondom de wininstallatie. Daarnaast is er in en rond veel bossen ook kunstmatige afvoer van water met behulp van drainagegrachten (voornamelijk voor bebouwing en landbouw of vanwege historisch gebruik). Het leidt tot een verlaging van het grondwater in de omgeving van de drainagegracht. Dit alles leidt tot verdroging wat voor droogtestress en dus groeivertraging kan zorgen bij planten en bomen. Bovendien kunnen poelen komen droog te staan bij een té sterke daling van het grondwater, waardoor het leven in die poelen verdwijnt.

Bodemverrijking & Verzuring

Bovenop het feit dat veel bosbodems reeds sterk verzuurd en vermest zijn, vindt er in Vlaanderen – hoewel er een dalende trend is – nog steeds een sterke verzuring en vermesting plaats door het omliggend landgebruik. Vooral vermestende deposities uit de landbouw dragen hier sterk aan bij: in deze deposities zien we een stagnatie en geen daling (<https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermesting/vermestende-emissies>).

Vermesting ontstaat door een overmaat aan voedingsstoffen. De belangrijkste stoffen betrokken bij vermesting zijn stikstof (N), kalium (K) en fosfor (P). Deze elementen zijn van nature beperkt aanwezig in de omgeving, maar menselijke activiteiten zorgen voor een zeer grote toevoer. Vooral het gebruik van meststoffen, lozingen van afvalwater, verbrandingsprocessen en het storten van huishoudelijk afval en waterzuiveringsslib leiden tot vermesting. Voor vermesting via de omgevingslucht is enkel stikstof relevant. De oorzaak hiervan is de uitstoot van ammoniak en stikstofoxiden (NO_x). De aanvoer van fosfor en kalium via de lucht is verwaarloosbaar (Vlaamse Milieumaatschappij, n.d.). Landbouw en verkeer zijn daarbij de belangrijkste bronnen van die vermestende stoffen via deposities.

Verzuring vindt plaats door verzurende deposities. Dat zijn stoffen die neerslaan uit de atmosfeer en zuren kunnen vormen als ze in contact komen met water of neerslaan op de bodem. De voornaamste zijn zwaveldioxide (SO_2) dat in de atmosfeer grotendeels wordt omgezet in zwavelzuur (H_2SO_4), stikstof(di)oxide (NO en NO_2 , samen aangeduid als NO_x) dat wordt omgezet tot salpeterzuur (HNO_3) en Ammoniak (NH_3). Wat geen zuur is, maar een base, maar ammoniak heeft wel een verzurend effect na depositie op de bodem, vegetatie of wateroppervlakken (Vlaamse Milieumaatschappij, n.d.). Land- en tuinbouw, verkeer en industrie zijn de belangrijkste bronnen van verzurende stoffen (Vlaamse Milieumaatschappij, n.d.).

Eenmaal de verzurende verbindingen op de bodem en in het bodemwater terecht komen, kunnen ze binden met kationen (bv. K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+) in de bodem. Als die nieuwe verbindingen vervolgens uitspoelen, verdwijnen de kationen uit het systeem. Verzuring is daarom vooral in basenarme ecosystemen een probleem. In deze biotopen zijn de basen snel opgebruikt en is er geen buffer meer waardoor de pH zal verlagen

(<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/verzuring>). Algemeen zullen door verzuring de meest gevoelige soorten achteruitgaan en daardoor de soortensamenstelling wijzigen (Van der Aa et al., 2015).

Door het uitlogen van kationen wordt enerzijds het water aangerijkt en anderzijds zijn de kationen niet meer beschikbaar voor de vegetatie waardoor tekorten of nieuwe verhoudingen ontstaan. Dit leidt op zich weer tot een verminderde vitaliteit. (Lucassen et al., 2014) toont dit aan voor zomereik. Dit leidt tot een verminderde groei en bomen worden ook vatbaarder voor secundaire stressfactoren zoals droogtes, ziekten en plagen (VBNE, n.d.-b).

In de bodem veranderen de processen die ervoor zorgen dat organisch materiaal wordt afgebroken. Het evenwicht verschuift naar meer schimmels ten koste van bacteriën, regenwormen en andere mesofauna (den Ouden, Muys, et al., 2016). Dit vertraagt de afbraak van organisch materiaal wat leidt tot een verschuiving naar mor-humus. Daarnaast neemt het percentage gemycorrhizeerde worteltopjes af (Cudlin et al., 2007). Het heeft tot slot verregaandere gevolgen hoger in het voedselweb zoals koolmeesjongen die zeer fragiele botten ontwikkelen omdat ze onvoldoende calcium via de voeding binnenkrijgen (van den Burg, 2017).

Verontreiniging

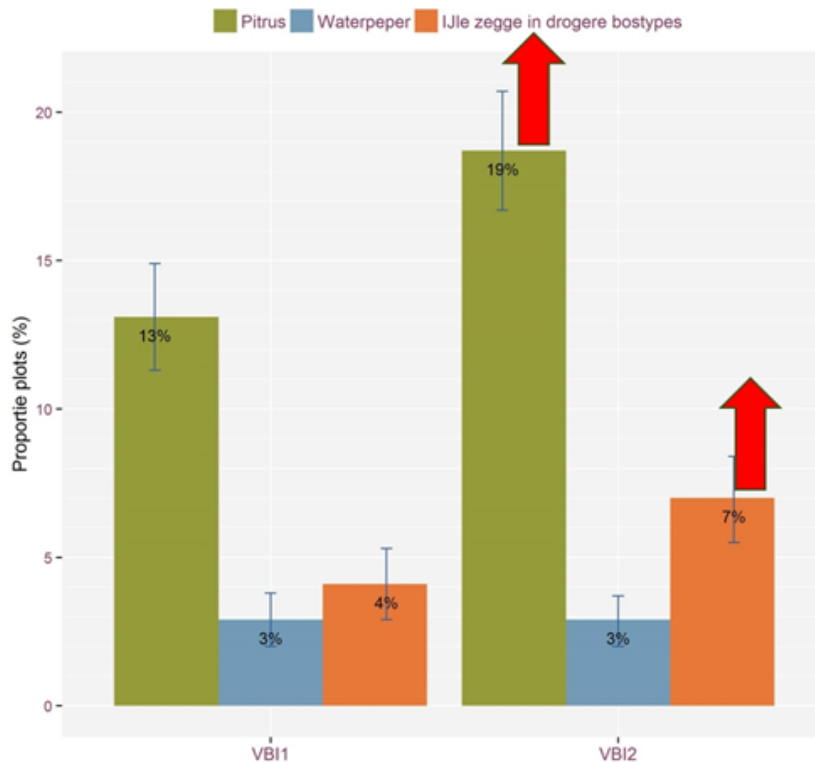
Verontreiniging vindt plaats wanneer er een toename in het milieu is van een stof, anders dan voedingsstoffen, die onder natuurlijke omstandigheden ter plaatse niet of in zeer lage concentraties voorkomt en/of waarvan een overschrijding van haar natuurlijke achtergrondconcentratie op een indirecte of directe wijze optreedt. Dit kan leiden tot milieukarakteristieken die voor het habitatype of soort ongunstig zijn.

Over de verontreinigingsgraad van de Vlaamse bossen is weinig gekend, maar de aanwezigheid van verontreiniging kan zeker leiden tot een gereduceerde groei en verzwakt bijgevolg het ecosysteem.

Bodemcompactie

Bij bodemcompactie klinkt de bodem in waardoor de dichtheid van de bodem toeneemt. Hierdoor kunnen lucht en water minder goed getransporteerd worden. Dit heeft een nadelige invloed op de groei van planten. Bovendien kunnen wortels van bomen (en vooral zaailingen) minder gemakkelijk in die bodem dringen. Ook bodemleven kan hinder ondervinden door een sterke compactie (VBNE, 2020). Natuurlijk herstel van gedegradeerde bodems gaat zeer traag of is niet (meer) mogelijk.

De historische bodemverdichting in bossen is hoofdzakelijk het gevolg van bosexploitatie met zware machines. Men reed al vroeg met zware machines door het Zoniënwoud. In de rest van Vlaanderen kwam het gebruik van zware machines trager op gang (Bruynseels et al., 1997). Pas vanaf ongeveer 2000 begon de mechanisatie te versnellen en op 17 jaar tijd is de kans op het voorkomen van indicatorsoorten voor bodemcompactie (pitrus en ijle zegge voor droge bossen) significant toegenomen (Figuur 5)(*Tweede Vlaamse Bosinventaris*, 2019).



Figuur 5 Procentuele aanwezigheid van indicatorsoorten voor bodemverdichting in de twee Vlaamse bosinventarisaties. Rode pijlen duiden op een significante toename (Bron: Tweede Vlaamse Bosinventaris (2019)).



De laatste jaren is het gebruik van vaste ruimingspistes bij bosexploitatie echter standaard praktijk geworden. Bodemverdichting buiten de vaste ruimingspistes tijdens bosexploitatie zou dus iets van het verleden moeten zijn. Er ontstaat wel een nieuwe trend om ook voor andere beheerwerken (exoten uittrekken, klepelen, frezen, ...) veel meer doorheen bosopstanden te rijden en dan ook nog eens met steeds zwaardere machines. Die machines zorgen niet enkel voor bodemverdichting, maar onzorgvuldig gebruik zorgt ook voor directe stamschade (o.a. ontschorsing) (Figuur 6).

Figuur 6 foto van een dennenopstand met diepe insporingen en schade aan de stamvoet bij heel wat dennen. Hier werd rododendron uitgetrokken met een tractor van bijna 10 ton. © Wim Buysse. Bron: Sauren (2020)

Recreatiedruk

Het inzetten op recreatie als beheerder kan hand in hand gaan met het inzetten op andere functies en diensten van het bos, maar bij een te hoge en vooral ongeorganiseerde recreatie zal dit tot een recreatiedruk leiden.

Een bekend voorbeeld is de enorme toestroom aan recreanten in sommige van onze Vlaamse bossen tijdens de voorjaarsbloei. Mensen komen dan van overal om die voorjaarsflora te bekijken en fotograferen, en blijven niet altijd op de paden waardoor de flora vertrappeld raakt en nieuwe paden ontstaan (Figuur 7). Wandelaars kunnen bovendien plaatselijk voor een sterke bodemcompactie zorgen.



Figuur 7. Wandelen dwars door de hyacinten. Foto: Jeroen Mentens - Vilda

Bezoekers laten soms afval achter, wat tot verontreiniging kan leiden. Recreanten en hun honden kunnen ook een negatieve invloed hebben op de aanwezige bosfauna, door te dicht bij nesten te komen, lawaai te maken en door honden los van de leiband te laten. Via hun faeces zorgen ze bovendien voor een significante nutriënteninput die – afhankelijk van de recreatiedruk – de N-depositie via regen kan overschrijden.

1.3.3. Biotische druk

Naast de abiotische drukken op bossen, staan onze bossen ook onder druk door bepaalde organismen. We spreken van een biotische druk als deze organismen een nadelige impact hebben op de ecosystemen, land- en tuinbouw, volksgezondheid of infrastructuur. Ze kunnen uiteindelijk ook een economische weerslag hebben door bijvoorbeeld de verliezen in oogst.

Invasieve exoten

Exoten zijn uitheemse soorten (dieren, planten en micro-organismen) die van nature niet in onze streken voorkomen en door menselijk handelen in een nieuw gebied terechtkomen. Door de globalisering komen deze in onze contreien steeds vaker terecht of worden, al dan niet bewust, door mensen uitgezet in de natuur. Exoten zijn niet per se ook invasief. Invasieve exoten zijn

exoten die door vestiging en verspreiding schade kunnen veroorzaken. Binnen het bos- en natuurbeheer worden dan ook richtlijnen geformuleerd rond hun bestrijding (zie <https://www.ecopedia.be/pagina/exoten>).

Het succes van invasieve exoten in onze natuur ligt aan het feit dat ze minder strenge eisen stellen wat groeicondities betreft en geen of amper plaagconcurrenten hebben en daardoor op korte tijd heel sterk in aantal kunnen toenemen. Twee typische boom- en struiksoorten in onze bossen zijn Amerikaanse eik en Amerikaanse vogelkers. Daarnaast zijn plantensoorten zoals de reuzenberenklauw, de Japanse Duizendknoop, de rimpelroos... aan een enorme opgang bezig, en vormen diersoorten zoals de Amerikaanse stierkikker, de Aziatische hoornaar, en de halsbandparkiet een reële bedreiging voor onze inheemse soorten met gelijkaardige habitat- en nichevoorkeuren.

Plagen en ziektes

Op inheemse bomen leven er enorm veel insecten en andere organismen. In een goed functionerend bosesysteem is de evolutie van een plaagsoort moeilijker. Echter, wanneer alles meezit (zoals goede weersomstandigheden, een goede bladkwaliteit, en lage aantallen natuurlijke vijanden zoals sluipwespen), dan hebben sommige insectensoorten de mogelijkheid om snel in aantal toe te nemen (WUR, n.d.). Specifiek voor plagen van invasieve exoten zijn er vaak weinig natuurlijke vijanden.

Primaire ziekte- en plaagsoorten zijn in staat om gezonde bomen te verzwakken. Echter, primaire soorten zullen de bomen niet afdoden. Vitale bomen kunnen zich actief verweren tegen insecten die zich in de bast proberen te vreten, zoals bastkevers en prachtkevers. De larven van primaire plaaginsecten voeden zich met de voedselrijke bladeren of naalden van gezonde bomen. Secundaire plaagsoorten (zwakteparasieten) zullen hun intrede doen bij reeds verzwakte bomen. Deze verzwakking is afhankelijk van de biotische of abiotische omstandigheden. Deze secundaire plaaginsecten zullen veelal de bomen doden. Een voorbeeld hiervan is de Eikenprachtkever waarvan de larven gangen maken onder de bast van de verzwakte bomen waardoor deze geringd worden en afsterven (WUR, n.d.).

1.3.4. Calamiteiten

Ook calamiteiten zorgen voor externe drukken op het boslandschap. Hiermee bedoelen we zeer sterke verstoringsevenementen van een relatief korte of tijdelijke duur.

Veel voorkomende verstoringen in het bos zijn overstromingen in vloedbossen, erosie of hevige windval door storm. Een minder frequent voorkomende calamiteit, maar wel één met een zeer grote impact, zijn bosbranden. Calamiteiten kunnen zowel op natuurlijke wijze voorkomen (spontane natuurbrand, windval of erosie) als door menselijk toedoen. Dit laatste kan per accident gebeuren (brand door een sigarettenpeuk, kampvuur, schietoefening) of als gerichte ingreep (bijvoorbeeld gerichte branden, laten overstromen van natuurgebieden bij stormtij).

Calamiteiten hebben een grote invloed op bossen omdat het vaak over grootschalige verstoringen gaat waardoor een groot deel van de levende biomassa afsterft.

1.4. Belang van biodiversiteit

Biologische diversiteit of de biodiversiteit is van cruciaal belang voor onze bossen. Biodiversiteit ligt aan de basis van de ecosysteemdienstencascade. Twee publicaties die deze relatie tussen biodiversiteit en ecosysteemdiensten voor Vlaanderen expliciet beschrijven zijn (Meiresonne & Turkelboom, 2014) en (Schneiders & Spanhove, 2014). Er is ook de 'onbekende waarde' van biodiversiteit. Daarmee wordt de waarde bedoeld van biodiversiteit die misschien nu nog niet benut wordt, maar die potentieel later een belangrijke invloed kan hebben. Zo ontdekt men nog dagelijks nieuwe medicinale stoffen in verschillende plantensoorten. Daarnaast is er nog de intrinsieke waarde van biodiversiteit waarbij biodiversiteit niet per se gewaardeerd wordt vanuit menselijk oogpunt, maar louter voor de bestaanswaarde.

Bossen hebben op vlak van biodiversiteit heel wat te bieden. Het zijn de hotspots in biodiversiteit van onze regio (Hermy et al., 2003). Ze herbergen veel planten en dieren en liggen onder andere aan de basis van enkele complexe netwerken en cycli in de natuur. Net als in alle ecosystemen spelen interacties tussen soorten een belangrijk rol in het functioneren van het ecosysteem. Zowel ondergronds als bovengronds zijn er interacties, waarbij de ondergrondse processen een impact hebben op het bovengrondse en vice versa. De aanwezigheid van zowel voldoende (primaire) producenten, consumenten, predatoren als detritivoren zal ervoor zorgen dat er een natuurlijk evenwicht ontstaat tussen de verschillende groepen.

Bomen vormen de meest karakteristieke elementen in het bos. Op vlak van soorten bevat de groep van houtige planten nochtans maar een relatief klein aantal soorten. In de gematigde gebieden is er gewoonlijk een veel grotere verscheidenheid aan kruidachtigen, mossen, korstmossen, zwammen, gewervelde en ongewervelde dieren (Hermy et al., 2003). De kruidlaag vertegenwoordigt doorgaans meer dan 80% van de plantenbiodiversiteit van een bos. Vooral het aandeel ongewervelde diersoorten (b.v. insecten) is bijzonder groot ten opzichte van de andere groepen. Het totaal aantal soorten loopt al vlug in de duizenden (Hermy et al., 2004).

Door dat enorme belang is het stimuleren van biodiversiteit van onze bossen en andere natuur dan ook terecht een belangrijk beheerdoel en beleidsthema geworden.

1.5. De belangrijkste ecosysteemdiensten

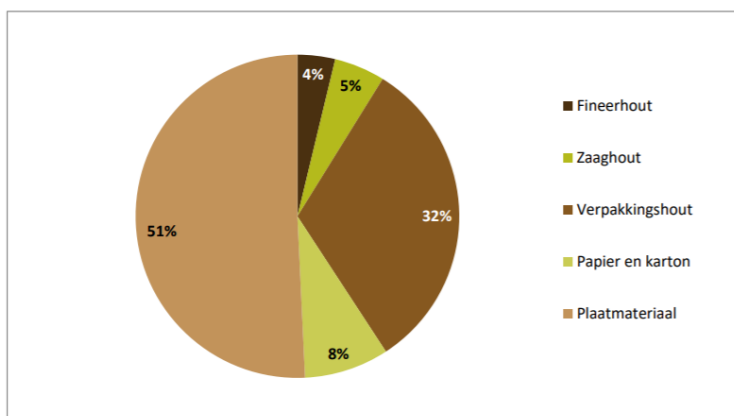
Het boslandschap kan potentieel vele diensten leveren aan de maatschappij. Dit staat in fel contrast met de lage bebossingsindex in Vlaanderen. Voor een uitgebreid overzicht van de mogelijke ecosysteemdiensten geleverd door bossen verwijzen we naar de technische rapporten uit de NARA-cyclus van 2015. Bij het beheer van de Vlaamse bossen wordt er frequent ingezet op deze twee ecosysteemdiensten: de houtproductie (producerende dienst) en de recreatiefunctie (socio-culturele dienst). We bespreken ze daarom kort in dit hoofdstuk.

1.5.1. Houtproductie

De houtproductie is in veel bossen een primair beheerdoel. Het hout kan vermarkt worden of dienen voor direct gebruik als materiaal of als brandstof.

De ecosysteemdienst houtproductie wordt beïnvloed door standplaatsfactoren, de ecologische structuur van het bos (o.a. geslotenheid, boomsoortensamenstelling) en het groeiproces van de bomen (o.a. dominantie, takvorming, mortaliteit...) enerzijds en bosbouwtechnische ingrepen (opsnoei, dunning, kunstmatige verjonging en exploitatie) anderzijds. Door deze technische ingrepen kan de kwaliteit van het hout vooral actief worden beïnvloed doorheen de ontwikkelingsgeschiedenis van een boom of opstand, in het bijzonder de vestigingsfase, kwalificeringsfase en tijdens het begin van de dimensioneringsfase.

In Vlaanderen oogsten we gemiddeld 526.000 m³ per jaar industrieel rondhout. Dat is hout dat gebruikt kan worden als materiaal. Daarvan is ongeveer de helft naaldhout (49%) en het resterende aandeel is 38% populieren en 13% ander loofhout. Ongeveer de helft van het geoogste industriële loofhout wordt in Vlaanderen verwerkt voor hoofdzakelijk plaatmateriaal (51%) en verpakingshout (32%) van te maken (Figuur 8).



Figuur 8: Huidige verwerking van Vlaams industrieel rondhout in Vlaanderen naar type verwerking (267.000 m³ met schors) (Oldenbrug et al., 2017)

Er bestaat bovendien een omvangrijke, informele markt van particulier brandhout (Vandekerckhove et al., 2014). Er wordt naar schatting nog zo'n 325.000 m³ (met schors) brandhout uit het Vlaamse bos geoogst. Het wordt aangenomen dat dit volume grotendeels uit loofhout (70%) bestaat (Oldenburger et al., 2019).

In Vlaanderen zijn ongeveer 40.000 mensen tewerkgesteld in de houtkolom. De Vlaamse handelsbalans voor hout en houten producten schommelde de laatste jaren tussen 1 miljard euro en 600 miljoen euro (Office Economique Wallon du Bois, 2019).

De vraag naar hout zal naar alle vermoeden in de toekomst toenemen in Europa omdat meer en meer sectoren hout als duurzame grondstof wensen te gebruiken (Oldenburger et al., 2017). Houtproductie blijft dus een belangrijke ecosysteemdienst om op in te zetten in het beheer van het boslandschap.

1.5.2. Groene ruimte voor buitenactiviteiten

Ook het uitbouwen van de recreatieve functie is in veel bossen een belangrijk beheerdoel. Voorbeelden van buitenactiviteiten zijn wandelen, lopen, fietsen, picknicken, paardrijden, mountainbiken, jagen, spelen, maar evengoed de hond uitlaten, verplaatsen naar het werk ... De lijst is eindeloos.

Voor de ecosysteemdienst groene ruimte voor buitenactiviteiten zijn het de ecosystemen als geheel die de groene ruimte bieden waar mensen in contact kunnen komen met hun natuurlijke omgeving (Simoens et al., 2014). In de meeste natuurgebieden is recreatie in theorie mogelijk, losstaande van de wenselijkheid ervan. Er zijn echter een paar basisvoorwaarden waaraan voldaan moet zijn opdat dit ook effectief zou plaatsvinden. Het gebied moet bijvoorbeeld veilig zijn en het moet voldoende toegankelijk zijn. Verdere voorwaarden zijn antropogeen van aard en verhogen de toegankelijkheid, namelijk de juridische ontsluiting en de fysische ontsluiting door het gepaste beheer (aanleg en onderhoud van wegen en paden, inrichting van gebied, veiligheidssnoei, onthaalinfrastructuur...).

In Vlaanderen hebben veel mensen een 'zittende' levensstijl die zich binnen afspeelt. In combinatie met verstedelijking worden mensen steeds meer vervreemd van de natuur. Tegelijkertijd is er een verhoogd bewustzijn van het positieve effect van buitenactiviteiten op het fysieke, mentale en sociale welzijn op de mens en voor de algemene ontwikkeling van kinderen. Deze beide trends zorgen ervoor dat de weinige natuurgebieden in Vlaanderen drukbezocht worden en er een grote vraag is naar meer kwalitatieve groene ruimte voor buitenactiviteiten. Vlaanderen biedt concreet 11.043 ha aan wandel- en stadsbossen, 2.210 ha aan speelbossen en 4.776 ha natuurgebieden met bezoekerscentra.

Minstens driekwart van de Vlamingen maakt eenmaal per jaar een uitstapje naar bos of natuur (Ministerie van de Vlaamse gemeenschap, 2004). (Broekx et al., 2013) schatten bovendien dat een volwassen Vlaming gemiddeld 22 keer per jaar een bezoek brengt aan de open, groene ruimte, waarvan 12 keer aan natuur en bos. Ook door de Corona-crisis in 2020-2021 merkten we een sterke stijging in het aantal bezoekers van onze natuurgebieden. Het belang van deze ESD is bijgevolg aanzienlijk en het staat dan ook hoog op de beleidsagenda in Vlaanderen (Simoens et al., 2014).

Stap 2: Effecten van klimaatverandering

In Stap 2 schetsen we de verwachte klimaatverandering in Vlaanderen. Vervolgens wordt uitgediept hoe klimaatverandering een invloed heeft op de in Stap 1 besproken structuren, processen en externe drukken en welke rol deze kunnen spelen in de adaptatie van bos. Tenslotte wordt samenvattend afgeleid wat de impact kan zijn op biodiversiteit in het bos en de belangrijkste ecosysteemdiensten van het boslandschap. We beschrijven ook het fenomeen *tipping points* en *regimeshifts* van het boslandschap.

2.1. Waargenomen en verwachte Klimaatverandering in Vlaanderen

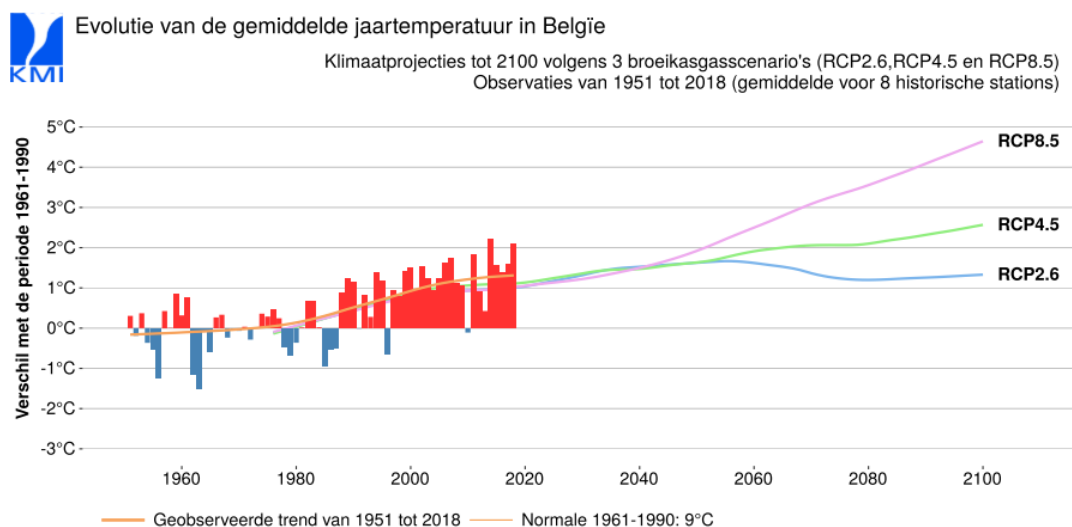
De stijging in de broeikasgassen in de atmosfeer zorgt ervoor dat meer zonnestraling wordt vastgehouden en dat de aarde opwarmt. Deze stijging in temperatuur heeft dan weer een invloed op verschillende andere abiotische factoren zoals een verandering in neerslaghoeveelheid en -spreiding doorheen het jaar, een stijging van de zeespiegel en de toename van extreme weerevents en windsnelheden.

De veranderingen in deze omgevingsfactoren hebben effecten op de processen en structuren binnen ecosystemen en dat heeft dan weer gevolgen voor de levering van ecosysteemdiensten en het functioneren van ecosystemen (Van der Aa et al., 2015).

Afhankelijk van het scenario ligt de verandering in gemiddelde temperatuur voor België tussen 0,7°C en 5,0°C tegen het einde van de eeuw. In de winter wordt over het algemeen een grotere toename in temperatuur verwacht dan in de zomer. De ruimtelijke verschillen in België zijn beperkt (KMI, 2020).

Het klimaatportaal Vlaanderen (VMM) rapporteert de waargenomen en toekomstige verandering van het klimaat op een ruimtelijk expliciete manier aan de hand van scenario's. In deze paragraaf beschrijven we kort de (veranderingen van) meteorologische factoren die een impact kunnen hebben op het boslandschap.

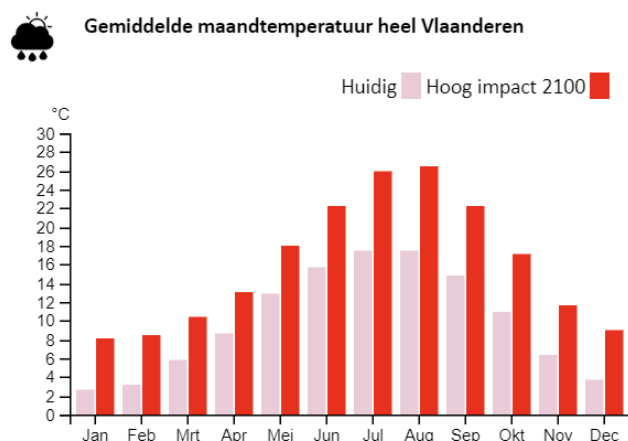
Voor deze studie werd geopteerd voor het hoge impact scenario, omdat dit het best overeenkomt met de meest recente voorspellingen (Figuur 9) (Van Der Aa et al., 2015). Vanuit de toelichting hoe het klimaat zal veranderen, wordt de doorslag naar processen, structuren, ecosysteemfuncties, ecosysteemdiensten en biodiversiteitswaarden van het landschap gemaakt.



Figuur 9. Evolutie van de gemiddelde temperatuur in België (ten opzichte van de normale 1961-1990) voor de periode 1951-2100. De lijnen stemmen overeen met het verloop van de gemiddelde geobserveerde temperaturen in het verleden. Voor de toekomst tonen ze het verloop van de gemodelleerde temperaturen volgens verschillende broeikasgasscenario's. De verticale rode en blauwe balken zijn de geobserveerde jaargemiddelden tot 2018 (bron: KMI 2020).

Het klimaatportaal gaat uit van het hoge impactscenario RPC 8.5 (Figuur 9). Dit betreft een 'business-as-usual'-scenario inzake wereldwijde uitstoot en concentraties aan broeikasgassen, waarbij het huidige uitstootpad blijft aangehouden en de mens er niet in slaagt de komende decennia de weg naar een mondiale, koolstofarme economie in te slaan. Vanuit de toelichting hoe het klimaat zal veranderen, wordt de doorslag naar processen, structuren, ecosysteemdiensten en biodiversiteitswaarden van het landschap gemaakt.

2.1.1. Temperatuur



Figuur 10 Jaargemiddelde temperatuur per maand voor het huidige klimaat en hoog impactscenario in 2100 (bron: klimaatportaal Vlaanderen geraadpleegd op 31/07/2020)

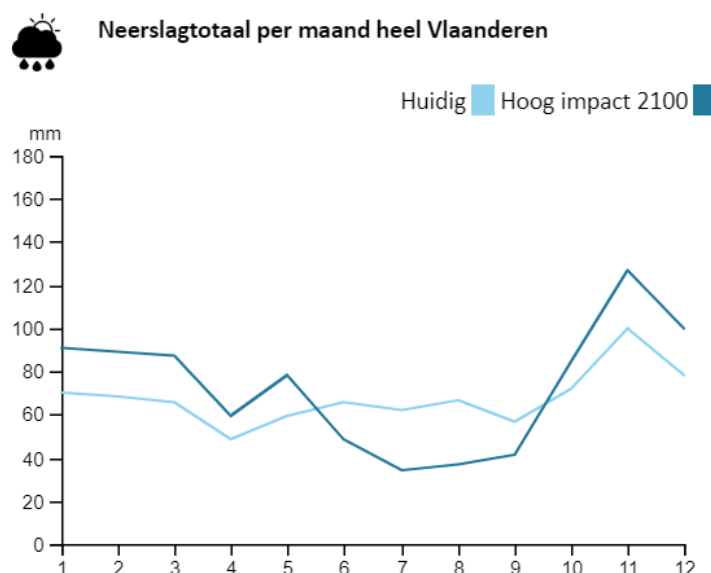
A. Jaarlijks gemiddelde temperatuur

De jaargemiddelde temperatuur (Figuur 10) zal tegen 2100 tussen de 0,7 en 7,2 °C hoger liggen dan in de referentieperiode rond 2000. In december-januari-februari schommelt deze stijging tussen 0,9 °C en 6,2 °C. In juni-juli-augustus tussen 0,2 °C en 8,9 °C. De toename in seizoengemiddelden kan hoger zijn dan de jaargemiddelde stijgingen.

B. Aantal extreem warme dagen en hittegolven

Het aantal extreem warme dagen (daggemiddelde temperatuur > 25 °C) kan stijgen van slechts enkele dagen nu tot 74 dagen tegen 2100. Het aantal extreem koude dagen (daggemiddelde temperatuur < 0 °C) kan terugvallen tot 0 per jaar. Hittegolven zullen langer aanslepen. 2050 kan 19 hittegolfdagen per jaar tellen en 2100 zelfs 50 dagen per jaar, te vergelijken met 4 hittegolfdagen in 2017 (≥ 30 °C).

2.1.2. Verdamping en neerslag



Figuur 11 Neerslagtotaal per maand voor het huidige klimaat en hoog impactscenario in 2100 (bron: klimaatportaal Vlaanderen geraadpleegd op 31/07/2020)

A. Jaarlijkse gemiddelde hoeveelheid neerslag

Het neerslagtotaal (mm) per jaar kan stijgen van 795mm in 2017 tot 899 en 1004 mm in 2050 en 2100 bij het hoog-impactscenario (Figuur 11).

B. Neerslag in de wintermaanden

In Vlaanderen kan de hoeveelheid neerslag stijgen tot +38 % tijdens de wintermaanden (december, januari, februari) tegen 2100. Het gaat niet zozeer vaker maar wel meer regenen. Het referentiejaar 2017 telde 217 mm neerslag, terwijl in 2050 231 mm en in 2100 280 mm wordt gemodelleerd.

C. Neerslagtotaal in de zomermaanden

In de maanden juni, juli en augustus daalt het neerslagtotaal van 194 mm in 2017 naar 157 mm in 2015 en 120 in 2100 (Figuur 11). Er zijn wel steeds meer en intensere zomerse zomeronweders.

D. Verdamping per seizoen (mm)

De temperatuurstijging zorgt voor meer verdamping van bodemvocht. Het aandeel van de jaarlijkse neerslag dat verdampt, kan door o.a. de hogere temperaturen toenemen van 67 % nu tot 77 % in 2100. In de zomer van 2017 verdampte circa 250 mm van de jaarlijkse neerslag; dit kan in 2050 en 2100 oplopen tot circa 280 en 310 mm.

E. Aantal droge dagen per jaar

Het aantal droge dagen per jaar kan toenemen van 172 d/j in 2017 naar 207 d/j in 2050 en 236 d/j in 2100. Meer verdamping en minder regen in de zomer verklaren waarom extreme droogte vaker en intenser zal zijn in de toekomst.

F. Lengte van droge perioden

De duur van een droge periode zal evolueren van 24 dagen in 2017 naar 42 dagen in 2050 en zelfs 57 dagen in 2100.

G. Frequentie van droogteperioden

Droogte kan in de toekomst ook vaker optreden. Het droogste jaar dat zich nu eens in de 20 jaar voordoet, kan zich tegen 2100 eens in de twee jaar voordoen. Dat is dus tot 10 maal vaker dan nu. Een heel extreme droogte (zoals in 1976 en 2018) kan eens in de 4 tot 5 jaar voorkomen.

H. Cumulatief neerslagtekort tijdens het groeiseizoen (april tot september)

In 2017 piekte deze droogte-indicator op 215 mm en in 1976 op 300 mm neerslagtekort. Door klimaatverandering zou het gemiddelde neerslagtekort in een jaar kunnen oplopen tot 485 mm tegen 2100. Zulke extreme droogte kan dan 4 maal langer duren dan de extreme droogte van 1976 en 2018. In de zomermaanden (juni, juli, augustus, september) zal circa 30 mm. minder neerslag vallen in 2100.

Klimaatverandering kan ook leiden tot een versterking van reeds bestaande milieudrukken, zoals bodemverzuring, vermesting, dalende grondwaterstanden en watervervuiling (Van der Aa et al., 2015). Effecten van klimaatverandering werden gemeten aan de hand van historische gegevens, experimenten en voorspellingsmodellen.

2.1.3. Wind

De jaargemiddelde windsnelheid van 4,5 m/s neemt met 0,1 m/s toe tegen 2100. In de wintermaanden (december, januari, februari) neemt de gemiddelde windsnelheid toe met ca. 0,4 m/s. Regio's waar de gemiddelde windsnelheid in de winter boven de 5 m/s is, verschuiven enkele tientallen kilometers landinwaarts.

2.2. Effecten van klimaatverandering op het boslandschap

De verhoging van CO₂-concentraties in de lucht heeft een rechtstreeks effect op de gemiddelde temperatuur van de Aarde met een cascade aan effecten op het abiotische milieu als gevolg (zoals hierboven besproken). Naast de rechtstreekse impact van klimaatfactoren op de ecologische structuren en processen van het boslandschap, wijzigen hierdoor ook andere reeds bestaande externe drukken. Deze hebben allemaal een impact op het ecosysteem. Hieronder diepen we de belangrijkste effecten op het boslandschap verder uit.

2.2.1. Effecten van klimaatverandering op de belangrijkste ecologische structuren en processen

Effect op ecologische structuren

Bomen en struiken

De invloed van klimaatverandering op bomen is velerlei. Door de zachtere winters en hogere temperaturen zullen bij sommige soorten hun bladeren vroeger uitlopen (Van der Aa et al., 2015). Dit kan tot gevolg hebben dat deze bomen gevoeliger worden aan vorstschade. Door de verhoogde CO₂-concentratie verwacht men ook een toename in bladoppervlakte, wat een invloed kan hebben op de vatbaarheid voor windval, maar ook op de mate van transpiratie.

Algemeen zal de verhoogde temperatuur leiden tot een langer groeiseizoen in onze streken. De frequentie van mastjaren wordt verwacht toe te nemen door de temperatuurstijging (Van der Aa et al., 2015). Lange warme periodes tijdens de winter kunnen dan weer problemen veroorzaken bij bomen die een koudeperiode nodig hebben voor het kiemproces van zaden in gang te zetten (Read et al., 2009). Algemeen wordt verwacht dat de winterhardheidszones de komende decennia in grote lijnen stabiel blijven (Gloning et al., 2013).

Ook de boomsoortensamenstelling zelf zal in de toekomst veranderen onder invloed van klimaatverandering. Door de klimaatverandering verschuift immers het klimatologische optimum in het areaal van soorten. Dit is voor bomen zeer belangrijk omdat ze een lange generatietijd kennen. Een nieuwe generatie moet dus zowel in het huidige als in het toekomstige klimaat goed kunnen overleven (Van der Aa et al., 2015).

Standplaatsgeschiktheid van bomen blijft dus een cruciale variabele, ook in het licht van klimaatverandering. Bomen die op een standplaats staan waar ze goed gedijen, zullen vitaler zijn en beter tegen externe drukken (al dan niet versterkt door klimaatverandering) opgewassen zijn.

Structuurvariatie vegetatie

Aan de verhoogde frequentie van calamiteiten onder invloed van klimaatverandering kunnen zowel positieve als negatieve effecten verbonden zijn op vlak van invloed op de structuurvariatie in een bos.

Verstoringen kunnen zorgen voor meer dood hout in het bos. In vitale bossen kunnen ze bovendien leiden tot meer natuurlijke verjonging, wat leidt tot meer structuurvariatie.

Verstorings kunnen echter ook aanleiding geven tot sterke uitbreiding van ongewenste soorten zoals invasieve exoten of voor een sterke ‘verbraming’ zorgen, en zo de verdere bosontwikkeling blokkeren of in een richting sturen die de meeste beheerders niet wensen.

De bodem

Het belang van de bodem in het kader van klimaatverandering kan niet onderschat worden. Niet alleen zal klimaatverandering door verschillende processen een effect hebben op de bodem; de bodem zal ook voor een belangrijk stuk de vitaliteit en weerbaarheid van het bos bepalen.

De bodemtextuur en het bodemprofiel zelf zullen wellicht weinig tot niet gaan wijzigen onder invloed van klimaatverandering. De bodemstructuur is echter sterk gecorreleerd met de waterbeschikbaarheid van de bodem, wat dan weer wel onderhevig is aan de impact van klimaatverandering. Een zanderige bodem zal bijvoorbeeld sneller uitdrogen dan een leem- of kleibodem. De bossen in de Kempen zijn dus in principe gevoeliger voor zomerdroogte, mede door het feit dat de modellen voor de Kempen minder neerslag voorspellen dan voor de rest van het land (Van der Aa et al., 2015). Met het oog op de toekomstige droogtes ten gevolge van klimaatverandering zal de rol van de bodemstructuur dus nog belangrijker worden.

Ook de waterhuishouding van de bodem is belangrijk in het licht van klimaatverandering. Grondwatergebonden bossen (zoals valleibossen) zijn gevoelig aan klimaatgerelateerde verdroging. De gevolgen van een dalend wateraanbod zijn o.a. droogtestress en een verminderde groei (Van der Aa et al., 2015). Door de voorspelde toename van neerslag tijdens de winter, kunnen bodems ook net langere periodes waterverzadigd raken. Dit kan leiden tot een hogere windval (Van der Aa et al., 2015).

Verdere mogelijke gevolgen van klimaatverandering op de bodem zijn (Van der Aa et al., 2015):

- Een aanpassingen van de nutriëntenrijkdom van de bodem doordat de eventuele verhoogde boomgroei zorgt dat er meer nutriënten worden opgenomen, wat kan bijdragen aan depletie van voedingsstoffen en verzuring (Read et al., 2009; Van der Aa et al., 2015).
- De zuurtegraad van de bodem kan toenemen door de verhoogde verzuring door klimaatverandering. Dit bespreken we verder onder de externe druk ‘verzuring’.
- Op het bodemleven kan klimaatverandering zowel een directe als indirecte impact hebben door de stijging in temperatuur, het hoger CO₂-gehalte in de atmosfeer, veranderingen in bodemvocht en verandering in nutriëntenrijkdom en verzuring.
- Een verhoogde verstoring van de bodem door de verhoogde frequentie van schade door calamiteiten (windworp, -breuk en brand)
- Een toename aan bodemerosie door meer extreme neerslagevents.

Het microklimaat

Klimaatverandering zal een invloed hebben op het microklimaat doordat meer bomen kunnen uitvallen door ziekte, brand, windworp, etc. waardoor de kroonsluiting in het bos wijzigt. Dit geeft overigens extra kansen voor zwakteparasieten waardoor meer bomen kunnen uitvallen en het microklimaat verder afgebouwd wordt.

Anderzijds wordt verwacht dat het bladerdek zich vroeger zal sluiten, waardoor het specifieke bosmicroklimaat vroeger op het jaar ontstaat (Van der Aa et al., 2015) met mogelijks belangrijke consequenties op de soorten die in de schaduw van de bomen groeien (Heberling et al., 2019).

Het microklimaat speelt een belangrijke rol als buffer voor de externe drukken op het bosecosysteem (Stap 1). Door de verhoogde druk geïnduceerd door klimaatverandering zal die buffering nog belangrijker worden. Aangezien het macroklimaat en met name de mate van evapotranspiratie een van de belangrijkste drivers is die de “offset” (het temperatuurverschil in het bos en er buiten) bepaalt, kan de offset in een toekomstig warmer klimaat toenemen. Dit zou betekenen dat het verschil tussen jaargemiddelde temperatuur in bos versus niet-bos tegen het einde van de 21^e eeuw groter wordt bij een gelijkblijvende bosstructuur (De Frenne et al., 2019).

Reliëf

We verwachten geen grote veranderingen in reliëf door klimaatverandering, hoewel een verhoogde erosie hier en daar het reliëf kan wijzigen.

Reliëf speelt wel een belangrijke rol in de adaptatiecapaciteit van gebieden aan klimaatverandering doordat het vaak voor gradiënten zorgt zoals temperatuurs- en vochtgradiënten. Daarnaast zal op schaal van macroreliëf een noordhelling minder snel opwarmen dan een zuidhelling, waardoor ook dit automatisch voor bescherming zorgt tijdens extreme temperatuurevents.

Dood hout

De hoeveelheid dood hout in bossen zal worden beïnvloed door klimaatverandering: door de hogere sterfte van bomen door ziektes, windval, etc. zal het aandeel dood hout stijgen.

Dood hout in het kader van klimaatadaptatie is belangrijk voor het creëren van een microklimaat, abiotische gradiënten en structuurvariatie waardoor bepaalde soorten er kunnen overleven en waardoor de complexiteit van het ecosysteem kan toenemen (zie ook verder ‘Handvaten voor beheerders’).

Ecologische processen

Primaire productie en koolstofopslag

Klimaatverandering zal een grote impact hebben op de primaire productie en koolstofopslag. De toename van CO₂-concentraties zorgt voor een toename aan fotosynthetische activiteit (Morgan et al 2001). Planten zullen meer biomassa produceren, zowel bovengronds (Ainsworth et al. 2003, Roy et al 2016) als ondergronds (Cotrufo & Gorissen 1997, Fitter et al 1999). Bij verhoogde CO₂-concentraties verhoogt ook de efficiëntie van het waterverbruik (door langere sluiting van de huidmondjes) en wordt ook het bodemvocht beter bewaard (Morgan et al 2001). Beide effecten hebben een bijkomend positief effect op de productiviteit. Deze toename van productiviteit zou zelfs compenseren voor eventueel productieverlies door extreme weerssituaties zoals droogte en hittestress (Roy et al 2016).

In gematigde streken zal het verhogen van de gemiddelde temperatuur wellicht ook een positief effect hebben op de plantengroei: het groeiseizoen zal vroeger starten en zal later eindigen; het

aantal dagen in de optimale range voor zowel bovengrondse als ondergrondse groei zal toenemen. Of de hogere temperaturen in terreinomstandigheden effectief ook zullen leiden tot een verhoogde totale productiviteit is moeilijk in te schatten. In (te) droge omstandigheden heeft een toegenomen temperatuur zelfs een negatieve impact op de productiviteit (De Boek et al 2007, Reich et al. 2018).

Extreme hitte heeft fysiologische gevolgen op cel, blad en plantniveau. Er treedt een verhoogde oxidatieve stress op, de fotosynthese vermindert, de bladontwikkeling vermindert en het de totale bladoppervlak neemt af.

Neerslagverdeling, infiltratie, evapotranspiratie

Klimaatverandering zal een erg grote invloed hebben op de watercyclus. De twee relevantste fenomenen, het frequenter optreden van langdurige droogteperiodes (door de combinatie van een neerslagtekort en hogere temperaturen) en frequentere hevige neerslagperiodes, hebben grote gevolgen voor heel wat processen gelinkt aan de watercyclus.

Wat infiltratie betreft is vooral de vermoedelijke toename aan totale neerslag op jaarbasis van belang. Door die hogere regenval, neemt de potentie voor infiltratie toe. Witte et al. 2009 schatten voor Nederland dat het grondwater sterker zal aangevuld worden, waardoor de kweldruk op veel plaatsen zal toenemen. Dergelijke modellen zijn ons niet bekend voor Vlaanderen, maar voor vele systemen in zandig Vlaanderen geldt dit mechanisme wellicht ook. In die systemen resulteert de toename in winterse neerslag wellicht in voldoende kwel om droogteperiodes te overbruggen. In systemen met ondiepe kwel of waar kwel een tijdelijk fenomeen is, verwachten we dat dit die extra grondwateraanvulling in de winter niet zal volstaan om gedurende lange zomerdroogtes nog voldoende kwel aan te voeren.

Een groter aandeel van de neerslag zal in felle buien vallen, waardoor het aandeel interceptie door de vegetatie afneemt en een groter deel van het water de bodem zal bereiken. De verschillen in interceptie tussen verschillende vegetatietypes zullen vervagen. Of de verlaagde interceptie ook resulteert in een verhoogde infiltratie is hangt sterk af van de intensiteit van de buien. Bij hevige regenbuien vloeit een groter deel van de neerslag oppervlakkig af. Droogte versterkt dit fenomeen, omdat bodemporiën die met lucht gevuld zijn hydrofoob zijn. Door droogte zullen bodemorganismen dieper in de bodem trekken en de invertebraten activiteit zal afnemen (Siebert et al 2019, Valckx et al. 2009). Beide processen leiden tot een verdere reductie van de infiltratiecapaciteit.

Wat hevige neerslag betreft, zullen vooral in de midden- en benedenstromen van rivieren, waar het water van grote stroombekkens samenkomt, kwetsbaar zijn voor zware overstromingen (Witte et al. 2009). Winterse overstromingen zullen frequenter voorkomen omdat de neerslaghoeveelheid in de winter tot 40% zal toenemen. Ook in de zomer zouden frequenter hevige neerslagperiodes voorkomen. Bij hoge debieten zullen beken in heuvelachtig terrein dieper insnijden, waardoor de beek in drogere periodes sterker zal draineren.

Indien voldoende maatregelen genomen worden om het water maximaal op te houden in bovenstroomse gebieden en daar gebufferd kunnen worden, kan een meer natuurlijke watercyclus nagestreefd worden en zal de impact van klimaatwijziging verminderen. Ook de

toepassing van de basisprincipes van het integraal waterbeheer, waarbij prioritair ingezet wordt op vasthouden, daarna op bufferen en als laatste op versneld afvoeren kan een groot deel van de overstromingsproblematiek in natuurgebieden vermijden.

Nutriëntenrecyclage

Hogere temperaturen verhogen microbiële activiteit. Heel wat afbraakprocessen zullen in de meeste gevallen versneld worden, met hogere vrijstelling van plantbeschikbare mineralen en een minder snelle opbouw van organisch materiaal. De variatie op dit thema is groot, met o.a. verschillen naargelang het klimaat, het vochtgehalte en de duur van de blootstelling aan warmte (Wang et al. 2019).

Droogte versterkt dit proces door de verhoogde beschikbaarheid van zuurstof. Bij langdurige droogte daalt het grondwaterniveau en het vochtgehalte in de bodem. De afbraak (oxidatie) van organisch materiaal wordt hierdoor meestal versneld, vooral in gebieden die voorheen natter waren. Nutriënten worden hierdoor vrijgesteld en er komt CO₂ vrij. Wanneer bij extreme droogte een droogtestress ontstaat, zullen verschillende microbiële processen echter ophouden.

2.2.2. Effecten van klimaatverandering op externe drukken

Fragmentatie

Fragmentatie an sich zal wellicht niet beïnvloed worden door klimaatverandering, tenzij klimaatverandering zorgt voor grote sociale shifts die daartoe leiden. Al lijkt in het kader van klimaatverandering eerder de omgekeerde shift een logisch gevolg.

De invloed van klimaatverandering zal door fragmentatie echter wel versterkt worden doordat temperatuurextremen bijvoorbeeld dieper in het bos kunnen dringen of doordat de hoge externe drukken van het omliggende landgebruik – die zullen toenemen door klimaatverandering – ook dieper kunnen indringen.

Milieudruk

Wateronttrekking, drainage en verdroging

Klimaatverandering zal op verschillende manieren een invloed hebben op de verdroging van natuurgebieden.

Eerzijds kan het zorgen voor een toename in antropogene wateronttrekking. Nu al zien we dat landbouwers in aanloop van een droge zomer massaal water oppompen en ook oppervlaktewater aanwenden om als irrigatiewater te kunnen gebruiken.

Anderzijds zal klimaatverandering verdroging ook rechtstreeks beïnvloeden door een verhoogde evapotranspiratie gecombineerd met minder neerslag in de zomer. De voorspelde (en waargenomen) drogere, warmere zomers vergroten de kans op droogtestress en een verminderde vitaliteit bij verschillende boomsoorten (Van der Aa et al., 2015), wat hen vatbaarder maakt voor ziektes en plagen (zie ook verder).

Droogte is ook een belangrijke factor in de verspreiding van bosbranden. Bossen met veel bochtige smele of duinriet zijn gevoeliger, net als dennenbossen op droge gronden (Van der Aa et al., 2015).

Bodemverrijking en verzuring

Een hogere gemiddelde temperatuur in combinatie met lagere grondwaterstanden en een betere doorluchting van de bodem kan resulteren in een snellere afbraak van organisch materiaal. Daardoor zullen meer voedingsstoffen vrijkomen zoals stikstof en fosfaat (Van der Aa et al., 2015). Plantengroei wordt in het algemeen gestimuleerd door dergelijke bodemverrijking. De verhoogde plantengroei kan echter ook leiden tot nutriëntendepletie (Van der Aa et al., 2015). Verder wijzigt de soortensamenstelling van de ondergroei in bijna alle bossen. Stikstofminnende planten krijgen de bovenhand waardoor andere, vaak typische, bossoorten worden weggeconcentreerd. Door deze verstoorde nutriëntenbalans kan de vitaliteit van bossen verlagen en plaaggevoeligheid toenemen (MIRA, 2013).

Door lagere grondwaterstanden en een betere doorluchting van de bodem kan oxidatie optreden in de bodem, waardoor zuren gevormd worden. Afhankelijk van het bufferend vermogen van de bodem, zal de pH al dan niet sterk dalen. Dit bufferend vermogen zelf verlaagt eveneens, aangezien bufferende stoffen minder worden aangebracht vanuit het grondwater en door toenemende neerslag worden uitgespoeld (Van der Aa et al., 2015). Bij lagere grondwaterstanden vergroot ook het effect van zuur regenwater bij extreme neerslag (Van der Aa et al., 2015).

Anderzijds hebben ook extreme neerslag en overstroming hun impact. Tijdens overstromingen kunnen nutriënten van buitenaf in het systeem gebracht worden. Daarnaast is tijdens overstromingen zuurstof niet beschikbaar in de bodem, waardoor fosfaten kunnen vrijkomen in kalkarme milieus. Bodems die rijk zijn aan sulfaten zijn in het bijzonder gevoelig voor deze vorm van vermisting (Van der Aa et al., 2015).

Verontreiniging

Bij een verhoogde frequentie van overstroming van gebieden, kan de verontreiniging van gebieden toenemen. Via overstromingen worden immers extra polluenten in het gebied ingebracht.

Anderzijds kan door verdroging de concentratie aan polluenten die al aanwezig zijn in een gebied (i.e. zelfde hoeveelheid in minder water), de mate van verontreiniging stijgen.

Verontreiniging is belangrijk in het kader van klimaatverandering omwille van de impact op de vitaliteit van het systeem. Sterk verontreinigde gebieden zullen minder weerbaar zijn en bijgevolg nog sterker onder druk komen te staan onder de toegenomen klimaatverandering.

Recreatiedruk

De recreatiedruk kan vooral indirect beïnvloed worden door klimaatverandering.

Eenzijds kan de recreatiedruk toenemen doordat bossen koelte bieden die in de extreme hitteperiodes opgezocht wordt door de recreanten.

Anderzijds kan de toename in calamiteiten ook zorgen voor een vermindering van recreatiedruk op sommige momenten. Bij hoog brandgevaar dient bezoek afgeraden te worden (maar in de praktijk gebeurt dit niet meer in Vlaanderen; enerzijds is dit niet te handhaven, anderzijds ben je de sociale controle kwijt), net zoals het bij storm afgeraden wordt om het bos te betreden.

Bodemcompactie

Bodemcompactie van bosbodems vindt typisch plaats tijdens beheerwerken, maar het kan ook plaatvinden onder invloed van neerslag. Een stijging in extreme neerslagevents onder klimaatverandering kan dus ook zijn weerslag hebben op de bodemcompactie in onze bossen.

De gevoeligheid van een bodem voor compactie is afhankelijk van de vochtigheid en de textuur. Leem- en kleihoudende gronden zijn gevoeliger dan zandgronden. En hoe natter de bodem hoe groter de schade (Ecopedia, n.d.). De mate van bodemcompactie wordt verder ook bepaald door de druk zoals het aantal passages, het type werk en de manier van uitvoeren (breedte van banden en rupsen, manier van rijden) en voorkomen van eventuele piekbelasting. Het vermijden van bodemcompactie als externe druk is daarom even cruciaal onder klimaatverandering.

Biotische druk

(Invasieve) exoten

Uitheemse soorten halen niet per se een groter voordeel uit klimaatwijzigingen dan inheemse soorten. Of exoten beter zullen gedijen in het veranderende klimaat zal – net zoals voor inheemse planten – zeer soortspecifiek zijn (Leishman & Gallagher, 2015).

Klimaatwijziging zal de druk door biologische invasies mogelijk wel verder doen toenemen. Enerzijds zullen ecosystemen wellicht kwetsbaarder zijn omdat de standplaats niet langer samenvalt met de optimale niche van klimaatgevoelige soorten die er nu nog voorkomen. Anderzijds zullen een aantal (potentieel invasieve) soorten uit andere warmere klimaten concurrentieel sterker worden onder klimaatwijziging. Sommige soorten zullen vermoedelijk uitbreiden uit de stedelijke context of uit zuidelijkere gebieden (Van der Aa et al., 2015).

Plagen en ziektes

De invloed van klimaatverandering op het voorkomen van plagen en ziektes is complex en moeilijk te voorspellen. De klimaatverandering zorgt voor een verschuiving in aanwezige pathogenen; sommigen kunnen hier beter of slechter overleven. Bomen onder stress (door bv. droogte) zijn gevoeliger voor ziekten en aantastingen waardoor de kans op infectie groter wordt. Afgestorven of verwonde bomen door bosbranden of windschade vormen daarenboven een voedingsbron voor sommige insecten en ziektes (Van der Aa et al., 2015).

Over het effect van mildere winters bestaat enigszins twijfel. Sommigen vermoeden dat meer individuen overleven door de zachtere winters, maar anderen denken dat – door het verminderen van de sneeuw – de isolerende laag ook zal verdwijnen in de winter waardoor er net meer sterfte zal zijn (Van der Aa et al., 2015). Het effect zal waarschijnlijk sterk soortafhankelijk zijn. Read et al. (2009) verwachten dat vooral bladluizen, bastkevers, bladwespen, snuitkevers en vlinders waarvan de rupsen in hout leven zullen toenemen.

Door de klimaatverandering is het mogelijk dat secundaire plaaginsecten ook gezonde bomen aanvallen en dus een primair karakter aannemen. Sommige pathogenen en plaagsoorten

hebben een specialistisch karakter (slechts één of enkele gastheren). Andere pathogenen en ziektes hebben dan weer een generalistisch karakter (meerdere gastheren). Door klimaatverandering zijn er verschuivingen te verwachten in het specialistisch dan wel generalistisch karakter van sommige soorten.

De voedingswaarde van bladeren, naalden of bast kunnen veranderen door het gewijzigde neerslagpatroon in het groeiseizoen. Het effect hiervan op vraat en schade is ook hier weer moeilijk te voorspellen en soortspecifiek (Van der Aa et al., 2015).

Calamiteiten

Bosbrand

Alhoewel het zeer aannemelijk is dat het risico op bosbrand stijgt naarmate het droger wordt, is het nog niet duidelijk wat dit voor de bossen in Vlaanderen zal inhouden. De grote versnippering van onze bossen, hoe negatief ze ook is in quasi alle opzichten, vormt wel een rem op het ontstaan van grootschalige bosbranden (Van der Aa et al., 2015).

Storm

In verschillende landen wordt een toename van de windsnelheden tijdens de winter voorspeld (Read et al., 2009). Er wordt zowel een hogere frequentie als intensiteit van stormen verwacht. Tot nu toe blijven de voorspellingen van eventuele wijzigingen in het windklimaat echter zeer onzeker (Van der Aa et al., 2015).

Maar even goed bij een ongewijzigd windklimaat, kan de kans op windschade verhogen. De voorspelde toename van de neerslag tijdens de winter zal leiden tot meer frequente en langdurige periodes van waterverzadiging in de bodem, wat resulteert in een verminderde stabiliteit en een kleinere weerstand van de bomen tegen stormwind. Daarnaast kan de toename van de bladoppervlakte als gevolg van hogere CO₂-concentraties, evenals een langer groeiseizoen voor loofboomsoorten, het risico op windschade doen stijgen (Van der Aa et al., 2015).

Overstromingen

Het aantal overstromingen zal door klimaatverandering vermoedelijk toenemen. Dit komt enerzijds door de stijging van de zeespiegel waarbij naast de kust ook getijdenrivieren kunnen zorgen voor overstromingen bij hoogtij. Het Sigmaplan houdt hier echter al zoveel mogelijk rekening mee. De andere reden gaat uit van de verhoogde neerslagintensiteit in de winter en de toename aan zomeronweders wat kan leiden tot piekdebieten die niet snel genoeg af te voeren zijn (Van der Aa et al., 2015).

In de gebieden waar overstromingen vaker zullen voorkomen, zijn voornamelijk populieraanplantingen en andere natte bostypes terug te vinden. Toch beslaan droge bostypes 25% van de risicozone (Van der Aa et al., 2015).

Naast de rechtstreekse druk die overstromingen op vegetatie vormen, zorgt overstroming ook potentieel voor een hogere bemesting, verzuring en verontreiniging door inbreng van bepaalde stoffen.

2.3. Effect van klimaatverandering op biodiversiteit

De relatie tussen klimaatverandering en biodiversiteit bespreken zou een rapport op zich kunnen vormen. Dit willen we hier echter niet doen.

We geven enkel mee dat de invloed van verschillende klimaatdrivers op verschillende aspecten van biodiversiteit zeer sterk kan verschillen. Klimaatverandering zal niet alleen een invloed hebben op specifieke soorten, maar ook op de relatie tussen die soorten. Eén voorbeeld: door het vroeger uitlopen van bladeren van bomen, zal de bosbodem sneller donker worden waardoor sommige voorjaarsbloeiërs niet meer in staat zullen zijn tot bloei te komen (Heberling et al., 2019; Van der Aa et al., 2015).

Een zeer goede publicatie die de effecten van klimaatverandering bespreekt op verschillende habitattypes en specifieke soorten is Natural England & RSPB (2019). Ook in Van der Aa et al. (2015) wordt voor enkele (bos)soorten de invloed van klimaatverandering specifiek voor de Vlaamse context besproken.

2.4. Effect van klimaatverandering op de belangrijkste ecosysteemdiensten

2.4.1. Houtproductie

In wat volgt vatten we het hoofdstuk 4.7.4 uit Van der Aa et al. (2015) samen, waarin uitgebreid het effect van klimaatverandering op houtproductie wordt beschreven.

Klimaatverandering zal enkele directe en indirecte effecten hebben op de houtproductie in onze bossen. De boomgroei zal direct beïnvloed worden; zowel positief als negatief. Welk netto-effect je precies kan verwachten, valt moeilijk te voorspellen en zal sterk afhangen van de locatie. De stijging in atmosferische CO₂ en de toegenomen omgevingstemperatuur zullen de groei positief beïnvloeden zolang de andere groeifactoren niet gelimiteerd worden. De hogere kans op zomerdroogte zal daarentegen een negatieve invloed uitoefenen alsook de hogere kans op infectie door ziektes en plagen. Sommige boomsoorten zullen dermate onder druk komen te staan dat ze potentieel verdwijnen van de houtmarkt zoals reeds gebeurde met iep en es, een trend die we nu ook zien bij fijnspar omwille van de letterzetter.

Ook de stijging van de ozonconcentratie zal een negatief effect hebben op de groei (Van der Aa et al., 2015).

Naast de groei zal de mortaliteit van bomen toenemen onder invloed van klimaatverandering. Branden zorgen voor de vernietiging van hout. Dennenbossen – die een belangrijk aandeel van de Vlaamse houtproductie voorzien – zijn hier erg gevoelig voor. Windval vernietigt niet per se

het hout, maar kan het wel beschadigen. Vooral homogene beukenbestanden en populierenbestanden zijn hier gevoelig voor.

Alluviale bossen zullen vaker onder water komen te staan; eventuele schade, groeivermindering en sterfte hierdoor zullen ook de houtproductie negatief beïnvloeden. Als gevolg van ziektes en plagen kunnen grote hoeveelheden hout – vaak tegelijk – op de markt gebracht worden (Van der Aa et al., 2015).

De houtkwaliteit zelf zal beïnvloed worden door de hogere temperaturen die leiden tot meer takkigheid en Sint-Janslot. Versnelde of vertraagde groei zal de houtdensiteit beïnvloeden. Het effect daarvan is afhankelijk van de boomsoort. De verhoogde windsnelheden en stormen zullen leiden tot het vormen van meer reactiehout en minder kwalitatieve stamvormen. Ook ziektes en vorstschade leiden tot een ongewenste boomarchitectuur door het beschadigen van de eindknop (Van der Aa et al., 2015). Dit alles heeft zijn weerslag op de economische waarde van de hout. Een lagere houtkwaliteit zal minder opbrengen en door de grote hoeveelheden hout die tegelijk op de markt komen, daalt de prijs.

Anderzijds wordt verwacht dat de vraag naar hout met grote waarschijnlijkheid zal stijgen. Hout is een duurzame grondstof en in ons streven naar een duurzamere samenleving zal het belang van hout als materiaal toenemen. Bovenop de vraag naar hout als grondstof zal ook de vraag naar hout als biomassa voor bio-energie stijgen. Zowel in het plan van de Vlaamse regering om tegen 2050 elke woning energieneutraal te maken als in het klimaatplan van de Europese Unie om tegen 2050 een klimaatneutraal continent te zijn zal hout een belangrijke rol spelen.

Dit betekent niet enkel dat er méér houtproductie nodig is, maar ook dat dit hout van ‘dichtbij’ moet komen. Enerzijds omwille van de lagere uitstoot door transport. Anderzijds omdat de sociaaleconomische impact van klimaatverandering niet-lineair zal zijn en calamiteiten in andere werelddelen een impact zullen hebben op de toeleveringsketen, globale productie en additionele kosten zoals verzekeringen (Woetzel et al., 2020). Meer extreme weersomstandigheden in de oorsprongsgebieden vanwaar we hout importeren zal dus een rechtstreeks effect hebben op de Vlaamse houtmarkt, bovenop de steeds heviger strijd die nu al heerst om aan voldoende grondstoffen te geraken (“Het wereldwijde gevecht om grondstoffen: hoe is het zover gekomen?,” 2021)

Tot slot kan het ook zijn dat in de toekomst subsidiëring van bos- en natuurbeheer zal afnemen door de vele crisissen en steunmaatregelen. Dit kan leiden tot het opkrikken van de monetaire waarde van bos om het beheer te financieren. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, maar één voor de hand liggende oplossing is om de houtproductie te stimuleren.

2.4.2. Groene ruimte voor buitenactiviteiten

In het kader van klimaatverandering kunnen we zowel de vraag naar recreatiemogelijkheden als het aanbod hiervan beschouwen.

We verwachten dat de nood en vraag naar recreatiemogelijkheden in de natuur zal toenemen. Door frequentere hittegolven of pandemieën kan verwacht worden dat mensen de stad zullen ontvluchten om verkoeling in het buitengebied te zoeken of binnen de stad in parken zullen vertoeven. Los van klimaatverandering zien we een algemeen stijgende trend in recreatie in onze natuurgebieden.

Aan de aanbodzijde spelen zowel negatieve als positieve zaken een rol. In het kader van de klimaatstrategie worden meer bomen aangeplant en meer natuurgebieden ingericht. Ook als we overschakelen naar een minder ruimte-intensieve landbouw door minder veeteelt of door intensieve kasteelt komt er ruimte vrij. Als we ook een einde toeroepen aan de ongebreidelde uitbreiding van onze woongebieden en compacter zouden gaan leven, zou hier ook ruimte door kunnen vrijkomen. Dergelijke transities kunnen potentieel zorgen voor een stijging in het aanbod van bos en natuur.

Daarentegen kan verwacht worden dat door de toegenomen frequentie van stormen, branden en overstromingen ook de frequentie en duur van periodes dat bossen niet betreden kunnen worden, zal stijgen. Bovendien zullen meer bomen afsterven door ziekten, plagen, droogte of andere drukken waardoor meer staand dood hout zal aanwezig zijn, wat het gevaar op vallende stammen of takken vergroot. Dit heeft een negatieve impact op de aanbodzijde.

Tenslotte kan de recreatiefunctie van bossen een belangrijkere financiële inkomstenbron worden om bos- en natuurbeheer te bekostigen. Voorlopig heeft deze recreatieve functie bijna nergens een directe monetaire waarde. Indirect kan de waarde ingeschat worden bijvoorbeeld op basis van inkomsten uit toerisme, maar deze inkomsten vinden zelden hun weg naar het effectieve bos- of natuurbeheer. De vraag is natuurlijk of dit alles wenselijk is in het kader van sociale gelijkheid en onze cultuur.

2.5 Tipping points en regimeshifts van het boslandschap

Ecosystemen kunnen een bepaalde mate van stress ondergaan en vandaaruit herstellen naar de oorspronkelijke situatie als de stressfactor weer afneemt. Bij een te hoog stressniveau ondergaat het ecosysteem echter dergelijk grote veranderingen dat een terugkeer naar de vroegere situatie erg moeilijk wordt. Na een dergelijk omslagpunt of *tipping point* zijn veranderingen onafwendbaar en vaak onomkeerbaar. Dit zijn *tipping points* die vooral beschreven worden op wereldniveau (zie Bijlage 2).

Omslagelementen zijn dan belangrijke elementen die een aanzienlijk risico lopen om voorbij een omslagpunt geduwd te worden waarna (vaak onomkeerbare) veranderingen onafwendbaar zijn. Op wereldniveau kunnen omslagelementen binnen het Aardse systeem die voorbij het *tipping point* geduwd worden, een grote impact hebben op grote delen van de wereldbevolking. Dat laatste maakt ze politiek relevant. Het zijn zelf-versterkende en elkaar-versterkende mechanismen die op hun beurt klimaatverandering vaak ook versterken. We denken onder andere aan:

- door het deels afsmelten van de ijskappen komt donkere oppervlakte met een laag albedo (water aan de noordpool, rotsen/bodem op Groenland/Antarctica) bloot te liggen, en dit creëert een feedback loop van nog snellere opwarming.
- het 'bleachen' van koraalriffen door toenemende oceaantemperaturen en verzuring,
- het verdwijnen van het Amazonewoud door de klimaatverandering, die het Amazonewoud zelf mee veroorzaakt.

Om dit te vermijden zijn snelle en drastische acties nodig om onze uitstoot van broeikasgassen terug te dringen en zo de weg naar een koolstofneutrale samenleving in te slaan (Bijlage 2).

Als beheerders van ecosystemen kunnen we trachten deze gezond te houden en beschadigde milieus te herstellen en andere vormen van druk op de natuur te verminderen. Verlies of beschadiging van ecosystemen vermindert hun vermogen om koolstof af te vangen en op te slaan. Bovendien bieden halfnatuurlijke en door de mens beheerde ecosystemen vele mogelijkheden om actief koolstof vast te leggen en emissies te verminderen.

Naar analogie van dit theoretisch concept beschrijven we in deze paragraaf hoe klimaatverandering het boslandschap betekenisvol kan aantasten. Deze veranderingen staan nooit los van de overige heersende milieudrukken.

Ecosystemen zitten nooit op een stabiel evenwicht, ze zijn constant in evolutie. Ze bevinden zich op een 'hellend vlak', en worden onder invloed van interne en externe drukken in een bepaalde richting 'geduwd'. Het steeds frequenter en langduriger voorkomen droogte, hitte, storm, brand... onder invloed van klimaatverandering, bovenop de huidige milieudrukken, tast ecosysteemprocessen en -structuren telkens weer aan. Wanneer deze aantastingen zich opstapelen en het systeem niet voldoende tijd krijgt om zich te herstellen, zal het er op een gegeven moment in de toekomst totaal anders uitzien.

In een bosesysteem zal zich dit eerst manifesteren in een verandering in boomsoortensamenstelling. Naarmate de frequentie van calamiteiten zodanig toeneemt, zal er zich echter een onomkeerbare overgang (i.e. 'regimeshift') voordoen waarbij de typische structuren en functies van het bos (met name bomen die groot en oud worden, een bosmicroklimaat, een bosbodem, microreliëf, horizontale structuurdiversiteit, een systeem dat CO₂ vastlegt, ...) gewijzigd worden. Wanneer dit gebeurt en hoe dit nieuwe ecosysteem er zal uitzien, kunnen we niet voorspellen. We kunnen wel beschrijven welke klimaatgerelateerde mechanismen het grootste risico betekenen voor een zogeheten 'regimeshift' van het boslandschap in Vlaanderen.

De combinatie van klimaatverandering, verdroging en vermesting kan een drastische achteruitgang van natte bostypes veroorzaken in Vlaanderen. Het dieper en langer wegzakken van de grondwatertafel en de (periodieke) en soms langdurige verlaging van het bodemvocht heeft gevolgen voor natte natuurtypes in het boslandschap, die het karakter van de drogere bostypes krijgen.

Vaststellingen in het veld wijzen erop dat droogteperiodes in het voorjaar en in de zomer kunnen leiden tot vermindering van de algemene vitaliteit en zelfs massale sterfte van verschillende boomsoorten in verschillende van onze bossen (Zie ook Handvat 4.2.5 Boomsoorten in de

problemen). Droogte kan de vitaliteit van boomsoorten rechtstreeks beïnvloeden, maar kan vooral de soort ook verzwakken waardoor secundaire zwakteparasieten de boom afdoden. De massale sparrensterfte door toedoen van de letterzetter is hier een duidelijk voorbeeld van. Een (secundaire) plaagsoort kan een bestaande opstand volledig aantasten, waardoor deze zich niet meer kan verjongen. Bij de ineenstorting van een volledige lokale populatie aan boomsoorten onder invloed van droogte en plagen, veranderen ook de structuren, processen en diensten van het boslandschap ingrijpend.

De impact van klimaatverandering op Vlaamse bossen zal niet overal aan dezelfde snelheid en met dezelfde intensiteit gebeuren. Vandaar dat een gediversifieerde adaptatiestrategie wordt voorgesteld in dit rapport.

Stap 3: Adaptatiestrategie

Hoe kan je de kwetsbaarheid van je natuurgebied voor klimaatveranderingen inschatten? Hoe kun je in de praktijk klimaatadaptieve maatregelen afwegen en toepassen? Hoe kunnen we de beheerde natuur zo duurzaam mogelijk gebruiken en anticiperen op de verwachte veranderingen van het klimaat?

Het natuurbeleid en -beheer houdt op dit moment weinig expliciet rekening met klimaateffecten. Natuurontwikkeling en natuurdoelstellingen worden nu vaak bepaald op basis van gebiedskenmerken en gewenste (zeldzame) soorten. De huidige manier van werken beoogt een statisch einddoel en gaat uit van stabiele omgevingsfactoren. Daarbij is het referentiebeeld gebaseerd op klimaatomstandigheden uit het verleden, die door de klimaatverandering niet meer actueel zijn. Om de effecten van klimaatverandering te kunnen opvangen is een strategie nodig die rekening houdt met een steeds veranderend klimaat. In deze stap werken we een strategie uit die bedoeld is om het adaptief vermogen van landschappen te versterken. Hierdoor kan het gebeuren dat een strategie die rekening houdt met een steeds veranderend klimaat niet altijd goed aansluit bij de huidige natuurbeheerdoelen.

We reiken in deze stap informatie en een methode aan om de huidige plannen en programma's aan te vullen en dus niet te vervangen. Via een overwogen strategie en hierop geënte maatregelen kunnen we onze natuur aanpassen aan klimaatverandering. Enkele voorbeelden zijn: aanpassingen in natuurbeheer, verbetering van de ruimtelijke samenhang en hydrologische maatregelen.

Stap drie bestaat uit drie delen. Eerst geven we een reeks **algemene principes** (3.1) die de basisregels vormen voor klimaatadaptief natuur- en bosbeheer. Deze algemene principes vormen de grondgedachte voor elke (set van) adaptieve maatregel(en) of adaptieve projecten. Ze werden gekozen op basis van wetenschappelijke inzichten over klimaatverandering en aangepast aan de Vlaamse situatie. Het geheel van deze algemene principes kan gezien worden als een strategie om landschappen weerbaarder te maken tegen de gevolgen van klimaatverandering. Deze principes zijn algemeen geldig voor alle landschapstypes. Ze kunnen gebruikt worden als toetssteen bij het opstellen van natuurbeheerplannen die rekening houden met de effecten van klimaatverandering.

Maar hoe kom je te weten welke maatregelen je best toepast in jouw gebied? Wellicht ben je al bezig met klimaatadaptatie, zonder het te weten of zo te benoemen. In 3.2 worden **een werkwijze en tool** aangeboden om te evalueren welke kenmerken je gebied of perceel kwetsbaar maken voor klimaatverandering. Deze kenmerken worden de veerkrachtcriteria genoemd. Je kan een reeks criteria scoren die samen aangeven of je gebied kwetsbaar of veerkrachtig is tegen klimaatverandering. Voor elk landschapstype werd een eigen scoretabel opgesteld. De score-oefening wijst aan welke veerkrachtcriteria kunnen verbeteren via beheermaatregelen. Dit zijn de adaptatieprioriteiten.

In 3.3 selecteer je - op basis van de veerkrachtcriteria die beter kunnen - de meest gepaste maatregelen voor je gebied in de **databank met adaptatiemaatregelen**. De klimaatadaptieve beheermaatregelen (3.3) die een terreinbeheerder kan uitvoeren, dragen bij aan één of meerdere van de algemene klimaatadaptieve beheerprincipes uit 3.1.

Figuur 12 vat de werkwijze en samenhang tussen 3.1 , 3.2 en 3.3 samen.



Figuur 12 Werkwijze en samenhang tussen 3.1 , 3.2 en 3.3

3.1 Principes voor adaptief natuurbeheer

Het klimaatadaptief beheer van een gebied is maatwerk. Er zijn echter een aantal adaptatieprincipes die opgaan voor bijna alle ecosystemen in Vlaanderen. Het gaat om omvattende principes, te gebruiken in natuurbeheer maar ook bruikbaar in projecten en plannen. We omschrijven algemene klimaatadaptieve principes die gelden voor alle landschapstypes. Deze worden aangevuld met een reeks landschapseigen adaptatieprincipes waar relevant. Deze klimaatadaptieve principes zijn onder te brengen onder deze vier pijlers:

Pijler 1) Robuuste natuur

Pijler 2) Goede milieuomstandigheden

Pijler 3) Gevarieerde ecosystemen

Pijler 4) Voorkomen van natuurrampen of hun impact milderen

Pijler 1 Robuuste natuur

- **Vergroot de oppervlakte natuurkernen**

Vergroten is één van de belangrijkste principes om gebieden weerbaarder te maken tegen de gevolgen van klimaatverandering. Grotere gebieden huisvesten grotere populaties, waardoor de kans op het lokaal uitsterven van soorten door toevalsfactoren verkleint. Hoe groter de oppervlakte en variatie in natuurlijke habitats, hoe kleiner de kans dat het volledige gebied even hard getroffen wordt door een verstoring. Herstel kan optreden door herkolonisatie vanuit de minder getroffen zones.

Grote aaneengesloten natuurlijke habitats kunnen grotere populaties en een grotere variatie aan soorten herbergen. Bovendien zijn er meer kansen voor biodiversiteit omdat er meer verschillende niches voor soorten voorkomen - beter gekend als de *species-area relationship* (McGuinness 1984).

In grote gebieden is er meer ruimte voor spontane processen zoals veenvorming, extensieve begrazing, windwerking, overstroming. Er is ook meer ruimte voor gradiënten, bodemtypes, afwisselingen in reliëf. Bij weersextremen kunnen soorten zich verplaatsen naar die plekken waar ze kunnen overleven. Hierdoor is adaptief beheer in theorie gemakkelijker te bereiken in grotere dan in kleine gebieden. In grotere bossen en natuurgebieden (grootteorde > 1000 ha) kunnen verschillende functies als houtoogst, recreatie of natuurherstel makkelijker met elkaar verzoend worden. Hoe groot de gebieden moeten zijn om de hoger genoemde aspecten te realiseren is moeilijk te zeggen en niet bekend (Bijlsma et al., 2012).

- ***Buffer kwetsbare natuur***

Door de hoge druk vanuit het omliggend landgebruik is inzetten op buffers rondom natuurgebieden zeer relevant, ook al kan je daar geen topnatuur creëren. Natuurlijke klimaatbuffers definiëren we als gebieden met een minder intensief landgebruik die helpen om de gevolgen van klimaatverandering aan te kunnen: het vasthouden en opvangen van water, het voorkomen van watertekorten, het temperen van hitte het beschermen tegen erosie en de instroom van modder en vervuild water. Klimaatbuffers beschermen kwetsbare natuurwaarden tegen milieudrukken vanuit omliggende landgebruiken en kunnen ingezet worden om het leefgebied van soorten te vervolledigen. Die drukken worden immers versterkt door klimaatverandering. De beheerder kan ook via kleinschalige maatregelen een deel van de milieudruk vermijden of de meest kwetsbare zones bufferen. Bijvoorbeeld: de aanleg van een geleidelijke bosrand vermindert turbulenties in de rand waardoor stikstofdeposities dalen en zorgt anderzijds ook voor een koelere boskern. In overstromingsgevoelige gebieden kan de aanleg van een slibvang zorgen voor een verminderde aanvoer van voedingsstoffen naar de natuurgebieden zelf.

- ***Bevorder klimaatgedreven soortverbreiding***

Soortenrijke systemen zijn vaak robuustere systemen. Door de klimaatwijziging dreigen soorten te verdwijnen omdat het leefgebied bij een toekomstige klimaat niet langer overeenkomt met het huidige leefgebied van de soort.

Soorten kunnen overleven als ze zich aanpassen aan klimaatveranderingen, bijvoorbeeld door het verdragen van nieuwe warmtevoorwaarden of genetische aanpassingen. Een alternatief is hun niche volgen over een geografische breedtegradiënt. Door het opwarmend klimaat, verschuift het potentiële verspreidingsgebied van heel wat soorten naar de polen. Verschuiven naar hoger gelegen gebieden is niet mogelijk in het topografisch vlakke Vlaanderen.

We verwachten dat soorten waarvan de zuidgrens van hun areaal in Vlaanderen ligt, hier zullen verdwijnen. Anderzijds verwachten we dat warmteminnende soorten hier steeds beter zullen

kunnen overleven. Het is daarbij aannemelijk dat mobiele soorten gemakkelijker nieuwe, geschikte gebieden koloniseren terwijl dit voor minder mobiele soorten minder gemakkelijk gaat. Maar het kan best zijn dat zelfs zeer beweeglijke soorten hier niet in zullen slagen, omdat de connectiviteit tussen populaties ook afhankelijk is van levensgeschiedenis, verspreiding en omgevingscontext. Veel is nog onzeker. Zullen de juiste omstandigheden hier aanwezig zijn voor zuidelijke nieuwkomers?

In het sterk versnipperd Vlaanderen moet daarom ook vanuit klimaatoogpunt verder gewerkt worden aan het **uitbouwen van (blauwgroene) netwerken**. Vooral landsgrensoverschrijdende migratiecorridors met een noord-zuid oriëntatie zoals de Schelde- en Maasvallei zijn uiterst belangrijk om het opschuiven van soorten te vergemakkelijken. Soorten van hier die opschuiven naar het noorden, worden best zo lang mogelijk ondersteund om hun vertrek voor te bereiden. Tegelijkertijd kunnen nieuwkomers opgevangen worden. Uitwisseling tussen populaties verzekert ook een brede genetische basis, zodat soorten het vermogen hebben om zich aan te passen aan een veranderende omgeving.

Daarnaast is **geassisteerde migratie of translocatie van soorten**, waarbij de mens een handje helpt bij het bereiken van geschikte leefgebieden, nodig voor hervestiging van soorten. Hierbij wordt rekening gehouden met mogelijke schadelijke effecten en de habitatgeschiktheid van het te bevolken gebied (Hulme, 2005). Een voorwaarde is natuurlijk ook dat elk biotoop een voldoende oppervlakte heeft om een voldoende grote populatie te huisvesten.

Pijler 2 Goede milieuomstandigheden

- ***Beheer de waterhuishouding***

Een goede waterhuishouding is cruciaal om gebieden te wapenen tegen droogte, wateroverlast en overstroming. We verwachten droogte- en temperatuur-gerelateerde effecten op onze ecosystemen, door meer verdamping en verminderde grondwateraanvulling. De totale neerslag neemt toe, maar zal voornamelijk in het winterhalfjaar vallen. Diepe kwel zal wellicht eerder stabiel blijven of zelfs toenemen in lager gelegen landschapsdelen wanneer het infiltratiegebied uit zandige bodems bestaat. Ondiepe kwelstromen of tijdelijke stuwwatertafels zullen daarentegen zeker sneller verdrogen. Habitats zijn afhankelijk van een zeker vochtgehalte of een zekere bereik van grondwaterstanden. Verminderde vochtgehalten, een verminderde kwel of lagere (grond)waterstanden kunnen gevolgen hebben voor vegetaties en organismen. Ook extreme neerslag kan zijn tol eisen door overstroming en hieraan verbonden vervuiling, vermesting en het verdrinken van soorten.

Verdroging of vernatting kan aangepakt worden door inzet van hydrologische herstelmaatregelen. Hiervoor is kennis van de ecohydrologie van het systeem nodig. Zo kan door dempen of verondiepen van lokale grachten verdroging van natte habitats in belangrijke mate verholpen worden. Soms zijn ingrepen nodig op regionale schaal zoals herstel van infiltratie en inzijgingsgebieden ten behoeve van kwel, herstel van kwelpatronen en kwelstromen en hydrologische buffering rond natuurgebieden die anders droogvallen. Veelal zijn

herstelmaatregelen op landschapsniveau een maatschappelijk moeilijk en tijdrovend proces, maar niet onmogelijk.

Een vertraagde afvoer van regenwater is de sleutel om overstromingen te vermijden. Hiervoor wordt best op grote schaal ingezet op waterinfiltratie door te werken aan een goede bodemstructuur en –samenstelling, ook buiten natuurgebieden. Daarnaast is het van belang om het overtollige water al vanaf de kleinste vertakkingen van de waterlopen of in bovenstroomse bufferbekkens op te houden en vertraagd af te voeren. Op die manier kan een neerslagpiek sterk afgevlakt worden en gaan maatregelen tegen overstroming samen met maatregelen tegen de droogte. Wanneer toch te grote hoeveelheden water in rivieren terecht komt, zijn overstromingen van laaggelegen gebieden onvermijdelijk. Vaak is het niet zozeer de overstroming zelf, maar de aanvoer van voedingsstoffen en vervuild materiaal dat nefast is voor de natuurlijke ecosystemen. Erosiemaatregelen zijn daarom ook cruciaal in dit verhaal. Voor vochtige en natte heide, moerasbossen, natte graslanden, moerassen en open wateren is herstel van de waterhuishouding naar kwantiteit en kwaliteit de hoogste prioriteit. De hoogte, schommeling en samenstelling van het grondwater hebben een directe invloed op de dominantieverhoudingen tussen plantensoorten, de koolstofvoorraad en de watergebonden ecosysteemdiensten.

Het **verminderen van niet-klimaatgerelateerde drukken, zoals vermesting, verzuring en verzilting**, helpt populaties beter om te gaan met de stress die door klimaatverandering wordt teweeggebracht (Natural England & RSPB, 2019; Hulme, 2005). Veel ecosystemen in Vlaanderen zijn van nature arm aan stikstof en fosfaat. De overmaat aan stikstof en fosfaat vormt in Vlaamse natuurgebieden één van de belangrijkste knelpunten voor het behoud en herstel van deze ecosystemen. Een beperkt aantal sterk competitieve planten nemen in vermeste systemen de overhand en verdringen overige soorten. Klimaatverandering kan dit effect versterken door een verlengd groeiseizoen en betere groeiomstandigheden.

Een beheerder heeft weinig vat op de bron van atmosferische stikstofdepositie die hoofdzakelijk afkomstig is van landbouw en verkeer. Voedingsstoffen die aangevoerd worden via overstromingen of via het grondwater komen eveneens van buiten het natuurgebied. De programmatische aanpak om de toevoer van nutriënten verder te beperken is absoluut noodzakelijk. Dit zal in de eerste plaats de niet-klimaatgerelateerde drukken verminderen, maar het zal ecosystemen ook beter wapenen tegen klimaatverandering.

- **Bescherm de bodem**

Een gezonde bodem bepaalt mee de veerkracht en de biodiversiteit van het ecosysteem. De bodem vormt ook een belangrijke opslagplaats voor broeikasgassen zoals CO₂, en N₂O en CH₄, en speelt dus niet alleen een belangrijke rol voor klimaatadaptatie, maar ook bij klimaatmitigatie.

In de strijd tegen verdroging kan gestreefd worden naar een groter vermogen van bodems om vocht vast te houden. Het bodemvochtgehalte kan verhoogd worden door in te zetten op aanwezigheid van voldoende organisch materiaal, gradiënten te creëren, in te zetten op de

ontwikkeling van een sterk bufferend microklimaat en ook het beheer van het waterregime in de omgeving is belangrijk.

Bodemverzuring neemt toe door klimaatverandering. Bij lage grondwaterstanden wordt de invloed van zuur regenwater groter. Hierdoor zien we een versnelde verwerking van mineralen, het uitspoelen van nutriënten en basische kationen (K, Mg, Ca) en verschuivingen in de chemische bodemsamenstelling (aminozuursamenstelling of N:P-ratio). In veel natuurgebieden, in het bijzonder de voedselarme ecosystemen, is veel van de buffercapaciteit verloren. Een te sterke verzuring van de bodem kan leiden tot een verminderde vitaliteit en het verdwijnen van karakteristieke soorten. Verzuring van de bodem kan gebufferd worden via maatregelen zoals inzetten op rijkstrooiselsoorten en het aanbrengen van mineralen.

Bijkomend is het belangrijk om tijdens beheerwerken bodemcompactie zo veel mogelijk te beperken. Door bodemverdichting is er vertraagde uitwisseling van CO₂ en O₂ en kan regenwater veel minder makkelijk tot bij de wortels in de bodem dringen. Er kunnen ondoordringbare lagen ontstaan waardoor infiltratie moeilijker kan plaatsvinden.

Bossen kunnen koolstof vastleggen, zowel boven als onder de grond, en zo het broeikasgas CO₂ in de atmosfeer verminderen. Hoe vruchtbaarder, hoe vochtiger, hoe ouder, hoe meer biodiversiteit, hoe meer koolstof er opgeslagen zit onder de grond. Zo zijn oude en natte bossen op een venige bodem 'koolstof-hotspots'. Ook slikken en schorren en moerasgebieden met venige bodems kunnen veel CO₂ opslaan. Het is belangrijk om zware verstoring te vermijden, zoals verdroging, ontbossing of bodemverstoring. Hierbij kan de stabiele koolstofvoorraad afgebroken worden en kunnen er grote hoeveelheden CO₂ vrijkomen.

- *Verhinder de vestiging van schadelijke soorten*

Of de effecten van klimaatverandering schadelijke soorten zoals invasieve exoten, plaagsoorten en ziektes bevorderen, is soms niet duidelijk. Klimaatverandering is niet altijd voordelig voor invasieve exoten, maar gestresseerde of gedegradeerde systemen zijn wel vaak gevoeliger voor invasies, ziektes of plagen. De aanwezigheid van invasieve soorten kan beheer- of herstelmaatregelen hypothekeren (Schepker & Kowarik, 1998).

Pijler 3 Gevarieerde ecosystemen

Gevarieerde, complexe landschappen herbergen een hogere diversiteit aan dier- en plantensoorten en zijn weerbaarder voor klimaatverandering dan homogene landschappen. Hoe groter de variatie binnen een gebied, hoe groter het aantal plantensoorten dat er een plek vindt en hoe groter het aantal functionele diergroepen er zal zijn. Prooien, gastheren, grazers, bestuivers, bouwers en afbrekers spelen ieder een belangrijke rol in het ecosysteem. Kleinschalig en gefaseerd beheer is in alle gevallen wenselijk.

- *Streef naar soortenvariatie*

De gevoeligheid van soorten voor stormen, overstromingen, extreme droogte, plagen en ziektes kan sterk verschillen. Door in te zetten op een maximale soortenvariatie verlaag je het risico op ernstige gevolgen na extreme events. Bij het verlies van een soort, kan die rol opgevangen worden door een andere soort die dezelfde functie vervult. Bovendien verschillen soorten ook in verspreidingsvermogen en levensduur, wat meer stabiliteit met zich mee brengt. Gemengde en ongelijkvormige bestanden met diverse boomsoorten zijn bijvoorbeeld het best aangepast aan het veranderend klimaat.

- ***Verhoog de genetische diversiteit van soorten***

Binnen soorten komt er genetische variatie voor. Grotere populaties vertonen typisch een grotere genetische diversiteit. Genetische diversiteit en de gerelateerde variatie in fenotypes bieden extra veerkracht om de gevolgen van klimaatverandering binnen een populatie op te vangen. Het aanpassingsvermogen van een genetisch diverse populatie is groter. Voor de meeste populaties van wilde soorten is de genetische diversiteit echter onbekend en wordt deze in het beste geval verhoogd door het vergroten en verbinden van populaties. Het is echter onbekend of de genetische variatie verhoogt door deze maatregelen, bij welke soortengroepen en in welke situaties. Nochtans is dit essentiële informatie over de veerkracht en het adaptatievermogen van soorten en populaties. Omdat een goede genetische variatie van soorten belangrijk is voor het aanpassingsvermogen, wordt dit beheerprincipe opgenomen. Onder invloed van internationale doelen kan in de toekomst meer bewust ingezet worden op het verhogen van de genetische diversiteit van soorten als klimaatadaptieve maatregel.

Bij sommige boomsoorten – vooral bosplantsoen - is de genetische variatie op soortniveau erg beperkt en dringt de vraag zich op of het nodig is om nieuwe herkomsten te introduceren omdat ze misschien beter aangepast zijn aan de verwachte toekomstige klimaatcondities. Hierover bestaat onder wetenschappers en beheerders in Vlaanderen en er buiten heel wat discussie (Vandekerckhove et al. 2020). Momenteel is er kennis over de genenbronnen van autochtone bomen en struiken die ingezet wordt bij aanplanten. Zie verder het Handvat voor beheerders 'Kandidaat Boomsoorten'. In de ons omliggende landen is er ondertussen redelijke consensus over herkomsten van inheemse boomsoorten, neofyten en archeofyten en lopen testprogramma's met klimaatrobuuste exoten (de Avila et al. 2017, Bayerische Forstverwaltung 2020, Correia et al. 2018, REINFORCE network, Landesforsten Rheinland-Pfalz 2020).

- ***Creëer maximale structuurvariatie***

Het creëren van structuurvariatie zowel horizontaal als verticaal draagt sterk bij aan een gevarieerd ecosysteem. In bossen krijgen op die manier krijgen alle ontwikkelingsfasen een kans en sluit het beheerde bos aan bij het mozaïekcyclusconcept (hoofdstuk 1).

Een beheerconcept dat maximaal inspeelt op die structuurvariatie is boomgericht bosbeheer. In het Frans spreekt men van "la forêt mosaïque" (<https://www.onf.fr/onf/+/8e4::infographie-la-foret-mosaïque-une-nouvelle-sylviculture-face-au-changement-climatique.html>)

Structuurvariatie is uiterst belangrijk voor het ondersteunen van de totale biomassa en diversiteit aan insecten. Een voldoende aanbod en diversiteit van insecten zijn belangrijk voedsel voor vele andere diersoorten, belangrijk voor bestuiving of voor plaagonderdrukking (Nijssen et al. 2019). Aangezien plaagsoorten en abiotische drukken als verdroging vaak specifieke bomen van een bepaalde diameterklasse/leeftijd treffen, zullen structureel diverse bossen een hogere weerstand vertonen (Brang et al. 2014).

- ***Speel in op spontane processen***

Bosbeheer in onze regio kent een traditie van strikte planning, vroeger vooral om houtproductiedoelstellingen te realiseren (met vooral gedetailleerde dunnings- en oogstvoorschriften), tegenwoordig vooral om een bepaald habitatype te creëren (met gedetailleerde voorschriften van aandeel boomsoorten, diameterklassen, structuur, kruidvegetatie, welke boomsoorten niet, ...). Onvoorziene gebeurtenissen gooien dergelijke planning en doelstellingen overhoop. Klimaatadaptief bosbeheer speelt daarom zoveel mogelijk in op spontane processen en komt daardoor in belangrijke mate overeen met natuurgericht bosbeheer: natuurlijke verjonging, natuurlijke takreiniging, kleinschaliger kappen (oogsten van individuele bomen of kleine groepen kappen), standplaats niet aanpassen maar werken met transportgrenzen, op bosniveau streven naar een evenwichtig aandeel van de verschillende ontwikkelingsfasen, ... (Brang et al. 2014; Bauhus et al 2013). Inspelen op natuurlijke processen is uiteindelijk gebaseerd op het principe van zelforganisatie (Camazine et al. 2001). Dit heeft als bijkomend praktisch voordeel dat beheerplanning veel minder strikt op hoofdlijnen kan gebeuren en beheeringrepen niet vlakgewijs moeten gebeuren. Een belangrijke randvoorwaarde is dan wel dat de natuurlijke begrazingsdruk op een peil wordt gehouden die de draagkracht van het bos niet overschrijdt, te hoge begrazingsdruk is in het kader van klimaatadaptief beheer te beschouwen als een risico (Boosten, 2016; Legay, 2019).

- ***Behoud gebufferd microklimaat***

Het bosmicroklimaat is één van de essentiële kenmerken van een bos (zie hoofdstuk 1). Behoud van bosmicroklimaat wordt bij versnellende klimaatverandering essentieel voor het bufferen van temperatuurextremen en droogte bijvoorbeeld. Bij het beheer dient een balans gezocht te worden tussen behoud en versterken van het bosmicroklimaat en het sturen naar een evenwichtig aandeel van de verschillende ontwikkelingsfasen op bosniveau. In bossen zijn open plekken en interne bosranden waardevol voor soorten van lichtrijke open bossen. Het is echter sterk aangewezen om in 'dichte' bossen het vochtig en schaduwrijk microklimaat te behouden door de bestanden zo goed mogelijk gesloten te houden; creëer geen grote open plekken en kapvlaktes midden in grotere boscomplexen (zie Handvat Behoud en versterk microklimaat). Vermijd scherpe, open bosranden aan de buitengrenzen van het bos.

Pijler 4 Voorkomen van natuurrampen of hun impact milderen

De frequentie en de ernst van natuurrampen of onverwachte gebeurtenissen die schade veroorzaken, is sterk aan het stijgen als gevolg van klimaatverandering (IPCC 2019). Langdurige droogte, extreme neerslag en stormen liggen aan de basis. Adaptief beheer omvat ook de preventie of vermindering van natuurrampen waaronder brand, erosie en modderstromen, overstromingen, massale sterfte van planten en stormschade.

- Brand: Het aantal branden in natuurgebieden is duidelijk gelinkt aan droogteperiodes die eraan voorafgaan. In gebieden met een hoog risico op brand (gelegen op droge zandgrond) is het belangrijk de hoeveelheid strooisel te verminderen, brandvertragende houtsingels aan te planten, het gebied te compartimenteren door (ecologische) brandgangen te voorzien voor recreanten en de brandweer, en in te zetten op hydrologisch herstel.
- Erosie en modderstromen: Bij langdurige droogte zal de toplaag van de bodem uitdrogen. Bij hevige regenval kan de bodem dan niet snel genoeg water opnemen, waardoor het water versnelt en massaal afvloeit naar de beken. Deze kunnen de verhoogde toevoer aan water niet altijd slikken. Dit kan leiden tot overstromingen en op hellende vlakken een sterke oppervlakkige afstroming met bijhorende erosie als gevolg. Om erosie en modderstromen zoveel mogelijk te beperken, moet de bodem van erosiegevoelige percelen bedekt blijven.
- Overstromingen: Het aantal overstromingen en de intensiteit ervan neemt wellicht toe. In de winter is dit vooral te wijten aan een toegenomen neerslag; in de zomer is de combinatie van een droge bodem die geen vocht opneemt en hevige zomeronweders risicovol. In valleien wordt best zoveel mogelijk ruimte gegeven aan de rivier zodat overstromingen beter worden gespreid in tijd en ruimte. Overstroming met vervuild water moet vermeden worden of zo snel als mogelijk worden afgevoerd.
- Insectenplagen en ziekten: Heel wat plantensoorten worden minder vitaal bij waterstress, waardoor ze minder weerbaar worden tegen secundaire plaagsoorten. Zo worden bomen vatbaarder worden voor bladmineerders en galmakers. Het warmere klimaat, met in het bijzonder hogere wintertemperaturen, leidt tot een toename van de frequentie van insectenplagen en ziekten. Afhankelijk van de plaagsoort of ziekte die in een gebied voorkomt, zullen de acties die ondernomen dienen te worden sterk verschillen. Monitoring van mogelijke aanwezige ziektes en plaagsoorten is immens belangrijk, gezien een uitbraak in sommige gevallen vermeden kan worden als er snel genoeg wordt opgetreden. Inzetten op soortenrijke vegetatiesamenstelling verlaagt het risico op sterke gevolgen door plagen en ziektes.
- Stormschade: Bomen worden gevoeliger aan windworp en het afbreken van takken als ze onder droogte- of waterstress staan. Vooral in bossen kunnen stormen (economische) schade aanrichten. Bosrandbeheer en bescherming tegen stormen bij aanplant kunnen hierin milderen. Voor monumentale bomen in open landschappen is aangepaste boomverzorging vereist.

Grenzen aan de adaptatiecapaciteit

Beheerders kunnen aan de slag gaan met de verschillende principes uit de vier pijlers. Hoe meer principes van toepassing, hoe langer je de impact van klimaatverandering kan opvangen. Dit kan niet tot in het oneindige doorgaan. Klimaatadaptief beheer kan enkel milde vormen van klimaatveranderingen opvangen. Uiteindelijk zal de respons van zowel overheids-, markt- als maatschappelijke actoren (governance) bepalen hoe sterk de impact van klimaatverandering wordt.

We verwachten dat klimaatadaptief beheer op haar limieten zal botsen wanneer de belangrijke en typische soorten niet langer gedijen onder de gewijzigde omstandigheden. Hierbij spelen niet zozeer de gemiddelde weeromstandigheden een rol, maar is de duur en frequentie van extreme omstandigheden doorslaggevend. Door extremen kunnen fysiologische processen zodanig wijzigen dat een soort niet langer kan overleven. Extreme temperaturen beïnvloeden bv. heel sterk de respiratie en transpiratie, ze wijzigen de enzymactiviteit, kunnen eiwitten doen denatureren, veranderen de eigenschappen van membranen... Koudbloedige organismen zijn meestal gevoeliger aan dan warmbloedige soorten.

Het is onmogelijk te bepalen tot welke klimaatomstandigheden we onze natuurstreefbeelden kunnen behouden. Daarvoor spelen te veel factoren mee. Via de adaptieve beheercyclus wordt regelmatig geëvalueerd of de gestelde doelen haalbaar blijven.

3.2 Werkwijze voor het bepalen van lokale adaptatieprioriteiten

Deze stap presenteert een werkwijze en tool om tot **lokale adaptatiemaatregelen** te komen, rekening houdend met de drukken op en de kwetsbaarheid van de aanwezige ecosystemen, habitats en soorten. De weerbaarheid t voor klimaatverandering wordt immers bepaald door:

- de heersende *drukken op landschapsniveau* en
- de *kwetsbaarheid* van de ecosystemen, habitats en soorten zelf.

We ontwikkelden **scoretabellen** om beide aspecten te scoren op lokaal niveau.

3.2.1 Veerkrachtcriteria

1. **Criteria voor de beoordeling van externe drukken op landschapsniveau**

In Vlaanderen staan de meeste landschappen onder invloed van verschillende, vaak sterke drukken, waardoor hun veerkracht wordt aangetast. Hoewel de beheerder hier slechts indirect of op lange termijn invloed op heeft, zijn maatregelen die deze drukken verminderen erg belangrijk voor de adaptatie van ecosystemen aan klimaatverandering (Demey et al., 2015; Luc De Keersmaecker et al., 2018, Natural England & RSPB, 2014). De optelsom van de belangrijkste drukken die spelen op het landschapsniveau (inclusief de ruimtelijke context, vervat in de druk versnippering) zijn een maat voor de 'landschapsdegradatie'. De mate van landschapsdegradatie wordt bepaald door de ruimtelijke context én de heersende drukken:

- Habitatverlies en versnippering
- Milieudrukken
 - verdroging
 - vermesting
 - verzuring
 - verontreiniging
 - verzoeting en verzilting
 - verstoring
 - bodemverdichting
- Biotische drukken
 - invasieve soorten
 - ziektes
 - plagen

De wisselwerking tussen deze algemene drukken en de effecten van klimaatverandering worden besproken in Stap 1&2.

2. **Criteria voor de beoordeling van de kwetsbaarheid van ecosystemen**

De weerbaarheid voor klimaatverandering wordt naast de heersende drukken ook bepaald door de natuurlijke kwetsbaarheid van ecosystemen. Bepaalde soorten en habitats zijn minder

tolerant aan bepaalde omstandigheden, of hebben een beperkte herstelcapaciteit (Natural England & RSPB, 2014). De totale ecosysteemkwetsbaarheid wordt bepaald door een set aan eigenschappen die bepalen in welke mate het ecosysteem gebufferd is tegen effecten van klimaatverandering. Zo houdt een ecosysteem op leembodem veel beter en langer vocht vast dan een ecosysteem op zandbodem. Ecosystemen met brede en geleidelijke overgangen in vocht-, temperatuur- en andere milieugradiënten, zijn doorgaans minder kwetsbaar voor klimaatverandering. Vochtige en koele locaties zoals een beboste vallei of beschaduwde plekken beschermen dieren en planten tegen droogte en hitte. Habitats met een stabiele waterbevoorrading in een vallei bijvoorbeeld zijn minder kwetsbaar voor klimaatverandering dan habitats op het plateau waar de waterbevoorrading sterk neerslagafhankelijk is. Daarnaast geeft een grotere variatie aan (micro)habitats voor soorten, aanleiding tot een grotere diversiteit (Demey et al., 2015). Een grote totale soortendiversiteit is ook een soort buffer tegen klimaatverandering. Bij verlies van een soort kan de ecosysteemfunctie die deze vervulde, overgenomen worden door een andere soort. Zo vallen er geen schakels weg in de cyclus. Bovendien zijn grote populaties veerkrachtiger dan kleine. Die hebben een grotere genetische variatie waardoor het aanbod aan veerkrachtige individuen mogelijk groter is..

De optelsom van eigenschappen die ecosystemen weerbaarder maken tegen klimaatverandering is een maat voor de **ecosysteemkwetsbaarheid**:

- Droogtegevoeligheid van de bodem
- Buffercapaciteit zuurtegraad
- Reliëf
- Noordhellingen
- Gradiënt in bodemvocht
- Opslag van bomen, struiken en/of ruigere kruiden
- Structuurvariatie habitatniveau
- Afwisseling tussen biotoopgroepen
- Soortendiversiteit
- Ecosysteemgevoeligheid voor brand
- Ecosysteemgevoeligheid voor droogte
- Ecosysteemgevoeligheid voor hitte
- Ecosysteemgevoeligheid voor zomeroverstromingen
- Ecosysteemgevoeligheid voor winteroverstromingen
- Ecosysteemgevoeligheid voor stormen

De behandelde criteria kunnen verschillen per landschapstype naargelang landschapstype.

3.2.2 De scoretabel invullen

Ruimtelijke eenheden voor scoring

Je kan steeds vertrekken vanuit één beheereenheid/bestand, maar ook een groep van beheereenheden/bestanden kan gescoord worden. Je bepaalt zelf welke groep van beheereenheden/bestanden je samen neemt en onderwerpt aan een scoring. Een groot gebied kan je indelen in zones waarvan je verwacht dat ze verschillend zullen reageren op effecten van

klimaatverandering. Je kan meerdere beheereenheden samenvoegen om de oefening minder tijdsintensief/relevanter te maken. Bepaal eerst welke beheereenheden/bestanden je samenneemt en doorloop dan de scoretabel.

Het scoren van criteria

Per landschapstype (bos, heide, grasland, moeras en open water, de kustduinen) worden scoretabellen met criteria aangereikt. In eerste instantie gaat het om een expertinschatting. We reiken kaarten aan als hulpmiddel om de expertinschatting onderbouwen. Alle databronnen die als hulpmiddel kunnen gebruikt worden zijn publiek beschikbaar². Wens je de kaarten liever niet te gebruiken, dan kan je ook op een intuïtieve manier vanuit je gebiedskennis een score geven.

Elk criterium kan een score 1, 2 of 3 (semi-kwantitatieve schaal) krijgen. De score geeft aan in welke mate de (groep van) beheereenhe(i)d(en)/bestand(en) al gewapend is/zijn tegen klimaatverandering voor dit criterium.

- Indien het criterium de laagste score 1 krijgt, is de beheereenheid/het bestand al veerkrachtig voor dit criterium.
- Score 2 staat voor een matige klimaatgevoeligheid voor het criterium.
- Een hoge score 3 geeft aan dat de beheereenheid/het bestand nog heel gevoelig is voor klimaatverandering wat betreft dat criterium.

Werkwijze scoring

- *Identificeer je landschapstype.* Wanneer in je gebied verschillende landschapstypes door mekaar lopen of je hebt te maken met overgangsvormen doe de oefening dan voor elk landschapstype.
- *Bundel de beheereenheden zoveel als mogelijk.* Dit kan op basis van een gelijk(end) beheer, vergelijkbare soorten en/of milieukenmerken. De te scoren zone kan het hele natuurterrein omvatten. Benoem de (verschillende) zone(s) en zorg voor een duidelijke afbakening op kaart.
- *Pas de scoring toe op de afgebakende zone(s).* Zo krijg je zicht op de herstelopgaven van het gebied. Sommige criteria zal je enkel kunnen scoren op het niveau van een beheereenheid/bestand. Scoor deze afzonderlijk.
- *Scoor voor elk criterium de actuele toestand.* Dit is de toestand zoals ze vandaag is. Sommige aspecten als de zuurtegraad of de nutriëntenconcentraties in de bodem zijn niet zichtbaar. Dit wil zeggen dat een beheerder met behulp van metingen de toestand van de bodem of water kan bepalen of indirect kan afleiden uit de vegetatie. Misschien is er reeds informatie beschikbaar uit eerder gevoerd onderzoek in het gebied. Indien je vaststelt dat je over bepaalde aspecten geen informatie hebt, kan je de scoring voor dit criterium achterwege laten. Eventueel kan dit een aanleiding zijn voor verder onderzoek, mocht daar een knelpunt zijn. Voor het bepalen van de actuele score kan

² Relevante geografische informatie wordt aangeboden via verschillende 'webviewers'
<https://klimaat.vmm.be/nl/klimaatverandering-in-detail>
<https://www.dov.vlaanderen.be/portaal/?module=verkenner>
<https://www.geopunt.be/>

beroep worden gedaan op verschillende bronnen. Deze staan in de scoretabellen geëxpliciteerd.

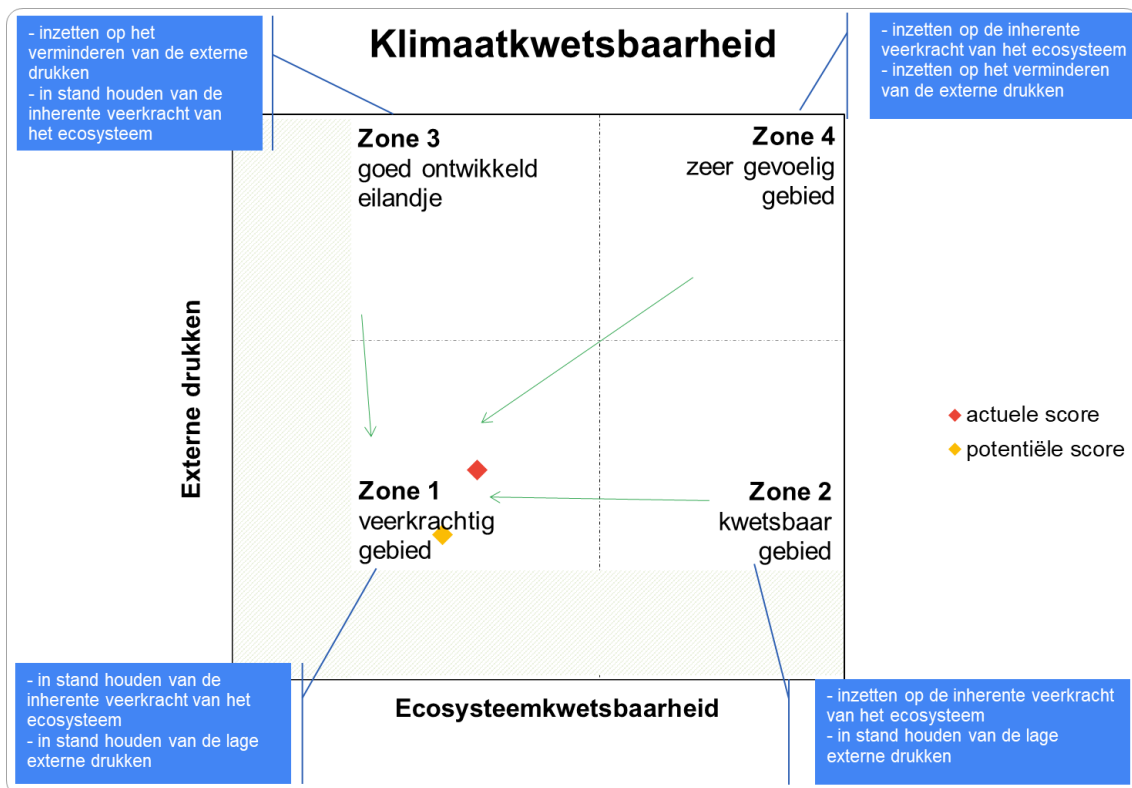
- *Scoor voor elk criterium de potentiële toestand.* Dit is de toestand die kan bereikt worden op een termijn van ca. 6 jaar (cf. cyclus beheerevaluatie). Inschattingen op langere termijn zijn onzeker. Voor boslandschap hanteren we de termijn van 24 jaar (cf. termijn natuurbeheerplan) aangezien dit meer overeen stemt met de tijd waarover de impact van beheeringrepen zichtbaar worden in een bos. Het gaat om beheer dat met de courant beschikbare budgetten kan uitgevoerd worden door de beheerder zelf of partners van het gebied. De focus ligt op maatregelen die passen binnen het huidige wettelijke kader en acties die gepland zijn (acties uit de stroomgebiedsbeheerplannen, zoneringsplannen, erosiemaatregelen door landbouwers, vergunningenbeleid grondwateronttrekking, ...). Even goed is het belangrijk om aan te geven wat kan en moet gebeuren om het criterium te verbeteren, zonder dat het voorgenomen beleid betreft. Potentiële scores zijn typisch beter (lagere score) dan actuele scores, hoewel sommige criteria niet kunnen verbeterd worden. De potentiële score kan ook slechter zijn dan de huidige score als er specifieke aanwijzingen zijn dat de situatie hoe dan ook zal verslechteren (verwachte vergunning van een vervuilend bedrijf in de buurt, nitraatpluim in grondwater). Voor het bepalen van de potentiële score kan beroep worden gedaan op verschillende bronnen (waaronder ook de maatregelentabel (zie verder)). Deze staan in de scoretabellen geëxpliciteerd.
- *Check de actuele en potentiële veerkracht van je gebied in het assenstelsel.* De gemiddelde score voor landschapsdegradatie wordt uitgezet langs de Y-as. De gemiddelde score voor ecosysteemkwaetsbaarheid wordt uitgezet langs de X-as. De minimale scores liggen in de oorsprong en maximale score liggen op de uiteinden van de assen. Hoe dicht bij de oorsprong hoe beter gewapend tegen klimaatverandering. *Check de criteria die verbeterd kunnen worden.* Dit zijn de adaptatieprioriteiten. De criteria waarvan je aangaf dat ze potentieel kunnen verbeteren, worden opgelijst. Hier liggen de verbetermogelijkheden door adaptief beheer en dus ook de noden. Nu stap je over naar de **maatregelendatabank** die aan elk criterium verschillende maatregelen koppelt voor de verbetering van de veerkracht (3.3).

3.2.3 De veerkracht en potenties van je gebied visueel weergeven

De scoretabellen zijn bedoeld om gebieden of (groepen van) beheereenheden/bestanden te beoordelen op klimaatgevoeligheid en te plaatsen binnen een assenstelsel (Figuur 13). De plaats in het assenstelsel omschrijft de capaciteit voor natuurbehoud onder klimaatverandering. Dit kan ook gezien worden als de aanwezige veerkracht of het vermogen van een ecosysteem om terug te komen tot de oorspronkelijke situatie na een verstoring/druk.

Gebieden of beheereenheden in zone 1 (dicht bij de oorsprong) zijn veerkrachtig voor klimaatverandering. Gebieden of beheereenheden in zone 2 en 3 zijn maar ten dele gewapend -voor bepaalde criteria - tegen de effecten van klimaatverandering. Gebieden en beheereenheden in zone 4 zijn zeer gevoelig voor klimaatverandering en zullen wellicht als eerste transformeren naar andere systemen. .Ligt een gebied in zone 2, 3 of 4 dan is verbetering

van veerkrachtcriteria nodig om richting de oorsprong op te schuiven. De scheidingslijn tussen de zones is geen harde grens. Belangrijk is dat een gebieden of beheereenheden opschuiven richting oorsprong door het implementeren van klimaatadaptieve maatregelen.



Figuur 13 Kwadrantenschema dat een specifiek gebied of beheereenheid plaatst, afhankelijk van zijn weerbaarheid voor klimaatverandering. Voor verdere uitleg bij de figuur zie de tekst 'Waarom een synthese in twee assen?'

Waarom een synthese in twee assen?

Aan de hand van het kwadrantenschema kan de beheerder het gebied of de beheereenhe(i)d(en) eenvoudig beoordelen op vlak van veerkracht tegen klimaatverandering. Hoewel dit een sterke vereenvoudiging is van de werkelijkheid, maakt het de beheerder wel meteen visueel duidelijk waar de belangrijkste knelpunten zijn en waar kan worden op ingezet.

Op de horizontale as staat de klimaatkwetsbaarheid van het ecosysteem. Soorten die al gevoeliger zijn voor klimaatverandering zullen wellicht sterker wegbijwijken door de klimaatverandering als ze ook op een gevoelige plek in het landschap staan (zuidhelling, zandige bodem, ...).

De verticale as van landschapsdegradatie geeft een (ruwe) synthese van alle relevante verschillende drukken op ruimere schaal. De optelsom van verschillende drukken zal steeds een grotere impact hebben op het systeem dan de afzonderlijke drukken. Hierbij moet je wel in het achterhoofd houden dat heel wat de geldende drukken gelinkt zijn aan elkaar. Een sterk

gefragmenteerd systeem zal doorgaans meer last hebben van een verhoogde inwaai van voedingsstoffen, verdroging en invasieve exoten.

In het schema staan nog ter illustratie twee zones gearceerd. In de linkerzone zouden gebieden komen met een erg lage ecosysteemkwetsbaarheid en onderaan zouden de gebieden komen met weinig externe drukken. Dit zijn echter situaties die niet (meer) in Vlaanderen voorkomen. We geven ze hier toch weer om duidelijk te maken dat we in Vlaanderen sowieso maar een bepaald niveau van klimaatweerbaarheid in onze ecosystemen kunnen bereiken.

De plaats in het assenstelsel van een gebied of beheereenheid geeft ook aanleiding tot het onderscheiden van vier beheerstrategieën, elk met een eigen accent. Deze strategieën gaan op voor elk landschapstype en geven de algemene doelen aan. Het feit dat men binnen een bepaalde strategie focust op een bepaald beheerdoel, wil niet zeggen dat andere beheerdoelen niet nodig of relevant zijn.

- In **veerkrachtige gebieden (zone 1)** ligt de focus op **biodiversiteit maximaliseren en natuurlijke processen begeleiden**

Een groot en aaneengesloten gebied, in een omgeving met een weinig intensief landgebruik, een lage milieudruk, lage biotische druk en een lage ecosysteemkwetsbaarheid (veel heterogeniteit, veel gradiënten) zoals Meerdaalwoud, gemengde bossen in Voeren, Liereman, Zwinduin, De Westhoek, delen van de Zwarte beek ... Daar kan regulier beheer nog een tijd langer doorgaan en is er meer tijd om klimaatadaptieve maatregelen in te voeren.

- In **klimaatkwetsbare gebieden (zone 2)** ligt de focus op **herstelbeheer met aandacht voor het vergroten van biotische en abiotische variatie**.

Een groot en aaneengesloten gebied, in een omgeving met een weinig intensief landgebruik, een relatief lage milieudruk en een lage biotische druk, maar een kwetsbaar ecosysteem met weinig variatie en diversiteit zoals Bosland en monotone, uitgestrekte bossen. In deze zone kan een beheerder een groot verschil maken.

- In **goed ontwikkelde eilandjes (zone 3)** ligt de focus op **het vergroten & verbinden en/of creëren van goede milieuomstandigheden**.

Middelgrote gebieden of weinig verbonden beheereenheden, omgeven door intensief landgebruik of met een verhoogde milieudruk en/of een hoge biotische druk, maar met een lage ecosysteemkwetsbaarheid. De aanwezigheid van vitale en gevarieerde ecosystemen is meestal toe te schrijven aan het langdurig en volgehouden natuurbeheer van de ecosystemen. Het gaat om gebieden zoals De Maten, Lozerbos, ... Hier zijn beleids- en landschappelijke maatregelen extra belangrijk.

- In **zeer gevoelige gebieden (zone 4)** ligt de focus op **diversifiëren van biotiek en het mitigeren van milieudrukken**

Kleine en weinig verbonden gebiedjes of beheereenheden, in een omgeving met een intensief of ander landgebruik, een verhoogde milieudruk en/of een hoge biotische druk en/of een hoge kwetsbaarheid zoals een homogeen dennenbestand van enkele ha in de Kempen. Hier dient volop ingezet te worden op klimaatadaptieve beheermaatregelen. Het risico is hier niet ondenkbeeldig dat het bos nog gedurende deze beheerplancyclus degradeert. Voor gebieden die zich in de uiterst rechterbovenhoek bevinden, kan men de vraag stellen of het investeren van geld en tijd hierin wel nog geoorloofd is.

In kwadranten met een sterke externe druk (kwadranten 3 en 4) kan en moet je als beheerder het beheer aanpassen, maar daarnaast is het beleid dus zeer belangrijk om ook op deze zaken in te werken. In kwadranten met een slechte score voor ecosysteemkwetsbaarheid (kwadrant 2 en 4) is een beheerder minder afhankelijk van beslissingen op vlak van beleid of op landschapniveau en heeft hij/zij voor een groot deel zelf invloed op de criteria.

Zowel in kwadrant 2, 3 als 4 is inzetten op klimaatadaptatie erg belangrijk. Soms zelf belangrijker dan de huidige beheerdoelen. In kwadrant 1 zal de impact van klimaatverandering minder snel zichtbaar zijn en kan het huidig beheer nog worden verdergezet, maar ook daar is de beheerder best aandachtig voor de veranderingen die plaatsvinden onder invloed van klimaatverandering, zodat het gebied in zone 1 kan blijven.

3.3 Kies adaptieve beheermaatregelen

Uit de score-oefening blijken een aantal criteria waar op kan worden ingezet. Per criterium zijn een hele reeks maatregelen mogelijk. In dit rapport werd daarvoor een maatregelentabel opgesteld. De opbouw en het gebruik van deze tabel, bespreken we onder '4.1. toelichting bij de maatregelentabel'

Stap 4: Implementatie beheermaatregelen

4.1 Toelichting bij de maatregelentabel

De databank werkt als een soort van *kruispunt-databank* om verbanden te leggen tussen drukken, veerkrachtcriteria en andere relevante aspecten van natuurbeheer en klimaatverandering. Elke maatregel wordt gelinkt aan de betrokken landschapstypes, de structuur of het proces waarop de maatregel ingrijpt (Stap 1), het klimaateffect dat de maatregel buffert (Stap 2), de/het adaptieve principe(s) waar de maatregel aan bijdraagt (3.1) en de criteria voor veerkracht waar de maatregel op inwerkt (3.2).

In de databank zijn maatregelen opgenomen van zeer praktische aard, bv. om aangeplante bomen beter te laten overleven. Maar de databank bevat ook maatregelen die een effect hebben op een hoger schaalniveau. Hiervoor kan overleg nodig zijn met andere sectoren. Wat alle maatregelen gemeen hebben, is dat ze het ecosysteem veerkrachtiger maken voor klimaatverandering.

4.1.1. Opbouw maatregelendatabank

In elke rij wordt een beheermaatregel besproken die ecosystemen aanpast aan klimaatverandering. De 11 kolommen geven meer informatie over de beheermaatregel en linkt deze met andere aspecten van natuurbeheer en klimaatverandering (Tabel 1).

Tabel 1: Opbouw maatregelentabel

Code	Beheer maatregel	Klimaata daptieve werking	'Knipperlicht'	Landschapstype	Klimaat effect	Adaptief principe	Criteria veerkracht	Meer informatie
groepeert per beheerthema:	Beschrijving van de maatregel	Beschrijving van de klimaata daptieve werking van de beheermaatregel;	Mogelijke belangrijke neveneffecten bij het toepassen van de maatregel	Landschapstype waarvoor de maatregel van toepassing kan zijn	Klimaateffect dat de maatregel mildert	algemene adaptieve principes waaraan de maatregel bijdraagt	criteria voor veerkracht die verbeteren door toepassing maatregel	Link naar de standaardwerken of informatie op Ecopedia

4.1.2. Gebruik maatregelendatabank

Werkwijze adaptatieprioriteiten

De maatregelendatabank biedt inspiratie op verschillende manieren. Ten eerste kan gewerkt worden na het doorlopen van de score-oefening:

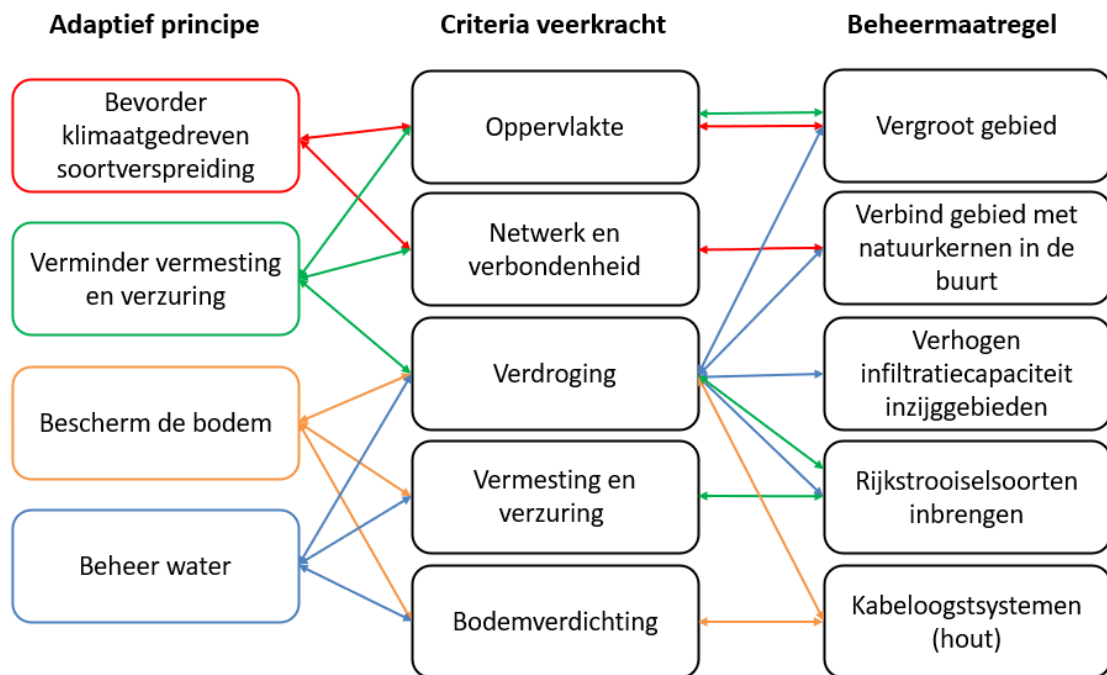
- Neem de lijst van veerkrachtcriteria die je kan verbeteren uit 3.2;
- Selecteer/filter in de databank op een veerkrachtcriterium van de lijst via de kolom 'Criteria veerkracht';
- Bekijk al de mogelijke maatregelen om dit criterium te verbeteren;
- Kies de meest geschikte voor je gebied/beheereenheden. Het is aan de gebruiker om een geschikte keuze te maken. Die keuze kan afhangen van verschillende elementen:
 1. gebiedseigen kenmerken
 2. praktische toepasbaarheid: wat is praktisch mogelijk in mijn gebied?
 3. efficiëntie maatregel
 4. duurzaamheid maatregel
 5. kostprijs maatregel
 6. ben je afhankelijk van andere sectoren om de maatregel toe te passen?
 7. beschikbaarheid van materiaal/zaden/oogst
 8. ongewenste neveneffecten
 9. ...
- Selecteer/filter in de databank voor het volgende criterium van de lijst en herhaal de volgende stappen.

Ook zonder de score-oefening te doen, is de maatregelendatabank bruikbaar. Als een beheerder bijvoorbeeld droogteproblemen in zijn/haar gebied wil aanpakken, kan er gefilterd worden in de database op dit specifieke probleem via het klimaateffect 'droogte'. Als een beheerder wil nagaan welke maatregelen het microklimaat beschermen, kan er gezocht worden op de term 'microklimaat' in de kolom 'Structuren en Processen'. Indien een specifiek natuurstreefbeeld beoogd wordt, kan ook hierop gezocht worden via de de kolom 'Natuurstreefbeelden'. Verschillende van de beheermaatregelen kunnen uitgevoerd worden in meerdere landschapstypes, maar er kan ook op een landschapstype geselecteerd worden.

De meeste van de beheermaatregelen staan al uitgewerkt op Ecopedia, in een beheerhandboek of in een ander naslagwerk. Via de kolom 'Meer informatie' linken we hiernaar door.

Voor- en nadelen van de beheermaatregelentabel

Maatregelen hebben echter vaak op meerdere criteria een invloed en dus elke adaptieve beheermaatregel is op zich gekoppeld aan één of meerdere veerkrachtcriteria én adaptieve principes. Figuur 14 geeft een voorbeeld van hoe verschillende beheermaatregelen, criteria en adaptieve principes verbonden zijn met elkaar. De relaties zijn meervoudig.



Figuur 14. Voorbeeld van hoe verschillende beheermaatregelen, criteria en adaptieve principes verbonden zijn met elkaar.

Vermijd beheermaatregelen die bijdragen aan één klimaatadaptief principe, maar tegelijkertijd een ander principe benadelen. Bijvoorbeeld in bosbeheer inzetten op structuurvariatie waardoor het bosmicroklimaat wordt aangetast. Daarnaast is klimaatadaptief beheer waarbij meer opslag van bomen en struiken en ruige hoekjes worden ontwikkeld, niet altijd compatibel met regulier beheer waarbij het behoud van een afgelijnd natuurdoeltype zoals een hooiland wordt nagestreefd via een gericht maaibeheer. De risico's, neven- en ongewenste effecten zoals het vrijkomen van fosfaat bij vernatting van valleigronden, natuurverlies door te snelle vernatting, of verzuuring door het inzetten van rijk strooiselsoorten worden ook aangegeven in de database. Het is daarom belangrijk telkens goed te overwegen op welk principe het best wordt ingezet.

Een prioritering van maatregelen houdt niet alleen rekening met een klimaatadaptief beheer, maar ook met de algemene beheerdoelen voor biodiversiteit en het leveren van ecosysteemdiensten. Uiteindelijk bepaal je de prioriteiten zelf op basis van lokale kansen en de middelen die je ter beschikking hebt. De locatie in het kwadrantenschema geeft echter wel een duidelijke indicatie of een klimaatadaptief beheer al dan niet (sterk) aangewezen is.

Aan elke zone zijn een aantal algemeen geldende klimaatadaptieve principes gekoppeld, die kunnen helpen bij het kiezen van aangewezen klimaatadaptieve maatregelen (Figuur 15).

Zone 3: goed ontwikkelde eilandjes → Vergroot oppervlakte natuurkernen → Buffer kwetsbare natuur → Bevorder klimaatgedreven soortverspreiding → Verminder vermessing en verzuring → Bescherm de bodem → Beheer water → Voorkom natuurrampen of milder hun impact <i>Blijf inzetten op gevarieerde ecosystemen, maar minder prioritair</i>	Zone 4: zeer gevoelige gebieden → Vergroot oppervlakte natuurkernen → Buffer kwetsbare natuur → Bevorder klimaatgedreven soortverspreiding → Streef naar maximale soortenvariatie → Verhoog de genetische diversiteit van soorten → Streef naar maximale structuurvariatie → Herstel gebufferd microklimaat → Herstel spontane processen → Verminder vermessing en verzuring → Bescherm de bodem → Beheer water → Voorkom natuurrampen of milder hun impact
Zone 1: veerkrachtige gebieden → Voorkom natuurrampen of milder hun impact <i>Blijf inzetten op andere principes, maar minder prioritair</i>	Zone 2: ecosysteemkwetsbare gebieden → Streef naar maximale soortenvariatie → Verhoog de genetische diversiteit van soorten → Streef naar maximale structuurvariatie → Herstel gebufferd microklimaat → Herstel spontane processen → Verminder vermessing en verzuring → Bescherm de bodem → Beheer water → Voorkom natuurrampen of milder hun impact <i>Blijf inzetten op robuuste natuur, maar minder prioritair</i>

Robuuste natuur Gevarieerde Ecosystemen Goede milieuomstandigheden Voorkom Natuurrampen en impact

Figuur 15 Overzicht van de verschillende zones en de link met de 4 pijlers en daaraan gelinkte principes. Deze figuur geeft een indicatie in het algemeen. Afhankelijk van de individuele situatie kan natuurlijk een bepaald principe belangrijker of minder belangrijk zijn.

4.2. Handvaten voor beheerders

Enkele beheermaatregelen worden besproken in de vorm van handvatenfiches. Die bieden meer informatie over de klimaatadaptieve (wissel)werking van (groepen van) beheermaatregelen. Voor enkele 'nieuwe' klimaatadaptieve praktische maatregelen die niet in standaardwerken beschreven staan, ontwikkelden we technische fiches. Deze omvatten technische informatie over hoe de maatregel uit te voeren en zullen worden aangeboden via Ecopedia.

We benadrukken graag nog eens dat de keuze van de uiteindelijke maatregel steeds sterk context- en doelafhankelijk is.

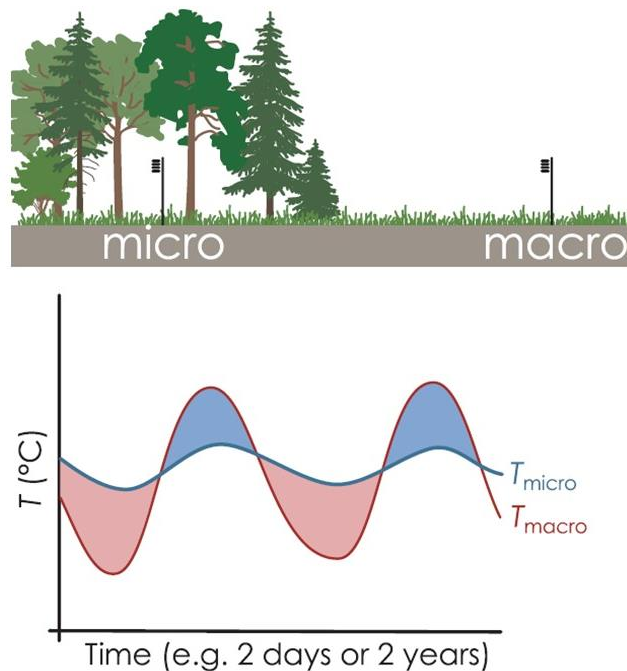
De volgende handvaten komen aan bod:

- Handvat behoud en versterken bosmicroklimaat
- Handvat verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems
 - o Technische fiche: Steenmeel toevoegen in bossen (Bijlage 3)
 - o Technische fiche: Mulching bij aanplant bosplantsoen (Bijlage 4)
- Handvat vertragen waterafvoer in bossen
- Handvat aanpassing van waterhuishouding
- Handvat kandidaat boomsoorten
- Handvat strategieën t.a.v. brand

4.2.1. Handvat behoud en versterken bosmicroklimaat

Een bosmicroklimaat krijg je pas echt in aaneengesloten gehelen van voldoende bosoppervlakte. Daarom zijn 'vergroten van de oppervlakte' en 'verbinden van bossen' belangrijke klimaatadaptieve beheerprincipes (zie hoofdstuk 3.1). Maar ook in kleinere bosfragmenten kan er worden ingezet op het versterken van het bosmicroklimaat. We zagen in hoofdstuk 1 dat het bosmicroklimaat heel belangrijk is en het belang ervan in de toekomst alleen maar zal toenemen.

Inzetten op het versterken en herstel van het bosmicroklimaat is belangrijk om specialistische bosfauna en -flora te ondersteunen en bosverjonging te beschermen, aangezien zij veelal gebonden zijn aan deze typische 'boscondities' zijnde een voldoende hoge bodem- en luchtvochtigheid en aangepaste lichtregimes in vergelijking met andere landschapstypes. Bovendien zullen de gevolgen van frequentere droogtes en hitteperiodes ook gebufferd worden door het versterken van het bosmicroklimaat, waardoor de bosflora en -fauna hier beter tegen beschermd zijn, en neemt het verschil in jaargemiddelde temperatuur tussen bos en niet-bos toe (Figuur 16). M.a.w. in gesloten bossen loopt de impact van klimaatverandering op fauna en flora enkele decennia achter in vergelijking met open natuur.



Figuur 16 Boven: Klimatologische omstandigheden lokaal gemeten in het bos (i.e. microklimaat) verschillen met deze gemeten in open lucht (i.e. macroklimaat). Onder: Temperaturen worden gebufferd in bossen in vergelijking met de open habitats, met lagere maximumtemperaturen en hogere minimumtemperaturen in het bos (zowel tussen verschillende dagen, seizoenen, jaren). Bron: De Frenne et al. 2021

Als beheerder kan je een grote invloed uitoefenen op het bosmicroklimaat, door in te grijpen in:

- Het kronendak (een gedrongen kroonsluiting zal een positieve invloed hebben op het microklimaat),
- Het grondvlak (hoe meer bomen en hoe meer dikke bomen aanwezig zijn, hoe sterker het microklimaat),
- De boomsoortensamentelling (schaduwboomsoorten met dense kronen versterken het microklimaat),
- De bosrand (door deze 'dicht' te maken kan je het microklimaat versterken).

De sluitingsgraad van het kronendak is de duidelijkste rechtstreekse *driver* van het bosmicroklimaat (Zellweger et al. 2019). Via het dunningsregime heb je hier als beheerder het sterkst een invloed op. Het is dus belangrijk steeds een weloverwogen keuze te maken over dunningsintensiteit en -frequentie.

Dit kan doorgetrokken worden tot het creëren van open plekken of corridors in het bos, waarbij het verlies van bufferingscapaciteit van het microklimaat mee in rekening dient gebracht te worden bij afweging van de beheerdoelen. Zoals steeds bij het maken van beheerkeuzes is het belangrijk na te gaan welke bos- en natuurwaarden belangrijk zijn voor het gebied. Kijk daarbij naar heel het soortenpalet (gesloten/halfopen/open natuur) en nood aan gebufferde boscomplexen. In de praktijk zijn het vaak soorten van open natuur die maken dat je in bepaalde terreinen toch een aantal corridors of open plekken gaat aanleggen of in stand houden. Maar doe dit dan op manier dat je niet nodeloos het gesloten bos versnipperd.

Zeker voor bosbestanden die na de gebiedsanalyse (zie hoofdstuk 3.2) onder Zones 2, 3 of 4 geclassificeerd worden, is behoud van het microklimaat een belangrijk klimaatadaptief beheerprincipe. Maar ook in kwadrant 1 mag het belang van het bosmicroklimaat niet genegeerd worden, denk maar aan het risico op schorsbrand tijdens hittegolven en verslechterende bosvitaliteit en toename van kans op nieuwe ziekten en plagen waardoor ook zonder ingrepen individuele bomen of groepjes bomen meer frequent zullen afsterven.

Meer of minder dunnen?

De meest toegepaste bosbouwpraktijk om grote bomen met hoge, vitale boomkronen te ontwikkelen, is het toepassen van dunning. Dunning in Vlaanderen start meestal vanaf de dimensioneringsfase. Dunnen kan uitgevoerd worden van bestandsniveau tot individueel boomniveau. Voorbeelden van dunnen op bestandsniveau zijn laagdunning, hoogdunning en variabele selectieve hoogdunning, voorbeelden van dunnen op individueel boomniveau zijn de toekomstboommethode en de QD-methode. De overgang en diverse variatie tussen de strikte QD-methode en werken met toekomstbomen wordt “boomgericht bosbeheer” genoemd (zie bv. de Eco2Eco handleidingen voor meer informatie over dunnen).

Dunnen wordt klassiek gezien als een manier om de volumeaanwas in een beperkt aantal bomen te concentreren maar in boomgericht bosbeheer gaat het om veel meer. Door te dunnen regel je de concurrentieverhouding tussen individuele bomen, tussen boomsoorten, regel je de hoeveelheid licht die in de onderetage kan doordringen, de bosstructuur, M.a.w. “blessen is beleid” (Klingen, 2003, 2004).

De manier van dunnen is zeer relevant t.a.v. klimaatadaptief beheer.

- De vrijgestelde boom bereikt sneller de gewenste doeldiameter. Het risico op droogte- en stormincidenten vermindert (Brang et al. 2014).
- De vrijgestelde boom ontwikkelt een hoogte – diameterverhouding die beter bestand is tegen wind- en sneeuwbreuk. (Wilhelm en Rieger, 2013).
- Vrijgestelde bomen zijn beter bestand tegen biotische plagen, vooral bij lage en gemiddelde plaagdichtheden (Wenk en Apel, 2007).
- Je regelt de hoeveelheid en kwaliteit van het licht dat doorheen de bovenetage doordringt en bepaalt zo welke boomsoorten zich kunnen verjongen, de mate van concurrentie met andere kruid- en struikvegetatie, in welke mate Amerikaanse vogelkers of Amerikaanse eik invasief kan worden, ... (Tomassen et al, 2020; Gaudio et al 2011; Ligot et al 2015,)

M.a.w. in plaats van zoals nu gebruikelijk is om eerst gaten te kappen en dan verder te werken met wat zich ontwikkelt, kan het bij klimaatadaptief bosbeheer belangrijker worden om bosvorming onder scherm op te starten en dan geleidelijk aan meer licht in de onderetage te brengen.

In verschillende studies rond klimaatadaptief bosbeheer wordt echter ook de aanbeveling gemaakt om frequenter en / of intensiever te gaan dunnen om ook de watercompetitie tussen bomen te gaan verminderen.

Er zijn twee manieren waarbij dunnen de waterkringloop kan beïnvloeden: 1) water dat eerder werd gebruikt door de gevelde bomen, zal het grondwater en / of het oppervlaktewaterpeil kunnen verhogen, en 2) er komt meer neerslag op de bosbodem terecht, waardoor droogtestress, sterfte en productiviteitsverliezen potentieel worden verminderd. Hoewel beide ecohydrologische voordelen theoretisch mogelijk zijn, vereisen beslissingen rond het al dan niet frequenter dunnen meer informatie over hun waarschijnlijkheid en de *trade-off* die gemaakt wordt, met name het verzwakken van het bosmicroklimaat. Om deze afweging geïnformeerd te kunnen maken, is verder onderzoek nodig. Hierbij dienen de effecten van dunning op de waterbalans (interceptie, evapotranspiratie, bodemwatervoorraad, percolatie naar de diepere lagen) in het bos en de groei van de opstand (de sapstroom, het bladwaterpotentieel en de stomatale geleiding) grondig onderzocht te worden voor onze streken.

Eerdere studies met naaldboomsoorten in o.a. Frankrijk en Canada hebben aangetoond dat dunning kan resulteren in een sterkere groei niet enkel door meer licht, maar ook door een betere beschikbaarheid van bodemwater voor de resterende bomen (Black et al. 1980, Morikawa et al. 1986, Aussenac en Granier 1988). De sterkere groei in gedunde opstanden van verschillende soorten werd ook reeds gelinkt aan een verminderde bodemwaterstress (Zahner 1968), als gevolg van een daling in zowel de interceptie als de transpiratie. Echter, al in deze studies uit de Jaren '60-'80 werd duidelijk gesteld dat de invloed van bv. hevige regenval of droogte op de effecten van dunning onvoldoende gekend zijn (Stogsdill et al. 1992).

Voor de Mediterrane regio (waar droogte nog een acuter probleem is dan in de gematigde streken) werd recent een grondige review uitgevoerd over de verandering in ecohydrologie bij dunning door Tague et al. (2019). Hieruit blijkt dat de stijging in evaporatie van de bodem en transpiratie van de resterende vegetatie de voordelen van de aanvulling van het grondwater of de watervoorraden kunnen reduceren. Ze benadrukken dat de potentiële winst in watervoorziening door dunning in Mediterrane bossen waarschijnlijk beperkt en van korte duur zal zijn. De auteurs besluiten dat er momenteel nog te veel conflicterende bevindingen zijn uit *case studies* rond de effecten na dunning en geven aan dat er dringend nood is aan onderzoek naar de effecten op langere termijn. We valt te verwachten dat de effecten op de (planten)biodiversiteit van (te sterk) dunnen waarschijnlijk eerder tot sterke zullen thermofilisatie leiden (Govaert et al. 2021).

Boomgericht bosbeheer

Om bomen vrij te stellen en tegelijkertijd het microklimaat zoveel als mogelijk te behouden, kan een boomgericht beheer toegepast worden. Boomgericht beheer houdt in dat bomen al op jonge leeftijd worden geselecteerd en systematisch worden vrijgesteld. Het is dé methode bij uitstek om zowel kwalitatief hoogstaand hout te oogsten en tegelijk natuurdoelen te realiseren (Eco2Eco 2020). Het is dus een vorm van natuurgericht bosbeheer, waarin de kwaliteit en vitaliteit van de individuele boom centraal staan en een beheerder beslissingen over beheeringrepen pleksgewijs neemt (Eco2Eco 2020). Naargelang moment van eerste ingreep zijn er strikte varianten (QD-beheer) en minder strikte varianten (aangepaste

toekomstboommethode). Op het moment van de velling wordt er dus beperkt ingegrepen in het bestand, waardoor het microklimaat beperkt verstoord wordt.

Bij boomgericht beheer is het in de regel niet nodig om gaten te kappen die hoger zijn dan 1 à 1,5 keer de boomhoogte. De eenheid van beheer wordt dus een 'plek' die aan de hand van verfmarkeringen of andere instructies (zoals bv. via GPS-registratie) aan de arbeidersploeg kan worden duidelijk gemaakt; bestanden of percelen worden dan fysische locaties waar de 'plekken' zich in bevinden.

Ook omvorming onder scherm kan boomgericht gebeuren, waarbij verjongingsgroepen of kloempen nog net genoeg licht krijgen zonder grote gaten te creëren (Figuur 17). Het op deze manier geleidelijk inbrengen van gewenste boomsoorten laat toe om het bosmicroklimaat en de bosbodem te behouden, en de structuuropbouw geleidelijk aan te versterken. Jonge boompjes groeien op die manier op in een quasi intact bosmicroklimaat, waardoor ze beter beschermd zijn tegen droogte en hitte. Op dit moment wordt voor de openbare bossen de aanbeveling gemaakt om met vijf kloempen per hectare te werken als eerste stap in de omvorming (<https://eco2eco.info>). Bij de volgende dunningsronde, na ongeveer tien jaar kunnen er eventueel nieuwe kloempen worden ingebracht of kunnen plekken met natuurlijke verjonging worden vrijgesteld. Op die manier zal de structuurvariatie geleidelijk versterkt worden en kan de boomsoortenkeuze tijdig bijgesteld worden op basis van nieuwe inzichten t.a.v. klimaatverandering.



Figuur 17 Een verjongingsgroep (kloemp) van beuk in een homogeen bestand van grove den. Enkel in functie van de kloempen (drie groepen van telkens 25 boompjes op 1ha) werden een aantal grove dennen geveld. De jonge beukjes doen het prima onder het scherm en bij het beschermd microklimaat. Foto © BOS+

Behouden van het bosmicroklimaat impliceert ook dat de bestrijding van invasieve exoten weloverwogen dient aangepakt te worden (i.e. kan ook 'boomgericht' gebeuren). In de Vlaamse bossen zijn de Amerikaanse eik, de Amerikaanse vogelkers, de valse acacia en de Rhododendron de meest bestreden uitheemse boomsoorten. Echter, in het kader van het beschermen van het bosklimaat is het belangrijk om exoten op een goed overwogen manier te bestrijden. In regio's waar de soort niet invasief is, kan getracht worden de soort te beheersen in plaats van te bestrijden. Er zijn al succesvolle voorbeelden uit de praktijk te vinden in Vlaanderen waar Amerikaanse vogelkers en Amerikaanse eik worden beheerd, in plaats van bestreden.

Enkele praktijkvoorbeelden: In Ophovenderheide bijvoorbeeld worden verschillende bestanden met Amerikaanse eik omgevormd naar soortenrijkere bestanden met o.a. haagbeuk, gewone esdoorn, winterlinde en beuk via kloempen onder scherm, waarbij enkel die Amerikaanse eiken geringd worden in de buurt van de kloemp opdat het plantgoed voldoende licht zou krijgen én het microklimaat behouden blijft (Figuur 18). Vanaf de inheemse soorten uit de kloempen de dimensioneringsfase bereiken, worden resterende Amerikaanse eiken er vantussen geveld, worden extra inheemse boomsoorten tussengeplant en zit je onmiddellijk al met de uitgangssituatie van een jong bos gedomineerd door inheemse boomsoorten zonder dat bosmicroklimaat en bosbodem volledig moest verstoord worden.

In verschillende domeinbossen, o.a. in het Nationaal park de Hoge Kempen worden naaldboutbestanden die overwoekerd zijn door Amerikaanse vogelkers omgevormd door per hectare een vijftal kloempen te planten na eerst de Amerikaanse vogelkers op die plek uitgetrokken te hebben (voor voorbeelden zie <https://eco2eco.info>).



Figuur 18 Voorbeelden van verjongingsgroepen of kloempen in een Amerikaanse eikenbestand in Ophovenderheide waar werd gekozen om de kloempen net genoeg licht te geven via ringen van de dichtstbijzijnde eiken. De kloempen worden beschermd tegen wilddruk via afrastering. Foto © BOS+

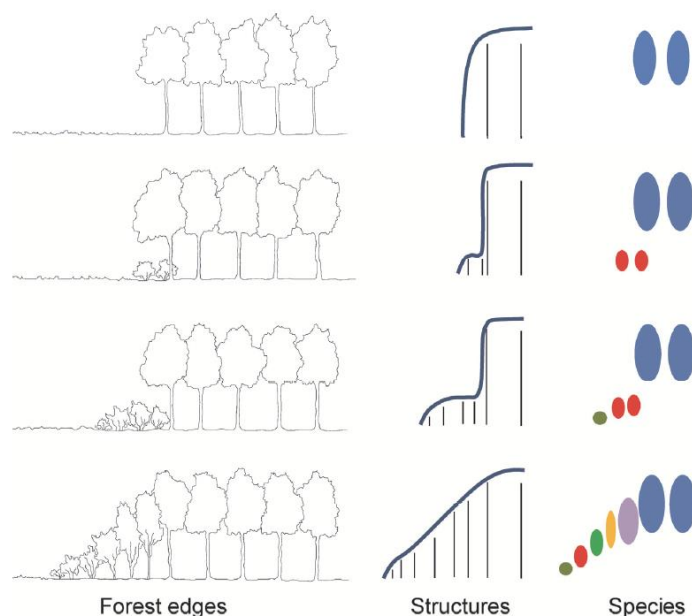
Bosrandbeheer

Bosranden zijn de fysieke vegetatiestructuren die de overgangszone vormen tussen bos en open land. Hun soortensamenstelling en structuur beïnvloedt meerdere processen en organismen in het landschap omdat ze kunnen fungeren als habitats, corridors, filters of barrières. De rol die ze vervullen hangt nauw samen met hun vegetatiestructuur en soortensamenstelling.

Bosranden zijn dynamisch en veranderen vaak van positie en structuur in de loop van de tijd (Sarlöv-Herlin, 2001; Essen et al., 2006); zonder bijsturing groeit de bosrand vaak uit tot een abrupte homogene bosrand (Figuur 19).

De meeste Vlaamse bossen hebben scherpe overgangen van bos naar open veld (Figuur 19, bovenaan). Het effect van het open landschap is op die manier tot diep in het bos merkbaar, wat ook omschreven wordt als het 'randeffect': zijnde een verandering van responsvariabelen, die afhangt van de afstand tot de rand. Dit randeffect varieert afhankelijk van de onderzochte responsvariabelen en van het type bosrand. Bijvoorbeeld de hoeveelheid koolstof opgeslagen in de biomassa en de bodem stijgt naarmate je dichterbij de bosrand komt (positief effect, Meeusen et al. 2020); de vermestende invloed van buitenaf stijgt naarmate je dichterbij de bosrand komt (negatief effect, Wuyts et al. 2009).

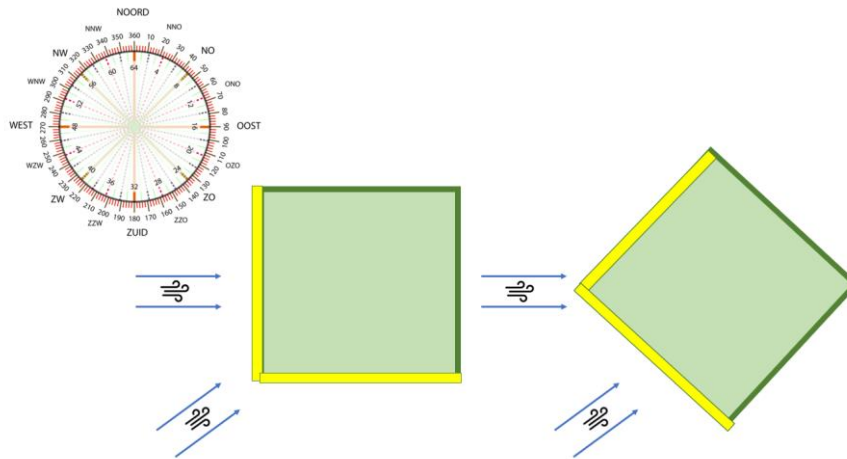
Een scherpe bosrand heeft een duidelijk negatief effect op het bosmicroklimaat, aangezien de wind dieper door zal dringen in het bos in vergelijking met een bos met een gradueel opgaande rand. Om de gevolgen van droogte en hitte op het boscossysteem te milderen, is het aangewezen om in te zetten op het 'dicht' maken van het bos, en zo het bosmicroklimaat te beschermen via bosrandbeheer. De structuur van de bosrand zal immers bepalend zijn voor de hoeveelheid straling en wind die in de rand doordringt (Didham & Lawton, 1999; Hamberg et al., 2009a; Ruck et al., 2012). Hierbij wordt gestreefd naar het creëren van een opgaande structuur (Figuur 19, onderaan) die de wind afremt en zo het 'randeffect' kan beperken.



Figuur 19 Schematische weergave van verschillende bosranden. Bosranden kunnen verschillen in structuur en in soortensamenstelling, variërend van abrupte homogene bosranden (bovenaan) tot opgaande en heterogene bosranden (onderaan). De verschillende kleuren stellen verschillende boomsoorten voor. Bron: Wiström 2015

In Vlaanderen is een stevige zuidwesten- tot westenwind het meest voorkomend. De bosranden die haaks staan op deze windrichtingen zijn dus de belangrijkste om op in te zetten in het kader

van klimaatadaptief beheer (Figuur 20). Dergelijke randen met een zuid- en westaspect zullen bovendien meer blootgesteld zijn aan straling van de zon in vergelijking met die met een oost- en noordaspect (Geiger, 1965; Matlack & Litvaitis, 1999). Ze zijn daarom over het algemeen warmer en droger (lagere lucht- en bodemvochtigheidsniveaus) vanwege een hogere verdamping dan in oost- en noordgerichte randen (Geiger, 1965; Matlack, 1993a).



Figuur 20 De dominante windrichting in Vlaanderen is west tot zuid-west, waardoor je als beheerder kan inzetten op ontwikkelen van opgaande bosranden haaks op deze windrichtingen (aangeduid in het geel).

Een geleidelijk opgaande bosrand bestaat typisch uit een mantel en een zoom, waarbij de mantel bestaat uit een struik- of hakhoutzone en de zoom uit ruigtekruiden (Ecopedia). We bespreken eerst de aanleg en het beheer van de mantel en vervolgens dat van de zoom.

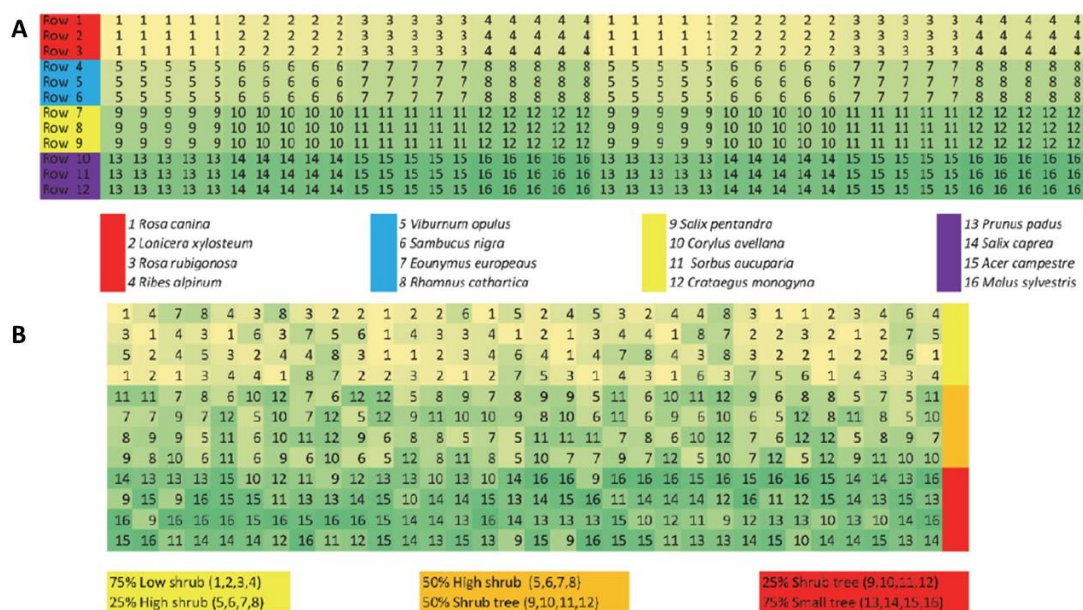
Bij de aanleg van een opgaande bosrand heb je de keuze tussen interne ontwikkeling (i.e. in het bos, waarvoor een deel van de bomen aan de rand dient geveld te worden) of externe ontwikkeling, waarbij de rand tegen het bos wordt aangelegd en dus een deel van de grond naast het bos beplant wordt. De breedte van een geleidelijk opgaande bosrand varieert tussen de 1 tot 1,5 maal de boomhoogte. In de praktijk is de breedte van de meeste bosranden tussen de 20 en 40 meter (Ecopedia). Richtlijnen voor de aanleg en het beheer van een gradueel opgaande bosrand worden weergegeven in Wiström (2015), die op wetenschappelijke wijze een aantal methodes hiertoe heeft onderzocht.

Voor de **aanleg** van de **externe bosrand** wordt best ingezet op een combinatie aan soorten specifiek geselecteerd op basis van hun lichtbehoefte en groeivorm (maximum hoogte). In het aanplantingsplan kan er op die manier gekozen worden voor het plaatsen van de kleinste soorten in de eerste 'zone' van de bosrand, om in de volgende zone de iets hogere soorten aan te planten, en dit patroon verder te zetten over de volledige 'doorsnede' van de bosrand (Figuur 21, Tabel 2). Via dergelijke zonering zal de opgaande structuur vrij 'constant' zijn in de tijd. Aangezien in Vlaanderen het best wordt ingezet op het ontwikkelen van gradueel opgaande zuid- en westranden, is een goede droogtetolerantie van de soorten eveneens belangrijk om mee te nemen in de finale soortenkeuze (Tabel 2). Gezien we meer en langere droogteperiodes verwachten in de toekomst (zie Stap 2), is droogtetolerantie sowieso een bepalende eigenschap

bij de finale soortenkeuze. Daarnaast blijft ook het bodemtype (bodemvochttrap, lichte of zwaardere textuur) een cruciale rol spelen in de soortenkeuze.

In het aanplantingsplan kan er binnen de verschillende zones in de bosrand gevarieerd worden in aantal soorten en in de combinatie van soorten, en zijn er dus verschillende aanplantingspatronen mogelijk (Figuur 21). Een veelheid aan variaties wordt weergegeven in Wiström (2015) die verder ook worden opgevolgd in een lange-termijn vervolgonderzoek voor de evaluatie van de verschillende ontwerprichtlijnen.

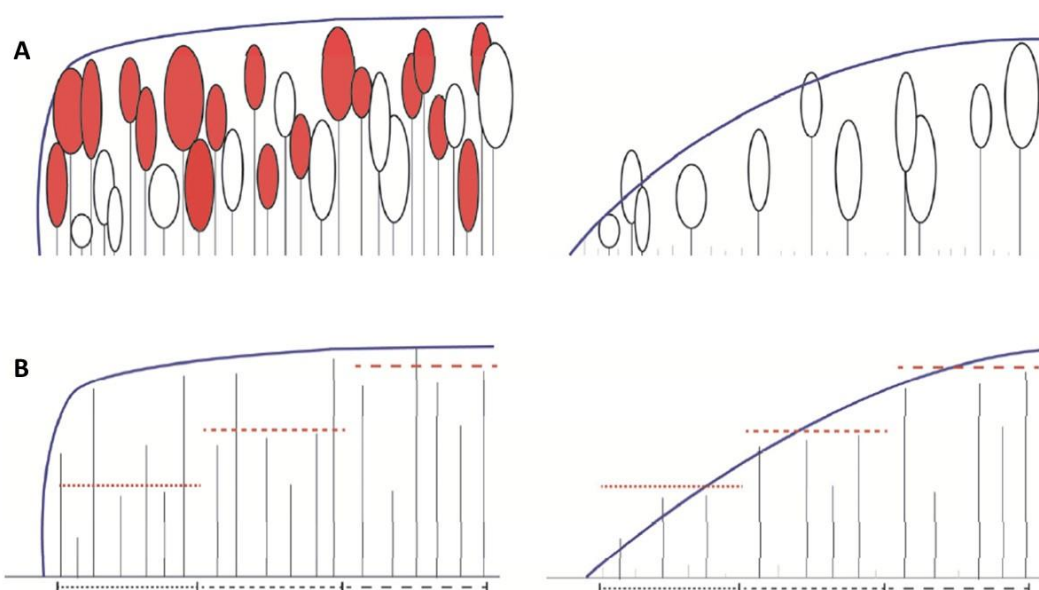
Voor het **creëren** van een **interne bosrand** beschrijft Wiström (2015) twee methodes: enerzijds de *Functional Species Control*, i.e. ‘functioneel soortenbeheer’, waarbij d.m.v. reductie van dominante boomsoorten een opgaande rand gecreëerd wordt (Figuur 22) en anderzijds de *Zoned Selective Coppice* methode, i.e. ‘gezoned selectief hakhout’, waarbij een opgaande rand gecreëerd wordt d.m.v. gezoned afzetten van de bosrandsoorten op verschillende hoogtes (Figuur 22 22). Beide methodes kunnen ook gecombineerd worden.



Figuur 21 Voorbeeld van een duidelijke zonering in het aanplantingsplan voor een bosrand van 20m doorsnede waarbij wordt gewerkt met 16 verschillende soorten. **A.** Er worden vier zones onderscheiden waarin telkens met soorten wordt gewerkt die van nature tot een bepaalde maximumhoogte doorgroeien: in Zone 1 (rood aangeduid) worden enkel lage struiksoorten aangeplant (Tabel 2), in Zone 2 (blauw aangeduid) worden hoge struiksoorten aangeplant, in Zone 3 (geel aangeduid) komen struikvormige bomen en in Zone 4 (paars aangeduid) worden kleine bomen aangeplant. Er wordt binnen de zones niet gemengd in soorten, maar in afwisselende blokken aangeplant. **B.** Er worden drie zones onderscheiden (Zone 1 in het geel, Zone 2 in het oranje, Zone 3 in het rood) waarin een intense menging wordt toegepast en waarin soorten uit verschillende groeivormen (Tabel 2) worden in bijgemengd. Bron: Wiström 2015.

Tabel 2 Soorten geschikt om aan te planten in de bosrand met indicatie van hun schaduwtolerantie en hun groeivorm. Alle soorten zijn voldoende droogteresistent om ook in zuid- en westgeoriënteerde bosranden aan te planten. Bron: Wiström 2015.

Groeivorm	Minder schaduwtolerant	Meer schaduwtolerant
Lage struiksoorten	<i>Rosa rubiginosa</i> L.	<i>Ribes alpinum</i> L.
	<i>Rosa canina</i> L.	<i>Lonicera xylosteum</i> L.
Hoge struiksoorten	<i>Rhamnus cathartica</i> L.	<i>Eounymus europeaus</i> L.
	<i>Sambucus nigra</i> L.	<i>Viburnum opulus</i> L.
Struikvormige bomen	<i>Salix pentandra</i> L.	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.
	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	<i>Corylus avellana</i> L.



Figuur 22. A: Conceptuele voorstelling Functional Species Control, waarbij de soorten die geveld zullen worden voor het creëren van een opgaande bosrand in het rood aangeduid staan. B: Zoned Selective Coppice, waarbij de rode lijnen de 'threshold heights' voorstellen waarop de soorten zullen afgezet worden om een opgaande bosrand te creëren. Bron: Wiström (2015)

Voor het toepassen van een **functioneel soortenbeheer** in functie van het creëren van een opgaande bosrand, dienen bomen geselecteerd te worden op basis van soort, omvang en positie. Gezien hier voldoende inzicht en kennis voor nodig is in zowel soortenkeuze als veltechnieken, dient dit te gebeuren door een ervaren bosbeheerder (Rackham, 2006). Een verschil met een dunningskap in de klassieke bosbouw, is dat niet enkel commercieel interessante soorten overblijven. Bosarbeiders dienen dus minstens een tiental soorten extra te kennen om dit goed te kunnen uitvoeren (Wiström 2015).

Gezoneerd selectief hakhout houdt in dat bomen in 'zones' – idealiter met een breedte die telkens nog toelaat om gemotoriseerd te werken – worden afgezet op bepaalde hoogte. 'Selectief' afzetten verwijst zowel naar de threshold hoogte, zoals voorgesteld door Rydberg (2000), als naar de soorten zelf die een voldoende sterke *resprouting capacity* moeten hebben vooraleer ze geschikt zijn om af te zetten (Giovannini et al., 1992).

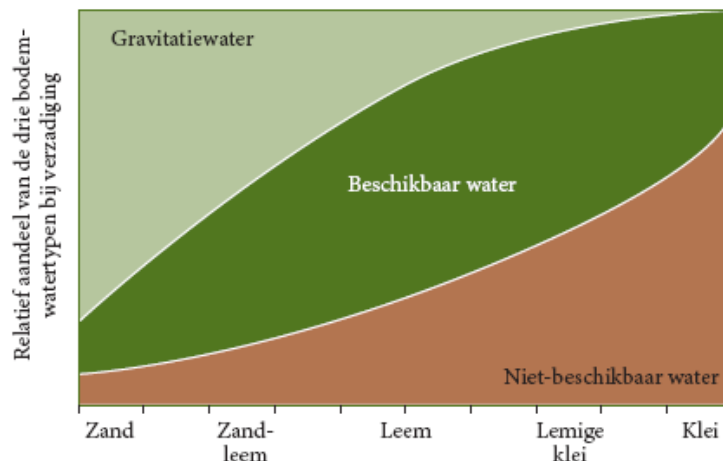
Het **beheer** van de **bosrand** is gericht op het in stand houden van de mantel en de zoom. Beheer van de mantel is vooral nodig wanneer het om een intern gecreëerde bosrand gaat. De zoom wordt beheerd door gefaseerd maaien, elk deel van de ruigte wordt best om de 2 tot 4 jaar gemaaid. Afvoeren van maaisel is nodig om ruigtes bloemrijk en biodivers te maken (Ecopedia).

Een bosrand is uiteraard ook van groot ecologisch belang, gezien er op een kleine oppervlakte een veelheid aan niches kan voorkomen door de gradiënt in abiotiek (bodemvocht, luchtvochtigheid, instraling zonlicht...) en structuur. Als beheerder kan je ook hierin sturen door bv. een golvende bosrand aan te leggen, die zorgt voor warme plekjes en windluwe inhammen. Zoals steeds geldt ook hier: meer variatie brengt meer biodiversiteit met zich mee (Ecopedia).

4.2.2. Handvat verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems

Een gezonde bosbodem is een vereiste voor een goed functionerend en weerbaar bos in een veranderend klimaat. Met de veranderende klimatologische omstandigheden, is het verhogen van het vochtvasthoudend vermogen van de bosbodem meer dan ooit een belangrijk aandachtspunt. De bodemtextuur en -structuur bepalen hoeveel water er beschikbaar is voor de vegetatie (zie Stap 1).

De **bodemtextuur** bepaalt het totale volume bodemwater, zijnde zowel het beschikbare als het onbeschikbare water voor de vegetatie (Figuur 23).



Figuur 23 De relatieve hoeveelheden water die beschikbaar en niet beschikbaar zijn voor plantengroei in bodems met texturen van zand tot klei (bron: boek *Bosecologie en Bosbeheer*).

Na een regenbui zakt het water (dat niet verloren gaat via verdamping en runoff) in de bodem weg. Wanneer de bodem de zogenaamde 'veldcapaciteit' bereikt wordt er een maximaal volume water vastgehouden. Een grotere kleifractie in het bodemprofiel gaat gepaard met een grotere capaciteit om water vast te houden. Dit betekent echter niet dat er meer water beschikbaar is voor planten om te gebruiken, omdat een kleitextuur zal leiden tot een complexe bodemmatrix met kleinere poriën die water vasthouden bij hogere zuigdrukken.

Het samenklitten van bodemdeeltjes tot aggregaten en de manier waarop ze in de ruimte gerangschikt zijn, bepaalt immers de **bodemstructuur**, die mee het vochtvasthoudend vermogen van de bodem bepaalt. Zandkorrels (de grootste deeltjes), leemdeeltjes en kleideeltjes (de kleinste deeltjes), maar ook organisch materiaal, vormen deze aggregaten waartussen de poriën gevuld zijn met water of lucht. Zowel macro- als microporiën in de aggregaten vergroten het vochthoudend vermogen van de bodem.

Aan de bodemtextuur kan je als bosbeheerder niets doen. Wel kan je een betere bodemstructuur creëren via het verhogen van het organische stofgehalte in de bodem, door het voorkomen van bodemcompactie een actief bodemleven te stimuleren. Ook de interactie tussen bodemleven en exudaten van boomwortels stimuleert namelijk de vorming van aggregaten. Bodemcompactie vormt een bedreiging voor het bodemleven, de bodemaggregaten en zo ook voor de fysische bodemvruchtbaarheid. Het vermijden van bodemcompactie is dan ook zeer belangrijk in het kader van klimaatadaptief bosbeheer.

De organische stofconcentratie van de minerale bosbodem kan verhoogd worden o.a. via

- Het inbrengen van rijkstrooiselsoorten,
- De hoeveelheid dood hout te verhogen (zowel liggend als staand dood stamhout, maar ook kroonhout),
- Het inbrengen van organisch materiaal bij de aanplant zelf.

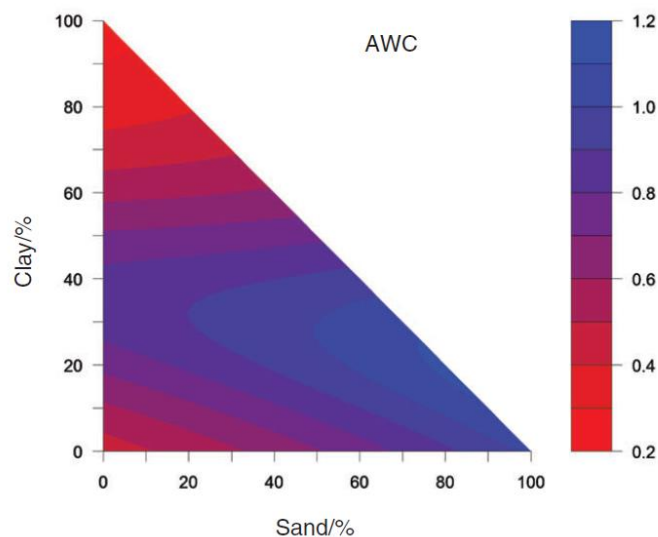
Invloed verhogen organische stofgehalte?

Het verhogen van bodemorganisch materiaal zal de bodemstructuur verbeteren, waardoor er meer voedingsstoffen vastgehouden kunnen worden, de biotische activiteit (het bodemleven) er zal op vooruit gaan en bodemvocht en -temperatuur beter gebufferd zijn (Lal, 2004; Meeussen et al. 2021). Het toevoegen van organisch materiaal aan (landbouw)bodems wordt dan ook breed gepromoot als een manier om het vochtvasthoudend vermogen van de bodem te doen stijgen.

Hoewel het positieve effect van organisch materiaal op het vochtvasthoudend vermogen van de bodem al goed bestudeerd werd (Hudson, 1994; Rawls et al., 2003), is er tot op heden geen consensus over het kwantitatieve effect hiervan. De invloed van een toename in het organische stofgehalte in de bodem op het aandeel beschikbare water voor de vegetatie, is momenteel dus nog onzeker.

Zo voerden Minasny en McBratney (2018) recent een grondige review uit van 60 beschikbare studies over het thema, waaruit blijkt dat een stijging van het organische koolstofgehalte in de bodem slechts een beperkt effect heeft op het water dat beschikbaar komt voor de vegetatie. Bij een stijging van 1% bodemorganische koolstof (i.e. 10 g C kg^{-1} minerale bodem), stijgt de beschikbare watercapaciteit met een gemiddelde van $1,16\text{ mm H}_2\text{O } 100\text{ mm}^{-1}$ bodem (75% van de studies rapporteert waarden tussen 0.7 en $2\text{ mm H}_2\text{O } 100\text{ mm}^{-1}$ bij een stijging van 10 g C kg^{-1} bodem). De auteurs halen dan ook aan dat het effect van een stijging in het organische stofgehalte op het vochtvasthoudend vermogen van bodems momenteel vaak wordt overschat.

De (beperkte) stijging is het duidelijkst in zandige bodems, is beperkt in leembodems, en is verwaarloosbaar in kleibodems (Figuur 24). In zandbodems kan dus het grootste effect op het vochtvasthoudend vermogen van de bodem verwacht worden bij een stijging in organische bodemkoolstof (toegeschreven aan het vormen van macroaggregaten, waarbij dit effect vermindert naarmate de poriegrootte vermindert). Let echter op de schaal van de y-as (Figuur 24); dit gaat over maximum 1.2mm, i.e. dit gaat in het algemeen over een zeer beperkt effect.



Figuur 24 Gemodelleerde respons van de snelheid waarmee het watergehalte ($\text{mm } 100 \text{ mm}^{-1}$) toeneemt bij 'available water capacity' (AWC, i.e. beschikbaar water voor vegetatie) met een toename in OC-gehalte van 5 tot 15 g kg^{-1} voor zand en klei. Bron: Minasny & McBratney (2018)

Argumenteren om het organische stofgehalte te verhogen om het bodemvochtgehalte te verhogen, wordt uit wetenschappelijke hoek als twijfelachtig beschouwd omwille van het beperkte effect (Minasny and McBratney 2018).

De auteurs merken echter wel op dat op basis van hun studie niet moet worden geïnterpreteerd dat we de organische stof in de bodem niet hoeven te verhogen. Wanneer het gehalte aan organische koolstof in de bodem onder de 1% daalt, geraken de bodemaggregaten gedestabiliseerd en komt de bodemnutriëntencyclus in gevaar. Dit dient dus absoluut vermeden te worden. Dit is echter vooral een issue in landbouwgronden: in bos zal het organische koolstofpercentage niet snel onder de 1% dalen. Verhogen van koolstof in de bodem kan dus vooral worden nagestreefd in landbouwbodems om de bodemstructuur en nutriëntencycli te verbeteren vooraleer er bos geplant wordt.

Hoewel het effect op de waterbeschikbaarheid voor de vegetatie beperkt blijkt, kunnen macroporiën gecreëerd door organisch materiaal nog steeds belangrijke effecten hebben zoals een verbetering in waterinfiltratie en gastransport. Bovendien kan het toevoegen van organisch materiaal een mulcheffect creëren, wat de verdamping van de bodem vermindert en zo het watergehalte in de bodem verhoogt. Dit is echter enkel relevant bij bebossing op niet-bosgronden (bv. landbouwgrond).

Koolstofopslag via aanrijking met organisch materiaal in bodems wordt uiteraard ook ruim gepromoot als klimaatmitigerende maatregel (Williams et al., 2016; Minasny et al., 2017). De koolstof afkomstig van het aangerijkte plantenmateriaal wordt vastgehouden in de bodem, die zo fungeert als een koolstofsink.

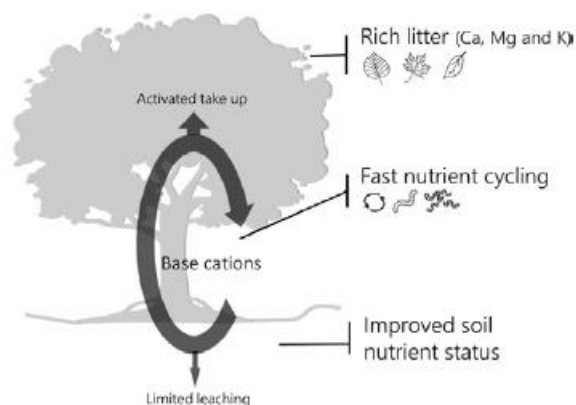
Rijkstrooiselsoorten

De beheerder kan inzetten op (menging met) rijkstrooiselsoorten om de bodemstructuur en nutriëntencycli te verbeteren. Op **zandgronden** kunnen rijkstrooiselsoorten bijkomstig ook bijdragen tot een (eerder beperkte) toename van het vochtvasthoudend vermogen (zie Invloed verhogen organische stofgehalte?).

Rijkstrooiselsoorten zijn soorten waarvan het bladstrooisel rijk is aan basische kationen zoals calcium, kalium en magnesium, en een lage C/N verhouding heeft.

De C/N-verhouding is de verhouding van de hoeveelheid (als massa) koolstof in het blad ten opzichte van de hoeveelheid stikstof. Naarmate de organische stof (C) stabiel is, des te moeilijker het strooisel afbreekbaar is. Hoe lager het getal, hoe sneller vertering van organische stof door de bacteriën kan plaatsvinden.

Rijkstrooiselsoorten zullen bij afbraak het aandeel basische kationen, dat ze uit de diepere bodemlagen hebben opgenomen, in de humuslaag en de bovenste minerale bodemlaag verhogen. Hierdoor zal het bodemleven zich verder kunnen ontwikkelen, waardoor een vlottere afbraak en vermenging van het strooisel met de minerale bovengrond bekomen wordt. De bodemstructuur zal verbeteren en de nutriënten worden beschikbaar worden voor opname, ook voor andere boomsoorten. Er wordt daarom ook wel van een 'nutriëntenpomp' gesproken (Figuur 25).



Figuur 25. Boomsoorten met rijk strooisel ('rich litter') brengen via hun bladval basische kationen zoals calcium, magnesium en kalium in de bovenste laag van de minerale bodem. Dankzij een actievere bodembiota zal de bodemstructuur verbeteren, waardoor meer nutriënten beschikbaar worden gesteld voor opname door de aanwezige vegetatie. Dit mechanisme noemen we ook wel een 'nutriëntenpomp'. Bron: Desie et al. 2020

Op de zandgronden in Vlaanderen vinden we veelal bossen met zuurstrooiselsoorten die aangeplant zijn voor houtteelt zoals eik (*Quercus* sp.), beuk (*Fagus sylvatica*), tamme kastanje (*Castanea sativa*), grove den (*Pinus sylvestris*) en Corsicaanse den (*Pinus nigra* subsp. *laricio*). De combinatie van een zandige bodem en de input aan verzurend bladstrooisel, bovenop de hoge atmosferische depositie van zwavel en stikstof in Vlaanderen, creëert verzuurde zandgronden die niet meer in staat zijn om voldoende vocht en voedingstoffen vast te houden. Door de lage

nutriëntenbeschikbaarheid en het laag vochtvasthoudend vermogen van deze bodems worden deze zeer gevoelig aan klimaatverandering (zie Stap 2). Op deze bodems kan inzetten op rijkstrooiselsoorten een belangrijke remediërende stap zijn om het vochthoudend vermogen van de bodem (beperkt) te gaan verhogen en om nutriënten in te gaan brengen. Welke rijkstrooiselsoorten geschikt zijn om op in te zetten, hangt zoals steeds bij boomsoortenkeuze af van de standplaatscondities en de beoogde beheerdoelen (zie handvat 'Kandidaat boomsoorten'). Onderstaande informatie werd overgenomen uit het handvat uitgewerkt door Ellen Desie (Desie & Muys 2020).

Welke boomsoorten onderplanten?

Kies boomsoorten aangepast aan de standplaats én waarvan het bladstrooisel zowel een lage C/N verhouding heeft als een hoge basenconcentratie.

Op bodems met textuur zand (Z) en een leem- of kleigehalte van meer dan 10 % (klei en leemlaagjes, kiezelrijk zand, ...) of op bodems met textuur lemig zand (S) of zandleem (L) zijn dit in de eerste plaats:

- winterlinde (*Tilia cordata* Mill.)
- gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus* L.) - krijgt in toenemende mate last van droogtestress, schakel over naar Noorse esdoorn
- zoete kers (*Prunus avium* L.)
- haagbeuk (*Carpinus betulus* L.)

Verder ook nog:

- ratelpopulier (*Populus tremula* L.)
- grauwe abeel (*Populus x canescens*)
- zomerlinde (*Tilia platyphyllos* Scop.)
- grauwe els (*Alnus incana* L.)
- fladderiep (*Ulmus laevis* Pall.) - plantsoen dat uit zaad is opgekweekt is relatief resistent tegen de iepenziekte
- ruwe iep (bergiep) (*Ulmus glabra* Huds.) - in heel beperkte aantallen omwille van iepenziekte. Niet inzetten op gladde iep (veldiep) (*Ulmus minor* Mill.) gezien deze extreem gevoelig is aan de iepenziekte.
- gewone es (*Fraxinus excelsior*) - in beperkte aantallen omwille van essentaksterfte
- taxus (*Taxus baccata* L.) - verspreid in beperkte aantallen

Struiksoorten met rijk bladstrooisel zijn in de eerste plaats:

- Europese vogelkers (*Prunus padus* L.)

En verder ook nog:

- hazelaar (*Corylus avellana* L.)

Op de armste en zuurste zandgronden kies je in een eerste fase vooral voor onderplanten of extra stimuleren van natuurlijke verjonging van "quick recyclers": zuurtolerante soorten die kenmerken van rijkstrooiselsoorten hebben en geleidelijk aan bodemherstel op gang kunnen brengen. Pas als die in voldoende mate aanwezig zijn krijgen de hierboven vermelde meer eisende rijkstrooiselsoorten een kans.

Dit zijn volgende boomsoorten:

- ruwe berk (*Betula pendula* Roth.)

- boswilg (*Salix caprea* L.)
- ratelpopulier (*Populus tremula* L.)
- grauwe abeel (*Populus x canescens*)

En volgende struiksoorten:

- wilde lijsterbes (*Sorbus Aucuparia* L.)
- spork (*Rhamnus frangula* L.)
- hazelaar (*Corylus avellana* L.)
- geoorde wilg (*Salix aurita*) of grauwe wilg (*Salix cinerea*) of diverse kruisingen ervan

Ook Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina* L.) is op die standplaatsen een "quick recycler". Het kan daarom opbrengen om op dergelijke standplaatsen in te zetten op omvorming door het pleksgewijs uittrekken en op die plaats inplanten van kloempen in plaats van klassieke bestrijding (<https://eco2eco.info>).

Voor richtlijnen rond hoeveel bomen onder te planten en waar eventuele kloempen te planten, kan inspiratie gevonden worden in het handvat uitgewerkt door Wim Buysse en Ellen Desie en in "Boomericht bosbeheer in de praktijk", respectievelijk. Ook eventuele begeleidende maatregelen voor aanrijking met basen in het plantgat op erg zure bosbodems worden beschreven in het Interregproject eco2eco en in de technische fiche 'Steenmeel toevoegen in bossen' (Bijlage 3).

Andere belangrijke aandachtspunten zijn:

- op de armste zandgronden nutriëntenafvoer beperken
- Voer bij de houtexploitatie enkel de verkoopbare stamstukken af en laat onverkoopbare bovenstam, kroon- en takhout in het bos liggen.
- verdere bodemdegradatie absoluut vermijden
- Gebruik vaste ruimingspistes, vermijd klepelen, frezen, en algemeen inzet van machines buiten de vaste ruimingspistes ...

Ook het belang van beleidsmaatregelen om de N-depositie verder te laten dalen kan niet genoeg benadrukt worden.

Aandeel dood hout verhogen

Dood hout is een integraal onderdeel van het bos (zie Stap 1). Zowel liggend als staand dood hout vervullen vele ecologische functies. Dood hout creëert bijvoorbeeld diverse microhabitats voor talloze bacteriën, fungi, korstmossen en mossen. Het oefent een invloed uit op nutriëntencirculatie, koolstofopslag, de hydrologische cyclus en waterretentie (Błńska et al. 2017, Kennedy et al. 2001, Stokland et al. 2012). Ook speelt dood hout een belangrijke rol bij regeneratie na verstoring en heeft het een impact op het microklimaat (Hou & Pan 2001, Wei et al. 2019).

De aanwezigheid van dood hout beschermt de bosbodem ook tegen uitdroging, wat met het vooruitzicht op langere droogteperiodes en stijgende temperaturen nog in belang zal stijgen (Woodall et al. 2020).

Dood hout is al significant toegenomen (*Tweede Vlaamse Bosinventaris*, 2019). De hoeveelheid dood hout kan gemakkelijk nog verder toenemen door tijdens de exploitatie vooral de bruikbare

stamstukken af te voeren en de rest te laten liggen. Aan de harvesteroperator kan gevraagd worden om grote stukken kroonhout bij te trekken zodat je plekken krijgt met naakte minerale bodem waar zich natuurlijke verjonging kan vestigen of waar een kloemp kan worden ingeplant.

Aanpassen aanplanttechnieken

Met de bosuitbreiding die de komende jaren in Vlaanderen dient gerealiseerd te worden (i.e. 10.000 ha tegen 2030), is het belangrijk om deze aanplanten maximale overlevingskansen te bieden. Bij bosuitbreiding en aanplant van nieuwe percelen is het belangrijk om de aanplant zo 'klimaatadaptief' mogelijk uit te voeren. Hiervoor zijn er heel wat 'nieuwe' technieken in opmars die al door verschillende organisaties (de Bosgroepen, lokale Natuurpuntafdelingen...) toegepast worden op terrein in de hoop om sterfte van het plantsoen door droogte te beperken.

Zo kan de bodemstructuur verbeterd worden door mulch (eventueel vlaksgewijs) aan te brengen rond het plantgoed in de vorm van houtsnippers, hooi, boomplaten... (zie Technische fiche mulch in Bijlage 4) of kunnen compost of andere 'hulpmiddelen' ingebracht worden het plantgat. Forceville et al. (2020) lijsten zo heel wat technieken op en deze zijn ook te vinden in de Maatregelentabel.

4.2.3. Handvat vertragen waterafvoer in bossen

Grootschalige grondwaterwinningen, drainage en de steeds toenemende verharding, in combinatie met langere droogteperiodes als gevolg van de klimaatverandering, liggen aan de basis van verdroging in Vlaanderen. De droogtes in Europa van de voorbije jaren zijn ongezien over een termijn van 2000 jaar (Büntgen et al. 2021). Herstelmaatregelen in vele ecosystemen is dan ook maar echt mogelijk wanneer grootschaliger (op landschapsschaal) ingegrepen wordt (Stap 3 Beheer de waterhuishouding).

Herstel van de waterhuishouding is cruciaal om de negatieve effecten die door verdroging optreden, weer terug te dringen. Oplossingen voor het structureel herstel van het oorspronkelijke hydrologische systeem liggen vaak (groten)deels buiten het bos. In het handvat 'Aanpassing van waterhuishouding' wordt dieper ingegaan op de vereiste maatregelen op landschapsschaal.

Echter, ook wanneer systeemherstel op landschapsniveau (nog) niet mogelijk is, zijn maatregelen op kleinere schaal nuttig en kan de beheerder hiermee aan de slag. Mogelijke maatregelen in het boslandschap zijn: verhogen van beekbodems of verhogen van het waterpeil in de beek; afdichten van rabatten, verondiepen of omleiden van landbouwdoorvoersloten in het bosgebied; vasthouden van regenwater in intrekgebieden; verminderen van naburige grondwateronttrekkingen en het ondieper maken van nabijgelegen sloten en beken (van der Burg et al. 2016). Daarnaast kan omvorming van naalldhoutaanplanten naar loofbos zorgen voor een verhoogde regenwaterinfiltratie.

In dit handvat zoomen we in op het bosniveau en bestandsniveau, en geven we aan wat de beheerder kan doen op dit 'detail'-niveau. We verwijzen verder graag naar publicatie 'Vochtige bossen, tussen verdrogen en nat gaan' uitgebracht vanuit het OBN Deskundigenteam door van der Burg et al. (2016), waarin wordt ingezoomd op hydrologische herstelmaatregelen specifiek voor natte en vochtige bostypes (die extra gevoelig zijn aan verdroging, zoals beekdalbos, stagnatiebos en dekzandbos) in Nederland.

Vertragen ontwatering boslandschap

Ontwatering aanpakken op bosniveau kan door de grotere drainerende grachten en beken in én rondom het bos aan te pakken.

Om de afvoer van grondwater en oppervlaktewater te beperken of de aanvulling van grondwater te vergroten, kunnen beken en grachten gedempt of gestuwd worden. Het nemen van maatregelen buiten de bosgebieden heeft trouwens weinig zin zolang grondwater via sloten en grachten afgevoerd wordt (van der Burg et al. 2016). Voor beken die een bepaalde afvoercapaciteit moeten behouden, kan bekeken worden of verondiepen of omleiden een optie is (van der Burg et al. 2016).

Dammen en stuwen vertragen de afvoer van water plaatselijk. Doordat de rest van het slotenstelsel nog steeds draineert, treedt vlak voor de stuw (of dam) opstuwing op. In natte

perioden kan dit wel tot overlast leiden, waardoor dammen of stuwen weloverwogen dient te gebeuren. In gebieden met wisselende waterstanden, zoals de dekzanden en de stagnatiebossen, kunnen stuwen en dammen zelfs negatieve effecten veroorzaken doordat de fluctuatie versterkt wordt: in natte perioden wordt water vastgehouden maar in droge perioden gaat toch veel water verloren (van der Burg et al. 2016).

Mogelijkheden om beken en grachten te dempen is het vullen met zand in of naast de beek (bij voorkeur met gebiedseigen materiaal) en stuwen kan bv. via stuwtjes op de beken of door bomen en takken in de boswaterlopen aanbrengen (Figuur 26). In een toenemend aantal waterlopen komt bever voor en zorgen voor beverdammen voor gewenste opstuwing. Indien dit geen ongewenste neveneffecten heeft op aanpalend landgebruik of bijzondere natuurwaarden maakt men best gebruik van dit natuurlijk proces.



Figuur 26 Boven: Voorbeelden van zandsuppleties in beken in Nederland. Onder: dood takhout en stamhout aangebracht in beken en waterlopen in Nederland. Bron: Deltafact, Stowa 2020

In het *Deltafact*, een brochure uitgebracht in 2020 door Stowa in Nederland, worden resultaten uit onderzoek en kennis verworven uit interviews met waterbeheerders rond inbrengen van zand en hout in beken en grachten weergegeven. Ook in de recent gepubliceerde thesis van Lotte De Bock worden de effecten van dood hout in de Gondebeek (Gontrode, België) geschetst op de wateropstuwing en op de biodiversiteit en verschillende ecosysteemdiensten (De Bock 2021).

We verwijzen naar deze bronnen waarin zowel de ecologische als hydrologische effecten van dergelijke maatregelen beschreven worden, en geven hier beknopt een aantal inzichten rond hydrologisch herstel mee.

Toevoegen van zand (i.e. zandsuppletie):

Hydrologische effecten:

- Inundatie van overstromingsvlakte en omliggende bosgebieden (Verdonschot et al., 2017d; 2019)
- Ontwikkeling van moeraszones langs de beek (Verdonschot et al., 2019)

Ecologische effecten:

- Direct na de zandsuppletie: afname van de diversiteit en abundantie van macrofauna door verstikking onder het zand (dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2004; 2016c; 2017c)
- Na stabilisatie van het zand: toename van de diversiteit en/of abundantie van macrofauna in de beek (door meer stroming en/of substraatvariatie) en van de vegetatie in de natte oeverzones van het beekmoeras (ontwikkeling van nieuwe habitats) (dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2004; 2017d; 2019)

Inbrengen of laten liggen dood hout in beken:

Hydrologische effecten:

- Opstuwing door verhoogde weerstand. De mate waarin wordt o.a. bepaald door de stroomsnelheid, het type pakket (dimensies en configuratie), in relatie tot het doorstroomprofiel. Deze opstuwing kan toenemen als zich blad in de houtpakketten ophoopt (Laperre et al., 2014; Coenen, 2017; van Dijk et al., 2016)
- Bodemophoging stroomopwaarts van het pakket door aanzanding en aanslibbing (Hofstra, 2014; Schoute, 2018; Verdonschot et al., 2016c; 2017c; Dijksma et al., 2018)
- Verhoging van (grond)waterstanden in het beekdal (Hofstra, 2014)
- Verhoogde retentie van water
- Verlegging van de hoofdloop

Ecologische effecten:

- Toename van kenmerkende macrofauna- en vissoorten van beekmilieus door meer variatie in stroming en substraat (Dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2012; 2016a; van Dijk et al., 2016; Heeskens, 2019)
- Afname van de substraatdiversiteit bovenstrooms van het dood hout door stagnatie, aanzanding en verslibbing, gevolgd door begroeiing met plantensoorten die voedselrijkdom indiceren (Verdonschot et al., 2016c; 2017c; Hofstra, 2014; Schoute, 2018)

Het is echter zeker niet aangewezen om alle grachten en beken te gaan dempen of stuwen, gezien dit er in de winter toe zou kunnen leiden dat grote delen van het bos onder water komen te staan. Daarom dienen de aanwezige grachten en rabatten individueel bekeken te worden. In kaart brengen van alle aanwezige rabatten, greppels, verzamelsloten en beken in het boslandschap kan bijvoorbeeld vlot gebeuren via het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II (DHMV II).

In natte en vochtige bossen bestaat bij een (te) snelle grondwaterstandverhogingen het risico dat teveel bomen zouden afsterven (Figuur 27). Ook restpopulaties van zeldzame en karakteristieke fauna en flora lopen bij snelle vernatting gevaar te verdwijnen (van der Burg et al. 2016). Dit maakt beheerders terughoudend om deze maatregelen uit te voeren, waardoor er

nog maar weinig ervaring mee is in Nederland en Vlaanderen. Sowieso is een fasering van het toepassen van de maatregelen op basis van een goede systeemanalyse aangewezen.

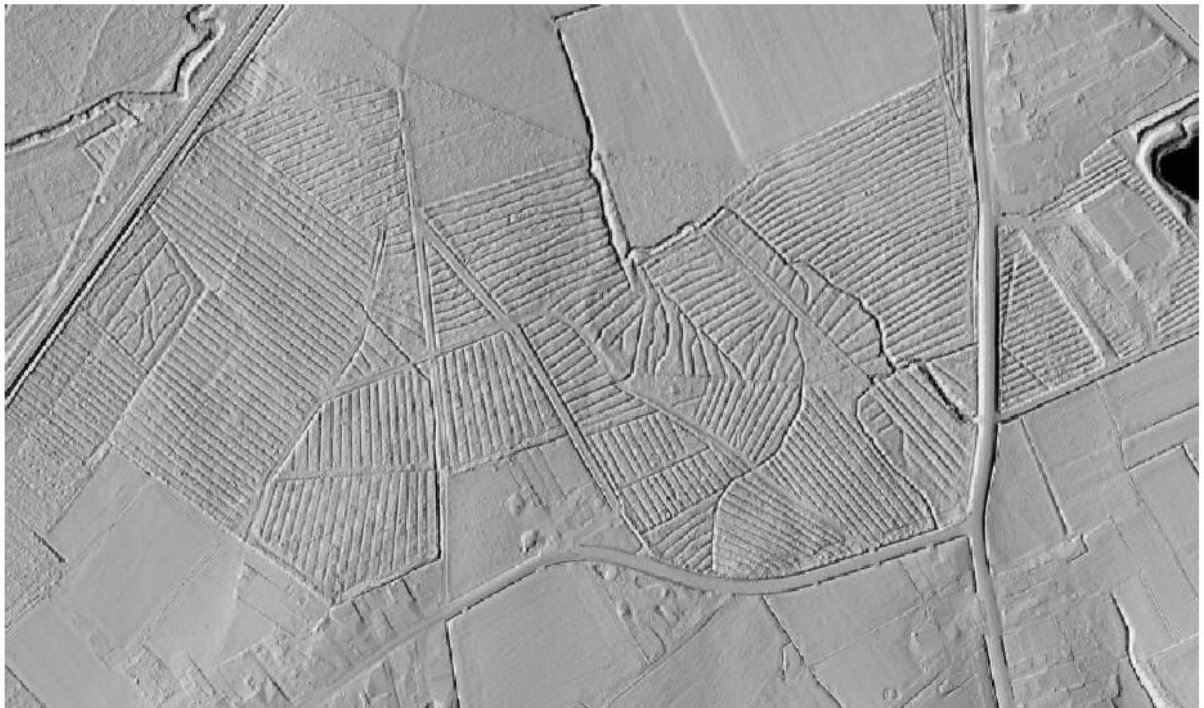


Figuur 27 Sterfte van bomen door dempen van sloten in dekzandbos, circa twee jaar na de uitvoering van de maatregelen. Bron: van der Burg et al. (2016)

Wat met rabatten?

Rabatten vormen een patroon van sloten en ophogingen gesitueerd in (vroeger) zeer nat terrein, gericht op het vergroten van de doorwortelbare diepte van de bosbodem (Ecopedia). Rabatten hebben dus een drainerende werking. Een tweede effect is dat het natuurlijke maaiveld opgehoogd werd en de grondwaterstanden dus steeds lager zijn dan de natuurlijke grondwaterstanden.

De beddenbouw of rabattencultuur is een eeuwenoude techniek die zijn oorsprong vindt in de tuinbouw: het aanleggen van rabatten in moestuinen is al gebruikelijk in de oudheid (Van Driessche 2021). Later werd de techniek ook toegepast in de landbouw in Vlaanderen en in boomkwekerijen op vochtige standplaatsen. Het is niet bekend wanneer de eerste rabattenbossen precies in Vlaanderen zijn aangelegd. Een van de oudste nog bestaande rabattenbossen in Vlaanderen is het Aelmoeseneiebos in Gontrode (zie Casus Aelmoeseneiebos, Figuur 28), dat al van vóór het jaar 1600 van rabatten was voorzien (Van Driessche 2021). Vanaf het midden van de 18de eeuw werd de techniek van het rabatteren op grote schaal toegepast in Vlaanderen, zowel voor het bebossen van heidegebieden als voor het verjongen van bospercelen in oude bossen. Rabatten zijn dus ook cultuurhistorisch waardevol. Hun cultuurhistorische waarde hoeft echter niet op elke locatie een argument te zijn voor instandhouding, aangezien hun drainerende werking nefast kan zijn in tijden van lange droogteperiodes.



Figuur 28 De rabattenstructuur van het Aelmoeseneiebos wordt duidelijk zichtbaar via het DHMV II (Multidirectionale hillshade 0,25m, Geoportaal Onroerend Erfgoed). Bron: Van Driessche 2021

Rabatten verwijderen of egaliseren is een erg drastische en ingrijpende maatregel waarmee nog weinig tot geen ervaring is in het boslandschap, maar wel in het moeraslandschap of het heidelandschap. Het voordeel van de gewenste vernatting moet steeds afgewogen worden tegen de volgende nadelen:

- Een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten als gevolg van de onvermijdelijke roering van de grond (van der Burg et al. 2016). Daartegenover staat dan weer dat verhoogde grondwaterstanden op termijn leiden tot verminderde beschikbaarheid van nutriënten, vooral op natuurlijke standplaatsen van meer voedselarme valleibossen, veenbossen.
- De populaties van karakteristieke vochtminnende soorten in een rabattenbos komen vaak alleen nog voor in of aan greppels. Bij vernatting of demping van de greppels lopen deze soorten het risico te verdwijnen, voordat nieuw leefgebied beschikbaar komt (Bijlsma et al. 2019). Anderzijds kan de vernatting net zorgen voor een enorme toename van geschikt leefgebied. Ook hier moeten de kosten dus afgewogen worden tegenover de baten, zoals herstel van mesotrofe elzenbroekbossen of laagveensystemen.
- Rabatten zorgen voor microreliëf en dus meer lokale variatie in grondwaterstanden. Rabatten dempen druist in tegen het advies om het microreliëf te versterken (zie Creëer maximale structuurvariatie, Stap 3). Maar op een wat hoger niveau kan er net een grote meerwaarde zijn in het resoluut herstel van natte valleigronden, bijvoorbeeld door herstel van de sponsfunctie van de valleigronden of herstel van veen.
- Verlies van cultuurhistorische waarden.

Rabatten dempen in het boslandschap is dus zeker niet evident, zeker als men het natuurlijke reliëf wil herstellen en dus ook de vegetatie moet verwijderen. In de praktijk is volledig herstel van het natuurlijk reliëf alleen mogelijk als er belangrijke meerwaarden zijn naar zeldzame natuurwaarden (elzenbroekbossen, veenbossen) of herstel van de natuurlijke waterhuishouding in valleisystemen.

In veel gebieden zijn minder ingrijpende maatregelen aangewezen. Sommige rabatten zijn laag en hebben daardoor een gering effect op de ontwatering van het gebied. Bovendien kan soms kan door dichten van verzamelsloten de grondwaterstand al voldoende stijgen. In veenvormende systemen (broekbossen) zullen greppels vanzelf dichtgroeien als de waterhuishouding is hersteld (van der Burg et al. 2016). Bij rabatten die wel diep en sterk drainerend werken, kan gepoogd worden de 'uiteinden' af te dichten. Tot op heden is hier in Vlaanderen of elders (voor zover we weten) geen praktijkervaring mee. Het zal dus belangrijk zijn om de effecten van de dergelijke maatregelen goed te monitoren en de ervaringen te delen.

Retentiecapaciteit boslandschap verhogen

Bosecosystemen staan bekend om hun vermogen om water vast te houden (i.e. retentiecapaciteit). Echter, zelfs in sommige beboste stroomgebieden wordt bij langdurige of intense regenval de retentiedrempel van het systeem vaak overschreden, waardoor een versnelde afvoer wordt gegenereerd (Valtera et al. 2017).

In een veranderend klimaat moet, naast het vertragen van de waterafvoer, ook het vergroten van de retentiecapaciteit van het boscossysteem een prioriteit zijn. Door het microreliëf te versterken en het vochthoudend vermogen van bosbodems te verhogen (dood hout, rijkstrooisel, ... zie handvat verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems), kan de retentiecapaciteit verhoogd worden. Daarnaast kan men ook de infiltratie van regenwater naar het grondwater verhogen door omvorming van naaldbossen naar meer gemengde bossen en loofbos.

Microreliëf versterken

Bosmicroreliëf is een bepalende variabele van het boslandschap die een rol kan spelen bij het vertragen van de afvoer en het vasthouden van het oppervlaktewater. Een bosbodem wordt namelijk vaak gekenmerkt door 'putten' en 'hopen', gevormd bij de (historische en recente) ontworteling van bomen. In beheerde bossen worden wortelkluiten en dit microreliëf echter traditioneel als ongewenst beschouwd. Het systematische wegwerken van de kluiten kan leiden tot een verlies in microreliëf.

Dit microreliëf, of de afwezigheid ervan, heeft een invloed op de hydrologie van bossen. Herstel van het natuurlijk golvend microreliëf in beheerde bossen kan helpen om het vasthouden van water te versterken en de afvoer te verminderen, terwijl droogtestress wordt verminderd en de productiviteit en veerkracht van bossen wordt versterkt (Tabel 3, Valtera et al. 2017).

*Tabel 3. Overzicht van de hydrologische effecten van het microreliëf ontstaan door ontworteling ('pit-mound' microrelief).
Bron: Valtera et al. 2017*

Overview of the hydrological effects of pit-mound microrelief in forest soils.

Hydrological process	Pit-mound impact/effects	Comments
Infiltration	Increased infiltration potential in mounds due to higher permeabilities, but may be offset by less-developed litter mat or by rocks at the surface; increased but highly focused infiltration in pits	Depends on rate of influx of precipitation vs infiltration capacities of pit and mound soils. Nonetheless, pits focus infiltration, whereas mounds often do the opposite.
Focused flow/percolation, and groundwater recharge	Increased within (older) pits, various within mounds	Depends on soil architecture at the pit and mound bases. Facilitated along eluvial tongues, organic funnels, and root channels
Ponded (depression) storage	Increased in pits where permeability is low, due to concentration of runoff	Depends on the hydraulic conductivity of the soil comprising pit bottom, the precipitation intensity, and the catchment area of each pit
Runoff	Locally, may be accelerated due to steeper slopes of surface microrelief, but over larger scales is retarded due to retention in pits, redirection into deeper soil layers, and changes to overall slope flowlines	Subsurface flow is the most common runoff process on forested slopes. Overland flow occurs rarely or highly localized in most forests; usually only after extreme rainfall events and on less permeable soils
Snow accumulation ^a	Reduced on mounds, increased in pits	Depends on the amount of blowing and drifting, which acts to increase the snowpack variability across pit vs mound microsites
Snowmelt ^a	Increased spatial and temporal variability	Temperatures are more variable on mounds, and more stable in pits, as compared to undisturbed areas, leading to increased spatial variation in snowmelt
Soil freezing and freeze-thaw cyclicity ^a	More intense in mounds, less intense in pits, with impacts on soil structure	Thicker litter and snowpacks in pits lead to more stable temperatures and less freeze-thaw cycles there; the opposite situation is present on mounds
Soil moisture	Higher in pits, lower in mounds	Mounds are often sites of runoff and more intense evaporation, pits have more runoff and are more protected from evaporation by thick litter mat
Watershed discharge	Reduction, mitigation of hydrological extremes, contribute to more balanced seasonal course	May be reduced temporally (direct effect; water retention), or in total (indirect effect; higher utilization by plants)

Aandeel liggend dood hout verhogen

Liggend dood hout kan werken als een echte 'spons' (Błóńska et al. 2018a). Bij de decompositie van het hout, verandert immers de structuur waardoor het water kan geabsorbeerd en vastgehouden worden (Błóńska et al. 2018b). Eén enkele liggende stam kan tot honderden liters water opslaan, terwijl de afstroom van het water in het bestand wordt vertraagd en bijgevolg lokale bodemerosie wordt voorkomen (Keesstra et al. 2018, Bayat et al. 2019).

In het kader van brandpreventie is het wel belangrijk om geen 'opstapeling' van dood hout te creëren en moet vooral voorkomen worden dat dood hout een brug kan slaan naar de boomkronen (Zie verder Handvat strategieën t.a.v. brand).

4.2.4. Handvat aanpassing van waterhuishouding

Een aanpassing van de waterhuishouding is cruciaal om de effecten van klimaatverandering op te vangen. In Vlaanderen stromen momenteel onnatuurlijk grote hoeveelheden water snel weg richting zee. Een aanpassing van de waterhuishouding, waarbij sterk wordt ingezet op het vasthouden en traag afvloeien van het water kan een groot deel van de effecten van klimaatwijziging opvangen. De maatregelen verlagen het risico op zowel zware overstromingen, extreme droogte en indirect ook op extreme temperaturen.

De handvaten die we hier voorleggen liggen in lijn met de drietrapsstrategie dat al sinds 2000 gehanteerd wordt in het integraal waterbeleid. Inzetten op het vasthouden van water is en blijft primordiaal. Pas als tweede stap wordt ingezet op het bufferen van water, waarbij overstromingen vermeden worden door het opslaan van water in bufferbekkens bij hevige neerslag. Als laatste actie komt het (versneld) afvoeren aan bod wanneer ongewenste overstromingen een reële bedreiging vormen. Naar aanleiding van de aanhoudende droogteperiodes en het trage herstel van de grondwaterstanden na droogte wordt gepleit om het drietrapsprincipe uit te breiden naar een vijftrapsprincipe, waarin ook aandacht is voor waterbesparing en aanpassingen aan een veranderd waterhuishouding (Helder-Feijen & van der Toorn 2020). In dit handvat volgen we dit vijftrapsprincipe en bespreken de maatregelen in die volgorde.

De impact van ingrepen aan de waterhuishouding heeft typisch gevolgen tot buiten een beheerblok of reservaat. Ook omgekeerd geldt dat ingrepen elders in het stroomgebied gevolgen kunnen hebben op het beheerperceel. De natuurbeheerder heeft zeker niet alles in eigen handen om de waterhuishouding aan te passen – in tegendeel zelfs. De belangrijkste handvaten liggen buiten de bevoegdheid van de beheerder. Inzetten op waterbesparing en het ophouden van water wordt best voor het hele Vlaamse grondgebied aangepakt. Iedereen kan en zou hier moeten aan bijdragen, met als leuze ‘vele kleintjes maken een groot’. De natuurbeheerder van natte gebieden kan zelf heel sterk inzetten op het vasthouden van water in natte gebieden. Dit vormt dan ook de hoofdmoot van dit handvatenstuk. Ook kan de beheerder inzetten op lokaal bergen van water, maar het grootschalig bergen in overstromingsgebieden en het versneld afvoeren bij overstromingen vallen vaak buiten de bevoegdheid van de beheerder.

Naast de maatregelen die de natuurbeheerder op eigen terrein kan nemen, is het voor het aanpassen van de waterhuishouding bijzonder relevant om andere actoren te wijzen op de nood van een duurzame waterhuishouding voor een natuurgebied. Als beheerder heb je vaak kennis over de ecohydrologie van het landschap. Deze kennis is niet steeds aanwezig bij de vergunningverlener. We kunnen niet genoeg benadrukken dat ingrepen buiten het natuurgebied een grote impact kunnen hebben op de waterhuishouding van een natuurgebied en dat het bijzonder belangrijk is als beheerder ook op voor die ingrepen een visie of advies te ontwikkelen. Voor ingrepen op een hoger schaalniveau zoals de inrichting van een groot overstromingsgebied zijn vaak overlegmomenten nodig met meerdere actoren. Als natuurbeheerder kan je via participatie in inspraakmomenten actuele en potentiële knelpunten

signaleren. De bekkensecretariaten organiseren gebiedsgerichte thematische overlegmomenten (GTO) die hiervoor geschikt zijn. Hoewel die inspraak cruciaal is en hoewel je als beheerder soms meer kunt bereiken via inspraak dan door maatregelen op eigen terrein, beschouwen we dit aspect niet als onderdeel van klimaatadaptief natuurbeheer sensu strictu en gaan hier niet dieper op in.

Heel veel maatregelen worden uitvoerig beschreven in studies door de Nederlandse Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) (o.a. Delsman et al. 2018, Runhaar et al. 2000, Runhaar et al. 2004, Stowa 1998, Wösten & Groenendijk 2021) en de maatregelencatalogus “Natural Water Retention Measures” (<http://nwrn.eu>).

Water besparen

Door de steeds grotere druk op zoet water is het belangrijk om zuinig gebruik van water te stimuleren.

Water besparen heeft vooral betrekking op het beperken van het gebruik van zuiver water. Dit gaat o.a. over het gebruik van grijs afvalwater in plaats van grond of leidingwater, aangepaste, waterzuinige irrigatiesystemen, circulair watergebruik...

In natuurbeheer is waterbesparing minder evident omdat het waterverbruik door planten een fysiologisch proces is dat sterk gestuurd wordt door omgevingsfactoren. Maar water besparen is niet onmogelijk bij natuurbeheer. Ook het vermijden van ‘waterlekken’ uit een gebied kan beschouwd worden als waterbesparende maatregel.

Optimalisatie van peilen in de omgeving

Wanneer het grondwater in de omgeving van kwetsbare natuur wordt opgestuwd, zal minder oppervlakkige waterafvoer op gang komen. De oppervlakkige afvoer is kleiner naarmate het peilverschil geringer is tussen de zone met kwetsbare natuur en de omgeving. Daarom is peilverhoging in de (landbouw)omgeving alleen aantrekkelijk als de perifere weerstand laag is (STOWA 1998). Dit kan worden gerealiseerd door:

- **een half-natuurlijke bufferzone:** Een bufferzone bestaat uit een strook grond om een natuurterrein waarin de grondwaterstand geleidelijk verloopt van het hogere peil in het terrein naar het lagere in de omgeving (Bot 1996).
- **een optimalisatie van peilbeheer:** Door het beperken van beregening uit grondwater in het groeiseizoen. Eventueel kunnen er afspraken gemaakt worden met landbouwers in de omgeving. Beperken van de beregening uit grondwater heeft een uitwerking op de grondwaterstand in het groeiseizoen en nauwelijks op die in het vroege voorjaar (STOWA 1998).

Pas vegetaties aan

Sommige vegetaties verbruiken meer water dan andere, waardoor elders minder water beschikbaar is. Nu al worden ter hoogte van infiltratiegebieden naaldbossen soms vervangen door heide of graslandvegetaties, onder andere omwille van een verhoogde waterinfiltratie onder deze lage vegetaties. Houtige kleine landschapselementen verbruiken relatief veel water.

Sommige knotwilgenrijen werden in het verleden specifiek aangeplant om natte gronden in het voorjaar sneller droog te trekken. Deze bomen kappen zou kunnen leiden tot (iets) langere hogere waterstanden.

In regel verbruiken hoog opgaande vegetaties met hoge leaf-area index meer water dan lage vegetaties. Doe dit op plaatsen waar je verwacht dat dit een verschil kan maken (plaatsen met beperkte of ondiepe kwelaanvoer), vooral in functie van de meest kwetsbare vegetatie.

Let wel op. Waterbesparing toepassen op vegetaties kan mogelijk de klimaatwijziging versterken op regionale en globale schaal. Ellison et al. (2017) beschrijft het belang van evapotranspiratie van de vegetatie in de watercyclus, weliswaar met de focus op bossen. Verhoogde evapotranspiratie stimuleert wolkenvorming en brengt neerslag tot dieper in de continenten. Dit heeft wellicht minder rechtstreekse impact voor het klimaat in Vlaanderen, maar speelt wel een rol in de regionale en globale klimaatregulatie. Wolken werken sterk reflecterend en zijn op grotere schaal sterk gelinkt aan het klimaat (zie bv. Hofer et al. 2017).

Ontwikkel afkoppelplan bij droogte

Als je slechts een beperkte hoeveelheid water ter beschikking krijgt, kan je best beredeneerd kiezen waar je wel en geen water bespaart. Gebruik je het water om een plek met een zeer bijzonder vegetatie te behouden, met het risico dat de vegetatie elders extra zwaar getroffen wordt? Of spreid je dit net wel, waardoor de meest kwetsbare of meest waardevolle vegetatie mogelijk zwaar getroffen wordt. Dit wordt best vastgelegd in een soort van afkoppelplan. We kunnen hiervoor geen standaard recept voorleggen; deze afweging berust op keuzes en prioriteiten van de beheerder.

Water vasthouden

Met 'water vasthouden' bedoelen we het verhinderen dat de neerslag rechtstreeks in beken en rivieren stroomt en direct afgevoerd wordt. Dit is mogelijk door het water op te slaan in de bodem, bekkens of in sloten of kleine beken zelf. Water vasthouden resulteert in een toename van de watervoorraad in de bodem en de fijnste vertakkingen van de waterlopen, waardoor de impact van droogte wordt uitgesteld. Het kan ook een bufferende werking hebben tegen overstromingen.

Volgende maatregelen kunnen worden ingezet:

Bevorderen van infiltratie

Om water vast te houden moet in de eerste plaats ingezet worden op het bevorderen van infiltratie in het hele stroomgebied. Dit is een gezamenlijke taak van overheden, eigenaars en gebruikers. De grootste verantwoordelijkheid ligt bij de landbouwsector als grootste grondgebruiker en de industrie, infrastructuur en brede bevolking als grootste verharders. Als natuurbeheerder kan je hier niet steeds zelf ingrijpen, maar je kunt dit wel via participatie in inspraakmomenten, door knelpunten proactief te signaleren aan beleidsmakers of via opvolging van vergunningen. Je kunt uiteraard ook zelf aan de slag om de infiltratiecapaciteit op de eigen terreinen te bevorderen en zo je steentje bij te dragen aan een aangepaste waterhuishouding.

Wanneer je als beheerder zowel de infiltratiegebieden als de kwelzones beheert, heb je een directe impact op watertoevoer in die kwelgebieden. We geven hieronder enkele generieke maatregelen om infiltratie te bevorderen. Deze zijn vooral buiten de natuurgebieden toepasbaar, maar ze zijn dermate belangrijk voor klimaatadaptatie dat deze zeker een vermelding verdienen.

- **Verhogen van organisch materiaal** in bodem van infiltratiegebieden. Bodems met hoge gehalten aan organisch materiaal zullen in regel meer water vasthouden en – zeker in het geval van zware bodemtypes - ook doorlaten. Vermijd verdroging, vermijd ploegen, behoud permanent grasland, bemest met compost, behoud oogstresten...
- **Stimuleer het bodemleven** (regenwormen, mollen, mieren...) in infiltratiegebieden. Biologische activiteit in de bodem zorgt door de aanwezigheid van gangen voor een grotere waterdoorlaatbaarheid. Verhoog organisch materiaal, vermijd ploegen; vermijd gebruik van pesticiden, vermijd gebruik van ammoniakrijke kunstmest.
- **Leg houtkanten of grasstroken aan** en onderhoud de bestaande elementen in infiltratiegebieden. Deze kleine landschapselementen kunnen de oppervlakkige afstroom van water deels tegenhouden en de infiltratie bevorderen.
- **Leg greppels of dijkes aan dwars op de helling.** Deze structuren kunnen oppervlakkig afstromend water op kunstmatige manier opvangen, waardoor dit water later nog de kans krijgt te infiltreren. Vooral op hellingen in leem en kleibodems is dit nodig. Daar gaat infiltratie relatief traag, waardoor het water de nodige tijd nodig heeft om te kunnen infiltreren.
- **Vermijd drainage of geul- of beekvorming**, zeker ook in hoger gelegen natte gebieden. Hoger gelegen natte gebieden hebben de potentie om diepe kwelwaterstromen te voeden.
- **Verhoog het waterpeil** in waterlopen. Water dat langer in grachten wordt vastgehouden krijgt meer kans om te infiltreren. Maar wanneer water lang wordt vastgehouden, vermindert wel het bergend vermogen bij een hevige bui (zie verder). Een knijpstuw kan oplossingen bieden.
- Pas **erosiebestrijdingsmaatregelen** toe bij landbewerking (bewerking volgens hoogtelijn, niet-kerende bodembewerking, strip-till (teelt met zeer kleinschalige grondbewerking afgewisseld met onbewerkte stroken), aanleg van drempels bij ruggenteelt...). Erosiebestrijdingsmaatregelen gaan gepaard met een verminderde oppervlakkige afstroom, waardoor een groter deel van het water beschikbaar blijft voor infiltratie.
- **Vermijd bodemverdichting** van infiltratiegebieden, waardoor water vlotter kan infiltreren.
- **Vermijd ondoorlatende verharding**, voorzie infiltratie-infrastructuur bij verharding conform hemelwaterverordening.

Let wel op. Naast de kwantiteit van de waterinfiltratie is ook de samenstelling erg belangrijk. We verwijzen naar de paragraaf over randvoorwaarden achteraan dit handvat met bespreking van wat te doen bij waterverontreiniging, verzuring edm.

Hou water stroomopwaarts op

De beheerder kan water proberen vasthouden in vijvers en natuurlijke of artificiële bufferbekkens. Wanneer deze in bovenlopen van valleisystemen worden aangelegd, zet de beheerder zowel in op water vasthouden (om latere droogte te vermijden) als op bufferen (om overstromingen bij hevige regenval te vermijden). Er kan meer water vastgehouden worden in oppervlaktewater dan in (waterverzadigde) grond. Ook zal de fluctuatie van de aanliggende grondwaterstand worden verminderd. Over het algemeen zal de maatregel samengaan met peilverhoging (STOWA 1998). Indien deze vijvers vooral gevoed worden met voedselarm regenwater, kan dit water zelfs gebruikt worden voor het irrigeren van de meest gevoelige vegetaties.

Heel vaak ontwikkelen dergelijke plekken zelf tot biologisch erg waardevolle vegetaties. In het licht van klimaatverandering moeten dergelijke reservoirs echter best beschouwd worden als noodbuffer om de meest waardevolle vegetaties te behoeden tegen extreme droogte.

Afbouw van drainagesystemen

Hiermee bedoelen we het vermijden van de afstroming van grondwater naar oppervlaktewater. Deze maatregelen hebben uiteraard alleen zin als er nog lokale afstroming aanwezig is en deze niet volledig verdwenen is onder invloed van de verdrogingsoorzaak (STOWA 1998).

Drainage op de natuurpercelen zelf kan steeds worden opgegeven. Het effect van die ingrepen op geïsoleerde natuurgebieden die omringd worden door percelen met structureel verlaagd grondwater is meestal beperkt, zeker voor bodems waar het water vlot kan passeren. Wanneer de natuurbeheerder grotere, aaneengesloten stukken in beheer heeft, kunnen ook de tussenliggende grachten worden aangepakt. In het ideale geval kan het waterpeil van hoofdgrachten en grotere waterlopen gestuurd worden. Hiervoor is overleg met de bevoegde instanties nodig. Waterlopen van categorie 1, 2 en 3 zijn de bevoegdheid van resp. VMM, provincie of gemeente. Categorie 2 en 3 worden soms beheerd door watering en polderbesturen, waar vaak veel landbouwers vertegenwoordigd zijn in het bestuur.

De voet van de hellingen speelt volgens van Winden et al. 2014 een onderkende rol bij het vasthouden van water. Grondwaterstanden zijn hier doorgaans lager, waardoor er meer ruimte is voor extra buffering van het water.

- **Verhoging van het peil in waterlopen:** Het omhoog brengen van het peil van het plaatselijke oppervlaktewater komt neer op het verhogen van de lokale drainagebasis. Peilverhoging wordt ook bereikt door verondiepen van vrij uitstromende sloten. Het grondwaterpeil zal verhogen. Bij een diepe grondwaterstand zal het grondwater vrijwel evenveel verhogen als het slootpeil. Bij een ondiepe grondwaterstand zal deze de peilverhoging minder volgen (STOWA 1998).
- **Compartimenter grachten** in heuvelachtige gebieden. Dit compartimenteren kan met behulp van een volledige dam, maar kan ook met zogenaamde knijpstuwen die water vertraagd laten afvloeien. Let wel op. Waterlopen compartimenteren werkt fragmenterend voor waterorganismen. Wanneer grachten blijven droogvallen, ontstaat door het compartimenteren letterlijk een ecologische val waaruit waterorganismen

amper kunnen ontsnappen. Bij de aanwezigheid van bijzondere soorten moet je steeds nagaan of de voordelen van de compartimentatie op de waterhuishouding wel opwegen tegen de nadelen voor doelsoorten. Een knijpstuw kan dit gedeeltelijk oplossen. Voorzie ook een actieplan om deze waterorganismen te redden.

- **Dichten van waterlopen:** Door het dichten van waterlopen wordt de drainageweerstand sterk verhoogd. Dit is alleen zinvol als er nog een redelijke lokale afvoer over is. Ook hier kan een lage perifere weerstand de maatregel tegenwerken (het grondwater komt nauwelijks omhoog) en kan vernatting van de omgeving optreden. Wanneer kwel in de wortelzone moet komen zal ook hier begreppeld moeten worden, ten behoeve van afvoer van het neerslagoverschot. Een lage perifere weerstand kan ook hier de maatregel volledig tegenwerken (STOWA 1998).
- Het **verwijderen van drainage-infrastructuur** (drainagebuizen, drainagepompen) werken heel gelijkaardig aan het dichten van waterlopen.
- **Stel beekvorming uit.** Behoud ter hoogte van brongebieden zo lang mogelijk een doorstroomvegetatie waar het water diffuus doorvloeit. De weerstand in dergelijke vegetaties is hoger, waardoor het water trager afstroomt. Bovendien heeft het oppervlakkig afstromend water minder kracht in vergelijking met een afstroom via geulen, waardoor dit water minder erosie (en geulverdieping) veroorzaakt.
- **Verhogen van de stromingsweerstand in waterlopen:** Door vernauwing van het profiel, verondiepen, behoud van watervegetatie, door het achterwege laten van onderhoud of het opnieuw toelaten van meandering (STOWA 1998).

Verhogen van de perifere weerstand

Pogingen tot peilverhoging in het natuurgebied kunnen tegengewerkt worden als het water over de bodem wegstroomt naar lager gelegen delen in de omgeving. Het water dringt dan niet in de bodem waardoor het grondwaterpeil in het natuurgebied nauwelijks kan stijgen. Op terreinen die gevoelig zijn aan oppervlakkige afstroming, bijvoorbeeld een hellende zandvlakte, kan je een lage perifere weerstand eventueel kunstmatig verhogen via:

- **de aanleg van een bufferzone:** zie hoger.
- **het plaatsen van schermen:** Een scherm zal waarschijnlijk alleen haalbaar (vanwege de kosten) zijn in een ondiep freatische watervoerend pakket. De perifere weerstand kan ingeschat worden (STOWA 1998)

Water bergen

De term “bergen” wordt vaak gebruikt om in twee betekenissen. Water kan geborgen worden in regenwaterbuffers en rioleringen alvorens een overstort in werking treedt. We gaan niet dieper op in op deze betekenis van bergen. Water kan ook geborgen worden in waterlopen en overstromingsvlaktes om overstromingen stroomafwaarts te vermijden. Bergen in de waterlopen zelf leunt erg dicht aan bij vasthouden en werd hierboven al gedeeltelijk besproken. Het aanleggen en inrichten van grote overstromingsgebieden ligt meestal buiten de bevoegdheid van de natuurbeheerder. Op kleinere schaal heeft de beheerder soms wel mogelijkheden om de impact van overstromingen te milderen door het water tijdelijk te bergen.

De gevolgen van overstromingen kunnen opgedeeld worden in twee componenten: enerzijds de overstroming zelf, waarbij water zorgt voor tijdelijk overstroomde en vaak zuurstofarme omstandigheden in het moeras. Anderzijds is er de aanvoer van allerlei stoffen: bodemdeeltjes, nutriënten, chemicaliën... Dit laatste heeft vaak veel groter gevolgen voor het systeem dan de tijdelijke overstroming. Door de aanleg van slibvangen op kleinere beken kan de natuurbeheerder zelf de impact van overstromingen in het eigen gebied te milderen.

Aanpassen

Kunstmatige aanvoer van water

Vasthouden van gebiedseigen water ligt het meest voor de hand ter bestrijding van verdroging. Wanneer dat niet kan of in onvoldoende mate, kan kunstmatige aanvoer overwogen worden. Daarbij moet rekening gehouden worden met de samenstelling van het aangevoerde water. Het heeft vaak andere eigenschappen dan het van oorsprong aanwezige water, en kan aanleiding geven tot eutrofiëring (Van der Linden et al., 1996).

Mogelijke methoden voor het aanvoeren van water in het natuurgebied waar zich het effect voordoet zijn:

- **Terugpompen van perifere afvoer:** Wateraanvoer moet bij voorkeur "gebiedseigen" zijn. Het opvangen van de perifere afvoer in een kwelsloot rond het natuurgebied zou daarin kunnen voorzien. Water uit de kwelsloot wordt teruggepompt naar het gebied, onder voorwaarde dat het peil in de kwelsloot niet onder dat van de omgeving zakt. De winterafvoer uit het natuurgebied zou eventueel in geïsoleerde bassins kunnen worden bewaard voor het voorjaar en de zomer (STOWA 1998).
- **Aanvoer uit lokaal grondwater:** Aanvoer uit lokaal grondwater zou wellicht zelfs voor kwelwater in de wortelzone kunnen zorgen als af en toe wordt geïnundeerd. Met een handige plaatsing van de lokale onttrekking is misschien vernatting van de omgeving tegen te gaan. Het opgepompte water mag niet verontreinigd zijn door landbouw-uitspoeling (STOWA 1998).
- **Aanvoer van elders:** De kwaliteit van aanvoer van elders kan vaak verbeterd worden door schoon water geïsoleerd te houden van watergangen van ongewenste kwaliteit (STOWA 1998).
- **Kunstmatige infiltratie:** Kunstmatige oppervlakkige infiltratie wordt al langer toegepast in de duinen. In de Doornpanne te Koksijde wordt het rioolwatereffluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) van Wulpen als bron gebruikt voor de productie van infiltratiewater (Bot 1996; Decoussemaeker 2017).

Voor meer informatie met betrekking tot het inlaten van water verwijzen we naar Delsman et al. 2018.

Let wel op met kunstmatige aanvoer van water. Door water aan te voeren naar natuurgebieden in periodes van (extreme) droogte, verbruik je water op een moment dat er weinig water is. Dit moet erg goed afgewogen worden. Als de natuur in droogteperiodes zelf een belangrijke gebruiker van water gaat worden, treedt die in competitie met andere waterverbruikers. Mogelijk daalt hierdoor het draagvlak voor behoud van een waterbehoevende natte natuur. Bij gebruik van grondwater draag je bij aan het verder verlagen van grondwaterstanden, waardoor andere – mogelijk meer essentiële sectoren – getroffen worden. Het reactief afwegingskader

voor prioritair waterverbruik (VMM 2021) vermeldt een innameverbod ter bevoeiing van natuurgebieden in bepaalde gebieden op de shortlist van mogelijke maatregelen.

Aanpassen van het terrein

Een aantal maatregelen om de relatieve grondwaterstand te verhogen of het grondwater beter vast te houden:

- **Verlagen van het maaiveld:** Met als doel de grondwatertafel dichterbij het maaiveld te brengen is alleen het overwegen waard als voor het herstel van een vegetatie al voorzien was om een met nutriënten verrijkte bovenlaag te verwijderen of als het gaat om opgehoogde gronden een kunstmatige ophoging ongedaan te maken (STOWA 1998).
- **Organische-stofaanvoer:** Organische stof speelt vooral op droge zandgronden een belangrijke rol bij het vochthoudend vermogen van de bodem. Daarom is het handhaven en zo mogelijk verhogen van het organische-stofgehalte daar een goede manier om te werken aan het op peil houden of verbeteren van de capaciteit van de bodem om water vast te houden. Dit kan worden gerealiseerd door een voldoende aanvoer van organische stof (Wösten & Groenendijk 2021).
- **Tegengaan en opheffen ondergrondverdichting:** De bewortelingsdiepte heeft een invloed op de gevoeligheid van planten voor droogte. Het bepaalt immers tot op welke diepte in de bodem planten vocht kunnen onttrekken. Een grote bewortelingsdiepte maakt planten minder kwetsbaar voor droogte. Een mogelijke herstelmaatregel is het stimuleren van het bodemleven.

Let wel op. Het verlagen van het maaiveld is vaak geen ‘no-regret’ maatregel. Bij afgraven verdwijnt een potentieel waardevol cultuur- en natuurhistorisch bodemarchief. Het afgraven van individuele percelen hypothekeert in sommige gevallen een structurele grondwaterverhoging in een volledige vallei, omdat op waardevolle vegetaties op de afgegraven systemen onder water dreigen te komen.

Pas natuurdoelen aan

Wanneer effecten van klimaatverandering dermate groot worden, zullen aanpassingen aan de waterhuishouding niet meer volstaan om bepaalde waterafhankelijke natuurtypes in stand te houden. Nu al worden beheerdoelen - al dan niet expliciet - aangepast aan gewijzigde omstandigheden. Bij het vernatten van een vallei zullen de initiële beheerdoelen (vaak graslanddoelen) zonder veel probleem worden aangepast naar natuurdoelen voor een nattere omgeving. Wanneer erg bijzondere doelen moeten worden opgegeven of aangepast ligt dit voor veel beheerders echter moeilijker. Als sprekend voorbeeld vermelden we hier ‘actief hoogveen’. Dit bijzonder en erg zeldzame ecosysteem gaat in Vlaanderen een weinig rooskeurige toekomst tegemoet, tenzij door inzet van artificiële irrigatiesystemen.

Let wel op. Aanpassen van natuurdoelen mag niet te snel gebeuren. De veerkracht van vele vegetaties is groot en met het toedienen van intensieve zorgen kan een vegetatie het soms lang uithouden.

Waterafvoer

Waar overstroming ongewenst is, kunnen waterafvoerende maatregelen worden voorzien. De gevolgen van overstromingen kunnen opgedeeld worden in twee componenten: enerzijds de overstroming zelf, waarbij water zorgt voor tijdelijk overstroomde en vaak zuurstofarme omstandigheden in het moeras. Anderzijds is er de aanvoer van allerlei stoffen: bodemdeeltjes, nutriënten, chemicaliën... Dit laatste heeft vaak veel groter gevolgen voor het systeem dan de overstroming zelf.

- **Voorzie een afvoer van vervuild water.** Overstromingen met vervuild regenwater zijn problematischer dan overstromingen met zuiver water. Waar mogelijk voorzie je best structuren die het vervuilde water rechtstreeks te kunnen afvoeren, waardoor je vervuiling en vermeting vermijdt.
- **Oppervlakkige drainage.** Oppervlakkige greppels kunnen overtollig water efficiënt moeten afvoeren bij storm en hevige neerslag. Oppervlakkige drainage kan het probleem van stagnerend verzurend regenwater gedeeltelijk oplossen.
- **Voorzie ruimte voor de rivier.** Bredere rivierbeddingen kunnen grotere hoeveelheden water afvoeren. Indien een rivier in het gebied aanwezig is kan eventueel een nevengeul gemaakt worden. Dat betekent dat de rivier extra ruimte krijgt om water door af te voeren als er veel water door de rivier stroomt. Door een deel van het water door de nevengeul te laten stromen blijft de waterhoogte in de rivier beperkt. Dit moet afgetoetst worden aan de ruimte-inname en andere doelstellingen in het gebied.
- **Aanleg van slibvang:** Door de aanleg van slibvangen op kleinere beken kan de natuurbeheerder in overleg met de waterbeheerder zelf instaan om de impact van overstromingen in het eigen gebied te milderen. De slibvang kan het verontreinigde materiaal verzamelen, waardoor de impact van de overstroming op de natuur mildert.

Randvoorwaarden bij het toepassen van hydrologische herstelmaatregelen

Als je een vernatting uitvoert, kan dit leiden tot een aantal neveneffecten zoals de vorming van een regenwaterlens (verzuring), een snellere afbraak van het organisch materiaal (mineralisatie) of het vrijkomen van voedingsstoffen die in de bodem waren opgeslagen (interne eutrofiëring). De nadelen kunnen vaak nog ernstiger zijn dan de verdroging zelf. Het is dus belangrijk om de risico's op ongewenste effecten goed in te schatten wanneer je een hydrologische herstelmaatregel wil toepassen.

We gaan dieper in op mogelijke knelpunten en stellen een aantal mogelijke oplossingen voor. We zien dit als belangrijke randvoorwaarden die samen met de implementatie van de maatregel moeten worden bekeken. Als er risico's zijn op effecten die nog erger zijn dan verdroging zelf, kan de maatregel niet worden uitgevoerd.

Tegengaan van verzuring

Vasthouden van water

Het gevolg van het vasthouden van water is dat de invloed van neerslagwater toeneemt. In van oorsprong door neerslag gevoede systemen in infiltratiegebieden, zoals natte heiden, vormt dit geen probleem. Herstel van de waterhuishouding van natte heiden door middel van het vasthouden van water kan dan ook snel tot resultaat leiden, zeker wanneer een afsluitende laag aanwezig is die infiltratie naar de ondergrond tegengaat.

Bij grond- of oppervlaktewater gevoede systemen met een lage zuurbufferende capaciteit kan verzuring optreden als gevolg van de toegenomen invloed van regenwater. Als in deze gebieden nog kwel aanwezig was, kan verhoging van de oppervlaktewaterstand leiden tot een vermindering van de hoeveelheid kwel en de vorming van regenwaterlenzen. In gevallen met een sterk verzurende werking is het vasthouden van water ongewenst (Runhaar et al., 2000).

Buffering zuurgraad van de bodem

Wanneer het niet lukt om de aanvoer van mineraalrijk grondwater te herstellen, kan de verzuring als gevolg van de toegenomen invloed van regenwater tegengegaan worden door de aanvoer van kalkrijk water. De bufferende werking van de inlaat via oppervlaktewater beperkt zich tot die delen van het terrein die in contact staan met het oppervlaktewater, zoals plassen, sloten en slootkanten. Een periodieke inundatie met kalkrijk water is wellicht effectiever, maar ook hier moet de waterkwaliteit goed genoeg zijn om aanrijking van het terrein met nutriënten te voorkomen (Van der Linden et al., 1996).

- **Begreppeling:** Tegengaan van vorming regenwaterlenzen (Runhaar et al. 2000).
- **Inlaten kwel via grondwater:** Bevorderen kwel door opzetten van peilen in de omgeving, het maaiveld te verlagen of lokale kwelsystemen te creëren (Runhaar et al. 2000).
- **Inlaten kwel via oppervlaktewater** (Runhaar et al. 2000)
- **Periodieke inundatie met kalkrijk water**
- **Bekalking** (Runhaar et al. 2000)

Aanvullen mineraalbuffer in bodem

Via bemesting in infiltratiebieden dringt zuur water in de bodem. In veel gebieden is 'nitraatfront' nog op weg naar de kwelzones. Voor dit front zitten vaak hoge concentraties mineralen in het grondwater; achter dit front is de mineralenbuffer al opgebruikt en is het grondwater zuurder en armer aan mineralen. Verhoogd inzetten op infiltratie zorgt wellicht voor een versnelling van dit nitraatfront. Bekalking op de infiltratiegebieden kan hier soelaas bieden.

Tegengaan van eutrofiëring

Herstel van veengronden

Verdroging van veengronden leidt vaak tot een irreversibele verandering van de bodemstructuur. Grondwaterstandsstijging leidt dan niet tot herstel van de vroegere standplaatscondities. Bovendien kan grondwaterstandsstijging leiden tot mineralisatie: een versnelde afbraak van een in de verdroogde periode gevormde toplaag met ruwe humus. Zo krijgen we bij vernatting net een (bij natuurherstel veelal ongewenste) toename van de voedselrijkdom van het systeem (Van der Linden et al., 1996).

Herstel van de kweldruk

In het geval van verminderde invloed van kwelwater, is de beste manier om de situatie te herstellen het wegnemen van de externe oorzaken ervan. Als dat niet lukt en het grondwater is te diep weggezakt, kunnen waterpeilen in de directe omgeving worden opgestuwd. Wordt kwel/grondwater bijvoorbeeld afgevangen door een diepe sloot, dan kan die verbreed en

ondieper gemaakt worden. Zo vermindert de drainerende werking ervan. Als het lukt om kwel te herstellen, is het nodig om het risico voor mineralisatie te bekijken en oppervlakkige afvoer van regenwater te verzekeren (Van der Linden et al., 1996).

Inlaat van gebiedsvreemd water

Door toevoer van gebiedsvreemd oppervlaktewater kan eutrofiëring optreden door een directe toevoer van voedingsstoffen (externe eutrofiëring). Door deze eutrofiëring worden laag-productieve vegetaties vervangen door hoogproductieve. Externe eutrofiëring kan bestreden worden met behulp van:

- **Verlengde aanvoerroutes.** Doel van verlengde aanvoerroutes is de verwijdering van voedingsstoffen door een combinatie van biologische en fysisch-chemische processen. Door een verlengde aanvoerroute neemt de verblijf tijd van het water toe, waardoor zuiveringsprocessen langer kunnen plaatsvinden (Runhaar et al. 2000).
- **Zuiveringsmoerassen.** Zuiveringsmoerassen zijn natuurlijke en kunstmatig aangelegde moerassen die tot doel hebben een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. Verwijdering van stoffen vindt plaats via een combinatie van biologische en fysisch-chemische processen. Zuiveringsmoerassen zijn niet in staat om alle stoffen uit het water te verwijderen (Runhaar et al. 2000).
- **Chemische defosfatering.** Doel van chemische defosfatering is het verlagen van de fosfaatconcentraties in aangevoerd water, om eutrofiëring en grootschalige algenbloei te voorkomen. Door toevoeging van ijzerzouten (vooral ijzerchloride) wordt de adsorptie van fosfaat gestimuleerd (Runhaar et al. 2000)

Afgraven

Wanneer de bodem wordt afgegraven om het grondwaterpeil dichterbij het maaiveld te brengen, raden we aan om vooraf de fosforstock te meten van de toekomstige toplaag van de bodem. Wanneer de bodems vernat worden, bestaat de kans dat fosfaten die gebonden zijn aan ijzer worden vrijgesteld (interne eutrofiëring) (Smolders et al., 2006a).

- **Vermijden van interne eutrofiëring** door vooraf de bodemkwaliteit van de toekomstige toplaag te bekijken

Studie van je gebied

In het ideale scenario beschikt de beheerder over een uitgebreide landschapsecologische studie met grondwatermodel waarin geprojecteerde klimaatwijzigingen samen met maatregelen kunnen worden doorgerekend. De Becker (2020) beschrijft het ecohydrologisch systeem van verschillende Vlaamse natuurgebieden. Vaak is dit niet beschikbaar en moet de beheerder zelf een inschatting maken. Volgende checklist kan hierbij helpen:

1. Check bodem en bodemprofiel

Water stroomt veel sneller door zand (0.1 – 1000m/dag) dan door leem (0.001 – 10 m/dag) of door klei (< 0.001 m/dag) (De Becker 2020). Bij gemakkelijk infiltreerbare bodem (zand, lemig zand) kan veel water infiltreren. Maatregelen zijn er vaak niet essentieel, maar kleine ingrepen kunnen hier voor een relatief grote toename in infiltratie zorgen. Bij leem- en kleibodems is de

nood aan maatregelen groter door het risico op oppervlakkige afstroming. Het zal we een grotere inspanning vergen om infiltratie te bevorderen.

De dikte van de waterdoorlatende laag bepaalt grotendeels de buffercapaciteit in bodem. Een virtuele boring op het beheerperceel en de ruime omgeving geeft inzicht in de diepere bodemopbouw. Dit kan via de DOV Verkenner (www.dov.vlaanderen.be).

2. Check positie in het landschap

Overal in een landschap wordt best zo vroeg mogelijk ingezet op het vasthouden van water, maar de effecten variëren sterk met de positie in het landschap.

- Hoe hoger in het landschap water wordt vastgehouden, hoe langer dit kan worden vastgehouden. Veel kleinschalige inrichtingen verspreid over het landschap genieten de voorkeur op enkele grootschalige inrichtingen in benedenstroomse gebieden.
- Oppervlakkige afvloeï gebeurt sneller op hellingen.
- Depressies in het landschap zijn plaatsen waar water langer kan blijven staan en de kans krijgt om te infiltreren. Hier zijn opportuniteiten om water vast te houden.
- Valleien vormen het laagste punt in het landschap. De infiltratiecapaciteit is hier vaak beperkt, maar ze zijn wel erg belangrijk voor het vasthouden van grote watervoorraden. Grijp bij voorkeur in op de hoofdwaterloop van de vallei: verhoog waterpeil met stuwen of natuurlijke elementen (beverdammen,); verhoog weerstand van de beek (meandering, boomstammen, oevervegetatie), ruim de beek minder diep, vermijd piekdebieten met verhoogde erosie in de beek.
- De voet van de hellingen speelt volgens van Winden et al. 2014 een onderkende rol bij het vasthouden van water. Grondwaterstanden zijn hier doorgaans lager, waardoor er meer ruimte is voor extra buffering van het water.
- Drainage op de percelen zelf kan steeds worden opgegeven, maar het effect op geïsoleerde natuurgebieden is meestal beperkt. Wanneer de natuurbeheerder grotere, aaneengesloten stukken in beheer heeft, kunnen ook de tussenliggende grachten worden aangepakt.

3. Onderzoek de hogerop vermelde randvoorwaarden. Is er kans of verzuring of eutrofiëring?

Naast de kwantiteit van de waterinfiltratie is ook de kwaliteit erg belangrijk. Water dat aangerijkt is met nutriënten of vervuilende stoffen wordt best eerst gezuiverd alvorens te laten infiltreren.

4.2.5. Handvat kandidaat boomsoorten

Gezien de lange levensduur van bomen en hun positie als hoekstenen van het boslandschap (zie Stap 1), heeft de boomsoortenkeuze belangrijke economische en ecologische gevolgen die zich over vele decennia uitstrekken. Een boomsoortenkeuze anticiperend op de verwachte klimaatverandering wordt dan ook erkend als één van de meest effectieve adaptatiestrategieën om de veerkracht van bosesystemen en de economische waarden te behouden (MacKenzie en Mahony 2021, Williams en Dumroese 2013).

Kennis en inzicht in de gevolgen van klimaatverandering voor onze boomsoorten is erg belangrijk om goede keuzes te kunnen maken op welke bomen we vandaag en in de toekomst het beste inzetten. Echter, de impact van klimaatverandering op boomsoorten is gecompliceerd, aangezien verschillende combinaties aan veranderingen in temperatuur en neerslag kunnen resulteren in een variatie aan nieuwe omstandigheden (Parmesan 2006) én verschillende boomsoorten ook verschillend zullen reageren op deze omstandigheden (Hanson et al. 2000).

Wetenschappers wereldwijd zijn volop onderzoek aan het verrichten om een antwoord te kunnen bieden op de vraag welke boomsoorten in een bepaalde regio ‘afgeschreven’ zijn en welke boomsoorten er net beter zullen kunnen gedijen onder een veranderd klimaat. Ze doen dit onder andere aan de hand van *common garden experimenten* enerzijds (zie Zuiderse en Centraal-Europese herkomsten) en modellen anderzijds waarin reeds waargenomen veranderingen in bosesystemen onder invloed van klimaatverandering gecombineerd worden met de verschillende klimaatscenario’s om de toekomstige veranderingen zo goed mogelijk in te kunnen schatten. Momenteel zijn er nog veel onzekerheden en verder onderzoek blijft cruciaal om onze inzichten hierin te versterken. Ook het communiceren van deze inzichten naar beheerders op het terrein is erg belangrijk.

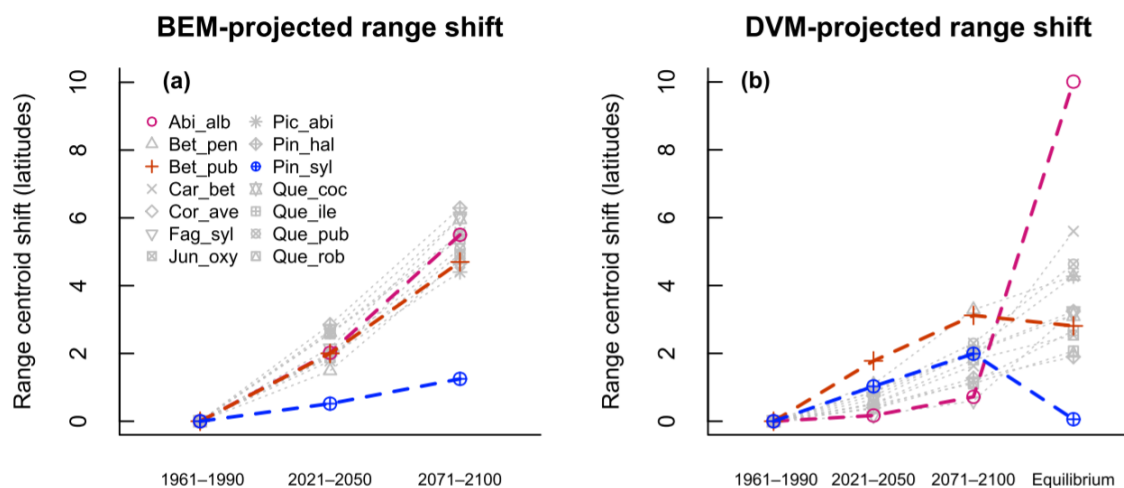
In dit handvat beschrijven we een aantal duidelijke trends voor Europees belangrijke soorten. We schetsen de situatie voor Vlaanderen, waarbij we eerst de merkbare gevolgen van droogte en plaagsoorten beschrijven op onze belangrijkste boomsoorten en we verwijzen naar het huidige beleid vanuit het ANB rond subsidies voor (her)aanplant. We geven vervolgens een aantal belangrijke criteria mee waarmee rekening dient gehouden te worden bij boomsoortenkeuze in Vlaanderen. We geven verder de verschillende opties weer rond boomsoortenkeuze die ter discussie liggen bij zowel wetenschappers, beleidsmakers als beheerders (i.e. inzetten op klimaatrobuuste inheemse soorten en/of overschakelen naar herkomsten en/of uitheemse soorten die nu in een klimaat groeien dat het onze zal zijn binnen 100 jaar) en geven hier een korte stand van zaken rond de inzichten die er vandaag zijn uit de wetenschap. Tot slot schetsen we de nood aan verder onderzoek rond dit thema.

Geobserveerde en voorspelde reacties van boomsoorten op de klimaatverandering

Het migreren van soorten naar nieuwe geschikte klimaatenvoloppes in de postglaciale periode werd al goed gedocumenteerd (Davis 2001, Aitken et al. 2008, Petit et al. 2008, Gonzales et al. 2009). Er wordt verwacht dat soorten hun natuurlijke geografische range zullen wijzigen onder invloed van de veranderingen in temperatuur en neerslag (Kelly et al. 2008, Lenoir et al. 2008,

Ehrlén et al. 2015, Chen et al. 2011). Zo worden migraties richting de polen door het wijzigen van de klimaatenvoloppes al in vele studies waargenomen, maar er zijn ook studies die deze verschuivingen niet vaststellen (Chen et al. 2011, Parmesan et al. 2003, Woodall et al. 2009). De geobserveerde opwaartse migratie van soorten (naar grotere hoogtes) in verschillende studies wordt voornamelijk toegeschreven aan temperatuurveranderingen (Lenoier et al. 2008, Feeley et al. 2011), neerwaartse migratie (naar lagere hoogtes) wordt verklaard door veranderingen in vochtbeschikbaarheid (Crimmins et al. 2011).

Op basis van dergelijke observaties in combinatie met de verschillende klimaatscenario's, kunnen voorspellingen gemaakt worden over hoe de soorten ook in de toekomst zullen migreren en al dan niet bedreigd zullen worden in Europa. Voorspelde verschuivingen kunnen echter verschillen afhankelijk van het gebruikte model (Figuur 29) én de verschillende klimaatscenario's, waardoor het vergelijken van voorspellingen erg belangrijk is om de mate van onzekerheid te verkleinen (Takolander et al. 2019).



Figuur 29 Voorbeeld van verschillen in voorspellingen over de verwachte verschuivingen van boomsoorten onder klimaatverandering. De resultaten van het bioclimatic envelope model (BEM) en dynamic vegetation model (DVM) in het voorspellen van de 'range shifts' van 14 representatieve boomsoorten in continentaal Europa. Bron: Takolander et al. 2019

Om de zaken nog ingewikkelder te maken, kan een wijziging in verspreidingsgebied ook worden beïnvloed door andere (niet-klimatologische) factoren. Successieprocessen, verandering van de temperatuurniche tussen moederboom en verjonging, en verschillende vormen van verstoring (of het gebrek er aan) samen met veranderingen in landgebruik, spelen namelijk ook een belangrijke rol in een wijziging van het natuurlijke verspreidingsgebied van een soort (Hanson et al. 2000, Nowacki et al. 2008).

Dyderski et al. 2017 voorspelden mogelijke veranderingen in verspreidingsgebieden voor 12 Europese bosboomsoorten onder drie klimaatveranderingsscenario's (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) tegen de jaren 2061-2080. Onder het hoge impact scenario (RCP8.5) groeperen zij de naaldboomsoorten (*Larix decidua*, *Picea abies* en *Pinus sylvestris*) en *Betula pendula* samen in de groep van de 'losers', i.e. deze soorten krijgen het moeilijk en zullen noordwaarts moeten migreren. Soorten die minder bedreigd geraken of het zelfs goed doen onder de voorspellingen

(binnen de verschillende scenario's) in deze studie zijn *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, en *Quercus petraea*. Ook de exoten *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, en *Robinia pseudoacacia* doen het goed onder de voorspelde veranderingen in Europa. De auteurs wijten het voorspelde succes aan de eigenschappen van midden en late-successie soorten, die een betere droogtetolerantie hebben dan pioniersoorten (Dyderski et al. 2017).

Thurm et al. (2018) onderzochten de invloed van klimaatverandering (scenario's van 2.9 °C en 4.5 °C opwarming) op 14 soorten in Europa voor de periode van 2060 tot 2080. Hieruit blijkt dat het distributiezwaartepunt van de potentiële 'winnaars' bij de opwarming onder de 48°N ligt. Ze voorspellen dat *Fagus sylvatica* en *Picea abies* grote delen van hun potentiële verspreidingsgebied zullen verliezen (55 en 60%, respectievelijk). Gebaseerd op voorspelde winst in verspreidingsgebied en ook in groei, geven de auteurs aan dat *Ulmus laevis*, *Quercus rubra*, *Quercus cerris* en *Robinia pseudoacacia* interessante alternatieven zijn in beheerde bossen die momenteel gedomineerd worden door *Fagus sylvatica* en *Picea abies*.

Deze studies zijn stuk voor stuk interessant, maar alle onderzoekers raden aan de resultaten van andere modellen en studies te bekijken en deze voorspellingen verder te verfijnen en valideren. Hier concrete adviezen rond soortenkeuze uit filteren is dus niet evident. Het wil bovendien ook niet zeggen dat de soorten die potentieel aan verspreidingsgebied winnen onder de klimaatverandering, ook 'winnaars' zijn in aanwas: de effecten van atmosferische CO₂ op de groei van de soorten dient evenzeer onderzocht en voorspeld te worden (Reyer et al. 2014, Thurm et al. 2018).

Bovendien valt Europa onder te verdelen in verschillende klimatologische regio's, en studies per regio dringen zich op om voor de verschillende soorten per regio uitspraken te kunnen doen (Figuur 30).

Situatieschets Vlaanderen

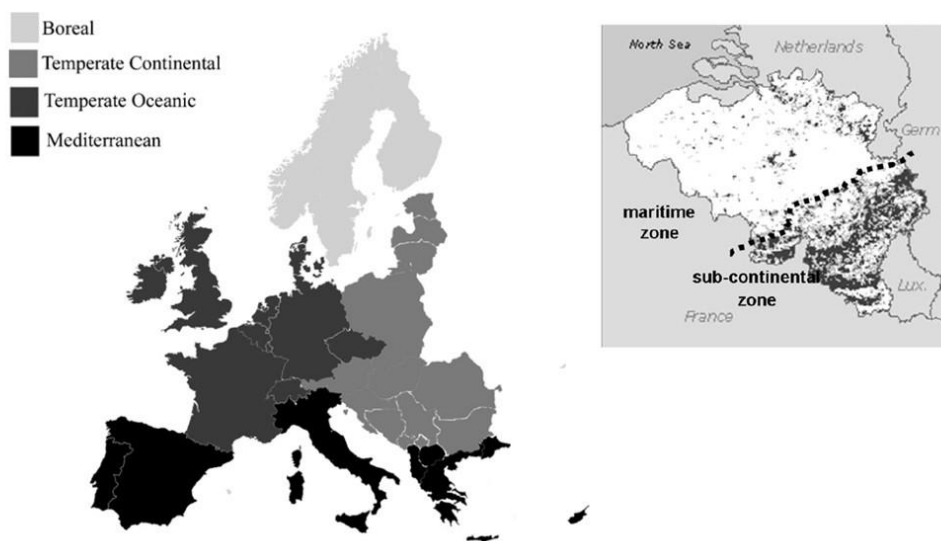
Klimatologische omstandigheden

Het klimaat, de milieucondities en de boscondities in België zijn typisch voor de *temperate oceanic region*, één van de grote bioklimatologische zones in Europa (naast de boreale zone, temperate continentale zone, de Mediterranean zone en de '*mountainous regions*'; Lindner et al. 2010, Figuur 30).

België ligt in het centrum van de *temperate oceanic region* en omvat gebieden met typische maritieme en meer subcontinentale klimaten en een topografie die wordt gekenmerkt door laaglanden, vlaktes en heuvels, maar geen bergen (Campioli et al. 2011).

Ook binnen België zelf bestaan er bescheiden klimatologische verschillen tussen Vlaanderen en Wallonië (Figuur 30). Vlaanderen heeft een maritiem klimaat met gemiddelde dagtemperaturen van ongeveer 3 en 17 °C in respectievelijk januari en juli. In Wallonië vinden we een meer subcontinentaal klimaat met gemiddelde dagtemperaturen van ongeveer 1 en 16 °C in respectievelijk januari en juli (Campioli et al. 2011). De jaarlijkse neerslag is ongeveer 750 mm in het noorden en meer variabel in het zuiden, lokaal variërend van 700 tot 1500 mm. Neerslag komt regelmatig voor het hele jaar door.

Voor een situatieschets over het huidige en te verwachten klimaat onder klimaatverandering in Vlaanderen, verwijzen we naar zie 2.1 Klimaatverandering in Vlaanderen.



Figuur 30. Links: Indeling van Europese landen in bioklimatologische regio's. Veel landen strekken zich uit over verschillende zones en de resultaten van aangrenzende zones moeten ook worden beschouwd. Bron: Linder et al. 2010. Rechts: Verdeling van het bos en klimatologische zones in België (zwart: gesloten bos, grijs: open of gefragmenteerd bos, wit: ander landgebruik). Bron: Campioli et al. 2011

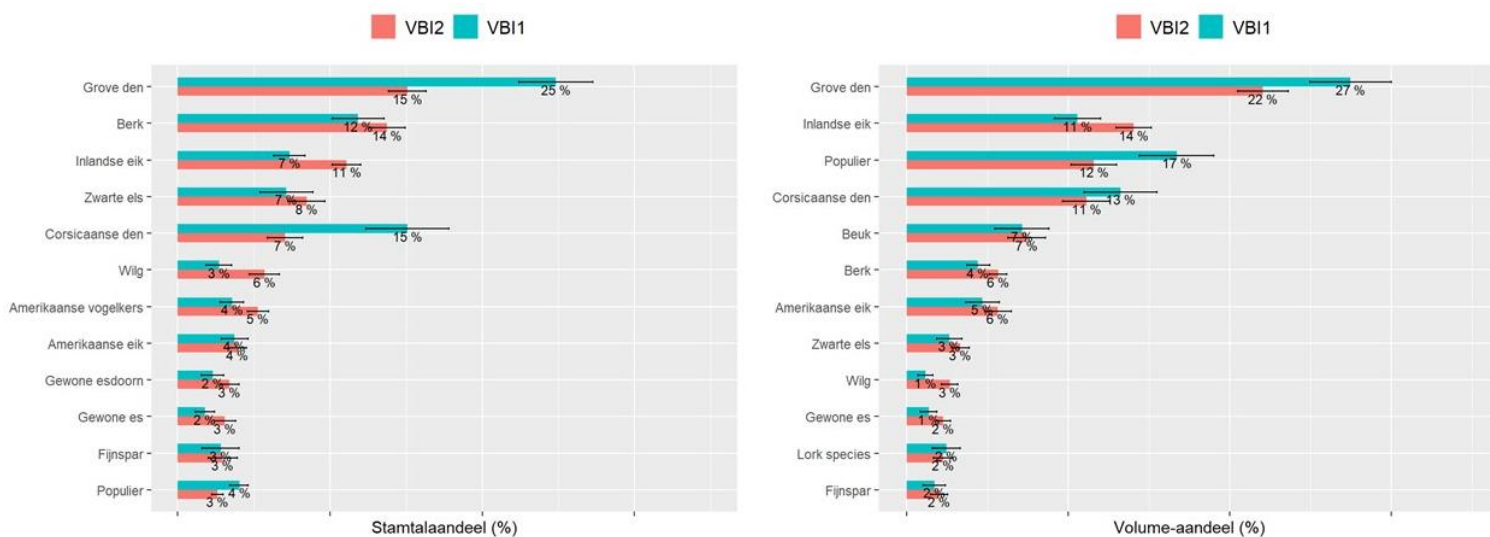
Studies die uitgevoerd worden rond verwachte gevolgen van klimaatverandering voor verschillende boomsoorten in Frankrijk, het Verenigd koninkrijk, Nederland, Duitsland, Zwitserland, Denemarken en Polen, die allen ook toebehoren tot de *temperate oceanic region*, kunnen relevant zijn om uit te leren over de verwachte gevolgen voor boomsoorten onder klimaatverandering in Vlaanderen. Echter, binnen deze landen en regio's bestaan er ook klimatologische en landschappelijke verschillen. Doorvertalen van de resultaten voor Vlaanderen vergt veel werk omdat enkel een aantal subsets overeenkomen met de Vlaamse context.

Belangrijkste boomsoorten (anno 2021)

De belangrijkste boomsoorten in Vlaanderen naar stamtalaandeel en volume-aandeel worden weergegeven in Figuur 31 (tweede Vlaamse bosinventaris 2019).

Grove den is veruit onze best vertegenwoordigde boomsoort in Vlaanderen, zowel naar stamtal als naar volumeaandeel (Figuur 31). Zomereik en wintereik, berk, populier, zwarte els, beuk, gewone es, gewone esdoorn en wilg zijn sterk vertegenwoordigde inheemse soorten.

Ook uitheemse soorten zoals de Corsicaanse den, de Amerikaanse vogelkers, de Amerikaanse eik en de fijnspar zijn goed vertegenwoordigd in de Vlaamse bossen.



Figuur 31 Stamtalaandeel (links) en volumeaandeel (rechts) per boomsoort in Vlaanderen (enkel stammen > 7cm diameter op 1,3m hoogte, beperkt tot de 12 meest voorkomende boomsoorten op basis van volume). VBI1 en VBI2: De eerste en de tweede Vlaamse Bosinventaris, respectievelijk. Bron: Vlaamse bosinventaris 2019

Boomsoorten in de problemen

Een heel aantal van de meest voorkomende boomsoorten in Vlaanderen krijgen het erg moeilijk de laatste jaren (<https://www.vlaanderen.be/inbo/indicatoren/aandeel-beschadigde-bosbomen>).

De bosvitaliteit in België wordt al gemonitord sinds 1987 in Vlaanderen en sinds 1989 in Wallonië binnen het ICP programma (<http://www.icp-forests.org>). Bomen kunnen beschadigd geraken door biotische omstandigheden zoals ziektes en plagen, maar ook de weersomstandigheden spelen een erg belangrijke rol. Vooral droogte, in combinatie met langdurige hittegolven, veroorzaakt droogtesymptomen zoals bladverkleuring en vervroegde bladval (een boomsoort wordt als beschadigd geclassificeerd wanneer meer dan 25% van de bladeren of naalden missen). Bomen die onder droogtestress staan, worden gevoeliger aan stormen (windworp, afbreken zware takken) en aan biotische drukken (zie Stap 1, zie Stap 2, zie Stap 3.1) en lopen dus het risico af te sterven aan de (direct of indirecte) gevolgen van droogte.

Vooral de metingen van het INBO van de laatste jaren zijn verontrustend en tonen aan dat de gezondheid van veel van onze bosbomen er sterk op achteruitgaat. Via vitaliteitsonderzoek In 2019 en 2020 was zeer duidelijk de zware impact van de extreme droogte van 2018 en de daaropvolgende droge zomers te zien: iets meer dan 25% van alle gemonitorde bomen was beschadigd. De boomsoorten met het grootste percentage beschadigde bomen in Vlaanderen anno 2021 zijn ***Fagus sylvatica***, ***Quercus robur*** en ***Pinus nigra***, met respectievelijk 33,7%, 30,1% en 30,3% beschadigde bomen in de steekproef. Ook de groep ‘overige loofboomsoorten’, een verzameling van minder vertegenwoordigde boomsoorten, telt veel beschadigde bomen (32,2%). Ook buiten het meetnet veroorzaakte de droogte de afgelopen jaren ernstige problemen en sterfte bij ***Picea abies***, maar lokaal ook bij ***Pinus sylvestris***, en ***Acer***

pseudoplatanus. Dus zowel inheemse soorten (beuk, zomereik, gewone esdoorn) als uitheemse soorten (fijnspar, gewone den), delen in de klappen.

Sommige plagen hebben ook een heel grote impact gehad, zoals de aantastingen van ***Picea abies*** door letterzetter. Maar ook andere soorten zoals blauwe dennenprachtkever, eikenprocessierups en wintervlinder nemen toe, onder andere door de warme zomers en milde winters van de voorbije tien jaar (Vandekerkhove et al. 2020). Ook nieuwe ziektes zoals roetschorsschimmel bij ***Acer sp.***, rodebandjesziekte bij **dennen** of essentaksterfte bij ***Fraxinus excelsior***, die op het eerste zicht geen verband houden met het klimaat, kunnen beïnvloed worden door de klimaatverandering (Vandekerkhove et al. 2020).

Criteria soortenkeuze

Ondanks de onzekerheden rond de klimaatscenario's en de foutenmarge binnen de vele wetenschappelijke modellen, is het op dit moment wel duidelijk dat een aanpassing in boomsoortenkeuze zich opdringt waarbij we het best inzetten op soorten die opgewassen zijn tegen langere periodes van droogte én waarvoor er (nog) geen aanwijzingen zijn dat er ziektes en plagen gaan opduiken. Enerzijds dienen we dus strengere criteria voor boomsoortenkeuze voorop te stellen, en anderzijds moeten we durven nadenken over het uitbreiden van het inheemse soortenpallet.

Belangrijke **criteria** om mee te nemen bij een gedegen boomsoortenkeuze in een veranderend klimaat zijn de volgende (Laurent et al. 2009):

Primair:

- Droogteresistentie
- Hitteresistentie
- Gevoeligheid plagen & ziektes
- Invasiviteit

Secundair:

- Stormgevoeligheid
- Lage C/N-verhouding van de bladeren of naalden en ideaal ook nog een hoge basenverzadiging
- Bestand tegen vermesting en verzuring

Met de verwachte ontwikkeling naar warmere en drogere zomers wordt vooral de droogtetolerantie van soorten een zeer belangrijk criterium in de boomsoortenkeuze bij aanplant en bevorderen van menging.

We stelden een lijst op van soorten die hieraan (vermoedelijk) grotendeels voldoen (Tabel 4) en soorten die hierdoor minder geschikt zouden kunnen worden om op in te zetten (Tabel 5). We baseerden ons hiervoor op studies die rapporteren over de klimaatveloppes van deze soorten en de verwachte klimaatwijzigingen in verschillende landen in de *temperate oceanic region* (Figuur 30). Voor een aantal van de besproken soorten bestaan er echter tegenstrijdige studies en adviezen (Tabel 4, Tabel 5).

In deze tabellen geven we louter een overzicht van de (soms tegenstrijdige) wetenschappelijke voorspellingen. Deze bevatten zowel inheemse soorten als uitheemse; herkomst werd in dit overzicht niet meegenomen.

Wel maken we een onderscheid tussen Europese soorten die met hun areaal op enkele honderden kilometers van de Vlaamse/Belgische grens komen (i.e. 'neo-inheemse' soorten zoals bv *Acer platanoides*, *Quercus cerris*) en Amerikaanse soorten (*Robinia pseudoacacia*, *Pseudotsuga menziesii*, ...).

Tot op heden is het niet gekend hoe sommige van deze 'neo-inheemse' en uitheemse soorten zouden gedijen in onze bossen (invloed op biodiversiteit, invasief karakter, gerelateerde ziektes en plagen te weinig onderzocht...). Deze lijst mag dan ook niet gebruikt worden als vrijgeleide om deze soorten op grote schaal te beginnen aanplanten. Wel is het nodig testen onder wetenschappelijke begeleiding op te starten in afwachting van verdere aanbevelingen, o.a. door EUFORGEN (zie hoofdstuk Uitheemse soorten).

We zoomen hier even verder in op een aantal resultaten van de studies gepresenteerd in Tabel 4 en Tabel 5.

Uit een studie uit Duitsland (Walentowski et al. 2017) voor de warme en droge regio in het Franconian Plateau (zuid-Duitsland) blijkt dat eiken-beukenbossen die momenteel het dominante bostype zijn, nog niet op hun klimatologische limiet zitten. Vooral de ***Quercus petraea*** blijkt bestand tegen verhoogde temperaturen. Op vochtige klei en leembodems kunnen soorten als ***Quercus robur*** en ***Fraxinus excelsior*** potentieel wel een temperatuurstijging overleven. Ook de ***Acer campestre***, de ***Sorbus torminalis*** en de ***Ulmus minor*** komen uit de modellen als droogtetolerante soorten (Walentowski et al. 2017, Tabel 4).

Voor ***Fagus sylvatica*** dient een stijging in temperatuur gecompenseerd te worden door een stijging in zomerneerslag om vitaal te kunnen blijven (Walentowski et al. 2017, Tabel 4). Deze resultaten zijn conform de resultaten van Mette et al. (2013), die ook aantoonde dat de beuk momenteel niet op de groeilimiet in de regio zit qua droogtetolerantie.

In verschillende andere regio's in Centraal Europa die lager geleden zijn worden wel al sinds de jaren '80 van vorige eeuw langetermijneffecten (afname van de diktegroei) gezien onder invloed van de klimaatverandering (Scharnweber et al. 2011, Kint et al. 2012, Zimmermann et al. 2015), waaruit we wel kunnen afleiden dat beuk relatief gevoelig is aan het warmer en droger wordende klimaat.

De wetenschappelijke literatuur over de positie van beuk op (voor beuk) optimale standplaatsen in het veranderende klimaat is dus niet eenduidig en laat nog veel vragen onbeantwoord. Het zou daarom weinig verstandig zijn om hier verregaande beheerconsequenties aan te koppelen en de beuk af te schrijven of beukenbossen versneld om te vormen (De Keersmaecker en Vandekerckhove 2020).

Laurent et al. (2009) voorspellen dat vooral ***Fagus sylvatica***, ***Quercus robur***, ***Picea abies***, ***Pinus sylvestris*** en ***Pinus nigra*** het moeilijk zullen krijgen in Wallonië (Figuur 32). De bioklimatologische enveloppe van ***Abies alba*** zal uitbreiden richting dezelfde koudere habitats

in België, maar zal zich tegelijkertijd terugtrekken uit de warmere regio's en uit de lagere hoogtes. De bioklimatologische enveloppes van en *Pseudotsuga menziesii* worden niet verondersteld te wijzigen (Laurent et al. 2009).

Figuur 32 Expected sensitivities of the most important forest tree species of southern Belgium to climate extremes, based on a literature review and expert knowledge. Bron: Laurent et al. (2009) en Campioli et al. 2011.

		Overall	Dry sites	Sites with alternate H ₂ O regimes	
<i>Fagus sylvatica</i>	●●●	●●	●●	●●	●●
<i>Quercus petraea</i>	○	○	●	●	●
<i>Quercus robur</i>	○	●●	●●●	●●	●
<i>Picea abies</i>	●●●	●●	●●●	○	●●
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	○	○	○	●●	○
<i>Pinus sylvestris</i>	●	●	○	○	●
<i>Pinus nigra</i>	●	●	○	○	●

Level of vulnerability: ●●● critical (i.e. an observed negative impact), ●● high (i.e. a potential risk of a negative impact), ● weak (i.e. adaptation is possible), ○ null (i.e. no potential risk of a negative impact)

Ook Kunert (2019), Buras et al. (2018) en Legay (2019) voorspellen dat *Pinus sylvestris* het moeilijk zal krijgen in West-Europa en omschrijven de soort als klimaatgevoelig (Tabel 5). De soort is bovendien gevoelig aan heel wat oprukkende plaagsoorten onder invloed van klimaatverandering (Van der Aa et al. 2015).

Roskams et al. (2018) stelden op enkele onderzochte locaties in Limburg en Antwerpen vast dat verschillende warme en droge jaren hebben geleid tot een verzwakking van *Pinus sylvestris*. Staminfectie door de schimmel *Sphaeropsis sapinea* ligt er aan de basis van sterke harsuitvloei en groeimisvormingen aan de stam (zie Figuur 41 in Casus Ophovenderheide). Hierdoor werden gunstige voorwaarden gecreëerd voor verschillende zwakteparasieten, waardoor veel van de dennen in de streek zijn afgestorven. Belangrijke soorten die in de dennen werden aangetroffen, zijn de blauwe dennenprachtkever (*Phaenops cyanea*) en zestand-dennenschorskever (*Ips sexdentatus*). Ook de dennenscheerder (*Tomicus piniperda*) en de koperetser (*Pityogenes chalcographus*) werden in verschillende dennen gevonden (Roskams et al. 2018).

Tabel 3 Lijst van mogelijke soorten die beter aangepast zouden zijn aan het verwachte toekomstige klimaat tegen 2100, gebaseerd op studies uitgevoerd in de temperate oceanic region waartoe België behoort. De soorten worden ingedeeld volgens inheems, 'neo-inheems' of uitheems. Voor elke soort geven we aan of deze gevoelig is aan bepaalde plagen en ziektes (met een hoger risico op aantasting als gevolg van klimaatwijziging (o.a. Read et al., 2009)) en de eventuele invasiviteit in onze regio wordt geschat (LSVI 2019). Over de in het grijs gemarkeerde soorten bestaan tegenstrijdige studies en adviezen (zie Tabel 5). Voor meer info over de gebruikte modellen en meegenomen variabelen in de modellen (o.a. welke klimaatscenario's) voor het maken van de voorspellingen, verwijzen we naar de studies zelf.

Soort	Oorsprong	Regio + geobserveerd of voorspeld + Studie	Inschatting invasiviteit	Plagen en ziektes
<i>Abies alba</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017	Niet invasief	Letterzetter
<i>Acer campestre</i>	Inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017;	nvt	Roetschorschimmel
<i>Acer platanoides</i>	Neo-inheems (inheems in de Voerstreek)		Niet invasief	Roetschorschimmel
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Neo-inheems	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	Niet invasief	Roetschorschimmel
<i>Betula pendula</i>	Inheems	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	nvt	
<i>Carpinus betulus</i>	Inheems	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	nvt	
<i>Castanea sativa</i>	Neo-inheems (ingeburgerd)	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	Niet invasief	
<i>Fagus sylvatica</i>	Inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017; Vlaanderen, voorspeld, De Keersmaecker en Vandekerckhove 2020 Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017 ...	nvt	Beukenstamluis
<i>Fraxinus excelsior</i>	Inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017; Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017	nvt	Essentaksterfte
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Niet inheems	Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009	Niet invasief	Letterzetter
<i>Quercus cerris</i>	Neo-inheems	Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018	Ongekend in onze streek	Gevoeligheid ongekend in onze streek

<i>Quercus petraea</i>	Inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017; Sáenz-Romero et al., 2017 Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017	Nvt	Eikenprachtkever; kleine wintervlinder; eikenprocessierups; plakker
<i>Quercus pubescens</i>	Neo-inheems (inheems in Wallonië)	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	Ongekend in onze streek	Gevoeligheid ongekend in onze streek
<i>Quercus robur</i>	Inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017; Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017	nvt	Eikenprachtkever; kleine wintervlinder; eikenprocessierups; plakker
<i>Quercus rubra</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018	Reëel risico	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018	Reëel risico	
<i>Sorbus aria</i>	Neo-inheems (inheems in Wallonië)	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017;	Ongekend in onze streek	
<i>Sorbus torminalis</i>	inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017;	nvt	
<i>Tilia cordata</i>	inheems	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	nvt	
<i>Tilia platyphyllos</i>	inheems	Nederland, Voorspeld, Nabuurs & Hommel 2007	nvt	
<i>Ulmus laevis</i>	inheems	Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018	nvt	
<i>Ulmus minor</i>	inheems	Duitsland, voorspeld, Walentowski et al. 2017;	nvt	lepenziekte

Tabel 4 Soorten die het niet goed doen onder klimaatverandering in de temperate oceanic region waartoe België behoort. Over de in het grijs gemarkeerde soorten bestaan tegenstrijdige studieresultaten (zie Tabel 4). Voor meer info over de gebruikte modellen en meegenomen variabelen in de modellen (o.a. welke klimaatscenario's) voor het maken van de voorspellingen, verwijzen we naar de studies zelf.

Soort	Oorsprong	Regio + geobserveerd of voorspeld + Studie
<i>Abies alba</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Maiorano et al. 2012; Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009

<i>Acer pseudoplatanus</i>	Inheems	Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020
<i>Betula pendula</i>	Inheems	Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017
<i>Fagus sylvatica</i>	Inheems	Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018; Europa, voorspeld, Maiorano et al. 2012; Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009
<i>Larix decidua</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017
<i>Picea abies</i>	Uitheems	Europa, voorspeld, Maiorano et al. 2012; Europa, voorspeld, Thurm et al. 2018; Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009; Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017
<i>Pinus nigra</i>	Uitheems	Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009
<i>Pinus sylvestris</i>	Inheems	Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020; Vlaanderen, geobserveerd, Roskams et al. 2018; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009 Europa, voorspeld, Dyderski et al. 2017 ...
<i>Quercus petraeae</i>	Inheems	Sousa-Silva et al. 2018
<i>Quercus robur</i>	Inheems	Vlaanderen, geobserveerd, INBO vitaliteitsstudie 2020; Wallonië, voorspeld, Laurent et al. 2009

Opties aanpassen boomsoortenkeuze aan klimaat

Het is duidelijk dat de soorten aan een aantal criteria dienen te voldoen (zie Criteria soortenkeuze) vooraleer ze als 'klimaatrobuuste' soorten voor onze regio kunnen omschreven worden. Naast het identificeren van deze criteria, worden we ook voor de uitdaging gesteld een beleid uit te denken rond de afkomst en herkomst van soorten.

Er zijn immers verschillende pistes die gehanteerd kunnen worden binnen een klimaatadaptieve soortenkeuze, zoals het inzetten op klimaatrobuuste inheemse soorten uit erkende herkomstgebieden, inzetten op meer zuiderse herkomsten (die momenteel buiten die erkende herkomstgebieden vallen), tot overschakelen naar uitheemse soorten waarvan er verwacht wordt dat ze beter tegen de (toekomstige) klimatologische omstandigheden zullen kunnen. Anno 2021 is het identificeren van de 'beste' strategie binnen Vlaanderen nog volop aan de gang. Het is een thema waar veel discussie over bestaat en waar ook binnen de onderzoekswereld geen consensus over gevormd is.

Klimaatrobuuste inheemse soorten

Inheemse soorten zijn soorten die hier van nature voorkomen. Ze zijn aangepast aan deze regio onder de huidige klimatologische omstandigheden en zijn belangrijke waardplanten en structuren voor tal van inheemse soorten. Het belang van inzetten op inheemse soorten is al in tal van studies aangetoond, belangrijkste argument is de co-evolutie met andere organismen zoals insecten (Southwood, 1961). Echter, een deel van onze inheemse soorten zal mogelijks minder goed aangepast zijn aan het toekomstige klimaat. Kijken we terug in de geschiedenis dan blijkt dat het helemaal niet vanzelfsprekend is dat inheemse soorten beter bestand zijn tegen nieuwe ziekten en plagen (iepenziekte, essentaksterfte, roetschorsziekte...). Het zou dus kunnen dat aanplanten van lokaal gekweekte of gekiemde soorten een hoger risico op afsterven hebben en een afnemende vitaliteit zullen vertonen onder de wijzigende omstandigheden (Aitken and Bemmels 2016).

De huidige openbare (her)bebossingspraktijken in Vlaanderen volgen de '*local-is-best*' benadering voor het selecteren van geschikte boomsoorten. De rationale hierbij is het inzetten op het behoud van de inheemse soort en het ondersteunen van de lokale biodiversiteit. Subsidies worden enkel beschikbaar worden gesteld voor inheemse boomsoorten en dit van erkende herkomstgebieden (ANB website, INBO website).

De lijst van aanbevolen herkomsten bevat bosplantsoen dat door het INBO is aanbevolen om aan te planten in reeds bestaande of nieuw aan te leggen bossen in Vlaanderen. Er spelen verschillende redenen mee waarom deze herkomsten werden geselecteerd: ze zijn goed aangepast aan de lokale groeiomstandigheden in Vlaanderen, ze garanderen een hoge genetische diversiteit, ze dragen bij tot het behoud van het lokale genetische materiaal, ze zijn vitaal, vertonen meestal een goede groeivorm en we gaan ervan uit dat ze (tot op zekere hoogte) klimaatverandering kunnen doorstaan (INBO 2020). De lijst van aanbevolen herkomsten is echter niet definitief en men is er zich van bewust dat de lijst momenteel beperkend is voor bepaalde boomsoorten. Voorlopig werden reeds een aantal Waalse, Nederlandse en Franse herkomsten toegevoegd aan de Vlaamse. Deze en andere herkomsten (uit Noord-Frankrijk en Noordwest-Duitsland) worden in de mate van het mogelijke verder onderzocht in herkomstproeven om te testen of ze wel geschikt zijn voor gebruik in Vlaanderen. Meer info over Nederlandse en Franse erkende herkomsten is te vinden op:

<https://www.rassenlijstbomen.nl/nl/Home.htm> en <https://agriculture.gouv.fr/fournisseurs-especes-reglementees-provenances-et-materiels-de-base-forestiers>.

In Vlaanderen worden er dus op dit moment geen subsidies ter beschikking gesteld voor aanplanten van uitheemse soorten. De aanplant mag wel tot 25% van niet-erkende herkomsten bevatten. De vraag in het kader van klimaatadaptief beheer is hier echter: biedt het huidige soortenpalet en de genetische diversiteit voldoende ‘plasticiteit’ om de klimaatverandering op te vangen?

Ook hierrond verloopt er onderzoek of onze inheemse soorten zich voldoende zelf kunnen aanpassen, en of het zaad en de kiemlingen beter aangepast zijn aan bijvoorbeeld droogte of hitte in vergelijking met de moederboom. Deze onderzoekstak focust dus op de epigenetica van soorten, i.e. het onderzoek naar erfelijke veranderingen in gen-functie zonder dat de moleculaire DNA-structuur verandert (zie bv. Dewan et al. 2018a, 2018b, 2020).

Zuiderse en Centraal-Europese herkomsten

Zaad of plantsoen planten van een moederboom van een soort die hier al voorkomt, maar uit een zuidelijker – warmer en of droger – herkomstgebied, is een vaak gesuggereerde klimaatadaptieve maatregel. De keuze van dit gebied is essentieel en moet gebruik maken van de voorspelde klimaatmodellen tegen bv. 2100 in België. Van individuen met een meer ‘geschikte’ herkomst in die zin, wordt verondersteld dat deze beter aangepast zijn aan een warmer en droger klimaat. Deze zouden dan onder een veranderend klimaat in de meer noordelijke streken een hogere overlevingskans hebben, waardoor, na inmenging met de noordelijke varianten, de kansen voor overleving van de volledige populatie stijgt.

Om dit te testen zijn wetenschappers *common garden* experimenten aan het opzetten, waarbij de veerkracht van kiemlingen van eenzelfde soort maar van verschillende herkomsten reageren onder een droogtebehandeling en/of een warmtebehandeling en/of een aanpassing fotoperiode.

Bij ***Fagus sylvatica*** werd bv. via herkomstproeven vastgesteld dat maritieme herkomsten beter groeien en overleven wanneer ze in een droger en warmer klimaat worden gebracht, terwijl continentale herkomsten juist meer in de problemen komen (Vandekerckhove et al. 2021).

Bij ***Pinus sylvestris*** werd via herkomstproeven in 90 *common garden* experimenten in Europa de groei en overleving geanalyseerd van 283 populaties grove den (Reich en Oleksyn 2008). Hieruit bleek duidelijk dat zelfs een bescheiden klimaatopwarming waarschijnlijk de overleving en groei van grove den zal beïnvloeden, maar op verschillende manieren in verschillende delen van het soortenbereik. Een opwarming van 1-4°C verhoogde de overleving van populaties in Noord-Europa ($\geq 62^\circ \text{N}$) aanzienlijk, maar verminderde overleving bij $< 62^\circ \text{N}$ (Reich en Oleksyn 2008).

Vander Mijnsbrugge et al. (2020) voerden een *common garden experiment* uit waarin het effect van droogte op jonge gewortelde stekken van ***Frangula alnus*** afkomstig van Italië, België en Zweden getest. Contra-intuïtief bleek de Italiaanse herkomst vroeger en sterker te reageren op droogtestress dan de andere twee herkomsten. Na herbewatering kwamen de uitgedroogde planten van de Italiaanse herkomst later in het verouderingsproces (verkleuren van de bladeren) dan de controleplanten, waarschijnlijk als compensatiemechanisme voor de verloren groeitijd. Bij alle herkomsten toonde het uitlopen van de knoppen na twee jaar geen verschil meer tussen de controlegroep en de planten die

droogtebehandeling ondergingen. Hieruit blijkt dat geassisteerde migratie van meer zuidelijke herkomsten als een klimaatadaptatiestrategie niet altijd het verwachte patroon volgen.

We verwijzen verder ook naar onderzoek dat gevoerd werd in onze buurlanden voor meer resultaten van verschillende boomsoorten en herkomsten in *common garden experiments* (o.a. de Avila et al. 2017, Bayerische Forstverwaltung 2020, Correia et al. 2018, - Landesforsten Rheinland-Pfalz 2020).

Hoewel de temperaturen zullen toenemen en de meer zuidelijke herkomsten hier beter aan aangepast zijn, kunnen ze in de problemen komen tijdens normale, koude vorstdagen in de winter (Vandekerckhove et al. 2021). Problemen kunnen ook ontstaan door de fotoperiode van onze regio's, die afwijkt van de zuidelijke regio's. Zelfs bij een gemiddelde stijging van de jaartemperatuur zullen 'grillige' weerpatronen zoals extreem droge of natte periodes, plotse afwisseling van warme winterdagen en late vorst in het voorjaar, misschien nog meer bepalend zijn voor de geschiktheid van bepaalde herkomsten. Zo is nu al vastgesteld dat late vorst in het voorjaar de laatste decennia veel vaker voorkomt dan vroeger. Zuidelijke en continentale herkomsten, die een meer stabiel klimaat gewoon zijn, kunnen hierdoor meer in de problemen komen dan lokale herkomsten (Vander Mijnsbrugge et al. 2020, Vandekerckhove et al. 2021).

Het spreekt dus voor zich dat bij de keuze van de herkomsten hiermee moet rekening gehouden worden, door bijvoorbeeld ook naar "hardiness zones" te kijken. Onderzoek rond welke herkomsten beter geschikt zouden zijn in ons aangepaste (toekomstige) klimaat dient dringend opgestart te worden.

Uitheemse soorten

Uitheemse soorten of exoten zijn soorten die van nature niet in deze regio voorkomen, maar geïntroduceerd werden omwille van hun productiecapaciteiten (zoals de Douglasspar, de gewone zilverspar, de reuzezilverspar, de Amerikaanse eik) of hun houtkwaliteit – gaande van esthetiek tot duurzaamheid (de lork, de Amerikaanse vogelkers, de robinia).

Aan introducties van uitheemse soorten zijn echter ecologische risico's verbonden (die zich niet noodzakelijk altijd onmiddellijk manifesteren). Zo is er het risico op invasieve verspreiding van de soort zelf. Het invasieve karakter kan sterk standplaatsafhankelijk zijn, maar ook klimaatafhankelijk. Een soort die momenteel weinig problemen vormt, kan onder een gewijzigd klimaat wel invasief worden. Daarnaast kunnen er bij de introductie van nieuwe soorten ook nieuwe aantastingen binnen worden gebracht. Die vormen misschien geen probleem voor de oorspronkelijke gastheer, maar wel voor het ecosysteem waarin ze worden geïntroduceerd.

In de discussie rond uitheemse soorten kan ook een verder onderscheid gemaakt worden tussen soorten met een natuurlijk verspreidingsgebied niet ver van Vlaanderen, bv *Quercus pubescens*, *Quercus cerris*, *Quercus ilex*... of soorten uit andere continenten. Demey et al. (2015) en Millar et al. (2007) raden aan om het soortenspectrum uit te breiden met soorten uit Centraal- en Zuid-Europa waarvan de noordelijke areaalgrens Vlaanderen (nog) niet bereikt heeft. Bovendien raden ze aan om minder in te zetten op soorten waarvan de zuidelijke areaalgrens in onze contreien gelegen is. Het areaal van een aantal soorten kan geraadpleegd worden in de *European Atlas of Forest Tree Species*.

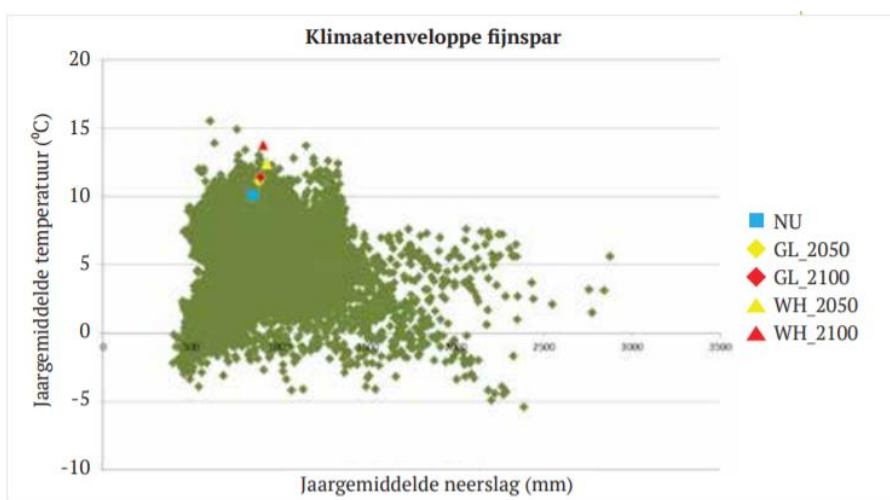
Binnenkort publiceert EUFORGEN (European Forest Genetic Resources Programme) een lijst met uitheemse soorten die gebruikt mogen worden voor bosaanplant. EUFORGEN analyseert het karakter en de levenscyclus van deze soorten en bouwt daaruit een lijst van geschikte bomen op basis van een grondige pan-Europese evaluatie. Door de klimatologische wijzigingen zijn dit soorten die onze regio binnenkort zouden koloniseren (i.e. een verschuiving richting het noorden aangezien hun oorspronkelijk leefgebied warmer en droger wordt). INBO raadt aan om de aanbevelingen die voorbereid worden door EUFORGEN af te wachten die gebeuren op basis van een grondige pan-Europese evaluatie per boomsoort.

Nood aan meer onderzoek en praktijktesten

Onderzoek kandidaat boomsoorten Vlaanderen

Gezien de dringende noodzaak aan op wetenschap gebaseerde richtlijnen rond boomsoortenkeuze, zou het goed zijn een grondige wetenschappelijke studie uit te (laten) voeren specifiek rond dit thema.

In een dergelijke studie kunnen in de klimaatveloppes van onze inheemse boomsoorten (en andere soorten) de verschillende klimaatscenario's tegenover elkaar gezet worden kwa temperatuur- en neerslagveranderingen (Figuur 33). Voor die soorten waarvan de verschillende scenario's voorspellen dat onze regio niet meer geschikt zal zijn in de toekomst, moeten we durven afstappen. Een dergelijke conclusie voor de verschillende boomsoorten kunnen we echter op basis van deze opdracht niet formuleren.



Figuur 33 Voorbeeld van de verwachte impact van klimaatverandering op fijnspar. De groene stippen geven aan binnen welke klimaatgrenzen de soort momenteel in Europa voorkomt. De blauwe stip geeft het huidige Nederlandse klimaat aan. De gele en rode stippen geven het verwachte klimaat aan in respectievelijk 2050 en 2100. Dit laat zien dat het Nederlandse klimaat steeds minder geschikt wordt voor de fijnspar. Bron: Klimaatlim bosbeheer, Probos 2019.

Experimentele aanplanten en monitoring van deze soorten kan wel en is nuttig in het kader van het uitstippelen voor een klimaatadaptief bosbeheer (Vander Mijsbrugge et al. 2020, Vandekerckhove et al. 2021). Er is nood aan praktijktesten in de Vlaamse bossen waaruit we verder meer zullen kunnen leren rond klimaatrobuste boomsoortenkeuze.

Situatie buurregio's

In onze buurregio's (Duitsland, Nederland, Wallonië, Frankrijk) wordt er al ingezet op het aanplanten van andere herkomsten en uitheemse soorten.

Het nieuwe ondersteuningsprogramma in Wallonië bijvoorbeeld om bossen veerkrachtiger te maken tegen klimaatverandering behoren Amerikaanse eik, Douglasspar en andere exoten tot de mogelijkheden (<https://foretresiliente.be/>). Dit staat in schril contrast met de Vlaamse overheden waar de nadruk ligt op aanplanten van enkel inheemse soorten in alle subsidieprogramma's. De schade van de letterzetter is er erg groot, en ook de beuk is er beschadigd door de droogte. Wintereik, berk, Corsicaanse den en Sorbus (elsbes, lijsterbes) daarentegen doen het goed. Standpunt Waalse ondersteuningsprogramma: inzetten op genetische diversiteit van bossen en de keuze van aangepaste herkomsten wordt aangemoedigd "omdat ze een garantie zijn voor een betere aanpassing aan de klimaatverandering en dus voor veerkracht."

In Nederland wordt op kleine schaal al geëxperimenteerd met aanplanten van uitheemse (en potentieel meer droogtetolerante) soorten zoals valse acacia, ratelpopulier, Douglasspar, boomhazelaar, elsbes, gele den en moerascypres. Er is tot op heden echter beperkte kennis over het functioneren van deze soorten in de Nederlandse bossen. De Rassenlijst Bomen is een hulpmiddel bij de aanplant van landschappelijke beplantingen en productiebos: <https://www.rassenlijstbomen.nl/nl/Home.htm>

In verschillende Duitse Länder en in Frankrijk bestaan richtlijnen welke herkomsten en klimaatrobuuste exoten in welke situatie aan te planten (zie o.a. de Avila et al. 2017, Bayerische Forstverwaltung 2020, Correia et al. 2018, REINFORCE network, Landesforsten Rheinland-Pfalz 2020).

Bomen kennen geen (land)grenzen en het blijft dus belangrijk om ook binnen Europa een duidelijk beleid hier rond uit te stippelen en over de landsgrenzen heen te communiceren over de te volgen strategieën wat boomsoortenkeuze in een veranderend klimaat betreft.

Boomsoortenmenging blijft sleutelboodschap

Waar iedereen het intussen wel over eens is, is dat het streven naar **boomsoortenmenging cruciaal** is. Heterogene opstanden zullen beter bestand zijn tegen ziektes en plagen waardoor er aan risicospreiding wordt gedaan (zie 3.1).

Het blijft dus erg belangrijk om nog verder inzicht te krijgen in het functioneren van gemengde bossen en het identificeren van die combinaties aan soorten waardoor de vooropgestelde beheerdoelen gehaald kunnen worden onder een veranderend klimaat.

Concrete lopende onderzoeksprojecten rond klimaatrobuuste aanplantingen zijn

- het FORBIO project (https://treedivbelgium.ugent.be/pl_forbio.html),
- het Cambio project (<https://treedivnet.ugent.be/ProjectCAMBIO.html>) en
- het MixForChange project (<https://treedivnet.ugent.be/ProjectMixForChange.html>).

In deze projecten wordt onderzocht hoe bossen reageren op klimaatverandering, en droogte in het bijzonder, en hoe deze bossen ingericht en beheerd kunnen worden zodat hun weerstand en veerkracht verhoogd wordt. Speciale aandacht gaat daarbij uit naar het mengen van soorten en herkomsten; een erg belangrijke maatregel voor klimaatadaptatie. We verwijzen naar de websites van de projecten voor meer informatie.

4.2.6. Handvat strategieën t.a.v. brand

Hoe ga je er mee om? Hoe beperk je het risico?

Inleiding

Bij natuurbranden denkt men misschien in eerste instantie aan Zuid-Europa, Canada of de VS, maar ook in Vlaanderen komen ze voor. Door de klimaatverandering en de bijhorende aanhoudende droogteperiodes stijgt het risico op natuurbranden in de toekomst. Spontane branden zijn in onze omstreken vooral negatief voor de natuur. Hoe groter en intenser de brand, hoe groter het negatieve effect. Hoe gaan we daarmee om en wat kunnen we preventief ondernemen?

In dit document schetsen we eerst de huidige situatie in Vlaanderen en beschrijven we vervolgens hoe klimaatverandering een invloed zal hebben op het voorkomen van natuurbranden. Vervolgens lichten we enkele types branden toe om tot slot over te gaan naar een overzicht van maatregelen die men kan nemen in het kader van brandpreventie en -bestrijding. De opzet is om een overzicht te creëren eerder dan per maatregel een uitgebreide uitleg te geven hoe deze moet worden uitgevoerd.



Figuur 34 Bosbrand op de Oudsberg. © ANB - Karel Flipkens

Natuurbranden in Vlaanderen

Voor Vlaanderen is niet gekend hoeveel en hoe grote natuurbranden er zijn per jaar. De meeste grote branden in Vlaanderen werden in de eerste helft van de 20^{ste} eeuw gerapporteerd (Campioli et al., 2012) wanneer er grote aanplantingen werden gedaan in Limburg en Antwerpen. Sindsdien zijn er minder frequent branden en ook van een kleinere omvang.

Onze regio kende geen natuurlijke grootschalige natuurbranden zoals in het noorden van de VS of Canada, maar we kenden wel een cultuur van opbranden van resthoutstapels in het bos en ook werd er frequent in of nabij bos gebrand voor de productie van kool.

Bekende natuurbranden in Vlaanderen zijn onder andere de verschillende branden uit de Kalmthoutse Heide in 1996 (450 ha) en in 2011 (600 ha) en recent ook de brand nabij Brecht (2021) waarbij 565 ha van het militair domein Groot Schietveld in vlammen opging.



Figuur 35 Figuur 36 Kalmthoutse Heide na de brand van mei 2011. Het ingrijpende effect valt duidelijk uit de foto af te leiden. © ANB – Dirk Bogaert

Hoewel we de laatste decennia veel vooruitgang boekten op vlak van de bestrijding van natuurbranden in Vlaanderen, zijn er toch nog heel wat knelpunten.

Voor al heideterreinen met veel naalddhout, met pijpenstrootje vergraste terreinen en eenvormige naaldbossen kennen tot op heden een hoog brandrisico.

Natuurbranden komen in Vlaanderen meestal voor in de provincies Antwerpen of Limburg aangezien hier het grote, aaneengesloten natuurgebieden van de meest brandbare vegetaties liggen, de bodem voornamelijk bestaat uit zandgronden in de regio met een beperkt vermogen om lang vocht vast te houden en er een grote recreatiedruk heerst. Brandpreventie is daarom in deze provincies al enige tijd een grote prioriteit. Inmiddels beschikt Limburg over een volledig netwerk van reddingspunten (<https://www.crisis-limburg.be/reddingspunten>) en beide provincies hebben brandtorens. Brandweerkorpsen in Limburg en Antwerpen hebben ervaring en beschikken over aangepast materieel voor de bestrijding van natuurbranden. Bovendien zit de kennis en ervaring nu vooral in de provincies Antwerpen en Limburg. Als er een natuurbrand zou uitbreken in andere provincies, is de kans groot dat er niet even efficiënt en effectief zal kunnen worden ingegrepen. Gelukkig zijn de natuurgebieden in deze omstreken vaak meer versnipperd waardoor ze beter bereikbaar zijn en is de natuur er (tot nu toe) minder brandgevoelig. Onder klimaatverandering kan de hoeveelheid brandbaar materiaal echter toenemen.

In Vlaanderen wordt per provincie het natuurbrandrisico wekelijks berekend. Dit gebeurt onder andere aan de hand van de brandwaarschuwingsindex (BWI) die van de Meteo Wing van Defensie uitgaat en Fire Weather Index (FWI) berekend door het Europees bosbrand informatiesysteem (EFFIS) (Rombaut, 2021). Aan de verschillende risiconiveaus hangen 4 specifieke risicocodes die worden uitgedrukt in

kleurcodes: groen, geel, oranje, rood. Naargelang de code verschilt de mate van toezicht en paraatheid van brandweerdiensten, natuurbeheerders en andere hulpdiensten. Deze kunnen dan verschillende preventiemaatregelen nemen zoals het bezetten van brandtorens, het stand-by staan in uiterste paraatheid of het preventief patrouilleren door brandweerdiensten in het terrein (Agentschap voor Natuur en Bos, n.d.-a). Voor een gedetailleerde uitleg bij elke code verwijzen we naar (Cornelis, 2012) en (Agentschap voor Natuur en Bos, n.d.-a). De risicocode wordt naar de bevolking gecommuniceerd via de website van het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) en gemeentelijke websites en in een aantal gebieden zijn aan de toegang speciale infoborden voorzien waarop o.a. het risiconiveau wordt aangeduid (Agentschap voor Natuur en Bos, n.d.-a).

Onze natuur loopt bovendien vol wandelaars en joggers en in een groot deel van onze natuurgebieden is er bereik tot het mobiele netwerk waardoor een brand snel kan worden opgemerkt en gesignaleerd. Recreanten vormen echter ook een bedreiging op vlak van natuurbranden aangezien de meeste door menselijke oorzaken ontstaan in Vlaanderen (Cornelis, 2012; Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2006).

Zoals eerder al verschillende keren aangehaald is onze natuur zeer versnipperd. Op vlak van natuurbrand heeft dit voor- en nadelen. Door de grote versnippering van onze bossen kan een brand minder snel over verschillende natuurgebieden heen woeden waardoor echte grootschalige bosbranden vermeden worden (Van der Aa et al., 2015). Anderzijds zorgt de versnippering ervoor dat er veel wegen zijn rondom de natuurgebieden waardoor ze sneller en gemakkelijker kunnen bereikt worden bij een brand. Daar tegenover staat dat door de versnippering er ook een grotere kans op het ontstaan van branden is doordat er meer interactie is met een hogere kans op een ontsteking tot gevolg. Versnippering zorgt ook voor potentieel meer schade aan infrastructuur. En hoewel men zou denken dat door de grote bereikbaarheid van de gebieden, water een minder groot probleem zou zijn, is in het verleden de waterbeschikbaarheid en bereikbaarheid van de brand ook al vaak een knelpunt gebleken doordat er weinig waterreservoirs of goed onderhouden brandwegen zijn in de gebieden zelf.

Natuurbrand en klimaatverandering

Klimaatverandering zal de kans op onbedoelde natuurbranden in de toekomst hoogstwaarschijnlijk doen toenemen (De Blust & Laurijssens, 2014; McKenzie et al., 2011). De achterliggende processen zijn echter complex.

Lange droge periodes komen vaker voor, waardoor ecosystemen in het voorjaar en de zomer droger zijn en gemakkelijker ontbranden. In 2050 worden immers meer droge dagen (172 d/j in 2017 naar 207 d/j in 2050) en langere perioden zonder neerslag (24 dagen in 2017 naar 42 dagen in 2050) verwacht. Hierdoor zal het brandrisico, zeker in combinatie met verdroging en toenemende menselijke activiteiten, alleen maar zal stijgen. In de Kalmthoutse heide bijvoorbeeld waren er, in het extreem droge jaar 2018, 75 dagen met een hoog brandrisico (code oranje en rood). In 2100 worden dergelijke droogtes verwacht om de 4-5 jaar (Klimaatportaal Vlaanderen, n.d.).

De gemiddelde voorjaarestemperatuur stijgt overigens waardoor het groeiseizoen langer wordt. Door de stijging in temperatuur en CO₂ zal er vermoedelijk meer biomassa geproduceerd worden. Beide mechanismen zorgen ervoor dat meer brandbaar materiaal kan ophopen.

Daarnaast zal er meer dood hout in de bossen aanwezig zijn door frequenter afsterven van bomen door de verhoogde druk van overstromingen, ziektes en plagen, droogte, storm... wat ook weer leidt tot meer brandbaar materiaal (De Blust & Laurijssens, 2014).

De verhoogde concentratie van CO₂ in de atmosfeer kan ook leiden tot een hogere bliksemfrequentie wat op zich weer tot meer bosbranden met natuurlijke oorzaak kan leiden (McKenzie et al., 2011). Echter het voorkomen van bliksem, gaat meestal gepaard met neerslag, wat de kans op natuurbrand weer verkleint.

De vervroegde start van het groeiseizoen kan ervoor zorgen dat meer planten eerder groen zijn in de lentemaanden (april, mei, juni), wanneer er veel brandbaar strooisel voorhanden is, waardoor het brandrisico sneller afneemt in die maanden (De Blust & Laurijssens, 2014).

Typering natuurbranden

Branden kunnen op verschillende manieren onderscheiden worden.

Oorzaak van een brand

De meeste natuurbranden ontstaan door menselijke activiteiten door bijvoorbeeld een smeulende sigarettenpeuk op de grond, een verhitte auto of (beheer)machine die op droog gras staat, een stuk glas of een fles die als lens fungeert, vonken van een barbecue of een vuur in de buurt en schietoefeningen op de militaire domeinen (Schneiders et al., 2020). Daarnaast komt natuurlijk ook – gelukkig in mindere mate – opzettelijke brandstichting voor (Cornelis, 2012; Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging, 2006). Tot slot kunnen branden ook aangestoken worden met een beheerreden (zie verder onder beheerbranden).

Slechts heel soms gaat het om een natuurlijke oorzaak zoals bijvoorbeeld bij een blikseminslag (Cornelis, 2012).

Bedoeld vs. Onbedoeld

Bij branden in natuurgebieden moet onderscheid gemaakt worden tussen bedoelde en onbedoelde branden. Andere gangbare termen zijn gecontroleerde beheerbranden ('prescribed burning', En.) en ongecontroleerde, ongeplande natuurbranden ('wildfires', En.) (De Blust & Laurijssens, 2014).

Gecontroleerde branden hebben heel specifieke doelen (De Blust & Laurijssens, 2014):

- In kader van natuurherstel of voor de instandhouding van kenmerkende soorten en ecosystemen
- Preventief branden dient om het risico op onbedoelde natuurbranden te verlagen.
- Het onderdrukken van branden of het aanleggen van een tegenvuur wordt gebruikt bij het bestrijden van ongecontroleerde branden.

Type natuurbrand

Er zijn verschillende types branden die verschillen in intensiteit en het gemak waarmee ze bestreden kunnen worden.

Welk type brand voorkomt en het verloop en de duur ervan, zijn afhankelijk van de eigenschappen van de brandstof, de terreinkenmerken en de voorafgaande en heersende weersomstandigheden (De Blust & Laurijssens, 2014)

Een eerste groot onderscheid kan gemaakt worden tussen smeulend vuur en brandend vuur. Brandend vuur kan verder opgedeeld worden in lopend vuur en kroonvuur.

Smeulend vuur

Smeulend vuur brandt zonder vlammen en blijft vaak over na een brand met vlammen.

Het breidt zich zeer langzaam uit. Maar juist daardoor houdt de hitte lang aan en kan de impact op het ecosysteem zeer groot zijn. De zaadbank kan totaal vernietigd worden en de brand kan diep in de humuslaag, in de wortels of in het hout doordringen. Het is van daaruit dat vuur dan terug kan opwakkeren. (De Blust & Laurijssens, 2014) Bij dit type brand wordt ook veel meer CO₂ uitgestoten (Santoso et al., 2019). Uit smeulend vuur kan gemakkelijk weer een brand met vlammen ontstaan en het is daardoor uiterst gevaarlijk (Santoso et al., 2019).

Smeulend vuur kan zowel bovengronds als ondergronds plaatsvinden. Bij ondergronds smeulend vuur, spreekt men over grondvuur.

Grondvuur

Grondvuur is een brand in en van het organisch materiaal in de bodem zoals een veenbrand. (De Blust & Laurijssens, 2014). Grondvuren kunnen soms een hele tijd (dagen, weken) aanhouden. Ze gaan zeer traag vooruit en kunnen erg gevaarlijk zijn doordat de totale oppervlakte waarover een grondbrand woedt niet goed zichtbaar is (De Blust & Laurijssens, 2014).

De impact op het ecosysteem kan zeer groot zijn: de zaadbank en wortels kunnen vernietigd worden en de brand kan diep in de humuslaag doordringen. De regeneratie verloopt dan erg langzaam met een grote kans op bodemerosie. (De Blust & Laurijssens, 2014)

Loopvuur

Loopvuur is een brand van de onderste vegetatielagen: kruiden, grassen, lage struiken, strooisel en dood afgefallen materiaal. (De Blust & Laurijssens, 2014). Een loopvuur kan zich snel uitbreiden, maar het gedrag en de intensiteit is situatieafhankelijk. De hoeveelheid en verspreiding van de brandstof, de windsnelheid, vochtigheid, temperatuur en het reliëf spelen een rol. Uit een loopvuur kan bij hoge vlammen en hoge temperatuur – en in de nabijheid van bomen en/of vegetatieladders – een onbeheersbaar kroonvuur ontstaan.

Bij gecontroleerde beheerbranden is dit vaak het type dat wordt gebruikt door het tempo in combinatie met de controleerbaarheid.

Kroonvuur

Een kroonvuur is een zeer hevig type brand in de kruinlaag van bomen dat zich van kroon naar kroon verplaatst. Naaldbossen zijn hieraan gevoeliger dan loofbossen doordat ze hars bezitten in hun naalden (De Blust & Laurijssens, 2014).

Dit type brand is heel gevaarlijk en moeilijk controleerbaar. Onder andere de soortensamenstelling, de dichtheid en de continuïteit van de kruinlaag samen met de weersomstandigheden bepalen de intensiteit en de verplaatsingssnelheid van dit type brand. De brand trekt zeer veel zuurstof aan waardoor sterke en grillige windpatronen richting de brand ontstaan. Bovendien ontstaan deze branden vaak in brandgevoelige periodes waardoor de branden snel kunnen verbreiden.

Tenslotte bestaat er nog het gevaar op 'vliegvuur'. Dit komt doordat sintels door verticale convectiestromen uit het vuur hoog de lucht in kunnen worden gestuwd en over een grote afstand nieuwe brandhaarden kunnen doen ontstaan. Preventieve maatregelen zoals brandgangen en smalle brandwegen, bieden dan geen oplossing meer (De Blust & Laurijssens, 2014)

Kroonvuur heeft heel drastische gevolgen aangezien de kruin helemaal verwoest wordt, vaak samen met het hout waardoor de economische waarde sterk wordt aangetast.

Per vegetatietype

Een laatste manier van opdeling is naargelang het type vegetatie. Zowel heides, bossen, graslanden als veengebieden kunnen afbranden. De eerste twee types komen in Vlaanderen het meeste voor.

Wat kan de beheerder aan brand doen?

Een beheerder kan vooral preventieve maatregelen nemen. Deze situeren zich op twee niveaus:

1. Voorkomen dat een ongecontroleerde natuurbrand ontstaat;
2. De intensiteit van de brand en de oppervlakte die in één keer kan afbranden beperken of maatregelen nemen die helpen een brand onder controle te krijgen (Zebisch et al., 2005).

Hoewel het belang van curatieve maatregelen niet te onderschatten valt, primeren toch steeds de preventieve maatregelen. De bestrijding en het onder controle krijgen van natuurbranden is namelijk heel lastig en vormt een enorme logistieke uitdaging. De tijdsdruk is enorm gezien branden zeer snel kunnen evolueren, snel bluswater moet gevonden worden en indien nodig de menselijke omgeving moet geëvacueerd worden., etc. Daarenboven komen nog eens de grote en uitgebreide gevolgen als er dan toch een brand uitbreekt waardoor het belang van preventie alleen maar toeneemt.

Acties buiten het terreinbeheer

Bij strategieën t.a.v. brand gaat het niet alleen om acties op het terrein. Ook daarbuiten kan en moet er heel wat gebeuren. Bij veel van deze acties is het niet alleen aan de beheerder, maar moet er in team gewerkt worden.

Het brandrisico bepalen

Een eerste, misschien voor de hand liggende maatregel, is het bepalen van het brandrisico in zijn/haar gebied. Niet elk bos of natuurgebied is even gevoelig voor brand. Bovendien zijn bepaalde periodes gevaarlijker en is het risico ook locatiespecifiek. Zones met een sterke toegankelijkheid zijn meer risicovol. Deze stap zou sowieso een eerste stap moeten zijn. Dit is iets wat elke beheerder individueel voor zijn of haar gebied zou kunnen doen, maar een analyse op landschapsschaal en met meerdere partijen is beter aangezien het brandrisico ook door de omgeving wordt bepaald.

Voor uitgebreidere tools om het brandrisico te bepalen verwijzen we naar de berekeningen achter de modellen van de risicocodes (Agentschap voor Natuur en Bos, n.d.-a) en de criteria die beschreven worden in (San-Miguel-Ayanz et al., 2018). Ook het concreet uitgewerkte voorbeeld van de risicobepaling in de Kalmthoutse Heide in (De Blust & Laurijssens, 2014) kan waardevolle info bieden.

Een brandpreventie- en actieplan opmaken

Een geïntegreerd preventie- en actieplan opstellen is cruciaal voor gebieden met een hoog brandrisico (hiervoor vertrek je dus uit de risico-analyse op natuurbrand). Daarin wordt op maat van het gebied een set aan preventieve en curatieve maatregelen afgesproken.

Zo'n plan geeft aan hoe brandweer, politie en andere hulpverleners, maar ook beheerders en andere belanghebbenden te werk zullen gaan bij een eventuele brand. Zo'n plan kan best opgesteld worden per regio met de verschillende actoren aan tafel. Aspecten die daarbij o.a. van belang zijn:

- Hoe lang duurt het voordat de eerste pompwagen na melding van de brand op een bepaalde locatie kan toekomen en is dit voldoende snel?
- Als op een bepaald moment gespecialiseerde blusvoertuigen moeten worden ingezet; waar staan die dan en hoelang duurt het voor ze ter plaatse zijn? Moeten er posten bijkomen?
- Wat doe je als je de controle over de brand dreigt te verliezen?

Bij het uitwerken van een dergelijk plan moeten de voor- en nadelen, kosten en baten van de verschillende maatregelen tegen elkaar worden afgewogen. Het aanleggen van een brandgang door een bos zal bijvoorbeeld een impact hebben op het microklimaat van dat bos.

De provincies Antwerpen en Limburg beschikken over zo'n een Bijzonder Nood- en Interventieplan Bos en Heide (BNIP). Momenteel werken de hulpverleningszones aan zonale BNIP's binnen die provincies. Ook het Agentschap voor Natuur en Bos heeft een draaiboek met afspraken over de procedure die gevolgd moeten worden bij alarmfases en de rol en taakverdeling van alle ANB-medewerkers tijdens interventies (Cornelis, 2012).

Dergelijke plannen kunnen een grote hulp bieden bij het effectief voorkomen van branden (Vermeiren, 2011).

Naast het opstellen van het plan is het belangrijk dat er frequent een overleg plaatsvindt om de bestaande afspraken op te frissen en eventuele gewijzigde informatie (contactgegevens, beschikbaarheid van nieuw instrumentarium, enz.) uit te wisselen (Cornelis, 2012).

De bevolking sensibiliseren

De bevolking sensibiliseren is van het allergrootste belang. Hoe meer mensen zich van het brandgevaar bewust zijn, hoe kleiner de kans dat er zich een grote brand kan ontwikkelen (Cornelis, 2012). Dit helpt enerzijds preventief doordat burgers weten waarop ze moeten letten en elkaar er op kunnen aanspreken. Anderzijds kan het ook curatief helpen om branden sneller te signaleren door alerte burgers en stelt het hen mogelijks in staat om betere acties te ondernemen om zichzelf in veiligheid te brengen.

Voor het sensibiliseren zijn verschillende methodes voorhanden zoals de risicocodes en infoborden van de Vlaamse Overheid. Maar ook folders ([Folder Risico-Info.be](#); [Folder Brandweer Brasschaat](#)), campagnes, webinars en bewustmakingswebsites (bv. [Risico-info.be](#)) kunnen helpen.

Gedetailleerde kaart maken

Op kaarten is niet altijd duidelijk welke wegen er zijn binnen het natuurgebied en hoe berijdbaar die wegen zijn. Het opmaken van een meer gedetailleerde kaart voor het gebied die dit in acht neemt, kan daarbij helpen (Cornelis, 2012). Daarnaast kan via die kaart ook al nagedacht worden over mogelijke locaties voor bluswater of evacuatiepunten zodat dit een minder groot probleem vormt bij het uitbreken van een brand. Deze kaarten staan dan bekend als de ‘noodplannen’ van het gebied.

Los van het opstellen van de kaarten, is het van belang dat deze kaarten in verschillende formaten ter beschikking worden gesteld aan alle hulpdiensten en geïntegreerd worden in ieders GIS-systeem (Cornelis, 2012).

Voor alle openbare gebieden bestaan inmiddels (sinds 2020) dergelijke kaarten (mondelinge mededeling Jurgen Rombaut). Bij de brand op de Kalmthoutse Heide hebben deze kaarten het werk van de hulpdiensten aanzienlijk vergemakkelijkt (Cornelis, 2012).

Maatregelen die hier nauw mee samenhangen zijn het zorgen voor voldoende ontsluiting van het gebied voor de hulpdiensten, het voorzien van bluswater en het uitwerken van een netwerk met coördinatiepunten. Dit bespreken we verder daar dit binnen het beheer van het terrein valt.

Acties binnen het terreinbeheer

De beheerder kan via het eigen bos- en natuurbeheer op het terrein ook een hele reeks acties ondernemen om het risico op grote, oncontroleerbare branden drastisch te verminderen. Is je gebied brandgevoelig, dan zijn bijkomende maatregelen een must (De Blust & Laurijssens, 2014).

Deze acties (en bovenstaande maatregelen) worden best aangevuld in het beheerplan

Een beheerder kan inzetten op:

- Compartimentering van het gebied
- Het gebied toegankelijk maken voor hulpdiensten
- Bluswater voorzien
- Coördinatiepunten installeren
- Monitoringssystemen opzetten
- Waterhuishouding herstellen
- Brandbaar materiaal verminderen

Bij alle maatregelen is het van belang dat de beheerder locatiespecifiek handelt. De beheerder moet steeds denken in termen van gevaar op ontsteking in combinatie met het gevaar op schade.

Het installeren van coördinatiepunten is vooral handig waar veel mensen zijn. In gebieden waar mensen normaal niet komen, kan de densiteit minder zijn. Ook monitoring moet niet overal even sterk gebeuren, maar vooral in die zones waar er een groot brandgevaar is. Misschien moet ook niet overal evenveel brandbaar materiaal verwijderd worden. Dit kan er uiteindelijk toe leiden dat op bepaalde

plaatsen de vooropgestelde natuurdoelen moeten worden herzien. Er kan bijvoorbeeld ook gekozen worden om brandbaar materiaal in een strook van 10-20 m rond picknickplaatsen, parkeerplaatsen en langs drukbezochte wandelpaden en brandwegen te verwijderen eerder dan in het hele gebied.

Compartimenteren in brandvlakken via firebreaks

Een bekende brandvertragende maatregel is het opdelen of compartimenteren van het gebied in een aantal “brandvakken”. Dit zijn oppervlaktes die van elkaar gescheiden worden door firebreaks zoals brandwegen, brandgangen of andere brandwerende barrières (De Blust & Laurijssens, 2014). De compartimentering stopt een brand niet per se aan de scheidingslijnen, maar kan de brand wel vertragen (Cornelis, 2012; De Blust & Laurijssens, 2014).

Brandwegen zijn (half-)verharde wegen die door het natuurgebied lopen. Ze dienen niet alleen om brand te voorkomen of te vertragen, maar kunnen ook als rijweg gebruikt worden door bijvoorbeeld de brandweer. Daarnaast kunnen ook recreanten en beheerders er gebruik van maken (Cornelis, 2012).

Naast de brandwegen, wordt best een zone van 1 à 2 meter aan weerszijden strooiselvrij of -arm gemaakt en gehouden om de brandremmende zone te verbreden. Tegenwoordig worden deze stroken zelfs uitgebreid tot 2 tot 4 meter aan weerszijden (mondelingen mededeling Jurgén Rombaut). Dit zorgt er ook voor dat brandweerwagens kunnen kruisen. Deze stroken kunnen onderhouden worden door intensieve begrazing, klepelen, maaien, chopperen, enzoverder (De Blust & Laurijssens, 2014). Door de vegetatie af te voeren kunnen bovendien waardevolle natuurelementen gevormd worden (Cornelis, 2012; De Blust & Laurijssens, 2014). Ook kan worden geëxperimenteerd met het verschuiven van de maaigrens zodat er een interessante structuurvariatie kan ontstaan.

Men zou zich de vraag kunnen stellen of dit afvoeren van vegetatie en strooisel niet in tegenstrijd is met het principe om meer CO₂ vast te leggen boven- en ondergronds. Doordat dit slechts op bepaalde, strategische locaties dient plaats te vinden, zal de impact hiervan relatief beperkt zijn.

Een **brandgang** is een onverharde strook van 10 à 15 meter (Cornelis, 2012) of zelfs 20 à 30 meter (De Blust & Laurijssens, 2014) breed waar de vegetatie kort is of die onbegroeid is (Figuur 34). De zone open



houden door ploegen of frezen raden we af om ecologische en economische redenen. Dezelfde beheerpraktijken als hierboven kunnen hiervoor beter gebruikt worden.

Ook hier kan naast de eigenlijke brandgang flankerend beheer zorgen voor een bredere strook met minder brandbaar materiaal.

Figuur 34 Brandgang op het Groot Schietveld. © ANB – Guy Heutz

Belangrijk is dat er – bij het aanleggen en onderhouden – amper uitgraving plaatsvindt of dat een eventuele uitgraving niet zorgt voor een drainage-effect (Cornelis, 2012; De Blust & Laurijssens, 2014). Wanneer ze goed aangelegd zijn, kunnen brandgangen multifunctioneel zijn. Ze kunnen net zoals brandwegen als pad voor recreanten gebruikt worden (al moet dan rekening gehouden worden met een verhoogd ontstekingsrisico) of voor andere beheerwerken.

Ook op ecologisch vlak kunnen brandgangen een betekenis hebben. Door het korthouden van de vegetatie ontstaan kansen voor open en korte pionierhabitats met specifieke flora en fauna zoals heischrale graslanden in heidegebied. Onbegroeide brandgangen kunnen interessant zijn als jachtgebied voor nachtzwaluw (Cornelis, 2012; De Blust & Laurijssens, 2014). Ze kunnen ook verbindingen vormen tussen gebieden voor specifieke soorten. Er moet echter op gelet worden dat infrastructuur om deze soorten te accommoderen niet in tegenstrijd is met de primaire brandwerende functie. Zo wordt voor de gladde slang in dergelijke corridors soms takkenhopen gelegd, wat natuurlijk het brandrisico verhoogt.

Brandgangen en brandwegen worden zowel in heide als bos aangelegd. In heide bieden ze amper nadelen. Bij bossen daarentegen zijn er belangrijke argumenten die in gedachte moeten gehouden worden voor de aanleg. Om een kroonbrand te stoppen of te vertragen zijn breedtes van 120m tot 400m aanbevolen, maar zelfs dan zijn er verschillende events waar sinters door vliegvuur over veel grotere afstanden werden verspreid (*Firebreak*, 2021). Door het aanleggen van zo'n brede brandgang wordt het bufferend microklimaat van een bos ernstig verstoord. Daardoor kan meer windwerking in het bos optreden en warmte dieper doordringen. Dit leidt tot een grotere verdroging wat in tegenstrijd is met het gewenste effect. Enkel in heel grote gebieden waar voldoende aaneengesloten areaal van bossen is, kan dit daarom verantwoord worden. In de Vlaamse context waar bossen al klein en versnipperd zijn, kan men zich de vraag stellen of het aanleggen van een brandgang opweegt tegen het verstoren van het microklimaat. Waar een brandgang of brandweg toch noodzakelijk blijft kunnen de negatieve effecten van een brandgang op het microklimaat tegen gegaan worden door bijvoorbeeld een dichte bosrand aan te leggen.

Compartimentering verdeelt verder het gebied in zones. Voor veel bossoorten zijn deze scheidingen overbrugbaar, maar het bemoeilijkt de verbreiding toch. Voor soorten van open natuur kunnen ze net verbindend werken. Bovendien zijn ze – in het geval van brandwegen en brandgangen – duur in aanleg en in onderhoud. Tot slot verhogen brandwegen en -gangen de toegankelijkheid van gebieden waardoor kwetsbare zones eventueel door recreanten kunnen bereikt worden en ook het risico op het ontstaan van een brand langs die wegen verhoogt.

Een laatste vorm van firebreaks zijn **brandremmende zones of lijnen** die van nature meer brandwerend zijn of die door aangepast beheer die functie kunnen vervullen. Bij de aanleg van brandgangen en brandwegen wordt best zo veel mogelijk synergie gezocht met deze zones/lijnen (De Blust & Laurijssens, 2014).

Van nature brandremmende elementen zijn (De Blust & Laurijssens, 2014):

- Landduinenzones met een hoog aandeel open zand en schrale pioniervegetaties.
- Vennen, rivieren, beken en andere waterelementen. Deze gebieden bieden eveneens een vluchtoord voor fauna en mensen bij het uitbreken van een natuurbrand. Tijdens de

natuurbrand van 2021 in het Groot Schietveld in Brecht hielden antitankgrachten op sommige plaatsen bijvoorbeeld het vuur tegen.

- Weiden en akkers in het landschap daar er weinig dood materiaal op staat.

Daarenboven kunnen bepaalde stroken zo beheerd worden dat ze brandremmend werken:

- Een loofhoutsingel rondom een brandbaar gebied zoals een monocultuur naaldhout aanleggen. Loofhout is immers meer brandwerend dan naaldhout. Het aanleggen van een monocultuur naaldhout strookt echter niet met klimaatadaptief natuurbeheer. Wel kan in bestaande naaldbossen aan de rand het aandeel naaldhout verminderd worden zodat enkel loofhout overblijft (en maximum 10% naaldhout (De Blust & Laurijssens, 2014)). Zo'n loofhoutsingel is best breed (minimaal 50m (De Blust & Laurijssens, 2014)). Zo'n zone moet echte voldoende dicht blijven om ondergroei van pijpenstro te beletten.
- Bovendien kan in bepaalde zones het fijn takhout (diameter < 7 cm) verwijderd worden zodat een lopend vuur door een bos gestopt wordt op die plaatsen. Daarnaast worden vegetatieladders grondvuur naar kroonvuur kan overgaan vermeden (zie verder).

Hoe breed een firebreak moet zijn, is moeilijk te zeggen en hangt van verschillende factoren af zoals de vegetatie, de weersgesteldheid, het reliëf en de omvang van de brand zelf. De zone moet breed genoeg zijn om de verbreiding van brand te voorkomen of te remmen, maar mag niet dermate breed zijn dat ze het landschap en het microklimaat ernstig verstoort. Brandwegen en brandgangen kunnen ook gebruikt worden voor brandbestrijding. Daarvoor moet de zone voldoende breed zijn, zodat de brandweer er zich veilig kan opstellen voor de bestrijding van een vuurfront. Voor een veilige opstelling in lage vegetaties moet de afstand tussen de brandweer en het vuur minstens 4-maal de vlamhoogte zijn. Als we veronderstellen dat een vlam maximaal dubbel zo hoog kan worden als de vegetatie, wordt dit 8-maal de vegetatiehoogte als veilige afstand (De Blust & Laurijssens, 2014). In de Amerikaanse en Mediterrane literatuur is hier veel over geschreven.

Zorg voor een goede ontsluiting van het gebied voor hulpdiensten

Bij het uitbreken van een brand is het belangrijk dat hulpdiensten en hun voertuigen vlot tot de locatie van de brand kunnen geraken. Een goed uitgewerkt en gedocumenteerd (brand)wegennet is daarbij essentieel. Maar ook brandgangen die voldoende breed en goed onderhouden zijn, kunnen helpen voor de bereikbaarheid.

Vragen die daarbij moeten gesteld worden zijn:

- Tot waar is de toegang voor een standaard en zware pompwag van de dichtstbijzijnde brandweerpost gegarandeerd?
- Liggen er vandaaruit (half-)verharde wegen tot verschillende zones in het gebied?

Een mogelijke indeling van type wegen vinden we in (De Blust & Laurijssens, 2014):

Tabel 6. Overzicht van verschillende types brandwegen en hun kenmerken. Bron: (De Blust & Laurijssens, 2014)

Kenmerken	Brandweg cat 1	Brandweg cat 2	Brandgang
Berijdbaarheid	altijd vlot berijdbaar, ook voor reguliere voertuigen (2x4)	meestal vlot berijdbaar voor 4x4 voertuig	berijdbaar voor 4x4 voertuig, na verkenning
Draagvermogen	19 T (26 T na verkenning)	14 T (19 T na verkenning)	14 T na verkenning
Toegankelijkheid	geschikt voor patrouille	geschikt voor patrouille	enkel in noodsituatie
Maximale helling	20%	10%	10%
Andere	niet doodlopend	niet doodlopend	kan doodlopen

Als beheerder denk je hierbij best ook aan een integratie van dit wegennetwerk met het netwerk van beheerwegen (zoals uitsleeppistes). Een goed uitgedacht wegennetwerk zorgt voor minder overlast en druk op de natuur.

Naast het voorzien van een voldoende groot en goed wegennetwerk, moeten de hulpdiensten hier natuurlijk ook toegang toe hebben. Hierboven beschreven we reeds hoe dit kan aan de hand van een brandactieplan en voldoende gedetailleerde kaarten.

Tenslotte moet een beheerder ook zorgen dat baren vlot door de hulpdiensten te openen zijn. Daarbij is het belangrijk dat de hulpdiensten van een sleutel voorzien zijn, maar ook dat alle sloten gelijk en gemakkelijk te openen zijn.

Voorzie voldoende bluswater in en rond het gebied

In het verleden is gebleken dat de waterbeschikbaarheid vaak een knelpunt vormt in het blussen van natuurbranden. Nochtans is de aanwezigheid van voldoende water cruciaal. Zeker in de beginfase van de brand kan dit een escalatie helpen voorkomen (De Blust & Laurijssens, 2014). Hierover nadenken is bijgevolg sterk aangeraden.

Bij voorkeur wordt dit van buiten het gebied opgepompt uit bewoond gebied waar de nodige infrastructuur aanwezig. Tijdens droge periodes is de hoeveelheid grondwater namelijk als sterk verminderd en het plots oppompen van duizenden liters zou voor felle schommelingen en extra verdroging zorgen in het gebied. Bovendien vergt dit minder noodzaak aan infrastructuur in het gebied wat de kost voor de aanleg en het onderhoud vermindert. Het nadeel is echter dat dit extern water aangerijkt kan zijn met nutriënten.

In sommige gevallen is dit echter niet mogelijk en moet voldoende water in het gebied kunnen opgepompt worden. De natuurlijke voorraden zoals vennen, poelen, beken etc. worden hiervoor beter niet gebruikt. Er zou in die waterelementen namelijk een permanente operationele pompput en bevoorradingsplaats moeten geïnstalleerd worden wat op zich al voor ene grote verstoring zou zorgen en bij gebruik zou de sterke, plotse daling van de waterstand voor ongewenste effecten op de levensgemeenschappen kunnen zorgen (De Blust & Laurijssens, 2014).

De voorkeur ligt bij de aanleg van regenwaterputten, pompputten of blusvijvers. Blusvijvers zijn vijvers die vanuit dat oogpunt zijn aangelegd, maar bij een natuurbrand kan de blusvijver ook dienst doen als toevluchtoord voor bezoekers en bepaalde dieren. Ook buiten brandevents, kan de blusvijver een ecologische waarde hebben al moet opgelet worden om geen ecologische val te creëren.

De watervoorraden moeten minstens aan enkele vereisten voldoen (De Blust & Laurijssens, 2014):

- De reservoirs hebben minstens een capaciteit van 60 m³ (60.000 L). Dit komt overeen met een uur blussen aan een debiet van 1000 L/min.
- Bij voorkeur worden de voorzieningen automatisch gevuld met neerslagwater. Indien nodig kunnen ze ook kunstmatig (bij)gevoerd worden.
- De reservoirs worden bij voorkeur ondergronds aangelegd om de natuur- en landschapswaarden niet te verstoren.

- De bluswatervoorzieningen worden aangelegd op goed toegankelijke plaatsen met voldoende manoeuvreerruimte en uitwijkmogelijkheden. Kruispunten van goed berijdbare wegen zijn hiervoor aangewezen.
- De reservoirs liggen best op een beperkte afstand van elkaar. De maximale afstand tussen de bluswatervoorzieningen bedraagt bij voorkeur maximum 1km.

Bij het inplannen van dergelijke waterpunten moet steeds de totale ecologische en landschappelijke impact in rekening gebracht worden en worden vergeleken met andere mogelijke oplossingen zoals het verhogen van het aantal bosbrandweerwagens (De Blust & Laurijssens, 2014).

Zet een netwerk op met duidelijke coördinatiepunten

In brandgevoelige gebieden wordt best een netwerk van coördinatiepunten opgesteld. In verschillende Limburgse bos- en natuurgebieden is dit reeds het geval: <https://www.crisis-limburg.be/reddingspunten> (Figuur 35). Alle paaltjes van de fiets- en menroutes zijn daar uitgerust met Lambert-coördinaten. Verder zijn ook aparte palen opgesteld met de coördinaten van die locatie en het internationale noodnummer op.

Deze zaken hebben twee doelen. Enerzijds zorgt het voor een gemakkelijkere lokalisering van mensen in nood tijdens een brand of een ander ongeval. Anderzijds bieden zij een goed instrument om de specifieke locatie van een brand sneller te bepalen en communiceren. Waardoor sneller en gericht kan worden opgetreden.

Plaats brandtorens of voorzie een ander monitoringssysteem

In verschillende Vlaamse bossen staan brandtorens opgesteld die bemand worden in hoge risicoperiodes. Door het relatief vlakke terrein in Vlaanderen, hebben deze brandtorens een ver overzicht en kunnen branden snel gespot worden. Nadelen van deze brandtorens is dat ze bemand moeten worden en dus kostelijk zijn en bovendien heb je in heuvelachtig gebied of gebieden met bossen waar het bereik minder ver is, meer torens nodig.

Binnen de openbare bossen van het ANB denkt men nu ook na over het inzetten van cameragestuurde monitorsystemen met artificiële intelligentie voor de detectie van natuurbranden. Dit kan aan de hand van drones of camerapalen.

Tenslotte kan ook gepleit worden voor het inzetten van de burgers. Onze natuurgebieden worden zeer druk bezocht. Een brand is bijgevolg snel opgemerkt. Als er voldoende bereik is in het natuurgebied, kunnen burgers de brand direct melden en kan zo de brand sneller gedetecteerd worden zonder veel mankracht. Het is echter gevaarlijk om dit als sluitende strategie te benutten.

Vermijd verdroging

Het watergehalte van de vegetatie ligt in droge perioden een stuk lager. Hoe droger de vegetatie en hoe meer dood plantenmateriaal aanwezig, hoe groter de brandbaarheid en ontwikkelde hitte. In



Figuur 35. Voorbeeld van een plakaat dat op een reddingspaal hangt. Op het plakaat is het noodnummer duidelijk te zien naast het identificatienummer en de coördinaten. Bron: <https://www.crisis-limburg.be/reddingspunten>

verdroogde gebieden kan de omvang en de ecologische schade die een natuurbrand aanricht bovendien ook groter zijn.

Om spontane branden maximaal te vermijden en de ecologische impact te verminderen, is hydrologisch herstel dus aangewezen. Uit de inventarisatie van de brandernst na de grote brand van 2011 op de Kalmthoutse Heide bleek duidelijk dat in natte en zelfs vochtige heidevegetaties de brand veel minder hevig was.

Menselijke verdroging moet dus zoveel mogelijk vermeden worden aangezien dit sterk negatieve gevolgen heeft voor tal van structuren en processen in natuurgebieden. Dit kan door het stoppen van wateronttrekking in de directe omgeving of door het blokkeren van drainagegrachten. Hou daarbij rekening met de andere principes ook.

Daarbovenop komt klimaatgerelateerde verdroging. Voor bossen beschrijven we mogelijkheden om deze verdroging tegen te gaan in het handvaten 'behoud en versterken bosmicroklimaat', 'verhogen vochtvasthoudend vermogen bosbodems', 'vertragen waterafvoer in bossen'.

Een goede waterhuishouding is dus 3 vliegen in één klap: brandpreventie, natuurherstel en klimaatadaptatie.

Verminder de hoeveelheid brandbaar materiaal

Verder zijn er verschillende maatregelen te nemen om de brandbare vegetatie om te zetten, naar een minder brandbare vorm of het aandeel brandbaar materiaal te verminderen.

Door regelmatig natuurbeheer (plaggen, klepelen, maaien, chopperen, begrazen) op strategische plaatsen in het gebied kan de hoeveelheid brandbare biomassa (inclusief strooisel) worden verminderd op die plaatsen waar het risico het grootste is.

Verder kunnen beheerbranden het aandeel brandbaar materiaal verminderen in heide. In bossen kan je in bepaalde zones stapels dood tak- en tophout vermijden of vegetatieladders verwijderen om het risico op kroonbrand te verminderen. Tot slot kan men via beheer soorten met lagere ontbrandingssnelheid bevoordelen.

Ook hier wijzen we op het belang van locatiespecifiek te handelen. Door op gerichte plaatsen het hoeveelheid brandstof te verminderen, voorkomt men dat brandstof onafgebroken op grote oppervlakte voorkomt in het gebied en zo ook gigantische aaneengesloten branden kunnen ontstaan.

Preventieve begrazing

Inzet van begrazing met schapen of runderen op open of halfopen terreinen verhindert strooiselopbouw van bijvoorbeeld pijpenstrootje. Hierdoor vermindert het brandbaar materiaal en dus ook de brandgevoeligheid. Maaien is ten opzichte van begrazing een stuk arbeidsintensiever.

Voor concrete en technische info over begrazing in heide zie:
<https://www.ecopedia.be/encyclopedie/begrazing-de-heide>

Beheerbranden

Beheerbranden worden gebruikt om de heide te verjongen en horizontale en verticale structuurvariatie te brengen. Daarnaast wordt het risico op spontane branden verlaagd doordat het verbrande strooisel geen tweede keer in brand kan schieten. Verder is er een bufferend effect op de zuurtegraad van de bodem en kan het uitgevoerd worden op reliëfrijk terrein wat moeilijker gaat bij maaien. Tot slot blijkt het branden bijzonder geschikt voor thermofiele invertebraten. De impact en bedoeling van een beheerbrand is niet te vergelijken met een spontane brand. Doordat beheerbranden in de winter worden uitgevoerd – wanneer de bodem en het strooisel voldoende vochtig zijn –, kleinschalig (0,5 - 2 hectare) zijn en slechts oppervlakkig de vegetatie afbranden, is er geen negatieve impact op de heide. De regeneratie verloopt daardoor vlot.

Voor technische uitleg bij beheerbranden in heide zie: <https://www.ecopedia.be/encyclopedie/brandbeheer-de-heide> (De Blust & Laurijssens, 2014).

In de Vlaamse bossen wordt tot op heden niet preventief gebrand. In de VS en Canada wordt dit wel gedaan, maar daar is dit iets wat vroeger van nature frequent voorkwam. Daardoor zijn de soorten er aangepast aan branden of zijn ze daar zelfs van afhankelijk. In onze regio's kwamen van nature geen heel grootschalige branden voor. Wel kenden we vroeger een traditie van verbranden van resthout in de bossen of het verbranden voor de productie van kool. Enkele paddenstoelen hebben zich hieraan aangepast en zijn nu enorm bedreigd (Arnolds & Veerkamp, 2008). (Arnolds & Veerkamp, 2008) pleiten dan ook voor het opnieuw gecontroleerd verbranden van resthout op sommige locaties om de soorten in stand te houden. Dit is echter een zeer kleinschalige ingreep in vergelijking met preventief branden van de kruid- en struiklagen in bossen. We kunnen vermoeden dat dit maatschappelijk veel tegenstand zal kennen en bovendien lijkt het niet wenselijk gezien er veel andere, minder ingrijpende zaken kunnen gebeuren ter preventie van brand.

Verminder vegetatieladders

Via verschillende vegetatielagen kan een laag vuur omhoog kruipen naar de kronen. Via deze zogeheten 'vegetatieladders' kan loopvuur snel escaleren naar kroonvuur. Het laddereffect vindt vooral plaats bij naalddhout in de onderetage, bij oplopende vegetatielagen van verdroogd loofhout (VBNE, n.d.-a) of door dood takhout dat nog aan de boom hangt. Vooral in de zones waar de kans op ontsteking het grootst is en in de randzones langs heide en graslanden zijn deze vegetatieladders te vermijden.

Een maatregel om dood takhout te verminderen, is het 'sleunen' van bossen waarbij alle bomen tot op een bepaalde hoogte systematisch worden opgesnoeid (uit mondelinge mededeling Wim Buysse).

Ook hoge stapels tak- en tophout die na exploitatie blijven liggen kunnen eveneens als vegetatieladder dienen. Ze vergroten de kans dat het vuur de boomkronen bereikt en zijn bovendien brandgevoeliger dan wanneer het hout verspreid ligt. Het verspreid neerleggen van tak- en tophout is aan te raden in opstanden waar brandpreventie een belangrijk aandachtspunt is (VBNE, n.d.-a).

Het verwijderen van vegetatieladders staat niet per se in contrast met het principe voor een sterkere verticale structuurvariatie. Het gaat vooral over het verwijderen van dood hout en naalddhout in verschillende lagen op strategische plaatsen. Een struiklaag uit levend loofhout heeft wel een

remmende werking op vuur. Bovendien wordt in bestanden met een diverse structuur en goed gebufferd microklimaat de windbeweging gereduceerd, waardoor potentieel minder verdroging plaatsvindt op en boven de bosbodem (VBNE, n.d.-a)

Desalniettemin is het aan te raden om bij deze maatregel te overleggen met brand- en natuurexperten. Het komt erop aan een evenwicht te vinden tussen brandpreventie enerzijds en klimaatadaptatie en natuurkwaliteit anderzijds.

Verhoog het aandeel liggend, dikker dood hout

Dood hout zorgt voor toename van organische verbindingen in de bodem en is rijk aan kationen, die bufferend werken tegen resp. verdroging en verzuring. Dood hout heeft verder een sterke ecologische meerwaarde (zie stap 1). Dood hout dat niet in contact staat met de bodem of dood hout met een dunne diameter kan echter snel uitdrogen waardoor het potentieel het brandgevaar verhoogt.

Liggend dood stamhout is vochtig, waardoor dit minder snel verbrandt. Ook dikker droog hout droogt minder snel uit.

De diameter van het dode plantenmateriaal bepaalt namelijk mede het vochtgehalte ervan en de snelheid waarmee dat in evenwicht komt met het vochtgehalte van de omgeving (De Blust & Laurijssens, 2014).

Vorm om naar een voldoende hoog aandeel loofhout

Door naaldbossen om te vormen naar gemengde of loofbossen kun je het brandrisico verminderen. De bladeren van loofbomen hebben een hoger vochtgehalte. Bovendien bevatten loofbomen minder ontvlambare harsen. Bijgevolg zijn loofbomen minder brandgevoelig dan naaldbomen.

Een precies percentage naaldbomen vs. loofbomen wordt niet in de literatuur beschreven, maar men zou kunnen beredeneren dat men best tussen verschillende naaldbomen steeds voor een buffer van loofbomen zorgt zodat ze elkaar niet kunnen aansteken.

Daar het niet mogelijk is de hoofdetage onmiddellijk om te vormen is dit een maatregel die op lange termijn geldt. In bosranden kan je op korte termijn wel een hoog aandeel loofhout bevorderen door frequenter naalddhout te dunnen en loofhout aan te planten.

Berk, zomereik en tamme kastanje worden gezien als brandremmende soorten onder de bomen. In de struiklaag zijn krent en vuilboom brandremmende soorten (VBNE, n.d.-a).

Stap 5: Monitor effectiviteit

Eens klimaatadaptieve maatregelen geïmplementeerd zijn, is het belangrijk om je af te vragen of je op de goede weg bent. De laatste stap 5 in de adaptieve beheercyclus is daarom het monitoren of opvolgen van de resultaten.

Door de resultaten op te volgen en deze vervolgens te evalueren t.o.v. de geformuleerde doelen, krijg je een beeld van wat werkt en wat niet en in welke omstandigheden de maatregelen al dan niet effectief zijn. Zo kan je de aanpak bijsturen waar nodig om de vooropgestelde doelen te bereiken. Daarnaast zorgt dit voor een betere onderbouwing van toekomstige beslissingen. Monitoring draagt uiteindelijk ook bij aan het komen tot goed geïnformeerde beleidsbeslissingen aangezien de resultaten van een monitoring kunnen helpen bij het opstellen of aanpassen van beleidsplannen of wanneer er om verantwoording van de maatregelen of financiële keuzes wordt gevraagd (Van de Sandt, 2013). Als we deze informatie verzamelen en beschikbaar maken, kunnen we leren van elkaars fouten en successen.

Binnen het boslandschap is het noodzakelijk om op grotere tijdschalen te denken. De gevolgen van sommige beheeringrepen zijn pas na 100 (of meer) jaar te zien. Tegen dan zal het klimaat al grondig verschillen van het huidige. Het is dus een uitdaging om bij het beheer van bossen met die lange ontwikkelingstermijn rekening te houden. Onderzoek toont aan dat we als mens slechts maximum 5 jaar zinvol in de toekomst kunnen plannen en ons geen concrete voorstelling kunnen maken bij de impact van onze beheermaatregelen als dit meer dan ongeveer 15 jaar in de toekomst ligt (Hoogstra, 2008).

Moderne vormen van bosbeheer hebben daarom best altijd bosbehoud als primaire beheerdoelstelling (Van Miegroet, 1994) waarbij zoveel mogelijk wordt vertrokken vanuit de huidige uitgangstoestand en geen bruuske ingrepen zoals kaalslag of ontbossing. Via het inzetten op het kleinschalig toepassen van beheermaatregelen zodanig dat als gaandeweg blijkt dat iets niet werkt, er zonder veel verlies een andere piste kan ingeslagen worden op basis van de dan geldende kennis. Dit terugvalsscenario zorgt voor een risicospreiding. Monitoring en evaluatie ook van ook dergelijke beheermaatregelen is cruciaal binnen het boslandschap: continu monitoren laat ons toe om rekening te houden met de onzekerheden die gepaard gaan met klimaatverandering. Als blijkt dat bepaalde klimaatvoorspellingen anders uitdraaien, kan de beheerstrategie herzien worden indien nodig.

De monitoring en evaluatie is de beginstap voor een nieuwe beheercyclus. Klimaatverandering is een complex en langdurig proces. Daardoor is het nodig om monitoring en evaluatie ook als een continu en flexibel proces te zien.

Suggesties voor verdere ontwikkelingen, onderzoek en beleid

Dit rapport baseerde zich op de huidige kennis en stand van zaken. De onzekerheid in de klimaatverandering, het klimaatbeleid, het natuurbeleid en de sociale druk op de natuur zorgen er echter voor dat de bevindingen van dit rapport ook onderhevig zijn aan veranderingen. Het is daarom cruciaal om de resultaten van het rapport en de verschillende producten die uit dit project vloeiden, *up to date* te houden.

- De technische fiches en handvaten voor de beheerder worden best aangepast en uitgebreid wanneer nieuwe kennis beschikbaar is.
- De maatregelendatabank geeft een overzicht van een set aan klimaatadaptieve beheermaatregelen. Naargelang meer praktijkkennis en onderzoeksresultaten over hun effectiviteit voor handen is, kan deze aangepast of verder aangevuld worden.
- De scoring van de veerkrachtcriteria baseert zich op de drempelwaarden zoals die vandaag afgesproken werden. In een veranderend klimaat zullen de grenswaarden voor stikstof, oppervlaktes, de lijst van invasieven enzoverder wellicht worden bijgesteld. Ook kunnen nieuw beschikbare kaarten gebruikt worden als hulpbronnen voor het scoren.

Het schrijven van een rapport en het voorzien van de tools is een eerste stap, maar dit is onvoldoende om de kennis en inzichten ook in de praktijk om te zetten. Het gebruik van de producten en het uiteindelijke doel om onze natuur klimaatbestendig te maken, kan dan ook gestimuleerd worden door in te zetten op:

- De toegankelijkheid van de producten;
- Het verhogen van de kennis en ondersteuning van de beheerders;
- Blijvend en verhoogd inzetten op beleidsniveau en processen die de beheerder overstijgen.

De toegankelijkheid kan worden verhoogd door:

- De scoretool grafisch aantrekkelijker en eenvoudiger te maken. Wij dachten zelf aan de mogelijkheid om de tool al automatisch gedeeltelijk te laten invullen tot een bepaald niveau naargelang de ligging, waardoor de drempel voor invullen van de overige criteria kleiner wordt.
- De scoretool als een GIS-oefening op schaalniveau Vlaanderen toe te passen. Zo ziet een beheerder automatisch welke kwadranten in zijn gebied voorkomen en kan hij onmiddellijk op beheermaatregelen focussen.
- De beheermaatregelentabel om te zetten in een Accesdatabank of een grafisch aantrekkelijke applicatie om te communiceren/implementeren

De kennis en ondersteuning van beheerders moet verhoogd worden. We merkten immers tijdens de verschillende workshops dat de beheerders overweldigd werden door de benodigde kennis die nodig is om de gebiedsanalyse uit te voeren, en moeite hebben om de problematiek in al zijn facetten te beschouwen:

- Men heeft graag een expert erbij voor advies. Zelfs als de beheerder zou beschikken over de nodige kennis, vergt het uitwerken van een klimaatadaptief beheer de nodige inspanning die overigens gebiedsspecifiek is. De beheerders gaven aan dat zij hier noch de tijd voor hebben, nog de kennis. Daarom raden wij aan om experten op te leiden die de beheerders kunnen

begeleiden in het implementeren van deze tool en de beheermaatregelen waardoor een grote last van de schouders van de beheerders wordt gehaald.

- Zet verder in op kennisopbouw bij de beheerders. Uit onze bevraging blijkt dat de meeste beheerders het meeste leren van mond-aan-mond informatieoverdracht of via laagdrempelige artikels. Instanties zoals Inverde en de kennisdelingwebsite Ecopedia zijn daarom cruciaal voor het brengen van onze producten tot de beheerder.

Beheermaatregelen kunnen ingezet worden op verschillende schaalniveau's. Enerzijds kunnen beheermaatregelen gekoppeld worden aan een bestand of beheereenheid. Anderzijds is het in veel gevallen nodig om ook op gebiedsniveau een aantal generieke beheermaatregelen af te spreken zoals bijvoorbeeld een begrazingsplan (begrazingsdruk, -periode, type begrazing, doelen van de begrazing zoals opslag of vergrassing tegen gaan) of hydrologisch herstelplan. Ook op ecotoop- en soortniveau kunnen bepaalde beheermaatregelen relevant zijn: het beheer van relictpopulaties, het beheer van specifieke soorten die in het terrein verschijnen, het bestrijden van exoten of beheer van aanplanten.

Specifiek voor het boslandschap zijn studies rond de volgende topics voor de Vlaamse context zeer welkom om onze inzichten rond klimaatadaptief bosbeheer nog te versterken:

- Bosmicroklimaat vs. intensiever dunnen;
- Invloed inbreng rijkstrooiselsoorten op vochtvasthoudend vermogen bosbodem;
- Invloed gebruik mulch en steenmeel op plantsucces en omgeving;
- Lange termijn effecten van steenmeel;
- Welke herkomsten en klimaatrobuuste soorten zijn geschikt voor Vlaanderen? Verder onderzoek dat voor de voornaamste boomsoorten in Vlaanderen de klimaatenveloppes van de soorten spiegelt aan de verwachte klimaatcondities voor de komende eeuw, blijft zeer belangrijk.

Tot slot willen we met drang wijzen op de rol van het beleid en alle niveaus boven de individuele beheerders. We pleiten er voor het beleid en de wetgeving meer dynamisch te maken; adaptief aan steeds wijzigende milieudrukken en klimaat. Zo bekijkt men best eens in hoeverre de huidige subsidiewetgeving het toepassen van klimaatadaptieve maatregelen (al dan niet in experimentele vorm) toelaat.

Doorheen ons rapport blijkt dat de invloed van de beheerder slechts reikt tot een bepaalde hoogte. Andere grote en belangrijke maatregelen zoals het vergroten en verbinden van gebieden en de hydrologie in het landschap beheersen spelen zich op groter landschapsniveau af en stijgen het petje van een beheerder te boven. Het is daarom van belang om niet alleen in te zetten op de beheerder, maar vooral en blijvend in te zetten op het beleid en alle niveaus daartussen.

Casussen boslandschap

Om de link te maken tussen de praktische uitvoering en het theoretische luik van dit onderzoek, wordt elke stap toegepast op één of meerdere studiegebieden. Zo wordt het belang van elke stap geconcretiseerd. Deze duiding dient ter ondersteuning van de uiteindelijke gebruikers van het onderzoek.

Gezien de grote diversiteit binnen het boslandschap werden twee studiegebieden geselecteerd, die grotendeels complementair zijn aan elkaar. Het Aelmoeseneiebos, gelegen in de Oost-Vlaamse zandleemstreek, vertegenwoordigt de oudere bossen op een rijke bodem. Hoewel deze niet veelvoorkomend zijn in Vlaanderen, is de situering in een versnipperd landschap wel meer kenmerkend. Aan het andere uiterste bestuderen we het domeinbos Ophovenderheide, gelegen op de drogere zandgronden van de Limburgse Kempen. Dit gebied ligt in een bosrijkere regio en wordt gekenmerkt door de aanplantingen van naalddhout.

Ophovenderheide

Algemene info

Situering

Het domeinbos Ophovenderheide is een natuurgebied van 550 ha gelegen in de Kempen. Het bestaat uit een complex van dennenbossen, jonge loofbossen, landduinen, vennen, droge, natte en schrale heide (Agentschap voor Natuur en Bos, n.d.-b). Het grootste deel is erkend als Europese topnatuur.

Het vormt een deel van de Duinengordel (3000 ha) dat op zich weer een deel is van het Nationaal Park De Hoge Kempen (sinds 2020). Daarmee is het een sterk toeristische trekpleister waar wandelaar, fietsers en paardrijders terecht kunnen.

Eigendom en beheer

De gemeenten Meeuwen-Gruitrode, Opglabbeek, Bree en Maaseik en het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) werken samen binnen het project 'Duinengordel'. Daarbij werd een structuurvisie opgesteld. Vooralsnog bestaat er echter geen beheerplan voor de Ophovenderheide.

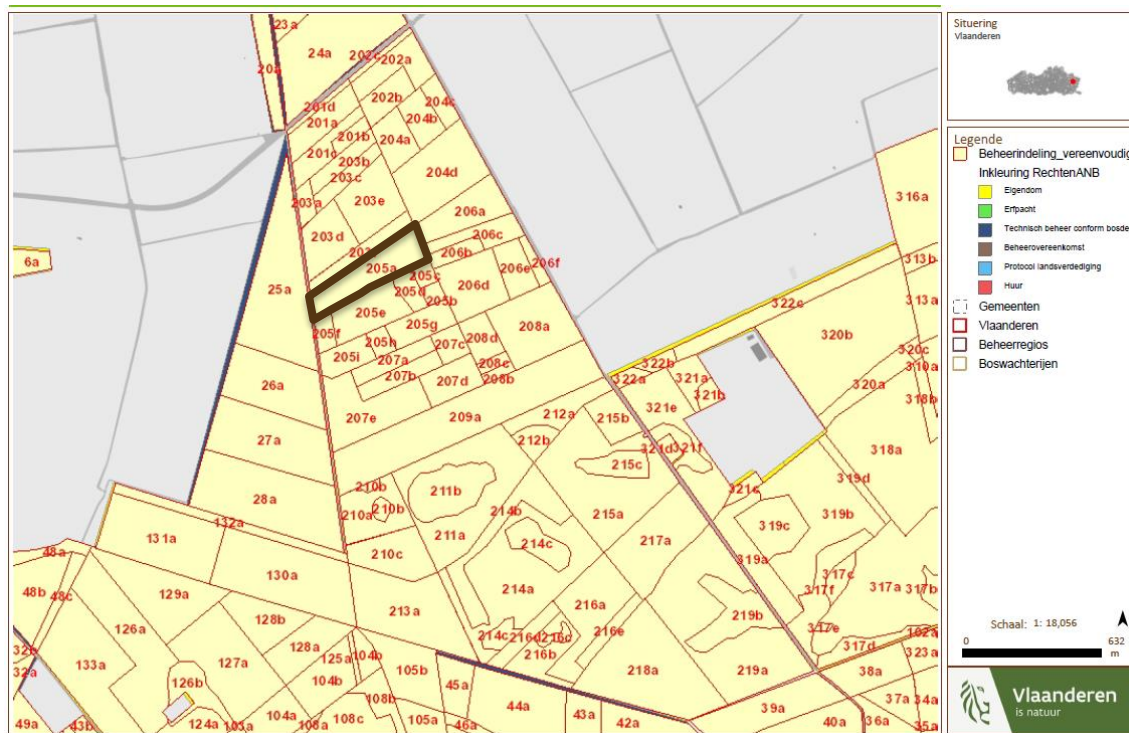
Het beheer bestaat voornamelijk uit het omvormen van de monocultuur dennenbossen naar gemengde bossen en het openhouden van de heide en grasland.

Het domeinbos Ophovenderheide bestaat uit vier bosplaatsen:

- Donderslag
- Grote heide
- Ophovenderheide
- Het Laer

Karel Flipkens is de hoofdbeheerder van het gebied in beheer van het ANB.

Toelichting bij het bestand



Figuur 36 bestandenkaart van domeinbos ophovenderheide met focus op bosplaats 'Ophovenderheide' (percelen vanaf 200). Op de kaart is het beschouwde bestand bruin omkaderd. bron: Karel Flipkens, 2021

Binnen dit bos beschouwen we het bestand 205a. In dit bestand zien we een deel van de grove dennen en oude berken in de randen van het bos afsterven. Er zitten overigens weinig naalden aan oudere Corsicaanse dennen in het bestand. Een ander fijnsparbestand in het bos werd volledig aangetast door letterzetter. Voorlopig zijn op de dennen in dit bestand nog geen sporen daarvan te vinden.

Het bestand heeft een oppervlakte van ongeveer 3 ha. Met *Pinus corsicana* en *Pinus sylvestris* in de hoofdetage. Het bestand werd aangeplant in 1948. De oudste bomen zijn dus 73 jaar oud.

Op de tweede versie van het BWK wordt het bestand als ppmb (En bestand met grove den in de met een ondergroei van struiken en jonge bomen) + ppmb/qb (staat voor een naaldbos van grove den met een ondergroei die als (jong) loofbos van het type qb kan beschouwd worden) gespecificeerd (Figuur 37) en als een complex bestand van biologisch waardevolle en biologische zeer waardevolle elementen.



Figuur 37 BWK-kaart met focus op bestand 205a binnen Ophovenderheide. Dit bestand wordt al *ppmb + ppmb/qb* geklasseerd. Bron: Geopunt.

Identificeren adaptatiestrategie

De scores en verantwoordingen zijn ook nog eens te vinden in Bijlage 5.

Bepalen van het Europees habitattypes

Het bestand ligt net buiten de habitatrichtlijnzone van de Duinengordel. Bovendien werd geen habitatwaardig ecosysteem vastgesteld. Desalniettemin kunnen we een inschatting maken van het habitattype dat bij deze standplaats past. Op basis van de Potentieel Natuurlijke Vegetatiekaart (PNV), zien we dat dit een arm Eiken-Beukenbos of een Eikenbos (droge variant) kan zijn. Dit komt ongeveer overeen met het 'Eiken-Beukenbos op zure bodem (9120)' of het 'Oud Eiken-Berkenbos op zeer voedselarme zand (9190)'. Daar we weten dat het hier over een typische zandgrond uit de Kempen gaat kunnen we er van uitgaan dat het tweede habitattype (9190) het beste past bij deze standplaats.

Y-as: Criteria voor externe drukken

Fragmentatie

Oppervlakte bos [afh van Europees habitattype]

Actuele score: 1

Het minimum structuurareaal voor het habitattype 9190 is 50 ha. Er moet dus minstens 50 ha bos in de omgeving zijn om alle ontwikkelingsfases van het bos te herbergen. Dit is zeker het geval, aangezien het bestand omgeven is door nog eens 470 ha bos en de meeste bosbestanden omliggend aan dit bestand bevinden zich op een soortgelijke standplaats. Het bestand maakt dus deel uit van een bos met voldoende oppervlakte die toelaat dat alle ontwikkelingsfases aanwezig kunnen zijn.

Potentiële score: 1

Daar er geen aanwijzingen zijn dat er grootschalig zal worden ontbost in de omgeving in de toekomst, blijft deze score gelijk.

Netwerk en verbondenheid**Actuele score: 1**

Figuur 38 Links: Luchtfoto met focus op perceel 205a (bron: Geopunt). Rechts: Topografische kaart met omliggende landschap van perceel 205a. Bos wordt in het groen aangegeven (bron: Geopunt). Uit beide beelden valt af te leiden dat het bestand een goede verbinding kent met het omliggende landschap.

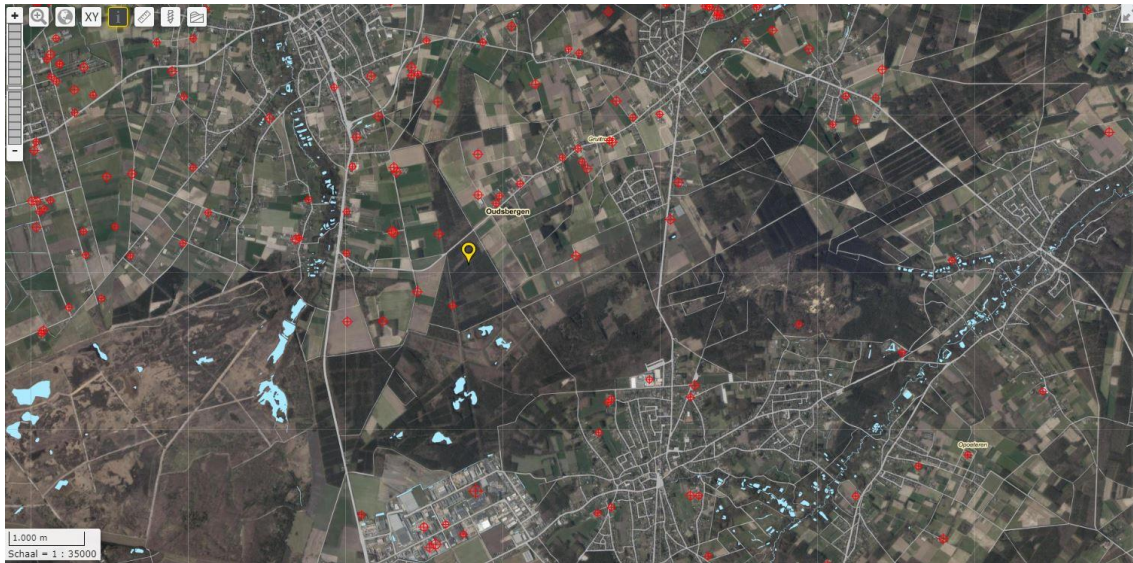
Het bestand ligt goed fysiek verbonden met de andere bestanden in het bos en ook meer landschappelijk is er een mooi aaneengesloten netwerk van bosbestanden (Figuur 38). Tussen de bossen ligt overigens vaak beschermde natuur.

Potentiële score: 1

Gezien het bos deel uitmaakt van de Duinengordel, zal de verbondenheid vermoedelijk alleen maar toenemen. We kozen dus als potentiële score 1.

Milieudruk**Verdroging****Actuele score: 2**

Er ligt een lagergelegen rivier in het N-O van het bestand waar het water vermoedelijk naar afvloeit. Dit kan tot een zekere droogte leiden in periodes van weinig regenval. Bovendien zien we rond het bestand verschillende kleinschalige grondwaterwinningspunten waar potentieel water kan worden onttrokken (Figuur 39). Uit veldbezoek bleek dit ook op verschillende plaatsen het geval te zijn. Er waren geen afwaterende grachten rond het bestand aanwezig.



Figuur 39 kaart met de waterwinningpunten in de omgeving van het bestand. bron: <https://www.dov.vlaanderen.be/portaal/?module=verkenner> (laatst geraadpleegd 31 mei 2021)

Potentiële score: 2

De enige maatregel die hierin kan genomen worden is het verminderen van de grondwateronttrekkingen in de omgeving. Dit is echter iets waar de beheerder weinig grip op heeft. Moesten er plannen zijn om de naburige gronden te kopen en een natuurbestemming te geven, kan deze druk natuurlijk wel verlaagd worden. Voorlopig zijn daar echter geen plannen over.

Vermesting & verzuring [afh van Europees habitatype]

Actuele score: 3

Qua vermestende depositie zien we op de VLOPS-kaart op Geopunt een waarde van ongeveer 26,8 kg N/ha/jaar, waar de maximum kritische waarde voor dit type habitat 20,2 kg N/ha/jaar bedraagt. We gaan hier dus van een score 3 uit.

Potentiële score: 3

Aan verzuring door stikstofdepositie kan een beheerder weinig rechtstreeks doen. Het enige wat kan gedaan worden is aan de alarmbel trekken bij het beleid en meedenken bij regionale gesprekken. Eventueel kan een dichte bosrand worden aangelegd om het inwaaien te beperken, maar een groot deel zal natuurlijk nog via neerslag binnenkomen.

Verontreiniging

Actuele score: 2

Ook hier zijn geen terreingegevens van bekend, maar de terreinbeheerder gaf aan dat in het verleden hier Roundup gebruikt is ter bestrijding van Amerikaanse vogelkers. We zien dit als een verontreiniging. De afbraaksnelheid van Glyfosaat is officieel 7 weken tot een half jaar, maar vermoedelijk wordt glyfosaat en zijn afbraakproducten door de fijnste bodemdeeltjes in hoge concentraties geadsorbeerd waardoor ze nog veel langer in de bodem te vinden zijn (Bergström et al., 2011).

Potentiële score: 2

Gezien we geen manier kennen om de glyfosaatconcentratie in de bodem te verlagen, houden we de score hier gelijk.

Recreatiedruk**Actuele score: 1**

Door de coronapandemie is het aantal recreanten toegenomen in de omgeving. Dit bestand ligt echter ver van de paden en de druk bleef dus beperkt. Er ligt enkel nog een ruiterspad ligt in de buurt, maar ruiters blijven meestal op het pad. Ook zal de recreatiedruk in de andere bestanden vermoedelijk weer afnemen eenmaal het normale leven terug op gang komt.

Potentiële score: 1

Er zijn geen plannen om meer paden rond het bestand aan te leggen. De recreatiedruk zal dus vermoedelijk niet direct toenemen.

Bodemverdichting**Actuele score: 1**

Voor bodemverdichting in dit bestand is er weinig gevaar. Sinds de aanplant in 1948 is er niet met zware moderne machines in het bestand gereden. Enkel dit jaar is er een deel van het bestand (40 are) gekapt in een groepenkap. Dit gebeurde echter met vaste ruimingspistes waardoor de verdichting beperkt bleef.

Potentiële score: 1

In het hele bestand werd een netwerk van exploitatiepaden uitgedacht. Voor toekomstige grootschalige bodemverdichting hoeft dus ook niet per se gevreesd te worden.

Biotische drukInvasieve soorten [afh van Europees habitatype]**Actuele score: 1**

Momenteel zijn er geen invasieve soorten vastgesteld in het bestand. In het verleden stond er Amerikaanse Vogelkers, maar dit werd bestreden met Roundup.

Potentiële score: 3

Door de beperkte soortensamenstelling en beperkte ondergroei, is de kans op een nieuwe invasieve soort zeer reëel. Amerikaanse vogelkers mag dan wel bestreden zijn in het bestand, het kan terug van buitenaf in het bestand komen.

Plagen & ziektes**Actuele score: 2**

Momenteel werd nog geen letterzetter in de corsicaanse dennen vastgesteld in het bestand. Er wordt wel een schimmelinfectie geconstateerd op enkele dennen in het bestand zelf en in de naburige bossen met oude *Pinus sylvestris* van de gemeente (Figuur 40). Het gaat hier waarschijnlijk om een staminfectie door de schimmel *Sphaeropsis sapinea*. Deze schimmel werd ook al in bestanden in de omgeving vastgesteld door (Roskams et al., 2018). Deze schimmel veroorzaakt sterke harsuitvloeï en

groeimisvormingen aan de stam van deze bomen. Door de verzwakking hierdoor optreedt worden gunstige voorwaarden gecreëerd voor verschillende zwakteparasieten, zoals dennenprachtkever (*Phaenops cyanea*) en zestand-dennenschorskever (*Ips sexdentatus*) of honingzwam en andere wortelparasieten.



Figuur 40 ziektebeelden van *Pinus Sylvestris* in het bestand. De kronen staan ijl bezet met naalden, er is harsuitvloeï bij sommige bomen en door de harsvloeï vindt er een assymmetrische groei plaats in de jaren daarop volgend ©BOS+ (foto's uit terreinbezoek).

Potentiële score: 3

De kans bestaat dat ziektes en plagen van naburige bestanden dit bestand bereiken in de toekomst. Door de beperkte soortensamenstelling in de hoofdetage is het gevaar van schade hiervoor ook groter.

X-as: Criteria voor ecosysteem-kwetsbaarheid

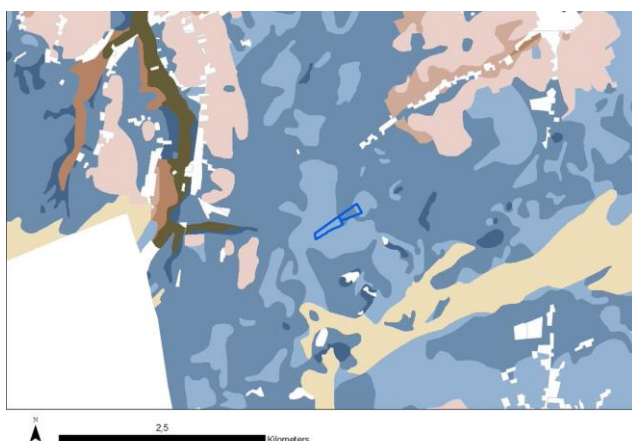
Omschrijving van kenmerken die de gevoeligheid van het ecosysteem voor klimaatverandering bepalen

Standplaats

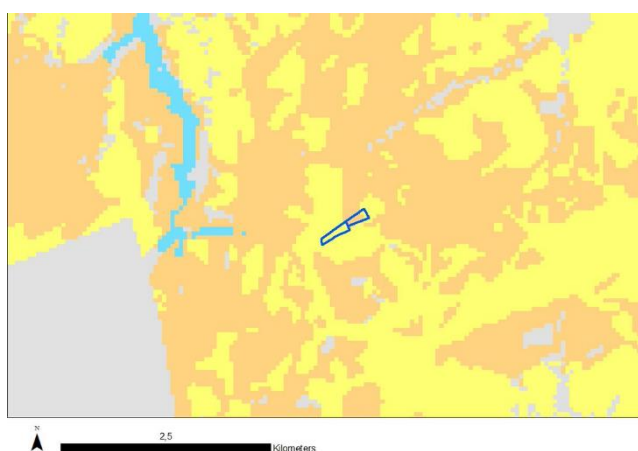
Droogtegevoeligheid bodem

Actuele score: 3

De bodemkaart toont aan dat het hier om het bodemtype 'droge lemig zandbodem met weinig duidelijke ijzer en/of humus B horizont' gaat (Figuur 42). Bijgevolg is dit een droogtegevoelige bodem (Figuur 41).



Figuur 42 Bodemkaart van Vlaanderen met focus op perceel 205a. De kaart geeft voor perceel 205a een 'droge lemig zandbodem met weinig duidelijke ijzer en/of humus B horizont' aan (bron: Geopunt).



Figuur 41 Droogtegevoeligheidskaart van Vlaanderen met focus op perceel 205a. De kaart geeft een droogtegevoelige bodem aan (bron: VMM)

Potentiële score: 3

Dit is een criterium waar amper op kan worden ingezet. Het gaat namelijk over de inherente droogtegevoeligheid. Eventueel kan bij de aanplant van nieuwe bomen ingezet worden op technieken om de droogtegevoeligheid te verminderen, maar dit werkt natuurlijk zeer lokaal.

Zuurtegraad en buffercapaciteit**Actuele score: 3**

Hier zijn voor dit bos/bestand geen terreingegevens van bekend. We kunnen hier dus niet met zekerheid een score op formuleren. Algemeen wordt er echter vanuit gegaan dat de meeste zandgronden in de Vlaamse Kempen sterk verzuurd zijn. We gaan hier dus van een score 3 uit.

Potentiële score: 2

Uit de maatregellentabel weten dat we de verzuring van de bodem kunnen verminderen door beheermaatregelen te nemen waarmee we binnen enkele jaren tijd al een verbetering kunnen zien. Een eerste stap zou dan zijn om echt terreingegevens te gaan verzamelen om te zien of we hier inderdaad een probleem in vaststellen.

Strooisel-/humuskwaliteit**Actuele score: 3**

De hoofdetage bestaat vooral uit dennen. Hierdoor is de humus eerder van het type 'moder'.

Potentiële score: 2

In de nevenetage staan wel al verschillende loofboomsoorten. Dit zal er op termijn voor zorgen dat een beter strooisel kan worden gevormd.

microklimaat**Actuele score: 3**

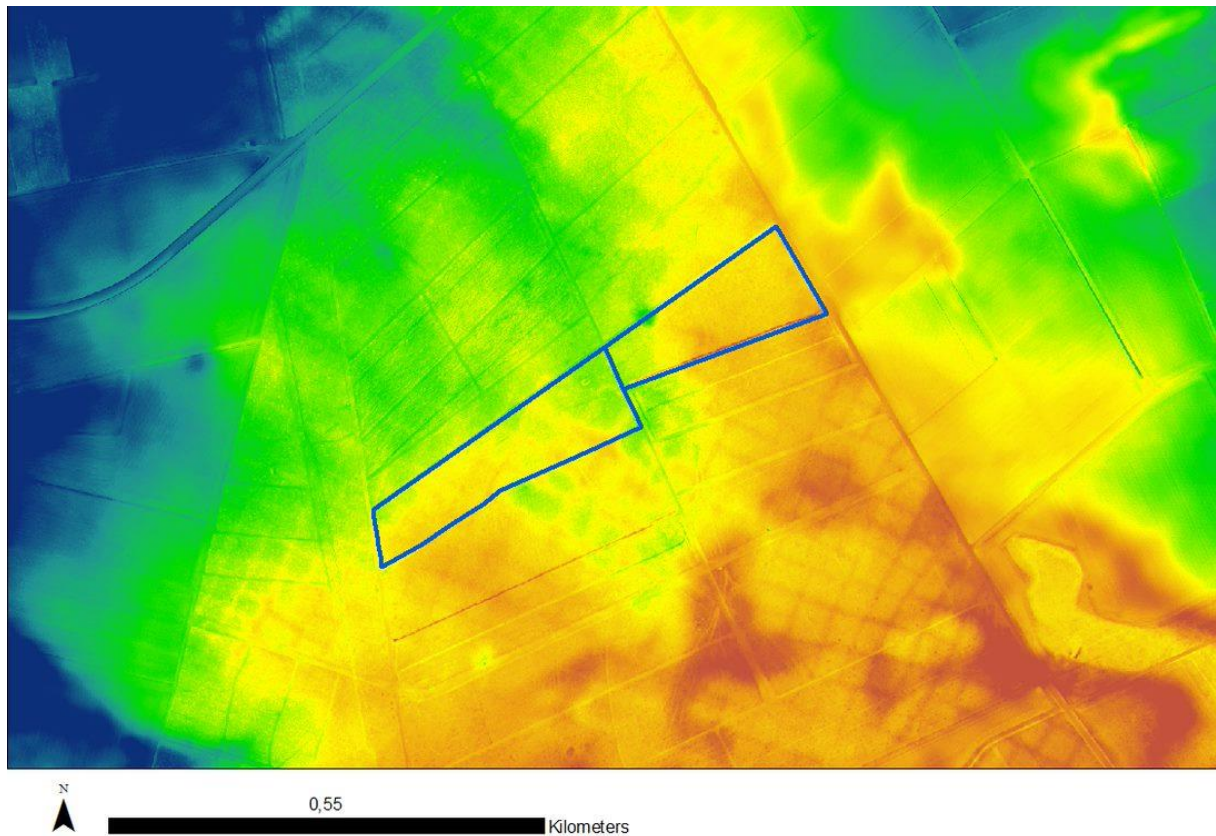
Het bestand heeft een zeer ijle kroonlaag waardoor veel licht op. Het bestand bevindt zich ook aan de rand van het bos en is er geen duidelijke bosrand aan het boscomplex.

Potentiële score: 2

Door de kronen meer in elkaar te laten groeien, en een bosrand aan te leggen aan de rand van het bos, kunnen hier zeker verbeteringen geboekt worden.

Macro- en microreliëfMicroreliëf**Actuele score: 1**

Op de kaart is te zien hoe binnen het perceel Celtic fields aanwezig zijn (Figuur 43). Deze zorgen voor kleine hellingen en bijgevolg een mooi microreliëf. De beschouwde zone vertoont dus een gunstig microreliëf. Ook op het terrein was een microreliëf vast te stellen.



Figuur 43 Digitaal terreinmodel met focus op perceel 205a. De kaart laat op deze locatie duidelijk het Celtic field patroon zien. Bovendien kan een helling naar het noorden afgeleid worden (bron: Geopunt).

Potentiële score: 1

Door de aanwezigheid van ruimingspistes is er minder gevaar voor het verdwijnen van dit zeldzame microreliëf.

Macroreliëf

Actuele score: 3

Op de hoogtekarte is te zien dat er een helling is richting de rivier (Figuur 43). De helling is echter zeer geleidelijk. Ook op het veld was amper sprake van een noemenswaardige helling (niet meer dan 2m over 100m).

Potentiële score: 3

Hier zien we geen verbetering mogelijk.

Abiotische gradiënten

Gradiënt in bodemvocht

Actuele score: 3

Door de beperkte macrohelling in het perceel zal er amper een vochtgradiënt aanwezig zijn.

Potentiële score: 3

We zien hier minder verbetermogelijkheden in. Tenzij er actief en grotere poelen worden gegraven, bijvoorbeeld.

Gradiënt in zuurtegraad**Actuele score: 3**

Hier zijn geen gegevens van bekend op dit terrein. Gezien de beperkte diversiteit in boomsoortensamenstelling kunnen we er wel van uitgaan dat er weinig variatie in zuurtegraad zal zijn vanuit het strooisel.

Potentiële score: 2

Indien de omvorming doorgaat en loofbomen met beter strooisel kunnen volwassen worden, kunnen hier wel gradiënten in ontstaan. Eventueel kan ook een gradiënt gecreëerd worden door te variëren in de hoeveelheid steenmeel die wordt toegevoegd.

Gradiënt in nutriënten**Actuele score: /**

Hier zijn geen effectieve terreingegevens van bekend. Dit vormt dus een kennislacune en laten we open.

Potentiële score: /

Hier zijn geen effectieve terreingegevens van bekend. Dit vormt dus een kennislacune en laten we open.

StructuurvariatieVariatie horizontale vegetatiestructuur**Actuele score: 3**

Op het terrein konden we constateren dat er weinig tot geen horizontale structuur was. Er was geen sterke menging van jonge en oude bomen. Bovendien waren de omgevende bestanden gelijkjarig en ongeveer allemaal van dezelfde leeftijd.

Potentiële score: 2

Door te verjongen en selectief te dunnen kan een betere horizontale structuur gecreëerd worden.

Variatie verticale vegetatiestructuur**Actuele score: 2**

Het bestand bestaat uit een hoofdetage van gelijkjarige naaldbomen. Er is wel een nevenetage van berk en zomereik. Ook staan hier en daar sporken en lijsterbes in de struiklaag. Er is geen kruidlaag en weinig verjonging. Aan de open rand van het bestand (waar een corridor is voor hoogspanning) is er nog geen bosrand.

Potentiële score: 1

Mits het doorzetten van het huidige beheer waarin langzaam wordt omgevormd naar een ongelijkjarig, ongelijkvormig bestand kan dit binnen de komende 24 jaar wel sterk verbeteren.

Biotische diversiteit

Soortendiversiteit hoofdetage

Actuele score: 3

De hoofdetage bestaat hoofdzakelijk uit *Pinus sylvestris*.

Potentiële score: 3

De nevenetage is nog te jong om al binnen de 24 jaar in de hoofdetage een verschil te maken.

Soortendiversiteit nevenetage

Actuele score: 2

De nevenetage bestaat uit berk en eik.

Potentiële score: 1

Over 24 jaar kan een nog meer gevarieerde nevenetage gevormd zijn als er nu wordt ingezet op verjonging met minstens 3 soorten.

Soortendiversiteit onderetage

Actuele score: /

Er is geen duidelijke onderetage aanwezig.

Potentiële score: 1

Op termijn kan ingezet worden op een diverse onderetage door geregeld enkele plekken te verjongen en een hoge soortendiversiteit te stimuleren in de verjonging door eventueel extra aan te planten.

Vegetatiegevoeligheid

Standplaatsgeschiktheid van de boomsoorten

Actuele score: 1

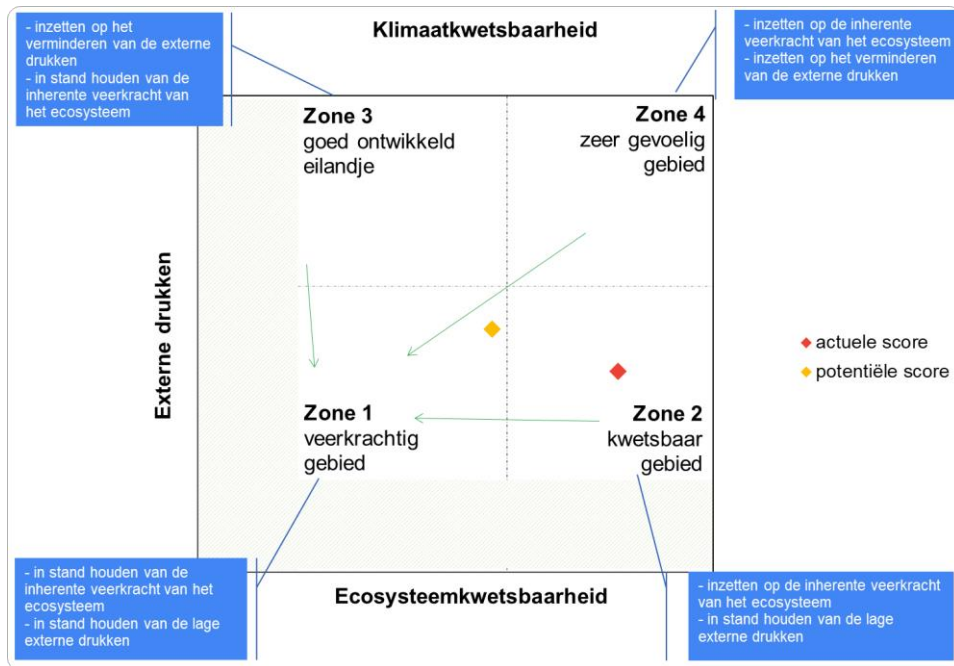
Alle boomsoorten (Grove den, Berk, Eik) in het bestand zijn standplaatsgeschikt voor droge zandgronden.

Potentiële score: 1

Geen enkele boom is bestand tegen heel lange periodes aan extreme droogte, maar de bomen die er naar inschatting het beste zullen kunnen reageren zijn die bomen die het best geschikt zijn voor die standplaats. In dit geval zijn dat ook de soorten die er nu groeien.

Overzicht

Uiteindelijk wordt een gemiddelde genomen voor alle scores in de x-as en alle scores in de y-as. Deze worden in een kwadrant uitgezet. Voor het bestand 205a ziet dit er als volgt uit:



	X-as	Y-as
score actueel	2,54	1,56
score potentieel	1,93	1,78

We zien dat het bestand **actueel in zone 2** ligt. De zone van de kwetsbare gebieden. Dit zijn gebieden die vooral slecht scoren op de inherente kwetsbaarheid en beter scoren op vlak van externe drukken. Daaruit volgt dan ook dat men in deze bestanden best prioritair kan inzetten op de inherente veerkracht van het ecosysteem te versterken en in tweede instantie pas op het verminderen van de externe drukken.

Potentieel belandt het gebied **in zone 1**. De zone van de veerkrachtige gebieden. Dit is een zone waar bestanden komen die weerbaarder zijn voor klimaatverandering. Waar zowel de externe drukken als de inherente klimaatkwetsbaarheid in gunstige staat zijn.

Interessant is dat het gebied op vlak van de y-score potentieel negatiever uitkomt dan actueel het geval is. Dit komt omdat op de meeste externe drukken waar dit bestand slecht op scoorde niet direct kan worden ingezet of er niet direct een verbetering in de toekomst te voorspellen is. Maar op de twee criteria onder biotische drukken schatten we dat de toestand hier wel sterk kan verslechteren in de toekomst.

Implementatie beheermaatregelen

Zoals gezegd komen er geen verbetermogelijkheden op de externe drukken uit de scoretabel. Aspecten waar dit bestand slecht op scoort zijn verdroging, vermessing & verzuring en verontreiniging. Tot slot scoort het ook slecht op biotische drukken (zie hierboven).

Uit de criteria op de X-as komen wel een aantal verbetermogelijkheden:

Pak volgende aspecten van ecosysteemkwetsbaarheid aan:
Zuurtegraad en buffercapaciteit
Strooisel-/humuskwaliteit
Microklimaat
Gradiënt in zuurtegraad
Variatie horizontale vegetatiestructuur
Variatie verticale vegetatiestructuur
Soortendiversiteit nevenetage

Andere criteria waar het bestand slecht op scoort zijn macroreliëf, gradiënt bodemvocht, soorten hoofdetage en droogtegevoeligheid bodem

A.d.h.v. deze criteria kan men nu nadenken wat hieraan kan gedaan worden in het bestand. In de maatregelentabel maakten we daarvoor een overzicht van maatregelen. Het is vervolgens aan de beheerder om uit de lijst van mogelijkheden voor de verschillende criteria die maatregelen te kiezen waar het meest mee bereikt wordt zodat de maatregelen kostenefficiënt kunnen worden genomen. Verder hangt de keuze natuurlijk ook af van tal van andere elementen.

Doen we dit voor het criterium microklimaat (gefilterd op maatregelen voor bossen) komen we aan volgende lijst:

Beheermaatregelen	Omschrijving maatregel	Waar meer info?
Randbeheer toepassen (vermijden van wind naar boskern, verdamping vermijden)	Randbeheer waarbij de randen worden 'dicht' gemaakt zal het bosmicroklimaat beschermen en toelaten drukken van buitenaf te bufferen. Zo zal er ook een verminderde stikstofdepositie zijn en zullen de temperatuurextremen beter gebufferd worden. Een goede bosrand bestaat uit een opgaande mantel en een zoom. De mantel is een struik- of hakhoutzone en de zoom een zone met ruigtekruiden.	Zie handvat 'behoud en versterken bosmicroklimaat'
Eindkap vermijden	Een eindkap is nadelig voor het bosklimaat. Net dat bosklimaat is erg belangrijk om onze bossen en de bomen in het bos te beschermen tegen de klimaatverandering. Een sterke eindkap heeft grote negatieve effecten op de fauna en flora.	Zie handvat 'behoud en versterken bosmicroklimaat'

Boomgericht bosbeheer (Plenterkap of uitkap en groepenkap)	Er zijn verschillende methodes om bos te kappen. Plenterkap is een vorm van individuele eindkap. Plenterkap lukt alleen met schaduwboomsoorten, deze bomen kunnen namelijk groeien met het kleine licht dat ze ontvangen na de plenterkap. Met deze methode verkrijgt men een erg gevarieerd bos die men kleinschalig toepast tot 0,3 ha. Vanaf er grotere groepen worden gekapt tussen 0,3 en 1 ha is er sprake van groepenkap. Bij groepenkap worden groepjes bomen of vlekken samengeveld. De ontstane open plekken zijn kleine verjongingseenheden, bomen van dezelfde leeftijd staan gegroepeerd. Bij deze methode wordt een mozaïekstructuur verkregen.	Zie handvat 'behoud en versterken bosmicroklimaat'
Sterke dunning vermijden	Sterke dunningen zijn nadelig voor het bosklimaat. Net dat bosklimaat is erg belangrijk om onze bossen en de bomen in het bos te beschermen tegen de klimaatverandering. Een sterke dunning heeft grote negatieve effecten op de fauna en flora.	Zie handvat 'behoud en versterken bosmicroklimaat'
Variabel dunnen	Bij deze dunningsmethode wordt er in een opstand niet gelijkmatig gedund maar wordt er gevarieerd in intensiteit van dunning. Met deze methode verkrijgen we een gevarieerde opstand zowel qua beeld (lichte, donkere gedeelten, verjongingsgroepen,...) als natuurwaarde (boomsoorten, leeftijd, ondergroei, fauna, etc.). Variabel dunnen heeft invloed op verschillende opstandskennmerken zoals: stamtalverdeling, diameterverdeling, boomsoortensamenstelling, lichtverdeling, hoogteverdeling, kroonverdeling, stamkwaliteit, verjonging, etc..	Zie handvat 'behoud en versterken bosmicroklimaat'
Houtkanten bomenrijen aanleggen/onderhouden	Houtkanten of bomenrijen zorgen voor structuurelementen die schaduw bieden. Ook de concentraties van organisch materiaal in de bodem zijn er vaak iets hoger. Vooral bij hittegolven zorgen deze structuurelementen voor plekken met een beter gebufferd microklimaat, zowel qua vocht als qua temperatuur.	Zie handvat 'Kleine Landschapselementen'
Microrelief aanbrengen/herstellen	Vooral bij hittegolven zorgt microreliëf voor een beter gebufferd microklimaat, zowel qua vocht als qua temperatuur.	Zie handvat 'vertragen waterafvoer in bossen'

De laatste twee maatregelen zijn in deze context niet van toepassing. De andere vijf maatregelen bieden wel waardevolle mogelijkheden om het microklimaat in het bos te versterken.

Aelmoeseneibos

Algemene info

Situering

Het Aelmoeseneibos is gelegen op de grens tussen de Oost-Vlaamse gemeenten Melle en Oosterzele, tussen de dorpen Gontrode, Gijzenzele en Landskouter. Landschappelijk situeert het zich ten zuiden van het verstedelijkte Gent en ten noorden van de Vlaamse Ardennen. Naast een spoorlijn, lopen er ook twee beken (Molenbeek en Bloedbeek) door het bos. (*bos onder de loep*)

Het bos zelf is relatief klein (28,5 ha), maar is dankzij enkele kleine landschappelijke elementen ecologisch verbonden met het Gentbos en de Makkegemse bossen ten westen van het Aelmoeseneibos. Andere grote gebieden zijn het Moortelbos en bosgebied Vurtzak, waar ecologische verbindingen moeilijker zijn vanwege lintbebouwing enerzijds en een kouter anderzijds. Binnen het landschapsproject Rodeland worden de verbindingen in het westen versterkt door uitbreiding van bos en kleine landschapselementen in de Driesbeek- en Molenbeekvalleien (*beheerplan*).

Evolutie land- en bosgebruik

Aan de hand van oude kaarten kon de bosevolutie van het bos achterhaald worden. Het grootste deel van het Aelmoeseneibos is al zeker sinds 1775 bos geweest en maakte deel uit van een groot bosgebied in het Zuiden van de gemeente Melle. Op die oude boskern na, werden voornamelijk in de 19e eeuw delen omgezet naar landbouwgrond. In 1867 werd bovendien een spoorlijn aangelegd, die het huidige bos in twee deelt. Tijdens de eerste wereldoorlog werd het bos bijna volledig kaalgekap door de Duitse bezetters. In 1920 werd dit echter weer heraangeplant. Tijdens de tweede wereldoorlog kaptten de Duitsers weer, voornamelijk eik en populier, die later vervangen werden door lorken en inlandse eiken. In de periode daarna werd heel weinig gekapt en telkens zonder zwaar materieel. Enkel brandhout werd uit het bos ontgonnen en manueel verwijderd. Enkele beuken overleefden de kappen tijdens de oorlogen en zijn al in het bos te vinden van voor 1914.

Een grotere kap was nodig in 1970 toen enkele eiken aangetast waren door honingzwam en vervangen werden door reuzenzilverspar en douglas (boek). In de jaren '60 en '70 werden enkele voormalige weilanden in de Molenbeekvallei bebost en ook enkele hakhoutpercelen werden toen omgevormd naar populierenbestanden. Ook is een arboretum aangeplant. Hoogdunningen werden in de vorige eeuw lang uitgesteld, tot de kroonvorming van zomereiken en verjonging in de oude boskern te noodzakelijk werden in de jaren '90. Intussen zijn enkele populierenaanplantingen alweer omgevormd naar inheems loofbos na kaalkap (*beheerplan*). Sinds 1968 wordt het bos ook gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek. Twee permanente studiezones werden eind jaren '80 afgebakend en later werd ook een wetenschappelijke zone met meettoren omheind.

Eigendom en beheer

Eeuwenlang was het Aelmoeseneibos en de omliggende gronden eigendom van de Gentse Sint-Baafsabdij tot ze aan het einde van de 18e eeuw werd overgedragen aan de Commissie van Openbare Onderstand, het voormalige OCMW van de stad Gent. In 1968 kocht het Ministerie van Nationale Opvoeding het grootste stuk van het bos aan, samen met enkele aanpalende weilanden. Deze werden ter beschikking gesteld aan de Faculteit van de Landbouwwetenschappen van de Rijksuniversiteit van Gent. De Leerstoel voor Algemene en Vergelijkende Bosbouw nam een deel van het beheer op zich en begon experimenten uit te voeren. Momenteel is de UGent nog steeds eigenaar van een deel van het

bos. Het Laboratorium voor Bosbouw heeft sinds 1970 haar kantoren er gebouwd en treedt nog steeds op als beheerder. Daarnaast blijft het Vlaamse Gewest, via het ANB, eigenaar over een ander deel, net als het OCMW van Gent. Houtvesterij Gent beheert deze stukken.
(beheerplan)

Toelichting bij de bestanden

Binnen dit bos beschouwen we twee bestanden voor deze casus: Het bestand 2H en het bestand 5J. Op onderstaande kaart ziet u de locatie van beide bestanden binnen het Aelmoeseneiebos (Figuur 44).



Figuur 44 Luchtfoto met het Aelmoeseneiebos. De twee focusbestanden zijn met een blauwe lijn omlijnd. Op de luchtfoto is duidelijk te zien hoe het bos doorkruist wordt door een spoorlijn (bron: Geopunt).

Voor deze twee bestanden doorliepen we de tool om de klimaatgevoeligheid van de bestanden te bepalen.

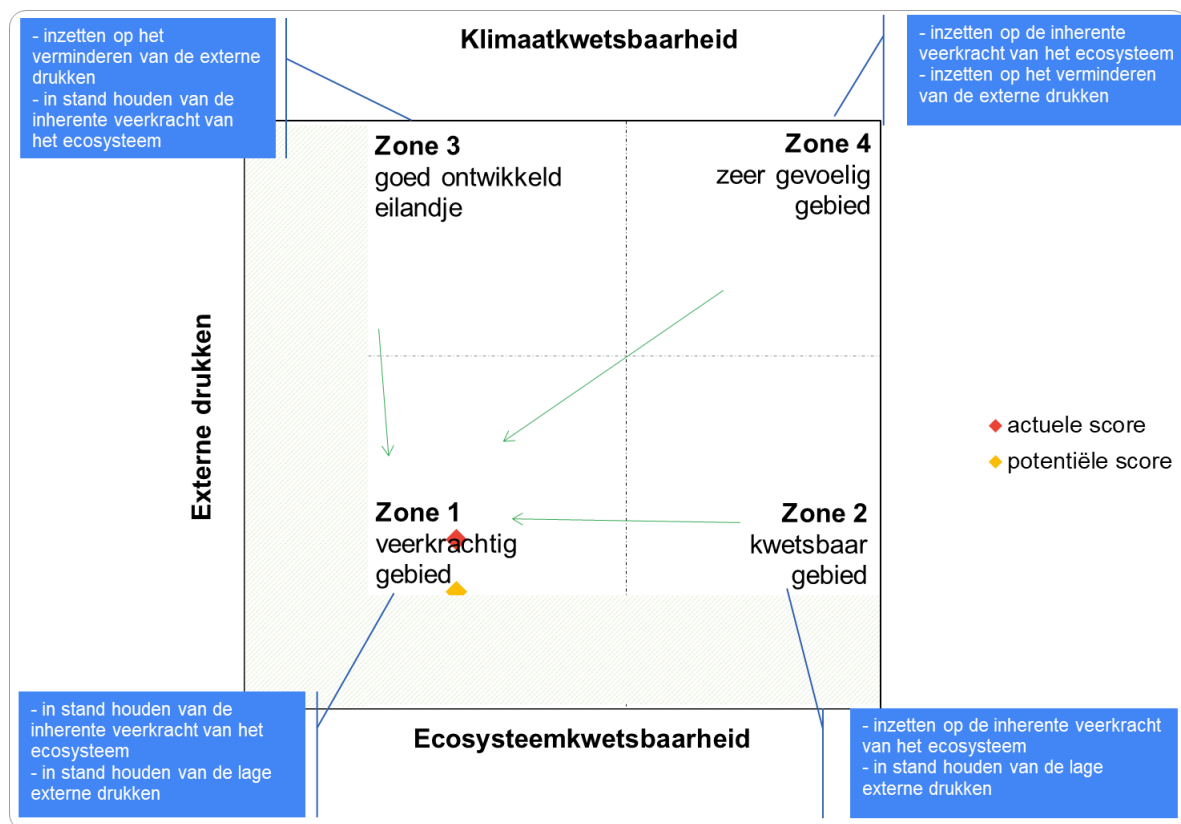
Overzicht 5J

Identificeren adaptatiestrategie

Hieronder geven we een overzicht van de scores voor het bestand 5J. Voor de verantwoording verwijzen we naar de scoretabellen in Bijlage 6.

	Y-as: Criteria voor externe drukken	Actuele score	Potentiële score		X-as: Criteria voor ecosysteemkwetsbaarheid	Actuele score	Potentiële score
	Omschrijving van de impact van externe factoren	Beoordeling van de actuele toestand	Naar welke situatie kan dit evolueren binnen een termijn van 24 jaar?		Omschrijving van kenmerken die de gevoeligheid van het ecosysteem voor klimaatverandering bepalen	Beoordeling van de actuele toestand	Naar welke situatie kan dit evolueren binnen een termijn van 24 jaar?
Fragmentatie	Oppervlakte bos [afh van Europees habitatype]	2	1	Standplaats	Droogtegevoeligheid bodem	1	1
	Netwerk en verbondenheid	1	1		Zuurtegraad en buffercapaciteit	1	1
Milieudruk	Verdroging	2	1		Strooisel-/humuskwiteit	1	1
	Vermesting & verzuring [afh van Europees habitatype]	1	1		Microklimaat	1	1
	Verontreiniging	1	1	Macro- en microreliëf	Microreliëf	1	1
	Recreatiedruk	1	1		Macroreliëf	3	3
	Bodemverdichting	1	1	Abiotische	Gradiënt in bodemvocht	2	2
Biologische druk	Invasieve soorten [afh van Europees habitatype]	1	1		Gradiënt in zuurtegraad	2	2
	Plagen & ziektes	1	1		Gradiënt in nutriënten	2	2
		1,22	1,00	Structuur	Variatie horizontale vegetatiestructuur	1	1
					Variatie verticale vegetatiestructuur	1	1
				Biologische diversiteit	Soortendiversiteit hoofdetage	1	1
					Soortendiversiteit nevenetage	1	1
					Soortendiversiteit verjonging	1	1
				Vegetatiegevoeligheid	Standplaatsgeschiktheid van de boomsoorten	1	1
						1,33	1,33

Uiteindelijk wordt een gemiddelde genomen voor alle scores in de x-as en alle scores in de y-as. Deze worden in een kwadrant uitgezet. Voor het bestand 5J ziet dit er als volgt uit:



We zien dat het bestand **actueel in zone 1** ligt: de zone van de veerkrachtige gebieden. Dit is een zone die zowel op vlak van de inherente kwetsbaarheid als op vlak van externe drukken zich in een gunstige

staat bevindt. Daaruit volgt dan ook dat men in deze bestanden best inzet op het behoud van die gunstige situatie. Ook **potentieel** bevindt het gebied zich nog steeds in **zone 1**.

Implementatie beheermaatregelen

Voor dit bestand komen er geen verbetermogelijkheden op de inherente ecosysteemkwetsbaarheid uit de scoretabel. Aspecten waar dit bestand slecht op scoort zijn macoreliëf, gradiënt in bodemvocht, gradiënt in zuurtegraad en gradiënt in nutriënten.

Uit de criteria op de Y-as komen wel een aantal verbetermogelijkheden (zie tabel)

Pak volgende aspecten van externe drukken aan:	
Oppervlakte [afh van Europees habitatype]	bos
Verdroging	

A.d.h.v. deze criteria kan men nu nadenken welke beheermaatregelen hier aan te koppelen om uit te voeren in het bestand. In de maatregelentabel maakten we daarvoor een overzicht van maatregelen. Het is vervolgens aan de beheerder om uit de lijst van mogelijkheden voor de verschillende criteria (in dit geval criteria 'oppervlakte' en 'verdroging') die maatregelen te kiezen waar het meest mee bereikt wordt zodat de maatregelen kostenefficiënt kunnen worden genomen. Verder hangt de keuze natuurlijk ook af van tal van andere elementen.

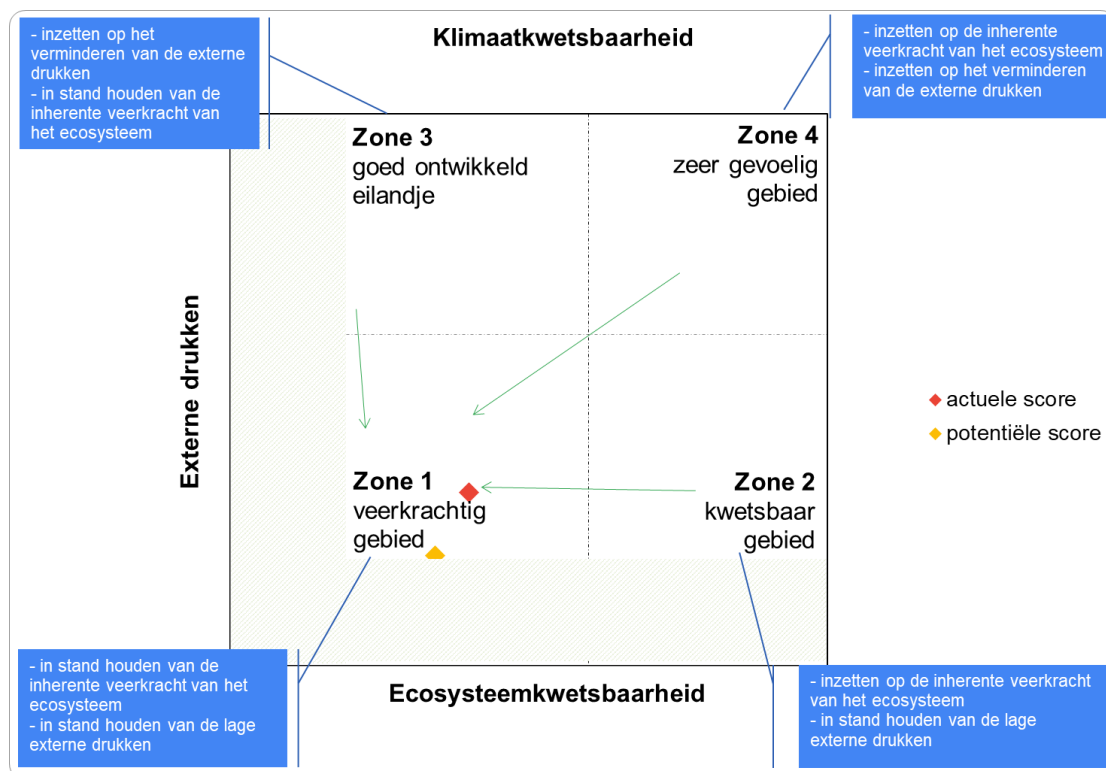
Overzicht 2H

Identificeren adaptatiestrategie

Hieronder geven we een overzicht van de scores voor het bestand 2H. Voor de verantwoording verwijzen we naar de scoretabellen in Bijlage 7.

	Y-as: Criteria voor externe drukken	Actuele score	Potentiële score		X-as: Criteria voor ecosysteemkwetsbaarheid	Actuele score	Potentiële score
	Omschrijving van de impact van externe factoren	Beoordeling van de actuele toestand	Naar welke situatie kan dit evolueren binnen een termijn van 24 jaar?		Omschrijving van kenmerken die de gevoeligheid van het ecosysteem voor klimaatverandering bepalen	Beoordeling van de actuele toestand	Naar welke situatie kan dit evolueren binnen een termijn van 24 jaar?
Fragmentatie	Oppervlakte bos [afh van Europees habitatype]	2	1	Standplaats	Droogtegevoeligheid bodem	1	1
	Netwerk en verbondenheid	2	1		Zuurtegraad en buffercapaciteit	1	1
Milieudruk	Verdroging	1	1		Strooisel-/humuskwiteit	1	1
	Vermesting & verzuring [afh van Europees habitatype]	1	1		Microklimaat	3	2
	Verontreiniging	/	/	Macro- en microreliëf	Microreliëf	3	2
	Recreatiedruk	1	1		Macroreliëf	3	3
	Bodemverdichting	/	/	Abiotische	Gradiënt in bodemvocht	1	1
Biotische druk	Invasieve soorten [afh van Europees habitatype]	1	1		Gradiënt in zuurtegraad	1	1
	Plagen & ziektes	1	1		Gradiënt in nutriënten	1	1
		1,29	1,00	Structuur	Variatie horizontale vegetatiestructuur	1	1
					Variatie verticale vegetatiestructuur	1	1
				Biologische diversiteit	Soortendiversiteit hoofdetage	2	2
					Soortendiversiteit nevenetage	1	1
					Soortendiversiteit verjonging	1	1
				Vegetatiegevoeligheid	Standplaatsgeschiktheid van de boomsoorten	/	/
						1,50	1,36

Uiteindelijk wordt een gemiddelde genomen voor alle scores in de x-as en alle scores in de y-as. Deze worden in een kwadrant uitgezet. Voor het bestand 2H ziet dit er als volgt uit:



We zien dat het bestand **actueel in zone 1** ligt. De zone van de veerkrachtige gebieden. Dit is een zone die zowel op vlak van de inherente kwetsbaarheid als op vlak van externe drukken in een gunstige staat

zijn. Daaruit volgt dan ook dat men in deze bestanden best inzet op het behoud van die gunstige situatie. Ook **potentieel** bevindt het gebied zich nog steeds **in zone 1**.

Implementatie beheermaatregelen

Voor dit bestand komen er enkele verbetermogelijkheden op de externe drukken uit de scoretabel. Ook uit de criteria van de X-as komen een aantal verbetermogelijkheden (zie tabel). Aspecten op de X-as waar dit bestand verder slecht op scoort zijn macroreliëf en soortendiversiteit hoofdetage.

Pak volgende aspecten van externe drukken aan:	Pak volgende aspecten van ecosysteemkwetsbaarheid aan:
Oppervlakte [afh van Europees habitatype] bos	Microklimaat
Netwerk en verbondenheid	Microreliëf

A.d.h.v. deze criteria kan men nu nadenken welke beheermaatregelen hier aan te koppelen om uit te voeren in het bestand. In de maatregelentabel maakten we daarvoor een overzicht van maatregelen. Het is vervolgens aan de beheerder om uit de lijst van mogelijkheden voor de verschillende criteria (in dit geval criteria 'oppervlakte', 'netwerk en verbondenheid', 'microklimaat' en 'microreliëf') die maatregelen te kiezen waar het meest mee bereikt wordt zodat de maatregelen kostenefficiënt kunnen worden genomen. Verder hangt de keuze natuurlijk ook af van tal van andere elementen.

Bibliografie

Agentschap voor Natuur en Bos. (n.d.-a). Brandpreventie in natuur- en bosgebieden op basis van kleurcodes. Retrieved May 7, 2021, from <https://www.natuurenbos.be/brandpreventie-natuur-en-bosgebieden-op-basis-van-kleurcodes>

Agentschap voor Natuur en Bos. (n.d.-b). Ophovenderheide. Agentschap Voor Natuur En Bos. Retrieved May 30, 2021, from <https://www.natuurenbos.be/ophovenderheide>

Ainsworth EA, Davey PA, Hymus GJ, Osborne CP, Rogers A, Blum H, Nosberger J, Long SP. (2003). Is stimulation of leaf photosynthesis by elevated carbon dioxide concentration maintained in the long term? A test with *Lolium perenne* grown for 10 years at two nitrogen fertilization levels under free air CO₂ enrichment (FACE). *Plant, Cell & Environment* 26: 705–714

Arnolds, E., & Veerkamp, M. (2008). Basisrapport Rode Lijst Paddenstoelen.

Bauhus, J., Puettmann, K. J., & Kühne, C. (2013). Close-to-nature forest management in Europe. Does it support complexity and adaptability of forest ecosystems? In C. Messier, K. J. Puettmann, & K. D. Coates (Eds.), *Managing forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change.* (pp. 187 - 213). New York: Earthscan.

Bayat, F.; Monfared, A.B.; Jahansooz, M.R.; Esparza, E.T.; Keshavarzi, A.; Morera, A.G.; Cerdà, A. (2019) Analyzing long-term soil erosion in a ridge-shaped persimmon plantation in eastern Spain by means of ISUM measurements. *Catena* 183, 104176

Bayerische Forstverwaltung. (2020). Baumarten für den Klimawald. Leitlinien der Bayerischen Forstverwaltung. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Bergström, L., Börjesson, E., & Stenström, J. (2011). Laboratory and Lysimeter Studies of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in a Sand and a Clay Soil. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 98–108. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0179>

Błńska, E.; Kacprzyk, M.; Spólnik, A (2017). Effect of deadwood of different tree species in various stages of decomposition on biochemical soil properties and carbon storage. *Ecol. Res.* 32, 193–203.

Błńska, E.; Klammerus-Iwan, A.; Łagan, S.; Lasota, J. (2018a) Changes of the water repellency and physical properties with decomposition rate of deadwood of different species in temperate climate. *Ecohydrology* 2018a, 11, 2023.

Błńska, E.; Lasota, J.; Piaszczyk, W. (2018b) Dissolved organic carbon and total nitrogen release from deadwood of different tree species in various stages of decomposition. *J. Sci. Plant. Nutr.* 65, 100–107

Boosten, M. (2016). Natuurvolgend bosbeheer en een hoge wildstand: gaat dat samen? *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 24 - 25.

BOS+ (2019). Vlaanderen meer dan ooit één van de bosarmste regio's van West-Europa; geen m2 vooruitgang sinds 2000. <https://www.bosplus.be/k/nl/n823/news/view/56791/55351/vlaanderen-meer-dan-ooit-een-van-de-bosarmste-regio-s-van-west-europa-geen-m-vooruitgang-sinds-2000.html>
Bosdecreet, (1993) (testimony of Vlaamse Overheid).

Bosforum. (2018). Toekomstvisie “Bos en Samenleving” Een rijker bos ten dienste van een rijkere samenleving - hoe meer en beter bos bijdraagt tot gezondheid, welzijn en welvaart (J. Turf & About Society cvba (Eds.); 1st ed.). Bosforum.

Bosgroep Zuid Nederland. (2019, November 24). Heeft u vragen over het verspreiden van steenmeel? Bosgroep Zuid Nederland. <https://bosgroepen.nl/bosgroep-zuid-nederland/veelgestelde-vragen-over-steenmeel/>

Bosgroep Zuid Nederland. (2021, February 2). Wat komt er kijken bij 'operatie steenmeel'? Bosgroep Zuid Nederland. <https://bosgroepen.nl/bosgroep-zuid-nederland/wat-komt-er-kijken-bij-operatie-steenmeel/>

Bosgroepen. (2020). Effecten van steenmeel op de mycoflora van een verzuurd eikenbos. Nature Today. <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=26254>

Bot, A.P. (1996). Een oriëntatie op maatregelen tegen verdroging. NOV-rapport 14. STOWA-rapport 96-22.

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J. B., Bauhus, J., Boncčina, A., Chauvin, C., . . . Svoboda, M. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87(4), 492-503. doi:10.1093/forestry/cpu018

Broekx, S., De Nocker, L., Liekens, I., Poelmans, L., Staes, J., Van der Biest, Katrien Meire, P., & Verheyen, K. (2013). Raming van de baten geleverd door het Vlaamse NATURA 2000-netwerk.

Bruynseels, G., Verneirt, M., & Bemelmans, D. (1997). Machinegebruik in de bosarbeid.

Büntgen, U., Urban, O., Krusic, P.J. et al. (2021) Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nat. Geosci.* 14, 190–196.

Buras, A., Schunk, C., Zeitz, C., Herrmann, C., Kaiser, L., Lemme, H., . . . Menze, A. (2018). Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environmental Research Letters*, 13(2). doi:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa0b4>

Camazine, S., Deneubourg, J.-L., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraula, G., & Bonabeau, E. (2001). *Self-Organization in Biological Systems*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Campioli, M., Vincke, C., Jonard, M., Kint, V., Demarée, G., & Ponette, Q. (2012). Current status and predicted impact of climate change on forest production and biogeochemistry in the temperate oceanic European zone: Review and prospects for Belgium as a case study. In *Journal of Forest Research* (Vol. 17, Issue 1, pp. 1–18). <https://doi.org/10.1007/s10310-011-0255-8>

Chen, J. Q., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brosz, K. D., Mroz, G. D., Brookshire, B. L., & Franklin, J. F. (1999). Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology –Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 49, 288–297.

Chen, I.-C., J. K. Hill, R. Ohlemüller, D. B. Roy, C. D. Thomas (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333, 1024–1026.

Cornelis, J. (2012). Preventie en bestrijding van brand in bos- en natuurgebieden. *Bosrevue*. <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2012/06/01/Preventie-en-bestrijding-van-brand-in-bos-en-natuurgebieden>

Correia, A. H., Almeida, M. H., Branco, M., Tomé, M., Cordero Montoya, R., Di Lucchio, L., . . . Orazio, C. (2018). Early Survival and Growth Plasticity of 33 Species Planted in 38 Arboreta across the European Atlantic Area. *Forests*, 9(10), 630.

Cotrufo M.F., Gorissen, A. (1997) Elevated CO₂ enhances below-ground C allocation in three perennial grass species at different levels of N availability *New Phytol.* 137 421–431

Crimmins, S. M., S. Z. Dobrowski, J. A. Greenberg, J. T. Abatzoglou, A. R. Mynsberge (2011) Changes in climatic water balance drive downhill shifts in plant species' optimum elevations. *Science* 331, 324–327

Cudlin, P., Kieliszewska-Rokicka, B., Rudawska, M., Grebenc, T., Alberton, O., Lehto, T., Bakker, M. R., Børja, I., Konôpka, B., Leski, T., Kraigher, H., & Kuyper, T. W. (2007). Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change. *Plant Biosystems*, 141(3), 406–425.
<https://doi.org/10.1080/11263500701626028>

de Avila, A. L., & Albrecht, A. (2017). *Alternative Baumarten im Klimawandel: Artensteckbriefe - eine Stoffsammlung*. Freiburg: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA).

De Becker, P., 2020. *Ecohydrologische gebiedsbeschrijvingen voor natuurgebieden in Vlaanderen in het kader van PAS*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

De Blust, G., & Laurijssens, G. (2014). *Beheerplan Vlaams Natuurreservaat De Kalmthoutse Heide - Brandpreventie: Maatregelen i.f.v. preventie en bestrijding van ongecontroleerde natuurbranden*.
<https://doi.org/10.21436/inbor.12518189>

De Bock L. (2021). *Ecologische effecten van dood hout in laaglandbeken: gevalstudie van de gondebeek in het aelmoeseneiebos*. Masterthesis, Ghent University

De Boeck, H.J., Lemmens, C.M.H.M., Vicca, S., Van den Berge, J., Van Dongen, S., Janssens, I.A., Ceulemans, R. and Nijs, I. (2007), How do climate warming and species richness affect CO₂ fluxes in experimental grasslands?. *New Phytologist*, 175: 512-522. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02122.x>

De Frenne, P., Zellweger, F., Rodríguez-Sánchez, F., Scheffers, B. R., Hylander, K., Luoto, M., Vellend, M., Verheyen, K., & Lenoir, J. (2019). Global buffering of temperatures under forest canopies. *Nature Ecology and Evolution*, 3(5), 744–749. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0842-1>

De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B.R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M.B., Christiansen, D.M., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D.H., Koelemeijer, I.A., Lembrechts, J.J., Marrec, R., Meeussen, C., Ogée, J., Tyystjärvi, V., Vangansbeke, P. and Hylander, K. (2021), Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Glob Change Biol*, 27: 2279-2297.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15569>

de Leeuw, C. (2019). *Steenmeel in droge bossen*. In *Kennisblad Veldwerkplaats*.
<https://edepot.wur.nl/507802>

De Vries, W., Weijters, M. J., de Jong, J. J., van Delft, S. P. , Bloem, J., van den Burg, A., van Duinen, G. A., Verbaarschot, E., & Bobbink, R. (2019). *Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstel mogelijkheden door steenmeeltoediening*.

Debliedemaker 2017/05/06. <https://debliedemaker.wordpress.com/2017/05/06/koksijde-is-wereldbekend-voor-de-recyclage-van-ons-drinkwater/>

Debliedemaker 2021/03/25. <https://debliedemaker.wordpress.com/2021/03/25/de-panne-kampioen-in-de-hemelwaterinfiltratie/comment-page-1/>

Decocq, G., Andrieu, E., Brunet, J., Chabrierie, O., De Frenne, P., De Smedt, P., Deconchat, M., Diekmann, M., Ehrmann, S., Giffard, B., Mifsud, E. G., Hansen, K., Hermy, M., Kolb, A., Lenoir, J., Liira, J., Moldan, F., Prokofieva, I., Rosenqvist, L., ... Wulf, M. (2016). Ecosystem Services from Small Forest Patches in Agricultural Landscapes. In *Current Forestry Reports* (Vol. 2, Issue 1, pp. 30–44). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0028-x>

Decoussemaeker J. 2017 Blog De Bliedemaker: Koksijde is wereldbekend voor de recyclage van ons drinkwater. <https://debliedemaker.wordpress.com/2017/05/06/koksijde-is-wereldbekend-voor-de-recyclage-van-ons-drinkwater/> (laatst geraadpleegd 25/06/2021)

Decreet betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu, (1997).
<https://codex.vlaanderen.be/Portals/Codex/documenten/1005915.html>

- Decreet Bosdecreet, (1990). <https://codex.vlaanderen.be/Portals/Codex/documenten/1003183.html>
- Delsman, J., Veraart, J., Snellen, B., Oude Essink, G., 2018. Effectiviteit van waterinlaat. STOWA
- Demey, A., De Frenne, P., & Verheyen, K. (2015). Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer.
- den Ouden, J., Muys, B., Mohren, F., & Verheyen, K. (2016). Boscologie en Bosbeheer (J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren, & K. Verheyen (Eds.); 3rd ed.). Acco.
- den Ouden, J., Verheyen, K., Muys, B., & Mohren, F. (2016). Bos en bosbeheer in Vlaanderen en Nederland. In J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren, & K. Verheyen (Eds.), Boscologie en Bosbeheer (3rd ed., pp. 19–33). Acco.
- Desie, E., Vancampenhout, K., Nyssen, B., van den Berg, L., et al., 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
- Desie, E., & Muys, B. (2020). Het effect van boomsoort op bodem & de rol van rijkstrooisel. Presentatie voor de ANB Beheerdersdag, 29 oktober 2020 te Heiwijk.
- Ecopedia. (n.d.). Bodemverdichting. Retrieved April 27, 2021, from <https://www.ecopedia.be/encyclopedie/bodemverdichting>
- Ehrlén, J. W. F. Morris, (2015) Predicting changes in the distribution and abundance of species under environmental change. Ecol. Lett. 18, 303–314.
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. van, Creed, I.F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A.B., Ilstedt, U., Teuling, A.J., Gebrehiwot, S.G., Sands, D.C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C.A., 2017. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. Glob. Environ. Chang. 43, 51–61.
- Feeley, K. J., M. R. Silman, M. B. Bush, W. Farfan, K. G. Cabrera, Y. Malhi, P. Meir, N. Salinas Revilla, M. N. R. Quisipupanqui, S. Saatchi, Upslope migration of Andean trees. J. Biogeogr. 38, 783–791 (2011).
- Firebreak. (2021, March 9). Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Firebreak>
- Fitter, A.H., Graves, J.D., Watkins, N.K., Robinson, D. & Scrimgeour, C. (1998) Carbon transfer between plants and its control in networks of arbuscular mycorrhizas. Functional Ecology 12, 406–412
- Forceville, E., Mertens, Jan, Verheyen, K., & Devlaeminck, R. (2020). Droogte-robuste aanplantingstechnieken. Rapport voor het verkrijgen van vitaal en weerbaar (jong) bos. <https://biblio.ugent.be/publication/8684570/file/8684572.pdf>
- Gaudio, N., Balandier, P., Perret, S., & Ginisty, C. (2011). Growth of understorey Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) saplings in response to light in mixed temperate forest. Forestry: An International Journal of Forest Research, 84(2), 187-195. doi:10.1093/forestry/cpr005
- Geiger, R., Aron, R. H., & Todhunter, P. (2009). The climate near the ground. Rowman & Littlefield.
- Gloning, P., Estrella, N., & Menzel, A. (2013). The impacts of climate change on the winter hardiness zones of woody plants in Europe. Theoretical and Applied Climatology, 113(3–4), 683–695. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0817-5>
- Govaere, L. (2020). Een blik op de kenmerken van bos in Vlaanderen – eerste resultaten van twee opeenvolgende Vlaamse bosinventarisaties. Bosrevue, 83(a), 1–14.
- Govaert, S., Vangansbeke, P., Blondeel, H., Steppe, K., Verheyen, K., De Frenne, P. (2021) Rapid thermophilization of understorey plant communities in a 9 year-long temperate forest experiment. J Ecol. 109: 2434– 2447. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13653>

Hanson, P. J., J. F. Weltzin (2000) Drought disturbance from climate change: Response of United States forests. *Sci. Total Environ.* 262, 205–220.

Heberling, J. M., McDonough MacKenzie, C., Fridley, J. D., Kalisz, S., & Primack, R. B. (2019). Phenological mismatch with trees reduces wildflower carbon budgets. In *Ecology Letters* (Vol. 22, Issue 4, pp. 616–623). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/ele.13224>

Helder - Feijen, A., van der Toorn, L., 2020. Whitepaper droog, droger, droogst Onderweg naar een nieuw handelingsperspectief voor droogte. TAUW

Herm, M., De Blust, G., & Sootmaekers, M. (2004). Natuurbeheer. Davidsfonds.

Herm, M., De Keersmaeker, L., Verheyen, K., Roovers, P., De Somviele, B., & Desender, K. (2003). De ecologische functie van het bos in Vlaanderen. In G. Van Langenhove & J. Spaas (Eds.), *Bossenverklaring. Vlaamse Hoge Bosraad*.

Herm, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., & Lawesson, J. E. (1999). An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, 91, 9–22.

Herm, M., & Vandekerckhove, K. (2004). Bosgebieden. In M. Herm, G. De Blust, & M. Sootmaekers (Eds.), *Natuurbeheer* (pp. 307–359). Davidsfonds, i.s.m Argus vzw, Natuurpunt vzw en IN.

Hertzog, L. R., Boonyarittichai, R., Dekeukeleire, D., de Groote, S. R. E., van Schroyen Lantman, I. M., Sercu, B. K., Smith, H. K., de la Peña, E., Vandegheuchte, M. L., Bonte, D., Martel, A., Verheyen, K., Lens, L., & Baeten, L. (2019). Forest fragmentation modulates effects of tree species richness and composition on ecosystem multifunctionality. *Ecology*, 100(4). <https://doi.org/10.1002/ecy.2653>

Het wereldwijde gevecht om grondstoffen: hoe is het zover gekomen? (2021, June 3). *De Tijd*. <https://www.tijd.be/ondernemen/grondstoffen/het-wereldwijde-gevecht-om-grondstoffen-hoe-is-het-zover-gekomen/10310786.html>

Hofer, S., Tedstone, A.J., Fettweis, X., Bamber, J.L., 2017. Decreasing cloud cover drives the recent mass loss on the Greenland Ice Sheet. *Sci. Adv.* 3.

Hoogstra, M. A. (2008). Coping with the long term : an empirical analysis of time perspectives, time orientations, and temporal uncertainty in forestry [Wageningen University]. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/371574>

Hou, P. & Pan, C. (2001) Coarse woody debris and its function in forest ecosystem. *Chin. J. Appl. Ecol.* 2001, 12, 309–314. 14.

Hulme, P. E. (2005). Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42(5), 784–794.

Keesstra, S.; Mol, G.; De Leeuw, J.; Okx, J.; Molenaar, C.; De Cleen, M.; Visser, S (2018). Soil-Related Sustainable Development Goals: Four Concepts to Make Land Degradation Neutrality and Restoration Work. *Land* 7, 133.

Kelly, A.E., M. L. Goulden (2008) Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 11823–11826.

Kennedy, P.G.; Quinn, T. (2001) Understory plant establishment on old-growthstumps and the forest floor in western Washington. *For. Ecol. Manag.*, 154, 193–200.

Klimaatportaal Vlaanderen. (n.d.). Droogte . Retrieved May 12, 2021, from <https://klimaat.vmm.be/nl/droogte>

Koninklijke Nederlandse Bosbouw Vereniging. (2006). KNBV themabijeenkomst 'Bos & Brand'. Vakblad Natuur, Bos & Landschap. www.knbv.nl

Klingen, S. (2003). De eenzame blesser - Simons betere berichten. Nederlands Bosbouw Tijdschrift, 23.

Klingen, S. (2004). Ruggesteun voor blessers. Tien tips. Vakblad Natuur Bos Landschap, 1(5), 18 - 21.

Kunert, N. (2019). Das Ende der Kiefer als Hauptbaumart in Mittelfranken. AFZ Der Wald, 74(3), 24 - 25.

Landesforsten Rheinland-Pfalz. (2020). Grundsatzanweisung Waldverjüngung im Klimawandel. Wiederbewaldung, Vorausverjüngung und Jungwaldpflege: Landesforsten Rheinland-Pfalz.

Larum, D. (2020, February). What Is Inorganic Mulch: Learn About Using Inorganic Mulch In Gardens. Gardening Know How. <https://www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/mulch/using-inorganic-mulch-in-gardens.htm>

Laurent C, Perrin D, Bemelmans D, Carnol M, Claessens H, de Cannière C, François L, Gérard E, Grégoire JC, Herman M, Marbaix P, Peremans V, Ponette Q, Quévy B, Rondeux J, Sérusiaux E, van Ypersele JP, Vincke C (2009) Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires (Final report of the working group "Forests and Climate Change"). Ministry of Agriculture, Rural Areas, Environment and Tourism, Belgium

Legay, M. (2019). Impacts du changement climatique sur la forêt, adaptation et contribution de la forêt à l'atténuation des changements climatiques. Rendez-Vous techniques, 61 - 62, 12 - 21.

Leishman, M. R., & Gallagher, R. V. (2015). Will there be a shift to alien-dominated vegetation assemblages under climate change? Diversity and Distributions, 21(7), 848–852. <https://doi.org/10.1111/ddi.12338>

Lenoir, J., J. C. Gégout, P. A. Marquet, P. de Ruffray, H. Brisse (2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. Science 320, 1768–1771.

Lewis 2009. Nature 457: 1003-1007.

Ligot, G., Balandier, P., Courbaud, B., Jonard, M., Kneeshaw, D., & Claessens, H. (2015). Dosage de la lumière pour maintenir la coexistence d'espèces d'ombre et de demi-ombre dans la régénération de la futaie irrégulière. Revue Forestière Française, 67(3), 195-211.

Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. For Ecol Manage 259:698–709

Lucassen, E., Van Den Berg, L., Aben, R., Smolders, F., Roelofs, J., & Bobbink, R. (2014). Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. Landschap, 4, 185–193. https://www.b-ware.eu/sites/default/files/publicaties/Lucassen_eikensterfte_Maasduinen_Landschap_2014.pdf

Luyssaert et al. 2008. Nature 455: 213-215

McDonald, R. I., & Urban, D. L. (2006). Edge effects on species composition and exotic species abundance in the North Carolina Piedmont. Biological Invasions, 8(5), 1049–1060. <https://doi.org/10.1007/s10530-005-5227-5>

McGuinness, K. A., 1984. Equations and explanations in the study of Species–area curves. Biological Reviews 59.3: 423–440.

McKenzie, D., Heinsch, F. A., & Heilman, W. E. (2011, January). Wildland Fire. US. Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center.
<https://www.fs.usda.gov/ccrc/topics/wildfire>

Meeussen C., Govaert S., Vanneste T., et al., De Frenne P. (2020) Drivers of carbon stocks in forest edges across Europe, *Science of The Total Environment*, 759, 143497

Meiresonne, L., & Turkelboom, F. (2014). Biodiversiteit als basis voor ecosysteemdiensten in Vlaanderen. Tweede editie. <https://www.inbo.be/nl/natuurgebaseerde-oplossingen-biodiversiteit-als-basis-voor-ecosysteemdiensten-vlaanderen-tweede>

Mellert, K. H., & Göttlein, A. (2012). Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1461–1472. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0615-8>

Michielsens, S., Pereira, F., & Mostaert, F. (2012). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied.

Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. (2004). Tijd voor vrije tijd? Vrijetijdsparticipatie in Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. <https://www.vlaanderen.be/publicaties/tijd-voor-vrije-tijd-vrijetijdsparticipatie-in-vlaanderen-sport-cultuur-media-sociale-participatie-en-recreatie>

MIRA. (2013). Milieurapport Vlaanderen Themabeschrijving Vermesting.

Morgan, J.A., Lecain, D.R., Mosier, A.R., Milchunas, D.G., 2001. Elevated CO₂ enhances water relations and productivity and effects gas exchange in C₃ and C₄ grasses of the Colorado shortgrass steppe. *Glob. Chang. Biol.* 7, 451–466. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2001.00415.x>

Natural England, & RSPB. (2014). Climate Change Adaptation Manual.

Natural England, & RSPB. (2019). Climate Change Adaptation Manual - Evidence to support nature conservation in a changing climate, 2nd Edition. <https://doi.org/10.4324/9780203381267>

Nijssen, M., Bouwman, J., van Kleef, H., & Noordijk, J. (2019). Kansen voor fauna in natuurbeheer. OBN Expertisegroep Fauna, KNNV Publishing, Zeist. OBN/VBNE, Driebergen.

Nowacki, G. J., M. D. Abrams (2008) The demise of fire and “Mesophication” of forests in the eastern United States. *Bioscience* 58, 123–138.

Office Economique Wallon du Bois. (2019). Panorabois - Wallonie - Edition 2019. <https://www.foret-pro-bos.eu/nl/publicaties/publication/41:panorabois-2017>

Oldenburger, J., Van der Heyden, D., & Dehennin, J. (2019). Rondhoutstromen in Vlaanderen. *Bosrevue*, 77. <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2019/04/30/Rondhoutstromen-in-Vlaanderen>

Oldenburger, J., Vanderheyden, D., Voncken, F., & De Somviele, B. (2017). eco2eco: werkpakket 3 – Vraag en aanbod op de houtmarkt in Nederland en Vlaanderen: activiteit I – Houtstromen in kaart brengen. https://www.grensregio.eu/assets/files/site/eco2eco_WP3_Act3_eindrapport.pdf

Oosterlynck, P., Saeger, S. De, Leyssen, A., Provoost, S., Thomaes, A., Vandevoorde, B., Wouters, J., & Paelinckx, D. (2020). Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura2000 habitattypen in Vlaanderen. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
<https://doi.org/10.21436/inbor.14061248>

Parmesan, C., G. Yohe (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37–42 (2003).

Parmesan C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 637–669 (2006).

Potentieel Natuurlijke vegetatie. (n.d.). Retrieved April 23, 2021, from <https://www.ecopedia.be/encyclopedia/pnv>

Quataert, P., De Keersmaecker, L., & Van Daele, T. (2019). Advies over de inzet van de Vlaamse meetnetten om de trend van het bosareaal op te volgen. Een statistische evaluatie. <https://pureportal.inbo.be/portal/files/17006924/INBO.A.3744.pdf>

Ranjan, P., Patle, G. T., Prem, M., & Solanke, K. R. (2017). Organic Mulching- A Water Saving Technique to Increase the Production of Fruits and Vegetables. *Current Agriculture Research Journal*, 5(3), 371–380. <https://doi.org/10.12944/carj.5.3.17>

Read, D. J., Freer-Smith, P. H., Morison, J. I. L., Hanley, N., West, C. C., & Snowdon, P. (2009). Combating climate change – a role for UK forests. An assessment of the potential of the UK's trees and woodlands to mitigate and adapt to climate change.

Reich, P. B., & Oleksyn, J. (2008). Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. *Ecology letters*, 11(6), 588–597. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01172.x>

Reich, P.B., Sendall, K.M., Stefanski, A., Rich, R.L., Hobbie, S.E., Montgomery, R.A., 2018. Effects of climate warming on photosynthesis in boreal tree species depend on soil moisture. *Nature* 562, 263–267. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0582-4>

REINFORCE network (REsource INFrastructures for monitoring, adapting and protecting european atlantic FORests under Changing climatE - <http://www.iefc.net/newsite/sitereinforce/gb/>)

Rombaut, J. (2021). Weekrapport 20210517 – Intern. Inschatting brandgevaar in Vlaanderen.

Roskams, P., De Haeck, A., & Sioen, G. (2018). Onderzoek naar de recente sterfte van gewone den in Limburg en Antwerpen: een stand van zaken. INBO nota

Roy, J., Picon-Cochard, C., Augusti, A., Benot, M.L., Thiery, L., Darsonville, O., Landais, D., Piel, C., Defossez, M., Devidal, S., Escape, C., Ravel, O., Fromin, N., Volaire, F., Milcu, A., Bahn, M., (2016). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113 (22), 6224–6229

Runhaar, J., Maas, C., Meuleman, A. F. M., & Zonneveld, L. M. L. (2000). *Herstel van natte en vochtige ecosystemen; handboek.*

Sáenz-Romero, C., Lamy, J.-B., Ducousso, A., Musch, B., Ehrenmann, F., Delzon, S., ... Kremer, A. (2017). Adaptive and plastic responses of *Quercus petraea* populations to climate across Europe. *Global Change Biology*, 23, 2831–2847

San-Miguel-Ayanz, J., Costa, H., De Rigo, D., Liberta, G., Artes Vivancos, T., Durrant Houston, T., Nuijten, D., Löffler, P., & Moore, P. (2018). Basic criteria to assess wildfire risk at the pan-European level. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113923>

Santoso, M. A., Christensen, E. G., Yang, J., & Rein, G. (2019). Review of the Transition From Smouldering to Flaming Combustion in Wildfires. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5, 49. <https://doi.org/10.3389/fmech.2019.00049>

Sauren, P., Buysse, W., Wijdeven, S., Seynaeve, J., Winnock, M., van Nevel, L., & Nyssen, B. (2020). *Ecologie in Boomgericht Bosbeheer.*

Scherzinger, W. (2004). Mosaik-Zyklus-Konzept. In *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege* (pp. 1–12). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527678471.hbnl1999014>

Schmidt, M., Jochheim, H., Kersebaum, K. C., Lischeid, G., & Nendel, C. (2017). Gradients of microclimate, carbon and nitrogen in transition zones of fragmented landscapes – a review. In *Agricultural and Forest Meteorology* (Vol. 232, pp. 659–671). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.022>

Schneiders, A., Alaerts, K., Michels, H., Stevens, M., Van Gossum, P., Van Reeth, W., & Vught, I. (2020). *Natuurrapport 2020*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
<https://doi.org/10.21436/inbom.18882202>

Schneiders, A., & Spanhove, T. (2014). NARA-T: Technisch rapport: Hoofdstuk 6 De rol van biodiversiteit in de levering van ecosysteemdiensten. www.inbo.be

Schütt, P., & Stimm, B. (2014). *Pinus sylvestris*. In A. Roloff, H. Weisgerber, U. Lang, & B. Stimm (Eds.), *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*. Wiley-VCH.
<https://doi.org/10.1002/9783527678518.EHG2006008>

Shorohova, E., Kuuluvainen, T., Kangur, A., Jöngiste, K., 2009. Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Ann. For. Sci.* 66, 201.

Siebert, J., Sünemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., Guerrero-Ramírez, N.R., Eisenhauer, N., (2019). The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9, 1–12.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-36777-3>

Simoens, I., Thoonen, M., Meiresonne, L., & Van Daele, T. (2014). NARA-T: Technisch rapport: Hoofdstuk 26 Groene ruimte voor buitenactiviteiten. www.nara.be.

Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van Der Velde, G., Roelofs, J.G.M., 2006. Internal eutrophication: How it works and what to do about it - A review. *Chem. Ecol.* 22, 93–111.
<https://doi.org/10.1080/02757540600579730>

Southwood, T. R. E. (1961). The Number of Species of Insect Associated with Various Trees. *Journal of Animal Ecology*, 30(1), 1-8. doi:10.2307/2109

Staelens, J., & Mohren, F. (2016). Waterhuishouding. In K. Verheyen, B. Muys, J. den Ouden, & F. Mohren (Eds.), *Bosecologie en Bosbeheer* (3rd ed.). Acco.

Stephens et al. 2007. *Science* 316: 1732-1735

Stokland, J.N.; Siitonen, J.; Jonsson, B.G. (2012) *Biodiversity in Dead Wood*; Cambridge University Press: Cambridge, UK.

STOWA (1996). Een oriëntatie op maatregelen tegen verdroging. NOV-rapport 14. STOWA-rapport 96-22.

STOWA (1998). Hydrologische verkenning van maatregelen tegen verdroging. NOV-rapport 14-2. STOWA-rapport 96-22.

STOWA (2020) Deltafact - Bouwen met Natuur bij herstel van beken.

Thomassen, E., Buysse, W., Wijdeven, S., Winnock, M., Seynaeve, J., Sauren, P., Van Lommel, H., Schmitz, P., & Nyssen, B. (2020). Boomgericht bosbeheer in de praktijk.

Thurm, E. A., Hernandez, L., Baltensweiler, A., Ayan, S., Rasztovits, E., Bielak, K., ... & Büchsenmeister, R. (2018). Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecology and Management*, 430, 485-497.

Tweede Vlaamse Bosinventaris. (2019). <https://www.natuurenbos.be/vlaamse-bosinventaris/bosareaal>

Valckx J., Govers G., Hermy M., Muys B. (2009). Dieper graven naar het belang van regenwormen in duurzaam akkerbeheer - een toolkit voor ecologische erosiecontrole, Departement Aard- en omgevingswetenschappen, K.U.Leuven, 34 p

van de Sandt, K., Klostermann, J.E.M. Minnen, van J., Pieterse, N., Bree, van L. (2013) Framework for ex durante and ex post monitoring of adaptation policies and projects.

van den Berg, L., & Koopmans, G. (2021, April 20). Steenmeeltoediening in de praktijk. Steenmeel Symposium Hoge Veluwe. <https://www.hogeveluwe.nl/nl/steenmeel/steenmeel-symposium-hoge-veluwe>

van den Burg, A. (2017, June). Rammelende eieren en brekebenen bij de koolmees: verzuring terug bij af? Vakblad Natuur, Bos En Landschap. <https://edepot.wur.nl/418194>

van der Burg, R.F., Bijlsma, R.J. Brouwer E., de Waal R.W. (2016). Vochtige bossen, tussen verdrogen en nat gaan OBN Deskundigenteam Nat zandlandschap. OBN / VBNE, Driebergen

Van der Aa, B., Vriens, L., Van Kerckvoorde, A., De Becker, P., Roskams, P., De Bruyn, L., Denys, L., Mergeay, J., Raman, M., Van den Bergh, E., Wouters, J., & Hoffmann, M. (2015). Effecten van klimaatverandering op bos en natuur. INBO

Van der Linden M., Blokland K.A., Zonneveld L.M.L., van Ek R. & J. Runhaar (1996). Herstel van natte en vochtige ecosystemen. Basisrapport NOV - rapport 9.1.

Van Miegroet, M. (1994). Natuurgericht beheer van bossen (Monografieën stichting leefmilieu (Ed.)). Uitgeverij Pelckmans.

Van Winden, A., Otterman, E., Van Deursen, W., 2014. Vasthouden in de bergen om afvoeren te vertragen. H2O-online 1–8. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/vasthouden-in-de-bergen-om-afvoeren-te-vertragen>

Vandekerckhove, K. (2020). 'Coldspots' in bossen: belangrijke 'hotspots' voor bosgebonden soorten . Bosrevue, 86. <https://bosrevue.bosplus.be/bosrevue/editie/2020/06/12/Coldspots-in-bossen-belangrijke-hotspots-voor-bosgebonden-soorten>

Vandekerckhove, K., De Keersmaeker, L., & Demolder, H. (2014). NARA-T: Technisch rapport: Hoofdstuk 13 Ecosysteemdienst houtproductie. www.nara.be.

VBNE. (n.d.-a). Brandpreventie. Retrieved May 14, 2021, from <https://www.vbne.nl/klimaatlimbosennatuurbeheer/maatregel/brandpreventie>

VBNE. (n.d.-b). Nutriëntenhuishouding bosbodems herstellen. Gereedsschapskist Klimaatlim Bos- En Natuurbeheer. Retrieved May 24, 2021, from <https://www.vbne.nl/klimaatlimbosennatuurbeheer/maatregel/nutriëntenhuishouding-bosbodems-herstellen>

VBNE. (2020). Praktijkadvies: Bodemverdichting en insporing in het bos. https://www.vbne.nl/Uploaded_files/Zelf/praktijkadvies-bodemverdichting.cf0221.pdf

Verheyen, K., Honnay, O., Motzkin, G., Hermy, M., & Foster, D. (2003). Response of forest plant species to land-use change: A life-history trait-based approach. Journal of Ecology, 91, 563–577.

Vermeiren, N. (2011, June 23). Nood- en interventieplan stevige houvast voor hulpdiensten. Het Nieuwsblad. <https://www.nieuwsblad.be/cnt/7h3bp35v>

Vlaamse Milieumaatschappij. (n.d.). Wat is verzuring? Retrieved April 27, 2021, from <https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermesting/wat-is-verzuring>

Vlaco. (2019, July 22). Hebben je planten last van droogte? Mulch je tuin met compost tot leven! Vlaco. <https://www.vlaco.be/nieuws/hebben-je-planten-last-van-droogte-mulch-je-tuin-met-compost-tot-leven>

VMM, 2021. Uitwerking van een reactief afwegingskader voor prioritair watergebruik tijdens waterschaarste. Eindrapport. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

Vrebos, D., Staes, J., Jacobs, S., & Meire, P. (2014). NARA-T: Technisch rapport: Hoofdstuk 15 Ecosysteemdienst waterproductie.

Wang, N., Quesada, B., Xia, L., Butterbach-Bahl, K., Goodale, C.L., Kiese, R., 2019. Effects of climate warming on carbon fluxes in grasslands— A global meta-analysis. Glob. Chang. Biol. 25, 1839–1851. <https://doi.org/10.1111/gcb.14603>

Wei, L.; Fenton, N.J.; Lafleur, B.; Bergeron, Y. (2019) The Combined Role of Retention Pattern and Post-Harvest Site Preparation in Regulating Plant Functional Diversity: A Case Study in Boreal Forest Ecosystems. Forests 2019, 10, 1006.

Weijters, M., Bobbink, R., Verbaarschot, E., Van, L., & De Vries, W. (n.d.). Steenmeel: Effecten op bodemchemie en bladchemie.

Wilhelm, G. J., & Rieger, H. (2013). Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Stuttgart: Ulmer.

Williams, D. (2018, October). Restoring a Forest Using Wood Chips. Capitol Land Trust. <https://capitolandtrust.org/restoring-forest-wood-chips/>

Williams, M.I., Dumroese, R.K. (2013). Preparing for climate change: Forestry and assisted migration. J. Forest. 111, 287–297.

Witte, J., Runhaar, J., van Ek, R., 2009. Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland. KWR Watercycle research Institute & Deltares

Woetzel, J., Pinner, D., Samandari, H., Engel, H., Krishnan, M., Boland, B., & Powis, C. (2020). Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts. www.mckinsey.com/mgi.

Woodall, C. W. , C. M. Oswalt, J. A. Westfall, C. H. Perry, M. D. Nelson, A. O. Finley (2009) An indicator of tree migration in forests of the eastern United States. For. Ecol. Manage. 257, 1434–1444.

Wösten, H., Groenendijk, P., 2021. Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)

WUR. (n.d.). Wat is een plaag? Retrieved April 27, 2021, from <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Projecten/Insectenweb/Wat-is-een-plaag.htm>

Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., & Cramer, W. (2005). Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawandel-in-deutschland-vulnerabilitaet>

Bijlages

Bijlage 1. Natuurstreefbeelden en Europese habitats

Bijlage 2. Politiek mondiaal relevante omslagelementen

Bijlage 3: Technische fiche: Steenmeel toevoegen in bossen

Bijlage 4. Technische fiche: Mulching bij aanplant bosplantsoen

Bijlage 5: Criteria veerkracht: Ophovenderheide 205a

Bijlage 6: Criteria veerkracht: Aelmoeseneiebos 5J

Bijlage 7: Criteria veerkracht: Aelmoeseneiebos 2H

Bijlage 1. Natuurstreefbeelden en Europese habitats

Het samenspel tussen de verschillende ecologische structuren, elementen en processen zal uiteindelijk leiden tot een uniek bosgebied.

Om de ecologische kwaliteit van onze bossen te garanderen en controleren, worden bepaalde streefbeelden gehanteerd naargelang de standplaats. In Europa zijn de Europese habitattypes daarvoor het belangrijkste instrument. Deze Europese habitattypes werden voor de Vlaamse context vertaald en uitgebreid met enkele specifiekere Vlaamse natuurtypes tot de Natuurstreefbeelden.

Om te weten of een natuurstreefbeeld bereikt is of in welke staat een habitat verkeert, wordt gebruik gemaakt van LSVI-tabellen. LSVI staat daarbij voor Lokale Staat Van Instandhouding. Binnen het huidige beleid worden – bij het opstellen van een natuurbeheerplan – de doelen ook geformuleerd op basis van deze natuurstreefbeelden.

De LSVI-tabellen lijsten bepaalde criteria op om de kwaliteit in te schatten. Voor bos om ‘goed ontwikkeld’ genoemd te worden, zijn er de volgende criteria (Oosterlynck et al., 2020):

Op vlak van verstoring:

- Geen storende aanwezigheid van invasieve exoten in de kruid-, struik- of boomlaag
- Geen verruiging

Op vlak van structuur:

- Aanwezigheid van zowel een boom-, struik- als kruidlaag.
- Een variatie van leeftijden en diameterklassen van bomen. Zeker oude bomen mogen niet ontbreken.
- Deze variatie in plekken met jonge bomen, volgroeide bomen, oude stervende bomen, open plekken en bosranden kan alleen in bossen van een bepaalde oppervlakte. Goed ontwikkelde bossen mogen dus niet te klein zijn. Ze hanteren daarvoor het minimum structuurareaal, de minimum oppervlakte voor een goed ontwikkeld bosstreefbeeld.
- Ook de hoeveelheid en type dood hout is een belangrijke kenmerk.
- Ze nemen ook het criterium bosconstantie mee als indicator voor de aanwezigheid van sleutelsoorten en een goede bodemstructuur, al is dit natuurlijk geen structuurkenmerk zelf.

Een laatste criterium eist een variatie aan inheemse, standplaatsgeschikte boomsoorten en de aanwezigheid van sleutelsoorten in de boom-, struik- en kruidlaag. De LSVI-tabellen geven daarvoor per natuurstreefbeeld een lijst aan soorten. Deze lijsten zijn echter gebaseerd op vegetatieopnames uit het verleden waar een relatief stabiele abiotische omgeving bestond. In het oog van klimaatverandering zullen de abiotische kenmerken beginnen veranderen en zullen de bijhorende vegetaties vermoedelijk ook veranderen. Daarom hebben we binnen dit rapport geen focus op die sleutelsoorten en nuanceren we het gebruik van inheemse boomsoorten.

In Van der Aa et al., 2015 vinden we een indeling van de Vlaamse bossen, de kustbossen uitgezonderd, volgens de Europese en andere habitatypecodering.

- Mesofiele tot droge bossen
 - o Habitatwaardig mesofiel tot droog bos
 - 9110 Beukenbossen van het type *Luzulo-Fagetum*

- 9120 Atlantische zuurminnende beukenbossen met *Ilex* en soms ook *Taxus* in de ondergroei (*Quercion robori-petraeae* of *Ilici-Fagenion*)
 - 9130 Beukenbossen van het type *Asperulo-Fagetum*
 - 9150 Midden-Europese kalkrijke beukenbossen behorend tot het *Cephalanthero-Fagion*
 - 9160 Sub-Atlantische en Midden-Europese wintereikenbossen of eikenhaagbeukbossen behorend tot het *Carpinion-betuli*
 - 9190 Oude zuurminnende eikenbossen op zandvlakten met *Quercus robur*
- Niet-habitatwaardig mesofiel tot droog bos
 - rbbppm oude structuurrijke aanplant van grove den
 - Den productiebossen
 - Jonge loofbossen
- Natte bossen
 - Habitatwaardige natte bossen
 - 91E0 Bossen op alluviale grond met *Alnion glutinosa* en *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)
 - 91F0 Gemengde oeverformaties met *Quercus robur*, *Ulmus laevis* en *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* of *Fraxinus angustifolia*, langs de grote rivieren (*Ulmenion minoris*)
 - Niet habitatwaardige natte bossen
 - Populieren zonder dichte autochtone struik- of boomlaag
 - Jonge natte bossen
- Struwelen
 - Vochtige struwelen
 - rbbfsf moerasbos van breedbladige wilgen
 - rbbso vochtig wilgenstruweel op venige of zure bodem
 - rbbssm gagelstruweel
 - Droge struwelen
 - rbbssg brem- en gaspeldoornstruweel
 - rbbssp doornstruweel

Bibliografie

- Oosterlynck, P., Saeger, S. De, Leyssen, A., Provoost, S., Thomaes, A., Vandevoorde, B., Wouters, J., & Paelinckx, D. (2020). *Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura2000 habitattypen in Vlaanderen*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
<https://doi.org/10.21436/inbor.14061248>
- Van der Aa, B., Vriens, L., Van Kerckvoorde, A., De Becker, P., Roskams, P., De Bruyn, L., Denys, L., Mergeay, J., Raman, M., Van den Bergh, E., Wouters, J., & Hoffmann, M. (2015). *Effecten van klimaatverandering op bos en natuur*.

Bijlage 2. Politiek mondiaal relevante omslagelementen

Dit artikel is gebaseerd op een artikel van Sarah Vicca uit EOS op 21 mei 2015 (EOS 2015)

Het point of no return voor de West-Antarctische ijskap (WAIS) is bereikt. Twee recente studies (Joughin et al., 2014; Rignot et al., 2014) tonen aan dat o.a. de gletsjers Thwaites en Pine Island op WAIS steeds sneller afsmelten en dat dit afsmelten onstopbaar geworden is. Het is meer dan waarschijnlijk dat de rest van WAIS ook volgt. Het gevolg: 1 m zeespiegelstijging bij afsmelten van het deel aan de Amundsenzee (ter hoogte van Thwaites en Pine Island), 3 tot 5 m zeespiegelstijging wanneer ook de rest van WAIS in de oceaan belandt. We hebben nog 'geluk' dat deze stijging toch minstens 200 jaar zal duren volgens de modelleerstudie van Joughin et al. (2014.)

Deze bevindingen maken dat WAIS de eerste van zogenaamde politiek-relevante omslagelementen is dat zijn omslagpunt bereikt heeft. Deze omslagelementen zijn elementen binnen het Aardse systeem die aanzienlijk risico lopen om voorbij een omslagpunt geduwd te worden waarna (vaak onomkeerbare) veranderingen met grote impact op grote delen van de wereldbevolking onafwendbaar zijn. Dat laatste maakt ze politiek relevant. Zoals aangegeven in Figuur 1 werd WAIS al eerder beschouwd als een belangrijk omslagelement, al was het niet het element dat verwacht werd eerst zijn omslagpunt te bereiken. Dit komt vooral omdat het zo moeilijk in te schatten is waar het omslagpunt precies ligt, en wanneer het bereikt zal worden.

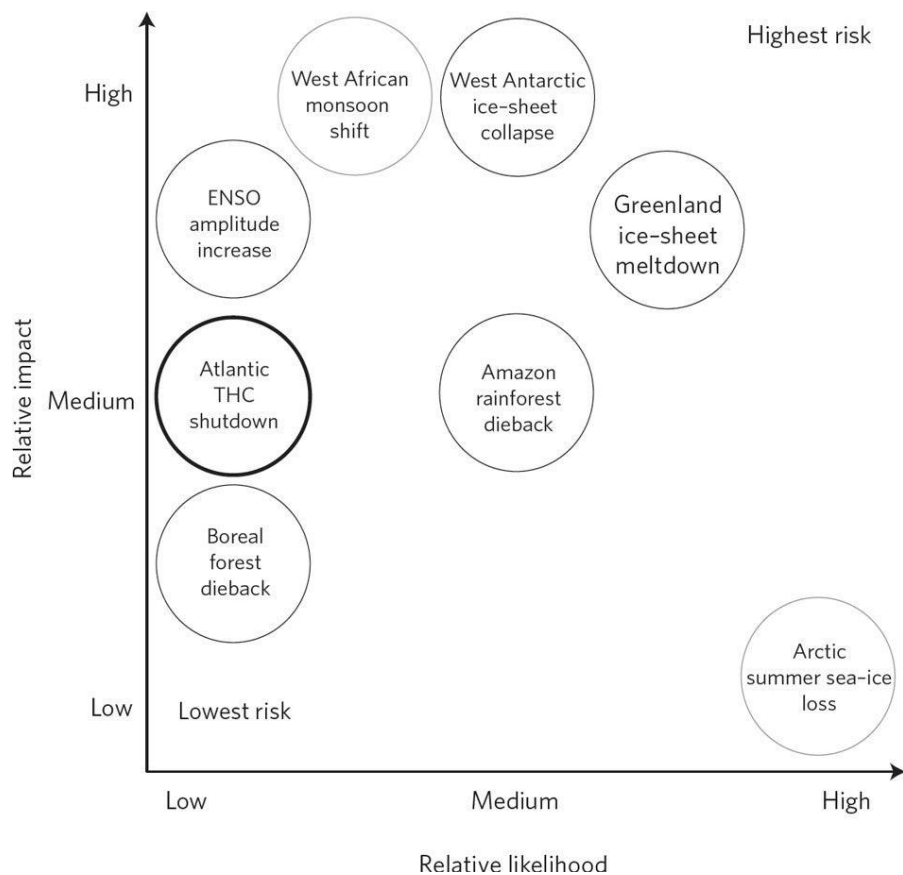


Figure 1: Indicatie van de waarschijnlijkheid dat een omslagpunt bereikt voor politiek-relevante omslagelementen.

Tussen de politiek-relevante omslagelementen vinden we nog twee points of no return voor ijsmassa's: het zee-ijs op de Noordpool en de Groenlandse ijskap. Of we het omslagpunt voor deze

ijsmassa's snel zullen bereiken, of misschien zelfs al bereikt hebben zonder het te beseffen, blijft een belangrijk punt van discussie onder wetenschappers.

De overige omslagelementen gaan, net als de vorige, gepaard met grote onzekerheden over waar het omslagpunt zich bevindt en over de volledige impact van het overschrijden van een omslagpunt. Bovendien kan een verandering in een van deze elementen andere omslagelementen beïnvloeden. Het afsmelten van de Groenlandse ijskap beïnvloedt bv. in belangrijke mate de thermohaliene circulatie (THC) in de Atlantische Oceaan. THC brengt warm water vanuit de Golf van Mexico naar onze contreien en zorgt er zo voor dat we genieten van een warmer klimaat dan de Canadezen die op dezelfde breedtegraad leven. De grote hoeveelheden zoet water die in de Atlantische Oceaan terechtkomen door het afsmelten van de ijskappen daar zorgen ervoor dat THC momenteel al vertraagt, en mogelijks later (maar waarschijnlijk niet meer deze eeuw) stilvalt. Dit zou niet enkel een invloed hebben op de temperatuur in Europa, maar bv. ook het zeeniveau in het Noord-Oosten van de VS en in Europa met een halve meter doen stijgen, en de moessonregens in Oost-Afrika en India afzwakken.

Veranderingen in El Niño, meer bepaald een toename in frequentie en in sterkte, behoren eveneens tot de verwachtingspatronen in een warmer klimaat. Een sterke El Niño brengt o.a. droogte voor India, West-Australië en voor het Amazonewoud mee. Het recentste IPCC rapport geeft immers aan dat klimaatverandering op zichzelf hoogst waarschijnlijk niet in staat is om het Amazonewoud voorbij het omslagpunt te duwen waarbij het woud onherroepelijk ten dode opgeschreven is. Het omslagpunt in het Amazonewoud wordt in belangrijke mate bepaald door de combinatie van klimaatverandering (vnl. afsterven door droogte en bijhorende bosbranden) en ontbossing. Ontbossing brengt namelijk een sterke toename van het brandgevaar met zich mee. Het Amazonewoud is een belangrijke opslagplaats van koolstof; de vegetatie bevat er meer dan 100 gigaton koolstof (= 10x de huidige jaarlijkse CO₂ emissies door de mens) en de intacte delen van het woud nemen jaarlijks nog steeds meer koolstof op dan ze afgeven. Met andere woorden, wanneer het Amazonewoud verdwijnt, verandert deze buffer voor onze CO₂ emissies in een belangrijke bron van CO₂, en wordt klimaatverandering verder versterkt. Voorkomen dat we terechtkomen in een wereld met zelf-versterkende en elkaar-versterkende mechanismen die op hun beurt klimaatverandering vaak ook versterken (het afsmelten van de ijskappen bv. door een verminderd albedo (=toename van de absorptie van zonlicht), het verdwijnen van het Amazonewoud door een stijging van de broeikasgasconcentraties). Het lijkt een kwestie van gezond verstand om snelle en drastische acties te ondernemen en de weg naar een koolstofneutrale samenleving in te slaan.

Het verdwijnen van koraalriffen wordt ook als een tipping point beschouwd. Dit werd hierboven niet vermeld. Stijgende oceaantemperaturen en verzuring leiden tot grootschalige "koraalverbleking". Wetenschappers vrezen dat de koraalriffen als eerste ecosysteem ter wereld volledig zullen verdwijnen, waardoor veel kustlijnen hun bescherming tegen stormen en overstromingen zullen verliezen (EU 2010; weforum.org).

Bibliografie

EU, 2010. De rol van natuur bij klimaatverandering.

<https://www.weforum.org/agenda/2019/12/climate-change-tipping-points-earth/>

Joughin et al., 2014. Under way for the Thwaites glacier Basin, West Antarctica. Science 344, 735-738.

Lenton et al., 2011. Early warning of climate tipping points. Nature Climate Change 1, 201-209.

Rignot et al., 2014. Widespread rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith and Kohler glaciers, West Antarctica, from 1992 to 2011. Geophysical Research Letters 41, 3502-3509.

IPCC 2013. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

EOS 2015. <https://www.eoswetenschap.eu/natuur-milieu/het-kantelpunt-voorbij-de-grote-risicos-van-klimaatverandering>

Bijlage 3. Technische Fiche: Steenmeel toevoegen in bossen

Steenmeel kan helpen om de verzuring van bosbodems tegen te gaan en de vitaliteit van bomen te verbeteren. Voor een uitleg rond verzuring en vermesting en hoe dit interageert met klimaatverandering, verwijzen we naar desbetreffende deel in hoofdstuk 1&2 in dit rapport.

Zonder het verminderen van de input van atmosferische deposities en aanrijkingen via neerslagwater, is het nemen van maatregelen op het terrein vergelijkbaar met dweilen met de kraan open en zal de verzuring een blijvende druk zijn. Het verminderen van de input ligt echter vaak buiten de macht van de beheerder (VBNE, n.d.). Zolang de input echter niet wordt aangepast, kan niet over echt herstel worden gesproken.

De beheerder kan in de tussentijd wel maatregelen op het terrein nemen om de effecten van verzuring te verminderen in die locaties waar de situatie kritisch is. Twee maatregelen daarvoor zijn enerzijds het aanplanten van rijkstrooiselsoorten die basische kationen uit diepere grondlagen putten en via hun strooisel dit in oppervlakkigere bodemlagen beschikbaar maken. Anderzijds kunnen basische elementen rechtstreeks worden toegevoegd door kalk of steenmeel. In deze technische fiche, behandelen we het toevoegen van steenmeel als maatregel.

Omschrijving werking

Steenmeel is gemalen gesteente dat silicaatmineralen bevat. Door verwerking leveren de mineralen zogenaamde basische kationen op zoals calcium, kalium en magnesium en eventueel ook enkele sporenelementen (Weijters et al., n.d.). Deze basische kationen kunnen de waterstofionen gedeeltelijk verdringen uit het klei-humusuitwisselingscomplex waardoor de zuurtegraad afneemt. Hierdoor stijgt de pH en vermindert de hoeveelheid uitgeloopte kationen. Ook Aluminium – dat in een te zure bodem in oplossing komt en toxisch is voor de meeste planten – wordt terug vastgezet.

De meeste onderzoeken rond het gebruik van steenmeel zijn nog jong. De oudste experimenten gaan maar tot ongeveer 5 jaar terug. Toch kon in experimenten uit de Hoge Veluwe al resultaten afgeleid worden uit de eerste drie jaar onderzoek (De Vries et al., 2019). De auteurs stellen een significante verandering in de basenverzadiging van de bodem vast. Tussen de 10 en 40% van de toegevoegde basen bleek reeds op het adsorptiecomplex te zijn vastgelegd. Daardoor is eveneens de bodem-pH licht gestegen. Ook in de bladchemie werden veranderingen in basische kationen vastgesteld, maar met een wisselend effect afhankelijk van het type steenmeel en de locatie.

Doordat steenmeel de pH verhoogt, ontbrekende nutriënten aanvult en de toxische elementen vastlegt kan meer bodemleven overleven in de bodem. Dit bodemleven zorgt voor de afbraak van organisch materiaal en brengt dit dieper in de bodem. Ook dit werd vastgesteld in de proeven in de Hoge Veluwe (De Vries et al., 2019). Daar leidde de toediening van steenmeel tot een significante toename van regenwormen. Die verhoogde hoeveelheid organisch materiaal in de bodem komt overigens het watervasthoudend vermogen van de bodem ten goede hoewel het effect hier zeker van overschat mag worden (zie handvat 'verhogen vochtvasthoudend vermogen van bosbodems'). Naast regenwormen kunnen o.a. ook bodembiota baat hebben bij steenmeel (Bosgroepen, 2020).

Tot slot constateerde men in De Vries et al. (2019) ook een toename in de hoeveelheid fijne wortels, wat gunstig is voor de voedings- en waterhuishouding.

Negatieve effecten op fauna en flora werden tot nu ook nog niet vastgesteld.

Hoewel de korte termijn resultaten uit het onderzoek veelbelovend zijn, zijn er nog heel wat onzekerheden. Aanvullend onderzoek is nodig om de effecten te kennen op (middel)lange termijn (De Vries et al., 2019).

Steenmeel vs. Kalk

In het verleden werden enkele experimenten met kalk gevoerd. Dit had echter een aantal grote nadelen. Het effect was enorm groot, maar veel te snel. Dit zorgde voor een snelle aanrijking van Calcium en Magnesium, en een sterke stijging in de pH. Vermoedelijk via verhoogde stikstofmineralisatie kregen ruigtekruiden hierdoor de overhand. De gevolgen daarvan zijn nu nog zichtbaar. Steenmeel breekt veel trager af (tot wel 30 jaar verwerkingstijd (Bosgroep Zuid Nederland, 2019)) waardoor de pH minder sterk en veel geleidelijker stijgt.

Steenmeel heeft als extra voordeel dat het meer elementen en sporenelementen bevat dan kalk dat alleen Calcium en Magnesium bevat. Op die manier ontstaat minder een disbalans in de aanwezige basische kationen in de bodem.

In welke situaties kan je steenmeel toepassen?

De Bosgroepen Zuid-Nederland werken aan een beslisboom steenmeel die beheerders helpt met het al/dan niet kiezen voor steenmeel. Op 20 april 2021 stelden zij dit voor op een symposium rond steenmeelgebruik. Bij het schrijven van deze technische fiche is de beslisboom nog niet gepubliceerd, maar konden we wel info halen uit hun presentatie (van den Berg & Koopmans, 2021).

Steenmeel wordt enkel toegepast als

- Er een probleem wordt vastgesteld in de vitaliteit van de vegetatie
 - Er komen nog zeldzame of specifieke soorten voor, maar deze verjongen zich niet
 - De vegetatie vertoont groeiproblemen zoals verkleuring door nutriëntentekort, een verminderde diktegroei of de vegetatie sterft deels af.
- Dit probleem gerelateerd is aan de verzuring en verarming van de bodem. Dit kan men vaststellen door een nulmeting in de bodem en/of de vegetatie (zie verder). Indien dit niet wordt vastgesteld ligt het vitaliteitsverlies dus aan iets anders en zal steenmeel toevoegen geen zin hebben.
 - Er is dus geen buffercapaciteit aanwezig.
 - Indien slechts een tekort in 1 type nutriënt wordt vastgesteld, kan gekozen worden om alleen dat nutriënt toe te dienen. Bij een tekort van verschillende elementen kan steenmeel worden toegediend.
- Het verhogen van de hoeveelheid basische kationen niet kan plaatvinden door hydrologisch herstel (zie handvat 'Hydrologisch herstel'). Aangezien elementen kunnen aangevoerd worden door de grondwaterstromen.
- Het effect op dit type bodem onderzocht is. Dat wilt zeggen:
 - Niet op bodems waar een klei- of leemcomplex aanwezig is. Alle onderzoek is momenteel namelijk gebaseerd op zandgronden.
 - Niet op een sterk organische bodem zoals een veenbodem en/of er is geen sterke H-horizont aanwezig (aangezien we het effect van steenmeel op organische lagen nog niet kennen)
- De regelgeving dit toelaat in het terrein. Zie verder.

Steenmeel toevoegen als maatregel om verzuring tegen te gaan is een relatief nieuwe techniek. Sinds 2016 worden in Nederland hier experimenten mee uitgevoerd op arme zandbodems. De resultaten daarvan zijn veelbelovend, maar het is nog zeer onzeker wat op de (middel)lange termijn het effect zal zijn. Ook in Vlaanderen raden we daarom aan om vooralsnog voorzichtig te zijn met deze maatregel en bij elke uitvoering in een wetenschappelijk kader (voormeting, monitoring en evaluatie) en relatief kleinschalig te werken.

Werkwijze

Nulmeting

In eerste instantie moet dus worden nagegaan of steenmeel toevoegen wel noodzakelijk en een goed idee is in het gebied. Door deze voormeting kan men ook een betere beslissing nemen voor het soort steenmeel.

Men moet eerst en vooral vaststellen dat er een deficit is en vervolgens voor welke mineralen (Kalium, Magnesium, Calcium en/of Fosfor).

Voor deze voormeting kunnen bodemmetingen worden gedaan om de nutriëntenbalans te zien of kan de bladchemie worden vastgesteld.

Bij een bodemonderzoek neemt men een staal uit de eerste 10 cm (zonder het strooisel). Men meet hier de pH, de CEC en de basenverzadiging (van den Berg & Koopmans, 2021). Men kan dit vervolgens gelijken met bepaalde referentiewaarde. Van den Berg & Koopmans (2021) geven onderstaande waarden mee, maar geven ook aan dat dit geen vaste referentiewaarden zijn en er best case per case met een ecooloog of een studiebureau een inschatting wordt gemaakt.

Tabel 1 overzicht van na te streven pH-waarden en basenverzadigingswaarden voor drie bostypes (van den Berg & Koopmans, 2021).

Bostype	pH	Basenverzadiging
Eiken-berken bos	4.0	25%
Dennenbos	4.0	25%
Beukenbos	4.0	25%

Bij een bladchemisch onderzoek kan men de actuele waarden vergelijken met de kritische concentraties uit de literatuur zoals in Mellert & Göttlein (2012). Bladchemisch onderzoek heeft als voordeel dat het meer zekerheid biedt dat het tekort zich ook in de vegetatie manifesteert en op welke manier. Er kan namelijk een discrepantie zitten tussen de tekorten die in de bodem worden gemeten en de tekorten die in het blad worden gemeten.

Soort steenmeel

Er bestaan verschillende soorten steenmeel op de markt. Het hoofdverschil zit in de samenstelling ervan. De aanwezige elementen en de verhoudingen, kunnen daarbij sterk verschillen.

De tekorten die eventueel uit de nulmeting blijken zijn dus een belangrijke beslissingsfactor voor het type steenmeel. De samenstelling van het steenmeel komt namelijk best zo goed mogelijk overeen met de vastgestelde verhoudingen in tekorten.

- [Eifelgold](#) is relatief Fosforrijk. Het wordt gemijnd in de Eifelstreek.
- [Soilfeed](#) is relatief Kaliumrijk. Dit is een restproduct uit veldspaatmijnen uit Noord-Scandinavië.
- [Vulkamin](#) is relatief rijker aan K en Mg en ook een rechtstreeks mijnproduct.
- Biolit kan mogelijks kankerverwekkende stoffen bevatten. Daar moet dus mee worden opgelet (van den Berg & Koopmans, 2021).
- Verder wordt op [steenmeel.info](#) een [lijst](#) gegeven van steenmeel soorten die in Nederland verkrijgbaar zijn met de eigenschappen van elke soort.

Voor de samenstelling van de verschillende types steenmeel wordt best navraag gedaan bij de fabrikant.

Verder kan worden ingedeeld naar de korrelgrootte. Hoe groter de korrel, hoe langzamer de verwerking.

Bij het aankopen van steenmeel moet erover gewaakt worden dat de ontginning van dit steenmeel het milieu, de leefomgeving en de gemeenschap zo min mogelijk belast.

Hoeveelheid steenmeel

De hoeveelheid steenmeel kan je berekenen aan de hand van de huidige en de gewenste hoeveelheid uitwisselbare basen en enkele andere factoren (zie berekening hieronder).

Dit kun je berekenen aan de hand van de volgende formule (de Leeuw, 2019; De Vries et al., 2019):

$$SB = (BV_{\text{gewenst}} - BV_{\text{start}}) * CEC * BD_{\text{bodem}} * D_{\text{bodem}} / 100$$

Met:

- SB = steenmeelbehoefte (keq basen/ha)

- CEC = kationenuitwisselingscapaciteit (meq/kg)
- BV = basenverzadiging: fractie basen aan adsorptiecomplex
- BD = bulkdichtheid bodem (kg/m³)
- D = dikte van de bodemlaag (m) waarvoor men de verandering wil berekenen.

Hierbij houdt men enkel rekening met het herstel van de buffering van de minerale bodemlaag. Voor de organische boslaag (F-OH horizont) kan een dergelijke dosering te hoog zijn.

Om te weten welke dosering nodig is voor het herstel van de biodiversiteit en het herstel van processen die horen bij een vitaal bos is meer kennis over de effecten van steenmeel nodig (de Leeuw, 2019).

Als richtlijn kan men ook 10 ton/ha nemen. Uit ervaring van de bosgroepen Zuid-Nederland blijkt dit bijna overal een goede dosering om tot een basenverzadiging van 25% te komen (van den Berg & Koopmans, 2021).



Een verspreiding van 10 ton/ha geeft uiteindelijk maar een fijn laagje steenmeel. Op de foto hieronder is het laagje steenmeel te zien direct na de verspreiding (in dit geval per helikopter). De dunne laag is relatief snel verdwenen in de bodem waar het verweringsproces verdergaat.

Figuur 1 Fijn laagje steenmeel (Soilfeed) dat zichtbaar is na de verspreiding van het steenmeel. bron: (Bosgroep Zuid Nederland, 2021)

Toediening

Steenmeel kan puntsgewijs bij de aanplant worden toegevoegd, maar kan ook in reeds bestaande bestanden vlaksgewijs toegepast worden.

Bij puntsgewijze toediening wordt er steenmeel in de plantput gebracht. Dit steenmeel is direct beschikbaar voor de boom aangezien het vlak bij de wortels is aangebracht. Op deze manier tracht men de mineralen sneller tot aan de boom te brengen en onrechtstreeks via de bladeren te verspreiden op de bredere bosbodem. Deze werkwijze is nog niet breed toegepast. Het ANB paste recent wel deze techniek toe (1 kg steenmeel per plantput en startbemesting). Resultaten zullen echter pas binnen circa 5 jaar gekend zijn (Sauren et al., 2020).

Vlaksgewijze toepassing wordt wel al vaker toegepast. Bij vlaksgewijze toediening zal het effect vermoedelijk langer op zich laten wachten. Het steenmeel moet eerst volledig afgebroken worden en opgenomen worden door de bodem.

Verschillende manieren

Belangrijke beslissingsfactoren hierin zijn (van den Berg & Koopmans, 2021):

- De hoeveelheid te strooien steenmeel.
- Dit hangt samen met de grootte van het te bestrooien terrein. Kleine oppervlaktes en hoeveelheden kunnen nog handmatig worden uitgevoerd. Voor grotere oppervlaktes wordt dit te kostelijk en moet voor een machinaal alternatief gekeken worden.
- De terreingesteldheid en kwetsbaarheid van de vegetatie bepalen of en welke voertuigen kunnen worden ingezet. Indien er geen voertuigen op het terrein kunnen, kan het steenmeel handmatig worden toegevoegd of via een helikopter.

- De bereikbaarheid van het terrein: Er moet gekeken worden tot hoever het steenmeel kan gebracht worden om een tijdelijke depot op te stellen. men moet rekening houden met vrachtwagens van 50 ton. Als dit te ver weg ligt van de strooiplaats, leidt dit tot enorm veel heen en weer vervoer door kleinere toestellen wat de praktijk te kostelijk en inefficiënt maakt. Toevoer via helikopter kan ook hier een oplossing bieden.
- Overlast en omgeving en veiligheid: In gebieden die omgeven zijn door veel bebouwing of onder grote recreatiedruk staan, is het moeilijker om met de helikopter steenmeel toe te dienen aangezien er wel wat verstuijt. Bovendien mag er niemand op het terrein aanwezig zijn waar gestrooid wordt. Dit garanderen vergt zeer veel inspanning.
- Regelgeving: Niet in alle gebieden mogen alle praktijken worden uitgevoerd en zijn speciale vergunningen nodig.
- Budget is een laatste belangrijke factor. Afhankelijk van de situatie kan een bepaalde optie goedkoper zijn dan een andere. De helikopter is daarbij niet altijd per se de duurste.



Figuur 2 handmatige toediening steenmeel. Bron: (Kleis, 2020)

Handmatig toedienen

Steenmeel kan handmatig toegediend worden. Dosering zal hier eigenhandig moeten gebeuren en geeft dus de mogelijkheid tot ongelijke verdeling.

Handmatige verdeling wordt enkel gebruikt voor kleine oppervlaktes of op plaatsen waar geen enkele rijdend werktuig kan gebruikt worden aangezien de kosten snel heel hoog oplopen.

Toedienen steenmeel met strooiwagens

Wanneer er grotere oppervlaktes moeten bestrooid worden en/of de bodem niet met gemotoriseerd materiaal berijdbaar is (door de vegetatie, kruin of stamhout en de mogelijke verdichting) kan gekozen worden voor een handmatige strooiwagen. Ook dit is een kostelijke methode door de hoeveelheid manschappen.



Figuur 2 toediening met strooiwagen (Nature Today | Redt Steenmeel Het Oude Eikenbos Op de Veluwe?, n.d.)

Bij deze manier van toedienen is de kans op ongelijke verdeling minder groot. Het steenmeel wordt gespreid verdeeld enkel als er een verplaatsing gebeurt van de machine.

Terrestrisch gemotoriseerd machinaal

Het steenmeel kan ook met grotere gemotoriseerde machines verspreid worden

Er kan een tractor met pendel of centrifugaalstrooier gebruikt worden.

Deze moet het terrein op dus dit kan potentieel de vegetatie, fauna en de bodem verstoren. Daarom zal dit eerder gebruikt worden bij nieuwe percelen waar er nog geen (waardevolle) vegetatie aanwezig is, bij droge bodems en bestanden met weinig tot geen ondergroei. Bovendien wordt de tractor best voorzien van ballonbanden met extreem lage druk om insporing te vermijden. In Figuur 3 is dus in dat opzicht geen goed



Figuur 3 toevoegen van steenmeel ©Anjo de Jong (VBNE, n.d.)

voorbeeld te zien (Bosgroep Zuid Nederland, 2021).

De strooier kan over een breedte van 10 meter strooien en kan tussen de 700 kg en 1 ton per keer meenemen. Daardoor zijn meer rijbewegingen nodig dan bij de blazer.

Wanneer de site zo weinig mogelijk bereden dient te worden kan men ook het steenmeel toedienen vanop afstand d.m.v. het droog spuiten van dit steenmeel als stof met een 'blazer'.



Figuur 4 Blazer spuit vanaf de paden steenmeel tot enkele meters het bos in (Bosgroep Zuid Nederland, 2021).

De blazer kan vaak vanaf de paden de meeste plekken bereiken. Daardoor wordt de hoeveelheid overlast op de bodem sterk verminderd (Bosgroep Zuid Nederland, 2021). Bovendien kan de blazer iets meer materiaal per keer meenemen (van den Berg & Koopmans, 2021).

De blazer werkt echter minder nauwkeurig. Het meeste steenmeel valt tussen de 20 en 30 meter vanaf de blazer (van den Berg & Koopmans, 2021) waarbij het zwaarste materiaal dichter landt en het fijne materiaal verder wordt gestuwd. Door die 30 meter zijn minder rijbewegingen nodig als de blazer toch door het terrein zou rijden.

Vanuit de lucht

Een andere methode is het gebruiken van een helikopter om het steenmeel aan te brengen. Een *shovel* laadt de strooibak op ongeveer 30 seconden waarna de helikopter wegvliegt, op 30 seconden tijd het steenmeel aanbrengt en vervolgens terugvliegt (Bosgroep Zuid Nederland, 2021).

De helikopter kan ongeveer 900 kg per keer meenemen en strooit van 40 – 50 meter hoogte (van den Berg & Koopmans, 2021).

Deze manier heeft het voordeel dat de bestrooide plek niet betreden hoeft te worden of via wegen bereikbaar moet zijn.

Bovendien is het mogelijk grote hoeveelheden in een korte tijd te bestrooien.

De methode lijkt duur, maar mits een goeie logistiek kan de kostprijs van de helikopter sterk beperkt worden en doordat dit een zeer tijdsefficiënte methode is, kan dit zelfs goedkoper uitkomen dan de andere maatregelen. Veiligheid is hier nog een veel groter issue en ook logistiek is hier nog belangrijker om de kost van zo'n helikopter te beperken. Probeer de depots tot maximum 1 km van de strooiplaats te plaatsen (van den Berg & Koopmans, 2021).



Figuur 5 Toedienen van steenmeel via een helikopter met strooibak. Bron: (Bosgroep Zuid Nederland, 2021)

Logistieke voorbereiding

Bij vlaksgewijs toedienen is het belang van een goede logistieke voorbereiding niet te onderschatten. Logistiek is volgens Gerard Koopmans dé cruciale factor die de prijs bepaald bij deze maatregel (van den Berg & Koopmans, 2021).

Vooraf dient bepaald te worden hoe de verdeling zal verlopen. Voor de effectieve uitvoering is een strooiplan dus ook sterk aangeraden. Dit zorgt ervoor dat er snel en efficiënt kan gewerkt worden. Voor toedienen via helikopter worden best duidelijke zones aangeduid met een vliegplan zodat de piloot goed weet waar en hoeveel steenmeel moet worden toegediend. Samenwerking met het verhuurbedrijf is hier sterk aangewezen.

Maar ook bij de andere manieren van toediening is dit cruciaal. Bij handmatig toedienen moet een duidelijke structuur gemaakt worden om te voorkomen worden dat er meermaals gestrooid wordt op bepaalde plaatsen. Het perceel kan worden opgedeeld in verschillende stroken of vakken die achtereenvolgens behandeld worden. Wanneer het werk met meerdere personen wordt uitgevoerd is het belangrijk om vooraf deze werkwijze, het traject te bespreken.

Bij het gebruik van een traktor is een goed uitgewerkt rijpatroon nodig om zo weinig mogelijk rijbewegingen te hebben. Dit zorgt ervoor dat de bodem minder wordt verstoord, maar ook dat er tijds- en kostenefficiënter kan gewerkt worden. In bos is het met een tractor vermoedelijk een extra uitdaging om goeie rijpatronen aan te leggen.

Het weer

Zelfs met de beste voorbereiding is men bij deze maatregel sterk afhankelijk van het weer. Men moet rekening houden met regen en wind.

De wind is belangrijk omdat het dunne materiaal snel verstuift. Zowel bij helikopters, blazers en traktors met strooiers, kan het daardoor moeilijk zijn om het materiaal op de juiste plaats te doen landen. Eventuele strooiplannen moeten dan herzien worden. Bij sterke wind gaat de strooibak onder de helikopter overigens zwengelen en bij heel hevige wind (of mist) kan de helikopter zelfs niet opstijgen (van den Berg & Koopmans, 2021).

Regen werkt ook tegen omdat het steenmeel gemakkelijk gaat klonteren. Daardoor kunnen de strooiers verstopt geraken en niet meer werken.

Monitoring en Evaluatie

Zoals eerder al gezegd is het toevoegen van steenmeel een nieuwe techniek, waar nog niet heel veel gegevens van bekend zijn en nog minder langetermijneffecten. Monitoren of het steenmeel het gewenste effect teweegbrengt is dus heel belangrijk. Zowel voor de beheerder als voor het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis.

Sensibilisering

Men bereidt zich best voor op heel wat vragen van recreanten en omwonenden bij een dergelijke beheeringreep. Het is namelijk een zeer zichtbare maatregel. Men communiceert hier best preventief al zo veel mogelijk over.

Veiligheid

Eenzijds moet men rekening houden met de veiligheid van de medewerkers. Naast de standaard voorzieningen moeten de mensen die in het terrein in aanraking komen met steenmeel, het best de nodige persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) dragen zoals een mondmasker en handschoenen. Steenmeel zorgt voor veel stof en kan dus snel op de longen slaan. Op het product zijn de veiligheidsvoorschriften, behandelingsvoorwaarden vermeld. Deze worden best eerst doorgenomen.

Daarnaast moet aan de veiligheid van de omgeving gedacht worden. Het gebied wordt afgesloten om bezoekers geen overlast te bezorgen en uit algemene veiligheidsoverwegingen. Bij het gebruik van het strooien met een helikopter is dit nog eens extra belangrijk. Hier komt heel wat organisatie bij kijken (Bosgroep Zuid Nederland, 2021).

Aankoop

Locatie

Voor de meeste types steenmeel wordt elders in de wereld gesteente afgegraven. Dit is dus zeker geen oplossing voor de lange termijn, maar een hulpmiddel voor situaties die acuut om actie vragen (VBNE, n.d.).

Prijs

Aankoop steenmeel

De aankoopprijs van steenmeel is afhankelijk van het type steenmeel. Soilfeed kost ca. € 175 per ton en Eifelgold ca. € 350 per ton (de Leeuw, 2019).

Totaal

Voor de wetenschappelijke experimenten in de Hoge Veluwe waar alles handmatig werd aangebracht werd de totale kost voor het toedienen van steenmeel geraamd op ca. € 3500 per ha. Bij een herhaling van eens per 15 jaar is dit € 230 /ha/jaar (de Leeuw, 2019).

(van den Berg & Koopmans, 2021) melden veel lagere cijfers: voor machinale toediening

- 37,5-50 euro per ton aan 10 ton/ha (375-500 euro/ha) voor het totaalpakket en aanbrengen met de tractor en strooier. Met de tractor kan men ongeveer 3 tot 4 ha per dag bestrooien.
- 50-55 euro per ton aan 10 ton/ha (500-550 euro/ha) voor het totaalpakket en aanbrengen met helikopter. Bovendien kan men met de helikopter tussen 10 en 15 ha per dag bolwerken.

Subsidiëring en Wetgeving

Er zijn geen rechtstreekse subsidies voor deze maatregel. Wetgeving is hier veeleer het probleem. Steenmeel kan gezien worden als additie van nutriënten en bijgevolg verboden worden in natuurgebieden. Beste vraagt men hier dus sowieso een uitzondering voor aan de bevoegde dienst van het ANB.

Ook voor het tijdelijk opzetten van een depotplaats waar het steenmeel geleverd wordt en een plaats waar de helikopter kan landen, zorgt men best voor de nodige vergunningen.

Bibliografie

Bosgroep Zuid Nederland. (2019, November 24). *Heeft u vragen over het verspreiden van steenmeel?* Bosgroep Zuid Nederland. <https://bosgroepen.nl/bosgroep-zuid-nederland/veelgestelde-vragen-over-steenmeel/>

Bosgroep Zuid Nederland. (2021, February 2). *Wat komt er kijken bij 'operatie steenmeel'?* Bosgroep Zuid

- Nederland. <https://bosgroepen.nl/bosgroep-zuid-nederland/wat-komt-er-kijken-bij-operatie-steenmeel/>
- Bosgroepen. (2020). *Effecten van steenmeel op de mycoflora van een verzuurd eikenbos*. Nature Today. <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=26254>
- de Leeuw, C. (2019). Steenmeel in droge bossen. In *Kennisblad Veldwerkplaats*. <https://edepot.wur.nl/507802>
- De Vries, W., Weijters, M. J., de Jong, J. J., van Delft, S. P. ., Bloem, J., van den Burg, A., van Duinen, G. A., Verbaarschot, E., & Bobbink, R. (2019). *Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstel mogelijkheden door steenmeeltoediening*.
- Mellert, K. H., & Göttlein, A. (2012). Comparison of new foliar nutrient thresholds derived from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1461–1472. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0615-8>
- Sauren, P., Buysse, W., Wijdeven, S., Seynaeve, J., Winnock, M., van Nevel, L., & Nyssen, B. (2020). *Ecologie in Boomgericht Bosbeheer*.
- van den Berg, L., & Koopmans, G. (2021, April 20). Steenmeeltoediening in de praktijk. *Steenmeel Symposium Hoge Veluwe*. <https://www.hogeveluwe.nl/nl/steenmeel/steenmeel-symposium-hoge-veluwe>
- VBNE. (n.d.). *Nutriëntenhuishouding bosbodems herstellen*. Gereedsschapskist Klimaatlim Bos- En Natuurbeheer. Retrieved May 24, 2021, from <https://www.vbne.nl/klimaatlimbosennatuurbeheer/maatregel/nutriëntenhuishouding-bosbodems-herstellen>
- Weijters, M., Bobbink, R., Verbaarschot, E., Van, L., & De Vries, W. (n.d.). *Steenmeel: Effecten op bodemchemie en bladchemie*.

Bijlage 4. Technische fiche: mulching bij aanplant bosplantsoen

Veel gebieden in Vlaanderen zijn nu al droogtegevoelig. Door de klimaatverandering zal dit alleen maar toenemen (Van der Aa et al. 2015; Demey, De Frenne, and Verheyen 2015).

Een strategie die op niveau van een beheerder kan genomen worden om droogte tegen te gaan is om het gehalte organisch materiaal en het vochthoudend vermogen van de bodem te verbeteren. Bij aanplanten van boompjes is mulching hiervoor een mogelijke techniek (Forceville et al. 2020; Vlaco 2019).

Mulching is het gebruik van gelijk welk materiaal als bodembedekker (Larum 2020). Men kan een onderscheid maken tussen organische en anorganische mulch (Forceville et al. 2020). Organische mulch bestaat uit of is gemaakt van biomassa; anorganische mulch – zoals grind of landbouwplastic – niet (Larum 2020). In de context van bos- en natuurbeheer gebruiken we uiteraard enkel organische mulch.

Omschrijving werking

De meeste natuurlijke bosbodems zijn bedekt met strooisel. Mulching imiteert dus een natuurlijk proces (Vlaco 2019). Mulching heeft een aantal belangrijke voordelen.

Mulching zorgt dat evaporatie uit de bodem afneemt (Vlaco 2019) doordat de bodem enigszins bedekt wordt en doordat het de bodemtemperatuur bij warme en koude dagen buffert. Daardoor warmt de bodem minder op bij hete dagen waardoor er minder water verdampt. In sommige gevallen kan de mulchlaag ook meer water opvangen als een kuil wordt gevormd rondom de aanplant, waardoor er minder water afspoelt. De neerslag kan vervolgens trager infiltreren. Vocht blijft ook langer onderaan de mulchlaag hangen (Larum 2020; Ranjan et al. 2017).

Door het aanbrengen van mulch kan er minder of geen licht de bodem bereiken. Daardoor kunnen kruidachtige planten niet kiemen en wordt water-, voeding-, ruimte- en lichtcompetitie met deze planten vermeden (Vlaco 2019). In de meeste gevallen zorgt mulch dus voor het grotendeels wegvallen van de kosten voor vrijstelling waardoor ook de kans op verwonding van de boompjes tijdens het vrijstellen afneemt. In een aantal gevallen kan die kruidvegetatie echter ook positieve effecten hebben. Hun aanwezigheid is namelijk ook een vorm van bodembescherming en reduceert bodemevaporatie en biedt bescherming tegen o.a. zonnebrand en erosie (Anon 2002; Forceville et al. 2020; den Ouden et al. 2016). De wenselijkheid en het uiteindelijke effect moeten daarom contextafhankelijk geëvalueerd worden (Forceville et al. 2020).

De nutriënten die na afbraak van de mulch in de bodem terechtkomen, kunnen de C/N-verhouding van het bodemorganisch materiaal wijzigen. Afbraakorganismen hebben liever meer stikstof en bijgevolg zal een lagere C/N-verhouding voor een snellere afbraak zorgen. De aanbreng van mulch kan stimuleert bijgevolg het bodemleven stimuleren (Ranjan et al. 2017; Vlaco 2019). Afbraakinsecten en schimmels vinden er voeding, maar ook andere insecten en geleedpotigen kunnen er in verblijven.

Het organische materiaal dat in de bodem terechtkomt door afbraak, kan verder het watervasthoudend vermogen van de bodem op langere termijn vergroten (Ranjan et al. 2017). Bovendien zal het aandeel organische koolstof stijgen in de bodem, wat als een mitigerend effect kan worden beschouwd.

Organische mulch heeft als extra voordeel dat het afgebroken kan worden en zo lokaal nutriënten toevoegt aan de bodem. In sommige gevallen kan dit wenselijk zijn. Gras en compost zullen sneller voedingsstoffen in de bodem brengen dan schors en houtsnippers.

In een aantal gevallen, bv. indien zeer voedselrijke organische mulch zou gebruikt worden, kunnen negatieve effecten op de symbiose met mycorrhiza optreden. Wanneer wortels voldoende nutriënten vinden en de bodem voldoende vochtig is en blijft, hebben ze namelijk geen of minder nood aan deze samenwerking en dit kan op lange termijn voor problemen zorgen (Forceville et al. 2020).

Wanneer kies ik voor deze maatregel?

Bij be- en herbebossing:

- Tegelijk met of kort na het aanplanten tot de eerste jaren van verpleging
- Op droogtegevoelige bodems
- Op onbeschaduwde naakte minerale bodems (bv. sterk verstoorde landbouwbodems). Bij aanplantingen onder scherm is de toepassing van een extra mulchlaag niet per se nodig aangezien van nature een mulchlaag zal terechtkomen rond de aanplant door de bladeren van de omstaande bomen.
- Op alle bodems bij droogtegevoelig plantsoen (vb. Beuk)
- Als de beschikbare tijd en budget het toelaat.

In praktijk zal je vooral mulchen in kloempen of bij aanplantingen met een laag plantverband. Dan is mulchen eerder kostenefficiënt omdat je dan niet in vrijstelling moet investeren, maar meer in de verpleging van de jonge opstand. Bij vlaksgewijze aanplanting kan men selectief rond de meest gevoelige hoofdboomsoorten mulchen. Anders wordt dit te kostelijk en arbeidsintensief.

Types Mulch

Er zijn verschillende types mulch. Een weloverwogen keuze voor een bepaald type mulch hangt van verschillende factoren af: De beschikbaarheid, de betaalbaarheid, het brandgevaar, de voedingsrijkdom, de wetgeving en het gewenste resultaat.

Elk type mulch heeft zijn specifieke eigenschappen (Forceville et al. 2020; den Ouden et al. 2016; Ranjan et al. 2017):

- **Schors** kan veel vocht opnemen en houdt dit lang vast, waardoor het een positief effect heeft op de vochtvoorziening voor de zaailingen. Schors van loofhout bevat meer nutriënten dan schors van naaldhout, maar het is minder gemakkelijk te verkrijgen. Schors van loofhouthout is ook iets basischer terwijl schors van naaldhout licht verzurend kan werken.
- **Zaagsel of Houtsnippers** bevatten minder nutriënten dan de meeste andere types mulch. Het heeft een hoge C/N-verhouding en daardoor een tragere afbraaksnelheid (ook hier weer sneller dan schors) waardoor nutriënten langzamer in de bodem terechtkomen. Zaagsel en houtsnippers kunnen ook verzurend werken. Zaagsel kan vocht voor een lange periode vasthouden.

Bij het gebruik van schors, zaagsel en houtsnippers is de samenstelling bovendien van belang. Bij sommige soorten (bijv. bij materiaal van eik en kastanje) is het belangrijk dat de mulch voldoende is uitgerijpt. De materialen kunnen namelijk veel tannines of andere 'afremmende' stoffen voor het bodemleven bevatten. Zonder de mulch te laten rijpen zou dit kunnen uitspoelen in de bodem (Anon 2002).

- **Gemaaid gras, hooi en stro** brengen veel stikstof en andere nutriënten in de bodem. Dit kan positief zijn voor de groei van het plantsoen, maar veel Vlaamse bodems zijn al sterk verrijkt met stikstof. Best wordt het gras eerst goed gedroogd zodat het geen wortels vormt bij aanhoudende regen en tot vergrassing leidt. Hooi kan wel zaden bevatten en op die manier voor overlast zorgen. Nat gras kan ook sterk opwarmen, wat nefast kan zijn voor jonge plantjes indien er vanuit zaad wordt gewerkt. Ook verlept vers gras zeer snel waardoor de dikte van de mulchlaag snel afneemt. Bovendien kan dit ervoor zorgen dat de structuur uit de mulch verdwijnt en de bodem op die manier niet meer kan ademen. Bij het aanbrengen van gras is het dus aangeraden om dit te mengen met andere, meer structuurrijke materialen. Stro heeft als voordeel dat het sterk waterdoorlatend en luchtig is en toch blijft liggen.
- **Droge bladeren** zijn luchtig, maar kunnen daardoor gemakkelijker wegwaaien. Om dit te vermijden worden takjes of schors op de bladeren gelegd.
- **Compost** is een aëroob verteerd product van biomassa. Het is luchtig en bevat nog veel organische koolstof. Het voordeel van compost is dat het gemakkelijker en dus sneller afbreekbaar is door bodemorganismen en zo sneller leidt tot een verhoging van nutriënten in de bodem.
- Verder bestaan er nog **andere mulchmaterialen** zoals het kaf van granen (bv. rijst), krantenpapier, alfalfa, zeewier, cacaohulzen of pindanoothulzen, mout en lege maïskolven (Ranjan et al. 2017). Deze zijn echter minder vanzelfsprekend om in natuurgebieden te gebruiken en bespreken we dus ook niet verder.
- Er kan ook worden gewerkt met **mulchplaten of boomplaten** die geen losse materialen zijn, maar platen die rond jonge bomen worden gelegd. Veelal bestaan ze uit organisch materiaal dat afbreekbaar is (bv. <https://www.habobelgium.be/nl/onkruidwering/400-boomplaten.html> of <http://boomplaten.be/>), maar ook platen uit anorganische materialen bestaan (bv. <https://www.grube.de/plantagard-polypropylen-mulchplatte-73-030/>). Concurrerende vegetatie kan daardoor niet of minder gemakkelijk opgroeien. Daar het gebruik en onderhoud hiervan kostelijker is dan de andere materialen, is het aangeraden om dit enkel te gebruiken in wijde plantverbanden of voor specifieke doelsoorten in menging (Anon 2002; den Ouden et al. 2016).

Bij het gebruik van droog materiaal moet men het brandgevaar in rekening brengen. Het vroege voorjaar is bij uitstek een brandgevaarlijke periode omdat de sapstroom nog niet op gang is gekomen en overal dorre bladeren liggen. Dit valt helaas samen met een deel van het plantseizoen. Elke situatie dient daarom zorgvuldig en individueel bekeken te worden, beschik je enkel over een droog type mulch dan stel je het aanbrengen beter uit tot de late lente.

Let bij een bestelling of bij het zelf samenstellen van mulch verder op:

- Groen materiaal (gras, plagsel, ...) is best al halfverteerd
- Bruin materiaal (houtsnippen, schors, zaagsel, bladeren) bestaat bij voorkeur uit een mengsel van verschillende types

Werkwijze

Losse mulch kan zowel vlakdekkend als puntsgewijs worden toegevoegd, maar puntsgewijs is gebruikelijker.

Wijze van aanbrengen

Het toevoegen van mulch gebeurt bij de aanplant van bomen. Aangezien er bij een (her)bebossing veel bosgoed wordt gebruikt, moet men dus op zoek gaan naar de meest tijds- en arbeidsefficiënte methode.

Mulch toevoegen gebeurt na de aanplant van het bosgoed. De mulch wordt bij puntsgewijze toepassing aangebracht rond elk individueel boompje.

De mulch kan worden aangevoerd via de beheerpaden met een aanhangwagen en vandaar kan een vast volume bij elke boom worden aangebracht. Daarvoor kan gebruik gemaakt worden van een emmer met het gewenste volume (Figuur 1). Na enige tijd zal de toediener echter gevoelsmatig een inschatting van de juiste hoeveelheid kunnen maken.

Een andere mogelijkheid bestaat er in om stroken mulch te vormen tussen de aanplant. Men berekent dan op voorhand de dosis a.d.h.v. de plantdichtheid. Vervolgens kan men met een hark de mulch rond de aanplant trekken.

De mulch wordt rondom tegen het boompje in een hoop aangebracht. Vervolgens wordt een kuiltje gemaakt in het midden. Zo blijft neerslagwater iets langer staan en voorkomt men schimmelvorming aan de stamvoet.

Bij het uitvoeren van het werk is het belangrijk er op te letten een ergonomische houding aan te nemen aangezien dit sterk repetitief werk is. Men moet daarbij trachten zoveel mogelijk door de knieën te gaan.



Figuur 1 Toevoegen van mulch (houtsnippers) in de praktijk bij aanplant via een emmer. Er wordt ongeveer een vaste hoeveelheid mulch toegevoegd rond het plantsoen en vervolgens wordt de stambasis vrijgemaakt. Foto's: Ward Baetens, 2020

Er kan ook voorafgaand aan het planten vlaksgewijs mulch worden aangebracht. Dit heeft als voordeel dat een groter oppervlak beïnvloed wordt door mulch en dat het aanbrengen minder arbeidsintensief kan verlopen (Williams 2018). De mulch kan dan bijvoorbeeld ook worden aangebracht met een gespecialiseerde spuitmachine zoals in deze [video](#) wordt voorgetoond (Williams 2018) waarmee een halve hectare op 2 dagen kon worden gemulcht met slechts drie mensen (Figuur 2).



Figuur 2 Afbeelding laat de werking van een gespecialiseerde spuitmachine zien waarmee mulch (houtsnippers) wordt toegevoegd. Screenshot uit <https://www.youtube.com/watch?v=euVaDvBts7w> (laatst geraadpleegd 19 mei 2021) ©Capitol Land Trust.

Hoeveelheid

De hoeveelheid mulch is afhankelijk van het type mulch, van het plantsoen waarrond men plant, de weersomstandigheden en de bodemgesteldheid.

Een mulchlaag moet voldoende dik zijn om ervoor te zorgen dat hitte of koude niet tot de bodem kan doordringen. Bovendien zorgt een dikke laag ervoor dat er weinig licht tot op de bodem kan komen waardoor de groei van andere kruiden onderdrukt wordt. Ook moet men voor het inschatten van de hoeveelheid rekening houden met de afbraaksnelheid van de mulchlaag. Vers organisch materiaal zoals gras zakt namelijk tamelijk snel in elkaar waardoor de laag sterk verdunt in het begin.

Verscheidene auteurs vermelden andere hoeveelheden. Vlaco (2019) meldt een laag van 5 cm compost en bij houtsnippers een laag van 10 cm. In een experiment bij het Wullebos werd 20 L houtsnippers per boompje (bosgoed 80/120 cm) gebruikt. Ranjan et al. (2017) geven voor verschillende types een range van diktes (Tabel 1)

Tabel 1 Optimale dikte voor de verschillende types mulch uit Forceville et al. (2020) en Ranjan et al. (2017)

Mulchmateriaal	Dikte (cm)
Schors	5 – 10,1
Gemaaid gras	5 – 7,6
Droge bladeren	7,6 – 10,1
Stro	15,2 – 20,3
Compost	7,6 – 10,1

Frequentie

Bovendien moet men rekening houden met de afbraaksnelheid van de mulchlaag. Dit hangt ook weer af van het type mulch, de weersomstandigheden en de bodemgesteldheid.

Voor houtsnippers ondervonden we in het Wullebos (een voormalige landbouwakker aan drie zijden omringd door bos) dat na 1 jaar de helft van de mulch reeds verteerd is. Dan komt ook onkruid al door

de mulchlaag, maar dit lijkt toch nog voldoende voor het effect op verdamping te behouden. We voorspellen dat na 2 jaar de volledige mulchlaag zo goed als verdwenen zal zijn.

Kansen & onzekerheden

Het gebruik van mulch bij bosaanplantingen is iets waar relatief weinig over geschreven is voor Vlaanderen en Nederland. De meeste kennis hierover komt uit de landbouwsector. Daar is dit een bewezen techniek tegen verdroging (Ranjan et al. 2017).

Er zijn bijvoorbeeld geen gegevens bekend vanaf welke bedekking en voor welke kruidvegetatie er netto positieve dan wel negatieve effecten optreden. Ook is weinig bekend over hoeveel en op welke termijn nutriënten in de bosbodem terecht komen. Toekomstige ervaringen en onderzoek zullen de waarde van deze techniek moeten aantonen voor bossen.

Prijs

Bij de berekening van de prijs moet ook rekening gehouden met de afbraaksnelheid van de mulchlaag. Als deze na 1 of 2 jaar al is afgebroken, kan overwogen worden om het jaar nadien een nieuwe mulchlaag te leggen. De kosten verdubbelen dan echter. De boompjes zijn tegen dan wel uit de plantshock dus op zich kan de beheerder ook overgaan op het vrijstellen van de boompjes.

Aankoop

De verschillende mulchtypes worden best zo lokaal mogelijk aangekocht om de prijs te drukken en de klimaatimpact van (her)bebossing zo laag mogelijk te houden. Het is daarom aangeraden om navraag te doen bij landbouwers of gemeentelijke groendiensten of houtverwerkers in de omgeving. Deze hebben mogelijks een bepaald type mulch in overschot en vragen daar al dan niet een vergoeding voor.

Verschillende types organische mulch zijn over het algemeen gemakkelijk te vinden en daardoor ook relatief goedkoop (Ranjan et al. 2017). De prijs kan afhangen van het type mulch, de aangekochte hoeveelheid, hoe lokaal de mulch kan worden verkregen en of de leverancier dit liever kwijt dan rijk is.

Als het mulchmateriaal wordt aangekocht bij een professionele leverancier, zijn er verschillende producenten per type op de markt. Voor een volledig overzicht van producenten per type mulch is verder marktonderzoek nodig dat bovendien frequent dient te worden geüpdatet. Best is om voorafgaand aan een aanplant een offerte bij verschillende producenten aan te vragen om de meest correcte inschatting te kunnen maken.

We geven louter ter voorbeeld mee dat bij de beplanting in het Wullebos houtsnippers werden aangekocht aan €15,9/m³. Gerekend aan 20 L per boompje en 3250 bomen op een hectare vormt dit een kostprijs van ongeveer 1040 euro/ha.

Voor de aankoop van compost biedt VLACO een goede overzicht van gecertificeerde leveranciers over heel Vlaanderen. Op hun website is [een lijst en kaart](#) van alle verdelers te vinden voor professionelen.

Een terreinbeherende organisatie kan uiteraard zelf mulch maken door plagsel, maaisel en houtsnippers een jaar op hopen te leggen en het volgende jaar als halfverteerde compost te gebruiken.

Manuren

Voor het aanbrengen per boompje aan de hand van een emmer zijn ongeveer 4 mandagen voor 800 bomen nodig (0,5 ha in een plantverband in 20 kloempen van 40 bomen). Na het voortonen en een

correcte uitleg kan iedereen deze taak uitvoeren. Ervaring is dus zeker niet vereist. Een goede fysieke conditie is echter wel aan te bevelen voor deze arbeid.

Voor het vlaksgewijs aanbrengen met de spuitmachine werd een halve hectare op 2 dagen gemulcht met drie mensen (dus 6 mandagen) (Williams 2018).

Qua manuren komt het manueel aanbrengen van mulch rond de bomen in kloempen efficiënter uit dan het vlaksgewijs opspuiten. Het eerste is vermoedelijk wel belastender voor de uitvoerders.

Logistieke kost

Bij het vlaksgewijs toevoegen, komt daarenboven vermoedelijk een veel hogere logistieke kost door de gespecialiseerde apparatuur.

Subsidiëring en wetgeving

Er is tot op heden geen rechtstreekse subsidie voor deze maatregel. Men kan wel een subsidie aanvragen voor (her)bebossingen. Deze is forfaitair dus een deel van het budget kan gebruikt worden voor de verbetering van de groeiomstandigheden via mulching.

Bij deze maatregel moet men vooral opletten dat men niet in strijd is met de wetgeving.

In het bosdecreet artikel 20 lezen we dat het in openbare bossen verboden is om *“werkzaamheden uit te voeren die niet in het beheerplan zijn opgenomen en die van aard zijn wijzigingen aan te brengen in de mineralogische en paleontologische sites, de archeologische grondvesten, het landschap, het reliëf, de natuurlijke waterhuishouding, de **bodemvruchtbaarheid**, de zuiverheid en het regime van de waterlopen, de vegetatie en de inheemse organismen”* en om *“meststoffen te gebruiken, behalve het opbrengen van stalmest in het kader van de bemesting van de plantput bij bosaanplanting”* zonder voorafgaande goedkeuring door het ANB (Anon 1990). Gezien mulching een invloed heeft op de bodemvruchtbaarheid en compost als meststof kán worden gezien, kan dit hieronder vallen.

Voor de private bossen geldt bovenstaande artikel niet maar in artikel 97 (paragraaf 2) staat dat het verboden is om in privé-bos *“resten, vuilnis en afval, van welke aard ook, achter te laten buiten de daartoe ter beschikking gestelde verzamelplaatsen, met uitzondering van houtafval en boomschors die achterblijven na een toegestane exploitatie”*. Ook hier kan mulching als het achterlaten van resten geïnterpreteerd worden.

Het spreekt voor zich dat we deze wetgevingen niet interpreteren als verboden op mulching, maar we wensen louter aan te geven, dat mulching op vlak van de wetgeving zich toch nog in een grijze zone bevindt.

Aangezien bij mulching de vegetatie wordt afgedekt kan dit als een vegetatiewijziging gelden. Daar heb je in sommige gevallen een omgevingsvergunning voor nodig (Arikel 13, *Decreet Betreffende Het Natuurbescherming En Het Natuurlijk Milieu*, 1997). Als dit het geval is, dan moet je dit toch sowieso al aanvragen voor de bebossing en kan je best de mulching op dat moment tegelijk aanvragen

We raden dus aan om sowieso voor de zekerheid een aanvraag bij de bevoegde dienst van het ANB in te dienen daar dit niet volledig duidelijk wordt uit het Bosdecreet of Natuurdecreet.

Bibliografie

Van der Aa, Beatrijs, Lieve Vriens, Andy Van Kerckvoorde, Piet De Becker, Peter Roskams, Luc De Bruyn, Luc Denys, Joachim Mergeay, Maud Raman, Erika Van den Bergh, Jan Wouters, and Maurice Hoffmann. 2015. *Effecten van Klimaatverandering Op Bos En Natuur*. Brussel, Belgium.

- Anon. 1990. *Decreet Bosdecreet*. Brussel: Vlaamse Overheid.
- Anon. 1997. *Decreet Betreffende Het Natuurbehoud En Het Natuurlijk Milieu*. Brussel: Vlaamse Overheid.
- Anon. 2002. *Gebruik van Boomplaten vs Andere Technieken Om Concurrerende Vegetatie Bij Aanplanting van Bos En Infrastructuurgroen Tegen Te Gaan (Project LIFE97 ENV/B/000401)*. Brussel, Belgium.
- Demey, Andreas, Pieter De Frenne, and Kris Verheyen. 2015. *Klimaatadaptatie in Natuur- En Bosbeheer*. Gent.
- Forceville, Eva, Jan Mertens, Kris Verheyen, and Rebecca Devlaeminck. 2020. *Droogte-Robuuste Aanplantingstechnieken. Rapport Voor Het Verkrijgen van Vitaal En Weerbaar (Jong) Bos*. Ghent.
- Larum, Darcy. 2020. "What Is Inorganic Mulch: Learn About Using Inorganic Mulch In Gardens." *Gardening Know How*. Retrieved May 19, 2021 (<https://www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/mulch/using-inorganic-mulch-in-gardens.htm>).
- den Ouden, Jan, Bart Muys, Frits Mohren, and Kris Verheyen. 2016. *Bosecologie En Bosbeheer*. 3rd ed. edited by J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren, and K. Verheyen. Leuven, Belgium: Acco.
- Ranjan, Prem, G. T. Patle, Manjeet Prem, and K. R. Solanke. 2017. "Organic Mulching- A Water Saving Technique to Increase the Production of Fruits and Vegetables." *Current Agriculture Research Journal* 5(3):371–80.
- Vlaco. 2019. "Hebben Je Planten Last van Droogte? Mulch Je Tuin Met Compost Tot Leven!" *Vlaco*. Retrieved May 19, 2021 (<https://www.vlaco.be/nieuws/hebben-je-planten-last-van-droogte-mulch-je-tuin-met-compost-tot-leven>).
- Williams, Daron. 2018. "Restoring a Forest Using Wood Chips." *Capitol Land Trust*. Retrieved May 19, 2021 (<https://capitollandtrust.org/restoring-forest-wood-chips/>).