



Bosgroepen

Revitalisering Nederlandse bossen



Afbeelding voorblad: 25 jaar oude revitalisering van grove dennenbos op zand met winterlinde en haagbeuk. Kasterlee (B) foto Bart Nyssen

Colofon

Opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Titel: Revitalisering Nederlandse Bossen
Status: Definitief
Datum: 22 juli 2020
Auteurs: Etiënne Thomassen, Sander Wijdeven, Martijn Boosten, Wouter Delforterie, Bart Nyssen

Contactgegevens

Contactpersoon: Bart Nyssen
e-mail: b.nyssen@bosgroepen.nl
tel: 06-53874240

www.bosgroepen.nl

Inhoudsopgave

Inleiding	5
1 Risico's voor vitale bossen en bosecosysteemdiensten	7
1.1 Vitaal bos	
1.2 Ecosysteemdiensten bossen	
1.3 Bedreigingen als gevolg van klimaatsverandering	
1.4 Stikstofdepositie en andere drukfactoren	
1.5 Synthese: actuele risico's per bostype	
2 Meer en beter natuur(in)bos	47
2.1 Natuurbos en natuur in bos	
2.2 Natuurwaarde – vertrekpunt	
2.3 Uitgangspunten voor versterking en de functionele rol van biodiversiteit	
2.4 Welke natuurwaarde?	
2.5 Versterken en vergroten van natuur(in)bossen	
2.6 Wat verstaan we onder Zelfregulerend Natuurbos?	
2.7 Naar meer en beter Zelfregulerend Natuurbos	
3 Ontwikkelingsperspectief Nederlandse bossen	65
3.1 Veel jonge bossen	
3.2 Jonge bossen op rijke gronden	
3.3 Jonge bossen op zandgronden	
3.4 Een probleem om op te lossen: bodemverzuring	
3.5 Zowel –voedselarm als –rijk bos mogelijk op zandgronden	
3.6 De keuze van de beheerder	
4 Aanpak bosrevitalisering	85
4.1 Landschap	
4.2 Abiotiek	
4.3 Biotiek	
4.4 Beheer	
4.5 Revitaliserings–maatregelen	
5 Aanbevelingen voor een uitvoeringsimpuls bosrevitalisering	97
5.1 Landelijke en regionaal (beleid)	
5.2 Landelijk en regionaal (middelen)	
5.3 Regionaal/lokaal (beheer ism beleid en onderzoek)	
Gebruikte bronnen	99
Annex 1 Overzicht Nederlandse bostypen	111
Annex 2 Mate van onder/overschrijding van KDW van Ntot depositie	113



Inleiding

Het Nederlandse bos verenigt een veelheid aan maatschappelijke waarden en functies: klimaatmitigatie en -adaptatie, biodiversiteit, welzijn en volksgezondheid, een prettige leefomgeving, een welkome plek voor rust en recreatie, een basis voor de bos- en houtketen die met de duurzame voortbrenging van de circulaire grondstof hout een belangrijke bijdrage levert aan onze economie. Bossen worden zeer gewaardeerd, getuige ook de grote maatschappelijke betrokkenheid... Biodiversiteit van belang gevonden, evenals het vastleggen, verminderen van CO₂, en hout wordt gezien als een duurzame en mooie grondstof.

Het Nederlandse bos heeft in toenemende mate te lijden onder de gevolgen van klimaatverandering, stikstofdepositie, verzuring, nutriëntenverlies verdroging, en versnippering met als gevolg een afnemende veerkracht waardoor ecosysteefuncties zoals natuurwaarde, CO₂-opslag en productie van hernieuwbare grondstoffen steeds verder onder druk komen te staan. Daarnaast is er een almaar groter wordende vraag naar maatschappelijke diensten die bediend moeten worden.

Oorspronkelijke, natuurlijke bossen en boslandschappen hebben de hoogste biodiversiteit van alle ecosystemen. Deze bossen hebben een relatief hoge veerkracht tegen de gevolgen van klimaatverandering, voornamelijk door het vochtvasthoudend vermogen van de bodem en de 'recycling van nutriënten'. Het vochtvasthoudend vermogen van de meeste Nederlandse bossen op drogere zandgronden blijkt tegenwoordig gering te zijn. Zandgronden zijn, ongeacht hun gebruiksdoel, daarom zeer gevoelig voor droogte ten gevolge van klimaatverandering. Dit is in combinatie met verzuring een groot probleem. Daarnaast staan de meeste waterafhankelijke bossen onder druk door verlaging van de grondwaterstand, dit zal alleen maar toenemen met grotere droogte. Tot slot zal ook op rijkere gronden droogte, en in laag Nederland verzilting, voor steeds grotere problemen gaan zorgen.

Het klimaat verandert onder invloed van stijgende concentraties van broeikasgassen zoals met name CO₂. Het wordt warmer en we krijgen vaker te maken met droogte in het groeiseizoen, wateroverlast, extreem weer zoals storm en hagel, maar ook onvoorspelbare ziekten en plagen. Dit zet ecosystemen waaronder bossen alsook de biodiversiteit en de bosontwikkeling extra onder druk, dit geldt voor zowel multifunctionele bossen als voor bossen met hoofdfunctie natuur. Door klimaatverandering lopen we het risico dat we alleen nog pionierbossen overhouden als we geen maatregelen nemen.

In de Ambities en doelen van Rijk en provincies voor de Bossenstrategie (februari 2020) is dan ook aangegeven dat de vitaliteit van de Nederlandse bossen verbeterd moet worden om bos voor toekomstige generaties veilig te stellen. Dit is ook onderkend tijdens de nationale klimaatadaptatiedialogen Natuur in 2019. Het proces van verbetering van de bestaande bossen noemen we revitalisering, het updaten van de bosccosystemen zodat ze de huidige en toekomstige uitdagingen aankunnen,.

Dit kennisdocument 'Revitalisering Nederlandse Bossen' levert samen met de werkbijeenkomsten revitaliseringsimpuls input voor de verdere ontwikkeling van revitalisering in de Nationale Bossenstrategie.

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 zet de actuele en toekomstige bedreigingen neer waardoor de Nederlandse bossen dreigen minder dan wel minder goede ecosysteemdiensten te leveren. Een van de belangrijkste ecosysteemdiensten die onder druk staan is de natuurwaarde van bossen. De uitdaging ten aanzien van natuurwaarde en natuurbos komt in hoofdstuk 2 aan de orde. Een belangrijk aspect daarvan komt aan de orde in hoofdstuk 3; de ontwikkelingspotentie van de jonge Nederlandse bossen. Na deze drie verdiepende hoofdstukken wordt in hoofdstuk 4 de aanpak van de bosrevitalisering neergezet. Afsluitend doen we in hoofdstuk 5 een voorzet voor een uitvoeringsimpuls noodzakelijk om de revitalisering van het Nederlandse bos te realiseren.



1 Risico's voor vitale bossen en boscossysteemdiensten

Nederland kent 373.480 hectare bos (Probos, 2020). Het Nederlandse bos kan op basis van groeiplaats worden ingedeeld in 16 bostypen (tabel 1.1, figuur 1.1 en Annex 1). 66% van de Nederlandse bossen ligt op de armere en rijkere zandgronden. Daarnaast hebben de bossen op zeeklei (Flevoland, West en Noordoost Nederland) met 5% nog een redelijk aandeel in het totaal. De overige bostypen zijn zeldzaam tot zeer zeldzaam. De Nederlandse bossen zijn over het algemeen erg jong. Slechts 29% van de bosgroeiplaatsen is aangelegd dan wel ontstaan voor 1900 (zie Annex 1). De oppervlakte oude boskernen die al op de topografische kaart van 1850 worden aangeduid als bos of houtwal bedraagt zelfs minder dan 3% van het totale areaal bos en landschapselementen (Kemenade & Maes, 2019).

Elk bos levert de mens uiteenlopende goederen en diensten, ook wel ecosysteemdiensten genoemd, zoals een bijdrage aan koolstofvastlegging, houtproductie en natuurwaarde. De mate waarin deze ecosysteemdiensten worden geleverd verschillen per bosstype. In paragraaf 1.2 wordt hier nader op ingegaan.

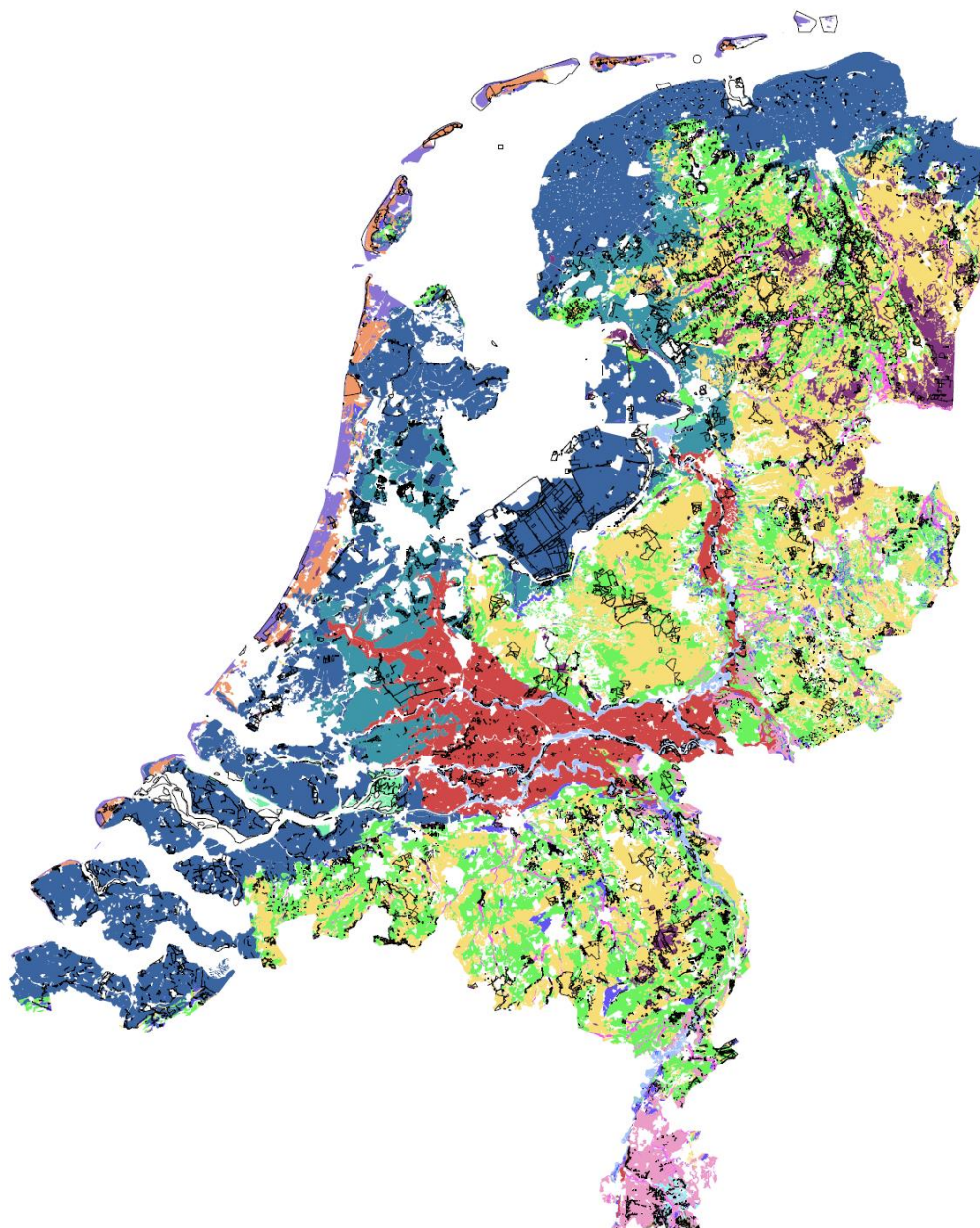
De vitaliteit van het Nederlandse bos wordt bedreigd door verschillende factoren, zoals klimaatverandering, stikstofdepositie, verdroging, en andere factoren. Deze bedreigingen worden behandeld in paragraaf 1.3 en 1.4 waarna deze in paragraaf 1.5 samengevat worden. Vooraleer aan de bespreking van de risico's voor vitaal bos te beginnen gaan we in paragraaf 1.1 in op de vraag wat vitaal bos is.

Tabel 1.1 Overzicht van de Nederlandse bostypen ingedeeld naar groeiplaats. In de derde kolom wordt het areaal per bosstype weergegeven. De vierde kolom geeft het aandeel van het bosstype in het totale bosareaal weer. De vijfde en de zesde kolom geven aan welke SNL-beheertypes en Natura 2000 habitattypen binnen deze bostypen vallen. (Opmerking: er wordt nog gewerkt aan een verdeling naar provincie)

Nr.	Bosgroeiplaatstype	Areaal ha	Aandeel in totaal %	SNL Beheer- type	Natura 2000 habitattype
1	Bos op kalkrijke zandgronden (duinen)	6.598	1,8%	15.01 16.03 1.02	Duinbossen H2180 (A,B,C)
2	Bos op kalkarme gronden (duinen) 2.1 Veen (als 5) 2.2 Rijk, regenwatergevoed zand (als 10) 2.3 Arm, regenwatergevoed zand (als 11) 2.4 Kwelgevoed zand (als 14)	6.435	1,7%	15.01 16.03 1.02	Duinbossen H2180 (A,B,C)
3	Bos op buitendijkse zeekleigronden	2.119	0,6%	14.01 16.04 1.02/3	Ooibossen H91E0_A, H91E0_B

4	Bos op binnendijkse zeekleigronden 4.1 Lichte zeekleigronden 4.2 Zware zeekleigronden	19.693	5,3%	14.03 16.04 1.03	n.v.t.
5	Bos op laagveen en klei op veen (buiten de duinen)	9.550	2,6%	14.02 16.04 1.03	n.v.t.
6	Bos op buitendijkse rivierkleigronden	1.171	0,3%	14.01 16.04 1.03	Ooibossen H91E0_A, H91E0_B, H91F0
7	Bos op binnendijkse rivierkleigronden 7.1 Lichte rivierkleigronden 7.2 Zware rivierkleigronden	8.504	2,3%	14.03 16.04 1.03	n.v.t.
8	Bos op stagnerende leem- en kleigrond (hydromorfe kenmerken)	9.374	2,5%	14.03 16.04 1.04	Eiken- haagbeukenbossen H9160_A
9	Bos op droge leemgronden	3.852	1,0%	15.02 16.03 1.04	Beuken-eikenbossen H9120
10	Bos op rijke, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen)	78.613	21,0%	15.02 16.03 1.04	Beuken-eikenbossen H9120
11	Bos op arme, regenwater- gevoede zandgronden (buiten de duinen) 11.1 Natte gronden 11.2 Vochtige gronden 11.3 Droge gronden	168.935	45,2%	15.02 16.03 16.04 1.04	Oude eikenbossen H919
12	Bos op kleiarm (hoog)veen	4.416	1,2%	14.02 16.04 1.03	Hoogveenbossen H91D0 Herstellend hoogveen H7120
13	Bos op beekdalgronden	9.501	2,5%	14.01 16.04 1.03	Beekbegeleidende bossen H91E0_C
14	Bos op kwelgevoede zandgronden	11.588	3,1%	14.03 16.04 1.04	n.v.t.
15	Bos op hellinggronden op ondiepe kalk	1.030	0,3%	14.03 16.03 1.04	Eiken- haagbeukenbossen H9160_B
16	Bos op gronden op vuursteeneluvium	654	0,2%	15.02 16.03	Veldbies- beukenbossen H9110

				1.04	
	Overig	31.446	8.4%		
	Totaal	373.480	100%		
Mate waarin het bostype voorkomt					
		Veel			
		Redelijk			
		Zeldzaam			
		Zeer zeldzaam			



Figuur 1.1a Overzicht van de Nederlandse bosgroeiplaatsstypen ingedeeld naar groeiplaats. Deze groeiplaatsenkaart is gemaakt op basis van bodem, hydrologie en geomorfologie (Bijlsma 2014) in relatie tot/op abstractieniveau van en aansluitend op de groeiplaatskarakteristieken van de N2000 boshabitattypen en bosgemeenschappen.

	Beekbegeleidend bos
	Binnendijks bos op rivierklei
	Binnendijks bos op zeelei
	Bos op arme zandgrond en moerige grond excl. duinen en laagveen
	Bos op droge leemgrond
	Bos op ondiepe kalk (hellingbos)
	Bos op rijke zandgrond excl. duinen
	Bos op stagnerende leemgrond (hydromorfe kenmerken)
	Bos op vuursteeneluvium
	Broekbos op hoogveen
	Broekbos op laagveen incl. berkenbroek
	Buitendijks bos op rivierklei (hard- en zachthoutooibos)
	Buitendijks bos op zeelei (hard- en zachthoutooibos)
	Duinbos kalkarm
	Duinbos kalkrijk

Figuur 1.1b Legenda Nederlandse bostypen ingedeeld naar groeiplaats.

Tabel 1.2 Procentuele verdeling van de groeiplaatsen over heel Nederland en de verdeling over het Nederlandse bos (Bronnen: LGN1995/2000, Top10vector, Bosgroeiplaatsenkaart)

		% NL	% NL bos
1	kalkrijke zandgronden (duinen)	1,2 %	1,8 %
2	kalkarme zandgronden (duinen; rijk/arm regengevoed, kwelgevoed, veen)	0,8 %	1,7 %
3	buitendijkse zeeleigronde	0,4 %	0,6 %
4	binnendijkse zeeleigronde (licht, zwaar)	17,5 %	5,3 %
5	laagveen en klei op veen	6,0 %	2,6 %
6	buitendijkse riviergronden	1,0 %	0,3 %
7	binnendijkse rivierkleigronde (licht, zwaar)	5,0 %	2,3 %
8	stagnerende leem- en kleigronde	1,7 %	2,5 %
9	droge leemgronden	1,1 %	1,0 %
10	rijke, regenwatergevoede zandgronden	13,4 %	21,0 %
11	arme regenwatergevoede zandgronden (droog, vochtig, nat)	14,5 %	45,2 %
12	kleiarm (hoog)veen	1,4 %	1,2 %
13	beekdalgronden	2,2 %	2,5 %
14	kwelgevoede zandgronden (buiten beekdalen)	3,9 %	3,1 %
15	hellinggronden op ondiepe kalk	0,1 %	0,3 %
16	gronden op vuursteeneluvium	0,0 %	0,2 %
	overig	30 %	8 %



1.1 Vitaal bos

1.1.1 Wat is vitaal bos?

Vitaal bos is bos dat nu én in de toekomst duurzaam zoveel mogelijk in staat is de door ons gewenste ecosysteemdiensten kan leveren, ook wanneer het klimaat verandert. Hiervoor moeten onze bosccosystemen weerbaar en veerkrachtig ingericht worden. Dit betekent:

1. Dat de bossen weerbaar zijn tegen extreme omstandigheden (zoals droogte, storm, nieuwe boomziekten of massaal voorkomen van plaaginsecten).
2. De bossen in staat zijn te herstellen na het plaatsvinden van catastrofes (bijvoorbeeld uitvallen van boomsoorten, bosbrand of (lokaal) verdwijnen van soorten)
3. De bossen in staat zijn zich aan te passen aan onzekere toekomstige omstandigheden (bijvoorbeeld minder neerslag en hogere temperatuur, vestiging van nieuwe soorten, toename van ziektes en plagen, of een veranderende houtmarkt).
4. Dat bossen, wanneer het beheer gestaakt wordt, zich onder het veranderende klimaat ontwikkelen naar zelfregulerende natuurbossen.

De meest relevante aspecten van vitaal, veerkrachtig bos zijn:

- Boomsoortenmenging, diversiteit aan boomsoorten
- Boomsoortensamenstelling die past bij de groeiplaats, ook bij klimaatverandering
- Gevarieerde bosstructuur, zowel horizontaal als verticaal
- Alle functionele soortengroepen aanwezig
- Bodems met voldoende buffercapaciteit en beschikbaarheid van nutriënten
- Gezonde waterhuishouding en vochtleverend vermogen van de bodem
- Voldoende aanwezigheid van habitats voor bosgebonden soorten
- Passende wildstand
- Genetische kwaliteit en diversiteit.

1.1.2 Beter, mooier en veerkrachtiger bos.

Nederland kent een breed scala aan bostypen, de meeste voorbeelden daarvan zijn nog relatief jong en mede daardoor beperkt ontwikkeld. De reeds oudere bossen en de bossen op zeldzame groeiplaatsen, zoals de hellingbossen in Zuid-Limburg, de leembossen in Midden-Brabant, de wilgenvloedbossen van de Biesbosch en de leemrijke boerenbosjes in het oosten of de landgoedbossen in het rivierengebied, zijn uniek en kennen een hoge biodiversiteit, deels nog vanuit het historische intensieve gebruik van die bossen.

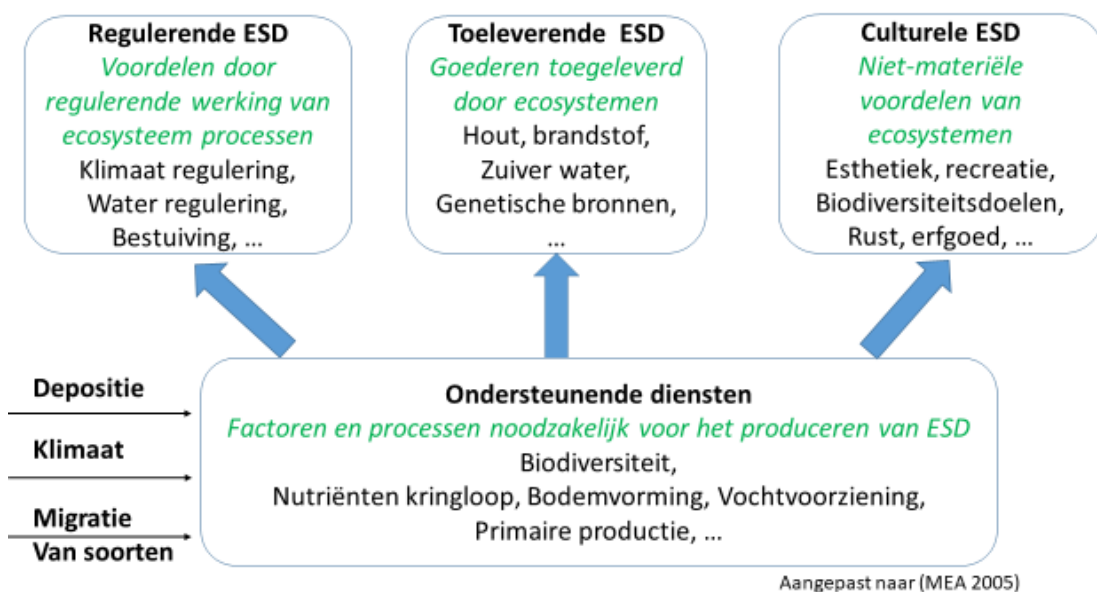
De potentie van jonge bossen op rijkere gronden, zoals ooibossen, beekbegeleidende bossen, bossen op klei/leemgronden, is hoog. Algemeen wordt onderkend dat deze een grote bijdrage kunnen leveren aan de biodiversiteit en kenmerkendheid. Deze bossen zijn nu nog zeldzaam en hebben een zeer grote potentie om tot de rijkste bossen van Nederland te horen, gegeven voldoende ontwikkelingstijd, dynamiek en de bereikbaarheid van (minder mobiele) karakteristieke bossoorten. Bossen op hoog- en laagveen zijn weliswaar minder soortenrijk, maar kennen een eigen karakteristieke soortensamenstelling en kenmerkendheid.

Ook de jonge bossen op de zandgronden hebben de potentie zich te ontwikkelen tot soortenrijke, veerkrachtige bosesystemen. Deze bossen blijken meerdere ontwikkelingsrichtingen te hebben. Hommel et al. (2007) en Desie et al (2019, 2020a en 2020b) onderscheiden twee alternatieve toestanden; een zuurgedomineerd relatief nutriëntenarm bostype (beuken/eikenbos) en een rijker bos (linden/eikenbos). Bosbeheerders hebben de keuze tussen een ‘verzurende’ bosontwikkeling – gedomineerd door zuur-strooiselsoorten (den, eik, beuk) – en een ‘verrijkende’ ontwikkelingsrichting – met een sterke invloed van rijkstrooiselsoorten (linde, esdoorn, zoete kers, haagbeuk, hazelaar) waardoor er een snellere omzetting en grotere beschikbaarheid van nutriënten en vocht voor de vegetatie optreedt, met een potentie voor vestiging en uitbreiding van oudbossoorten als gevolg. Tussen deze beide uitersten zullen bosbeheerders meestal kiezen voor een tussenweg: Het dempen van de verzurende werking van de nu aanwezige hoofdboomsoorten door rijkstrooiselsoorten in de struiklaag en de 2^{de} boomlaag en een aandeel rijkstrooisel in het kronendak. Het ontwikkelingsperspectief van jonge Nederlandse bossen wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.

1.2 Ecosysteemdiensten bossen

Bossen leveren de mens uiteenlopende goederen en diensten. Dit worden ook wel ecosysteemdiensten genoemd. Ecosysteemdiensten kunnen worden ingedeeld in vier categorieën:

1. Regulerende ecosysteemdiensten;
2. Producerende of Toeleverende ecosysteemdiensten;
3. Culturele ecosysteemdiensten;
4. Ondersteunende ecosysteemdiensten.



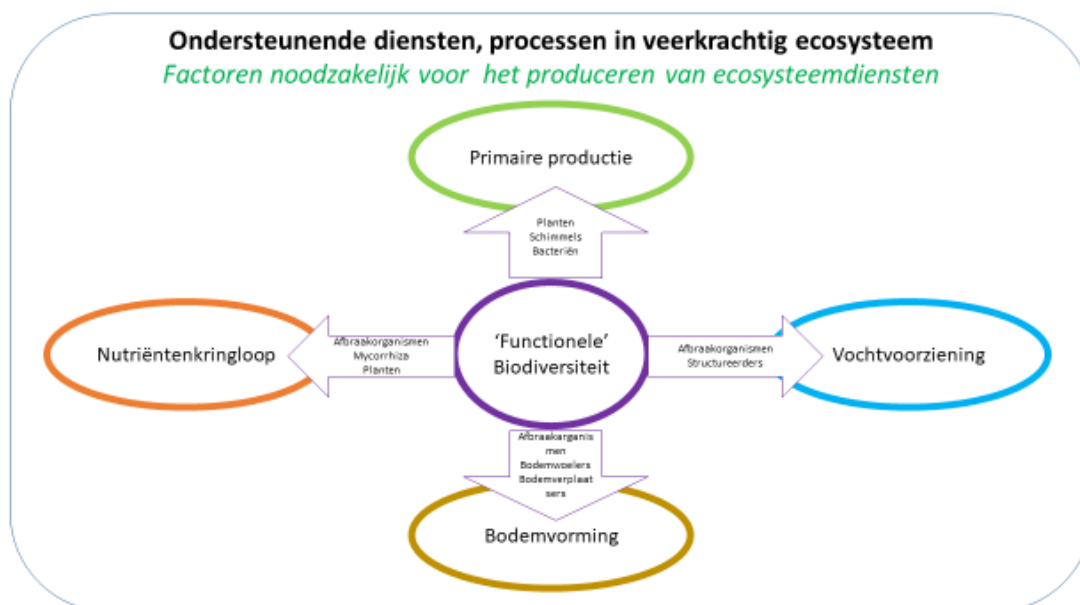
Figuur 1.2 De regulerende, toeleverende en culturele ecosysteemdiensten worden mogelijk gemaakt door de ondersteunende ecosysteemdiensten. Deze laatste worden op hun beurt beïnvloed door externe factoren die de vorm van bedreiging aan kunnen nemen. (naar MEA 2005)

In paragraaf 1.2.1 tot en met 1.2.4 worden de belangrijkste diensten die bossen leveren kort toegelicht.

1.2.1 Ondersteunende ecosysteemdiensten

De ondersteunde ecosysteemdiensten zijn de processen en factoren in het ecosysteem die de levering van regulerende, toeleverende en culturele ecosysteemdiensten mogelijk maken. Voor bossen zijn de belangrijkste ondersteunende ecosysteemdiensten de nutriëntenkringloop, de primaire productie, de vochtvoorziening en de bodemvorming. Cruciaal voor deze processen is de ‘functionele’ biodiversiteit, de vele organismen waarzonder deze ecosysteemprocessen niet mogelijk zouden zijn (zie figuur 1.3).

Biodiversiteit (natuurwaarde) is dus niet alleen een waarde op zich (culturele ecosysteemdienst, zie 1.2.4), het heeft allereerst een belangrijke rol in het functioneren van ecosystemen. Een grotere mate van functionele biodiversiteit, oftewel de bezetting van niches en volledigheid van processen (omzetting nutriëntencycli, predator–prooi relaties, voedselketen) draagt doorgaans bij aan een efficiënter gebruik van nutriënten en water, soms een hogere productiviteit (en CO₂ vastlegging), bestuiving en een grotere veerkracht ten aanzien van invasieve exoten (bv Amerikaanse vogelkers), plaagvorming (bv eikenprocessierups) , storm en brand.



Figuur 1.3 'Functionele' biodiversiteit is de centrale factor waarzonder de andere ondersteunende ecosysteemdiensten, de ecosysteemprocessen niet kunnen functioneren.

1.2.2 Regulerende ecosysteemdiensten

Regulerende ecosysteemdiensten omvatten alle diensten die bossen (bosecosystemen) en de daarin levende organismen leveren aan het reguleren of stabiliseren van klimaat (bijv. koolstofvastlegging), lucht (bijv. fijnstoffilter), water (bijv. waterzuivering en waterretentie) en bodem (bijv. voorkomen van erosie).

Bosecosystemen leveren een belangrijke bijdrage aan de afvang en opslag van CO₂ uit de atmosfeer. In een gemiddeld Nederlands bos zit 790 ton CO₂ per hectare opgeslagen in de boven- en ondergrondse biomassa, strooisel, dood hout en de bodem¹. De jaarlijkse bruto vastlegging door het Nederlandse bos bedraagt 1,76 miljoen ton CO₂. Dit staat gelijk aan de uitstoot van 399.000 huishoudens voor stroom en warmte (Probos, 2020). De bossen in Nederland nemen van alle ecosystemen momenteel 60% van de totale CO₂ vastlegging voor hun rekening (Lof *et al.* 2017). Bossen dragen bij aan het bufferen en zuivering van water. Bos- en natuurgebieden nemen respectievelijk 8% en 4% van de waterberging en -zuivering voor hun rekening (CBS *et al.*, 2015). Aan de andere kant kunnen bossen ook een negatieve invloed hebben op het waterbufferend vermogen in een gebied via onder meer verdamping. Daarnaast kunnen bossen een rol spelen in de zuivering van lucht (wegvangen fijnstof, NOX, ...), maar de effecten zijn doorgaans beperkt en sterk locatieafhankelijk.

1.2.3 Toeleverende ecosysteemdiensten

Onder de toeleverende ecosysteemdiensten vallen alle diensten die bossen de maatschappij leveren in het produceren van materialen of grondstoffen. De meest bekende dienst is de productie van hout en biomassa. De jaarlijkse rondhoutoogst uit het Nederlandse bos bedraagt ongeveer 1,3 miljoen m³ spilhout met schors. Hiermee wordt ruim 8%² van het Nederlandse houtverbruik (inclusief energiehout) gedekt (Probos, 2020; Schelhaas *et al.*, 2014). De verkoop van hout vormt daarnaast een belangrijke inkomstenbron voor boseigenaren. Ter illustratie: 41% van de inkomsten van particuliere bosbedrijven is afkomstig uit houtverkoop (Silvis & Voskuilen, 2019). Houtoogst kan daarmee bijdragen aan het dekken van de revitaliseringskosten, maar alleen als het bosbedrijf rendabel is. Houtoogst biedt de beheerder bovendien de kans om steeds weer de boomsoortensamenstelling bij te sturen en de bosstructuur te ontwikkelen en zo de bosvitaliteit te versterken.

Bossen spelen een belangrijke rol in de (drink)watervoorziening. Een belangrijk deel van de waterwingebieden liggen in bos en natuurterreinen. Van het geleverde drinkwater is 49% afkomstig uit bos- en natuurterreinen. Voor het niet drinkwater is dit zelfs 59%. De rest van de watervoorziening is afkomstig uit ecosystemen buiten Nederland (aanvoer door onder meer rivieren) (CBS *et al.*, 2015). Bij de rol van bossen in de (drinkwater)voorziening moet wel de kanttekening worden geplaatst dat waterwinning en onttrekking ook negatieve invloed kan hebben op het bos via verdroging.

1.2.4 Culturele ecosysteemdiensten

De culturele ecosysteemdiensten kunnen worden opgedeeld in natuurwaarden en overige culturele ecosysteemdiensten.

¹ In 2018 zat in het Nederlandse bos 80,6 miljoen ton C (= 296 miljoen ton CO₂) opgeslagen op een oppervlakte van 373.480 ha. Bron: <http://www.bosenhoutcijfers.nl/nederlands-bos/bos-en-klimaat/>.

² Totale houtverbruik is: 15,5 miljoen m³ rondhoutequivalenten.



Biodiversiteit

Biodiversiteit is een van de belangrijkste culturele ecosysteemdiensten van bossen. Met natuurwaarde wordt bedoeld de waarde die mensen hechten aan de aanwezigheid en het voortbestaan van natuur. Daarnaast vormt biodiversiteit een belangrijke ondersteunende ecosysteemdienst. (Zie paragraaf 1.2.1 op ingegaan).

Ongeveer 38% van het natuurlijk erfgoed³ bevindt zich in bos- en natuurgebieden (CBS *et al.*, 2015). Bossen vormen belangrijke habitats voor een breed scala aan soorten. Meer dan de helft van de bedreigde soorten van Nederland is gekoppeld aan (natuur)bos. Het gaat daarbij vooral om lagere organismen als insecten, schimmels, mossen en korstmossen.

Voor het behoud en de ontwikkeling van natuurwaarden in Nederlandse bossen is onder meer het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (SNL) van belang en de bijbehorende SNL beheertypen van belang. 83% van het bosareaal valt onder SNL (zie Annex 1). Grofweg kan het SNL bosareaal op basis van de SNL-beheertypen worden ingedeeld in:

- 39% natuurbos: bos waar in het beheer de nadruk ligt op het behoud en versterken van de natuurwaarde (en merendeels ook beleving), en
- 61% multifunctioneel bos: bos waarin in het beheer zowel natuurwaarde, houtproductie en beleving in verschillende verhoudingen een rol spelen

(Oldenburger, 2019).

Elk beheertype kent zijn eigen karakteristieke natuurwaarden. Tabel 1.3 geeft voor de SNL-beheertypen aan voor welke soortgroepen dit bostype van belang is.

Op Europees niveau is de bescherming van karakteristieke boshabitats vastgelegd in Natura 2000. In Nederland zijn hiervoor 101 gebieden aangewezen. Deze beslaan 5% van het totale bosareaal (zie Annex 1). Echter ook buiten de aangewezen Natura 2000 gebieden komen zulke boshabitattypen voor.

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de natuurwaarden in bossen.

³ Natuurlijk erfgoed: de bereidheid om planten, dieren, ecosystemen, landschappen te behouden voor toekomstige generaties om morele, ethische redenen of andere overtuigingen (De Knecht, 2014).

Tabel 1.3 Overzicht van de SNL-beheertypen die betrekking hebben op bos en de belangrijkste soort(groep)en waarvoor het beheertype van betekenis is (* Binnen deze soortengroep komen soorten voor die min of meer exclusief aan dit bostype zijn verbonden). De genoemde soorten zijn kensoorten die gebruikt worden om de kwaliteit van de beheertypen te toetsen. De kwaliteit van N16.03 en N16.04 wordt alleen getoetst aan bosstructuur en broedvogels, hetgeen niet wil zeggen dat N16 geen betekenis heeft voor planten. (Gebruikte bronnen: Stortelder et al 1998; Wolf et al. 2001; Weeda et al 2005).

SNL-beheertype		Belangrijkste soortgroepen waar het beheertype (potentieel) van betekenis voor is	Kwalificerende soorten (SNL) De biotische kwaliteit van de SNL-bostypen wordt uitgedrukt in het voorkomen van kwalificerende soorten.	
			Planten mossen zijn met een (m) aangeduid	Broedvogelsoorten
<i>Vochtige bossen</i>				
14.01	Rivier- en beekbegeleidend bos	Amfibieën Broedvogels Mossen* (M.n. ooibossen) en korstmossen Paddenstoelen* Vaatplanten Zoogdieren (m.n. bever)	aardbeiganzerik, alpenheksenkruid, besanjelier, bittere veldkers, bosgeelster, bosmuur, bospaardenstaart, boswederik, daslook, driekantige bies, eenbes, gele monnikskap, geveerd diknerfmos (m), gewone vogelmelk, gladde zegge, grote keverorchis, gulden sleutelbloem, hangende zegge, heekruid, klein heksenkruid, knikkend nagelkruid, kruidvlier, kruisbladwalstro, maarts viooltje, moeraskruiskruid, moerasstrepzaad, moeraswolfsmelk, muskuskruid, paarbladig goudveil, reuzenpaardenstaart, rivierkruiskruid, schaafstro, slangenlook, slanke sleutelbloem, slanke zegge, spindotterbloem, torenkruid, verspreidbladig goudveil, welriekende agrimonie, wilde	appelvink, blauwborst, kleine bonte specht, kwak, nachtegaal, wielewaal



			kievitsbloem, witte rapunzel, zomerklokje, zwartblauwe rapunzel	
14.02	Hoog- en laagveenbos	Amfibieën Broedvogels* Div. insectensoorten Paddenstoelen* Reptielen Vaatplanten (M.n. hoogveenbos) Zoogdieren	draadzegge, eenarig wollegras, galigaan, glanzend veenmos (m), hoogveenveenmos (m), kamvaren, kleine veenbes, koningsvaren, laurierwilg, lavendelhei, moeraslathyrus, moeraswolfsmelk, paardenhaarzegge, poelruit, rood veenmos (m), rijsbes, slank wollegras, slanke zegge, sterzegge, stijf veenmos (m), stijve zegge, violet veenmos (m), wateraardbei, waterdrieblad, waterviolier, wilde gagel, wrattig veenmos (m)	blauwborst, boomkruiper, gekraagde roodstaart, grauwe vliegenvanger, grote bonte specht, kleine bonte specht, matkop, nachtegaal, wielewaal
14.03	Haagbeuken- en essenbos	Amfibieën (met name Heuvelland) Broedvogels Div. insectensoorten Vaatplanten* Epyfytische mossen*	bochtige klaver, bosanemoon, dalkruid, dennenorchis, dennenwolfsklauw, dubbelloof, Duitse brem, echte guldenroede, fraai hertshooi, gebogen driehoeksvaren, geschubde mannetjesvaren, gewone salomonszegel, grote veldbies, hengel, klein wintergroen, kleine keverorchis, koningsvaren, kranssalomonszegel, lelietje-van-dalen, linnaeusklokje, mispel, ruige veldbies, schaduwkruid, steenbraam, stekende wolfsklauw, stengelloze sleutelbloem, stippelvaren, stofzaad, valse salie, valse zandzegge, wilde narcis s.s., witte klaverzuring, witte veldbies, zevenster, Zweedse kornoelje	appelvink, boomklever, boomleeuwerik, fluiters, geelgors, groene specht, keep, kleine bonte specht, middelste bonte specht, raaf, sijs, vuurgoudhaan, wespandief, wielewaal, zwarte specht

16.04	Vochtig bos met productie	Vergelijkbaar met N14.03 (op klei of leem) of 14.02 (op veen).	Binnen dit beheertype wordt niet gekeken naar de plantenrijkdom. De (lange termijn) potentie is vergelijkbaar met N14.03 (op klei of leem) of 14.02 (op veen)..	appelvink, blauwborst, boomklever, boomkruiper, fluiter, groene specht, grote bonte specht, keep, kleine bonte specht, matkop, middelste bonte specht, nachtegaal, sijs, vuurgoudhaan, wielewaal, zwarte specht
<i>Droge bossen</i>				
15.01	Duinbos	Broedvogels Paddestoelen* Vaatplanten	bosaardbei, bosanemoon, bottelroos, dalkruid, dennenorchis, donderkruid, dubbelloof, gebogen driehoeksvaren, glad parelzaad, grote keverorchis, hengel, klein wintergroen, laurierwilg, lelietje van dalen, ruig viooltje, ruige veldbies, stekende wolfsklauw, stengelloze sleutelbloem, stofzaad, vogelnestje, tongvaren, valse zandzegge, voorjaarshelmkruid, welriekende salomonszegel, wilde hyacint	blauwborst, groene specht, grote bonte specht, kleine barmsijs, kleine bonte specht, nachtegaal, wielewaal, zwarte specht
15.02	Dennen-, eiken en beukenbos	Broedvogels Insecten* (O.a. Vliegend hert) Korstmossen Mossen Paddenstoelen*	bochtige klaver, bosanemoon, dalkruid, dennenorchis, dennenwolfsklauw, dubbelloof, Duitse brem, echte guldenroede, fraai hertshooi, gebogen driehoeksvaren, geschubde mannetjesvaren, gewone salomonszegel, grote veldbies, hengel, klein wintergroen, kleine keverorchis, koningsvaren, kranssalomonszegel, lelietje-van-dalen, linnaeusklokje, mispel, ruige veldbies, schaduwkruiskruid, steenbraam, stekende wolfsklauw, stengelloze sleutelbloem, stippelvaren, stofzaad, valse salie, valse zandzegge, wilde narcis s.s., witte klaverzuring, witte veldbies, zevenster, Zweedse kornoelje	appelvink, boomklever, boomleeuwerik, fluiter, geelgors, groene specht, keep, kleine bonte specht, middelste bonte specht, raaf, sijs, vuurgoudhaan, wespindief, wielewaal, zwarte specht



		Vaatplanten		
16.03	Droog bos met productie	Vergelijkbaar met N15.02 (op zandgronden), N14.03 (op rijke zandgronden en leem of de binnenduinrand) of N15.01 (in de duinen).	Binnen dit beheertype wordt niet gekeken naar de plantenrijkdom. De (lange termijn) potentie is vergelijkbaar met N15.02 (op zandgronden), N14.03 (op rijke zandgronden en leem of de binnenduinrand) of N15.01 (in de duinen).	appelvink, boomklever, boomleeuwerik, fluiter, geelgors, groene specht, keep, kleine bonte specht, middelste bonte specht, raaf, sijs, vuurgoudhaan, wespandief, wielewaal, zwarte specht

Overige culturele ecosysteemdiensten

Van de culturele ecosysteemdiensten die bossen leveren is naast natuurwaarde en biodiversiteit recreatie de meest gewaarde dienst. Bos- en natuurgebieden vervullen 35% van de totale vraag naar groene recreatie in Nederland. (CBS *et al.*, 2015). Alleen al Staatsbosbeheer kent 150 miljoen bezoeken per jaar op haar terreinen (Staatsbosbeheer, 2020). De recreatieve waarde van bos en natuur vertegenwoordigt ook een belangrijke economische waarde. Bijvoorbeeld de waarde van verblijfsrecreatieve overnachtingen gerelateerd aan natuur is door PBL in 2010 becijferd op bijna 700 miljoen euro (PBL, 2010).

Bossen leveren daarnaast een bijdrage aan de gezondheid van mensen, ze geven spirituele zingeving, dragen bij aan de landschappelijke kwaliteit en verhogen het woongenot. Daarnaast leveren bossen een belangrijke culturele dienst omdat ze een breed scala aan erfgoedwaarden herbergen. Bossen zijn rijk aan cultuurhistorische en archeologische sporen die door eeuwenlang menselijk gebruik van het landschap zijn achtergebleven. Naar schatting elke hectare bos bevat naar een of meerdere (deels) onzichtbare relictten (Boosten & Penninkhof, 2019). Ruim eendere van de archeologische rijksmonumenten ligt in bos- en natuurgebieden (Willemse, 2020).

1.2.5 Ecosysteemdiensten per bostype

Het Nederlandse bos is een belangrijke leverancier van ecosysteemdiensten. Daarbij is het belangrijk om te realiseren dat deze diensten worden 'geproduceerd' op slechts 11% van het landoppervlak. Alle bostypen leveren ecosysteemdiensten, maar de mate waarin een bostype een dienst levert varieert wel. In tabel 1.4 is voor de verschillende bostypen aangegeven in welke mate zij momenteel bijdragen aan drie ecosysteemdiensten die centraal staan in de Nationale bossenstrategie: koolstofvastlegging, houtproductie en natuurwaarde. Tevens is per bostype weergegeven waar er nog ontwikkelkansen liggen voor het leveren van de ecosysteemdiensten.



Tabel 1.4 Schematische weergave van de actuele en de potentiële (toekomstige) bijdrage die de verschillende bostypen leveren aan de functies koolstofvastlegging, houtproductie en natuurwaarde. Hierbij is met een kleur aangegeven of de bijdrage laag (oranje), gemiddeld (lichtgroen) of hoog (donkergroen) is. Voor de actuele bijdrage is beknopt gemotiveerd waarop de beoordeling is gebaseerd. Voor de potentiële bijdrage is aangegeven of er ontwikkelkansen liggen voor het vergroten van de bijdrage: geen ontwikkelkansen (-), beperkte ontwikkelkansen (+) en grote ontwikkelkansen. Over het algemeen geldt dat er in alle bostypen ook ontwikkelkansen liggen voor tal van andere ecosysteemdiensten.

Nr.	Bostype	Regulerende ecosysteemdiensten: Koolstofvastlegging		Toeleverende ecosysteemdiensten: Houtproductie		Culturele ecosysteemdiensten: Natuurwaarde	
		Actuele bijdrage	Potentiële (toekomstige) bijdrage	Actuele bijdrage	Potentiële (toekomstige) bijdrage	Actuele bijdrage	Potentiële (toekomstige) bijdrage
1	Bos op kalkrijke zandgronden (duinen)	Lage C-vastlegging per ha	+	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	-	Hoge natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+
2	Bos op kalkarme gronden (duinen)	Lage C-vastlegging per ha	+	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	-	Matig natuurlijkheid Matige kenmerkendheid Matig verscheidenheid	+
3	Bos op buitendijkse zeeleiggronden	Gemiddelde C-vastlegging per ha	+	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	-	Hoge natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+

4	Bos op binnendijkse zeeleigron	Hoge C-vastlegging per ha	-	Hoge houtoogst (m3/ha) en veel vermarktbare sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Matige kenmerkendheid Matig tot hoge verscheidenheid	++
5	Bos op laagveen en klei op veen (buiten de duinen)	Gemiddelde C-vastlegging per ha	+	Lage houtoogst (m3/ha) en weinig vermarktbare sortimenten	-	Matig natuurlijkheid Matige kenmerkendheid Matig verscheidenheid	+
6	Bos op buitendijkse rivierleigron	Hoge C-vastlegging per ha	-	Lage houtoogst (m3/ha) en weinig vermarktbare sortimenten	+	Hoge natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+
7	Bos op binnendijkse rivierleigron	Hoge C-vastlegging per ha	-	Hoge houtoogst (m3/ha) en veel vermarktbare sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Matig tot hoge kenmerkendheid Matig tot hoge verscheidenheid	++
8	Bos op stagnerende leem- en kleigrond	Gemiddelde C-vastlegging per ha	-	Lage houtoogst (m3/ha) en weinig	+	Lage natuurlijkheid Matig tot hoge kenmerkendheid	+



				vermarktbaar sortimenten		Matig tot hoge verscheidenheid	
9	Bos op droge leemgronden	<i>Gemiddelde C- vastlegging per ha</i>	-	Gemiddelde houtoogst (m ³ /ha) en veel vermarktbaar sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Matige kenmerkendheid Matige tot hoge verscheidenheid	+
10	Bos op rijke, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen)	<i>Gemiddelde C- vastlegging per ha</i>	+	Hoge houtoogst (m ³ /ha) en veel vermarktbaar sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Lage tot matig kenmerkendheid Matige verscheidenheid	++
11	Bos op arme, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen)	<i>Gemiddelde C- vastlegging per ha</i>	++	Gemiddelde houtoogst (m ³ /ha) en veel vermarktbaar sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Lage tot matig kenmerkendheid Matige verscheidenheid	++
12	Bos op kleiarm (hoog)veen	<i>Gemiddelde C- vastlegging per ha</i>	-	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbaar sortimenten	-	Matig tot hoge natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Matig verscheidenheid	+

13	Bos op beekdalgronden	<i>Hoge C-vastlegging per ha</i>	-	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	+	Matig tot hoge natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+
14	Bos op kwelgevoede zandgronden	<i>Gemiddelde C-vastlegging per ha</i>	+	Gemiddelde houtoogst (m ³ /ha) en veel vermarktbare sortimenten	-	Lage natuurlijkheid Matig tot hoge kenmerkendheid Matig tot hoge verscheidenheid	+
15	Bos op hellinggronden op ondiepe kalk	<i>Hoge C-vastlegging per ha</i>	-	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	+	Lage tot matige natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+
16	Bos op gronden op vuursteeneluvium	<i>Gemiddelde C-vastlegging per ha</i>	-	Lage houtoogst (m ³ /ha) en weinig vermarktbare sortimenten	+	Lage tot matige natuurlijkheid Hoge kenmerkendheid Hoge verscheidenheid	+

De actuele bijdrage is bepaald aan de hand van de volgende criteria:

- Voor koolstofvastlegging is er gekeken naar de actuele C-vastlegging per hectare.
- Voor de houtproductie is er gekeken naar de actuele houtoogst (m³/ha) en de aanwezigheid van vermarktbare houtsortimenten in het bostype.
- Voor de natuurwaarde is er gekeken naar:



- (1) natuurlijkheid: ruimte voor (a)biotische processen
- (2) kenmerkendheid: voor NL kenmerkend bosecosysteem
- (3) verscheidenheid: zeldzame of bijzondere soortensamenstelling

Voor een verdere uitleg van deze begrippen wordt verwezen naar Hoofdstuk 2.

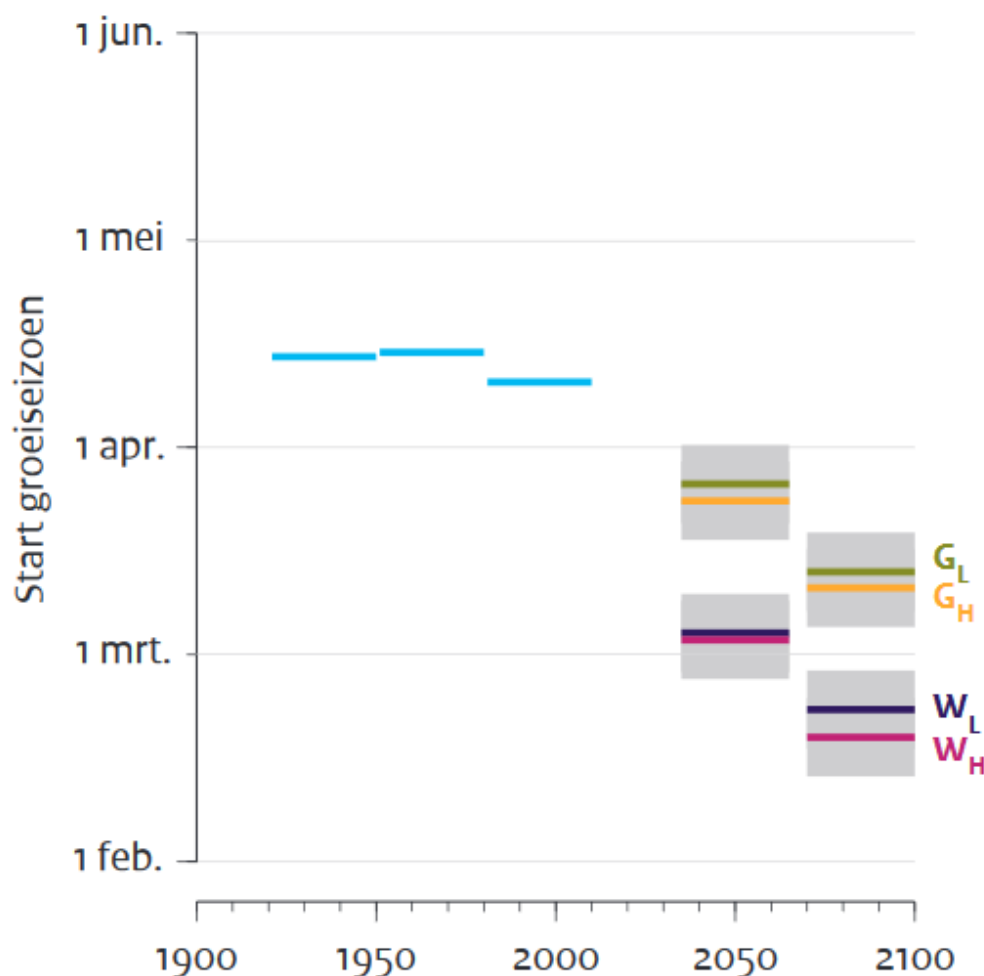
De potentiële bijdrage is bepaald door te kijken naar de ontwikkelkansen per bostype om de C–vastlegging, houtproductie en natuurwaarde te verhogen.

1.3 Bedreigingen als gevolg van klimaatsverandering

Het KNMI heeft in 2014 klimaatscenario's gepubliceerd⁴. Deze scenario's zijn een vertaling van de mondiale klimaatscenario's van het IPCC naar de Nederlandse situatie. De KNMI'14 –klimaatscenario's voorspellen een toename van de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland van +1,0 tot +2,3 °C in 2050 ten opzichte van de referentieperiode (1981–2010). In de winter kan de gemiddelde temperatuurstijging zelfs oplopen tot +2,7°C ten opzichte van de referentieperiode. Het aantal vorstdagen neemt af met 30% tot 60% (KNMI, 2015). De zachtere winters kunnen in bossen leiden tot een verhoogde kans op ziekten en plagen omdat meer plaaginsecten overleven. Ook wordt ons klimaat hiermee geschikt voor nieuwe (zuidelijke) plaagsoorten. Anderzijds zijn er ook vermoedens dat de wintersterfte onder plaaginsecten kan toenemen, omdat er bijvoorbeeld minder sneeuw valt en daarmee de isolerende werking van de sneeuw uitblijft (Van der Aa *et al.* 2015).

Zachtere winters kunnen ook van invloed zijn op het kiemsucces van inheemse boom- en struiksoorten die een relatief lange en ononderbroken koudeperiode nodig hebben om de kiemrust van zaden te doorbreken, zoals es, beuk, zoete kers, jeneverbesjeverbes en hulst (Van der Aa *et al.*, 2015). De temperatuurstijging zorgt dat het groeiseizoen in 2050 3 tot 6 weken vroeger start ten opzichte van het jaar 2000 (figuur 1.4). Een langer groeiseizoen kan weliswaar positieve effecten hebben op de groei van bos, maar geeft ook een verhoogde kans op vorstschade doordat bomen en andere planten vroeger uitlopen (Van der Aa *et al.*, 2015). Zohner *et al.* (2020) schatten in dat circa 35% van het Europese (gematigde) bos te maken krijgt met toenemende schade door late voorjaarsvorst als gevolg van het vroeger uitlopen van bomen door klimaatverandering. Daarnaast zorgt temperatuurstijging voor een verstoring van het voedselweb, bijvoorbeeld doordat waardplanten al eerder uitlopen en bloeien dan insecten gewend zijn of bijvoorbeeld een reductie van de hoeveelheid licht die op de bosbodem valt vroeg in het groeiseizoen met effect op bosflora als bosanemoon (Van der Aa *et al.*, 2015).

⁴ In 2023 worden nieuwe klimaatscenario's gepubliceerd die rekening houden met meer actuele inzichten over klimaatverandering.



Figuur 1.4 Start van het groeiseizoen in Nederland in de periode 2000-2100. De start van het groeiseizoen in 2050 en 2100 wordt weergegeven voor 4 klimaatscenario's (G_L , G_H , W_L , W_H) (KNMI, 2015).

Ook zal een deel van de plant als diersoorten het tempo van verschuiving van klimaatgrenzen niet kunnen bijbenen via migratie (Braakhekke *et al.*, 2014; Wamelink *et al.*, 2020). Dit is bijvoorbeeld vastgesteld aan de hand van empirisch onderzoek naar bosvegetatie in Frankrijk (Bertrand *et al.*, 2011). Wamelink *et al.* (2020) hebben gemodelleerd wat het effect is van een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur naar 14 °C op doelsoorten (plantensoorten) in Natura 2000 boshabitattypen en SNL beheertypen met bos. Tussen de 35% (N2000 droge hardhoutooibossen) en 85% (N2000 hoogveenbos) van de plantensoorten waarvan temperatuurranges beschikbaar zijn staan onder druk. Voor de SNL bostypen varieert dit tussen de 32% (haagbeuken-essenbos) en 65% (hoog- en laagveenbos) (zie tabel 1.5). De verwachting is dat op Natura 2000 habitatniveau Beuken-eikenbossen met hulst H9120 en Oude eikenbossen H9190 sterk onder druk komen staan en mogelijk kunnen verdwijnen als er geen maatregelen worden genomen.

Tabel 1.5 Het aantal onder druk staande doelsoorten (plantensoorten) per Natura 2000 habitatype en SNL beheertype bij een gemiddelde jaartemperatuurstijging naar 14°C (Tabel gebaseerd op data van Wamelink et al., 2020).

Natura 2000 Habitatype		Totaal aantal doel- soorten	Aantal doel- soorten in de database	Aantal bedreigde doelsoorten als gevolg van temperatuur- stijging	Percentage bedreigde doel soorten (op basis van de in de database beschikbare soorten)
Beuken-eikenbossen met hulst	H9120	16	15	8	53%
Droge hardhoutooibossen	91F0	18	17	6	35%
Duinbossen	H2180	10	10	6	60%
Eiken-haagbeukenbossen	H9160	35	31	11	35%
Hoogveenbossen	H91D0	17	13	11	85%
Oude eikenbossen	H9190	7	6	5	83%
Veldbies-beukenbossen	H9110	14	9	4	44%
Vochtige alluviale bossen	H91E0	39	31	15	48%
SNL Beheertype		Totaal aantal doel- soorten	Aantal doel- soorten in de database	Aantal bedreigde doelsoorten als gevolg van temperatuur- stijging	Percentage bedreigde doel soorten (op basis van de in de database beschikbare soorten)
Grootschalig duin- of kwelderlandschap	N01.02	34	24	6	25%
Rivier- en moeraslandschap	N01.03	38	30	11	37%
Zand- en kalklandschap	N01.04	40	32	13	41%
Rivier- en beekbegeleitend bos	N14.01	43	33	17	52%
Hoog- en laagveenbos	N14.02	27	20	13	65%
Haagbeuken- en essenbos	N14.03	75	63	20	32%
Duinbos	N15.01	25	21	11	52%
Dennen-, eiken- en beukenbos	N15.02	35	32	18	56%
Vochtig hakhout en middenbos	N17.01	24	23	10	43%



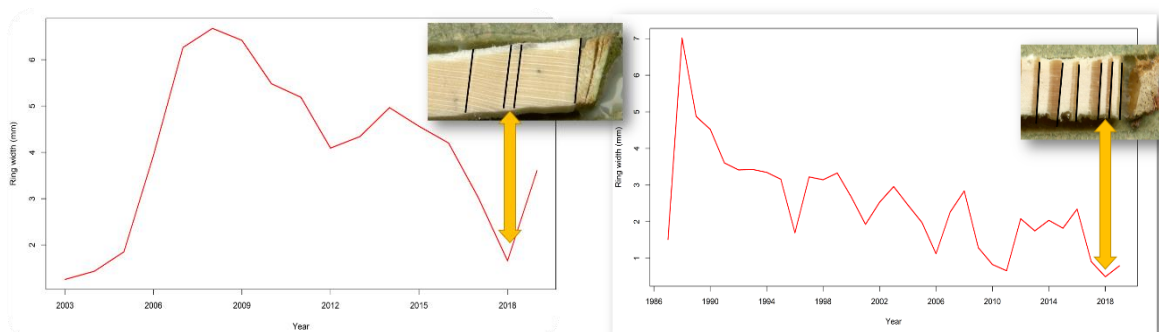
De hoeveelheid neerslag in de winter zal toenemen met 3 tot 17% (KNMI, 2015) Dit leidt tot onder meer nattere bosbodems, waardoor het risico op windworp toeneemt (Van der Aa *et al.*, 2015).

Zomers worden als gevolg van klimaatverandering droger. De verandering in neerslag in de zomer wisselt per klimaatscenario. In het minst extreme scenario neemt de gemiddelde hoeveelheid neerslag in de zomer toe met 1,4%, terwijl de neerslag in het meest extreme scenario afneemt met 13%. Hierbij zullen naar verwachting ook verschillen optreden tussen de kustgebieden en het binnenland. Het neerslagtekort in de zomer neemt bij alle scenario's wel toe. Afhankelijk van het scenario is de stijging van het tekort 0,7% tot 30%. In de zomer worden ook buien extremer doordat het hoeveelheid neerslag per uur toeneemt (KNMI, 2015).

De toenemende droogte in de zomer leidt tot vochttekorten wat kan leiden tot verminderde groei en vitaliteit van bomen. Ook kan hierdoor de vatbaarheid voor ziekten en plagen toenemen (Van der Aa *et al.*, 2015). De actuele grootschalige aantastingen van bastkevers bij exoten zoals fijnspar, Servische spar en lariks zijn daar de meest bekende voorbeelden van. Droogteresistente soorten zullen zich naar verwachting steeds verder uitbreiden in het bos ten koste van droogtegevoelige soorten (Clerckx *et al.*, 2013).

De mate waarin droogte effect heeft, verschilt per boomsoort, herkomst en groeiplaats. Een analyse door Wageningen Environmental Research van dendrometergegevens van zestien bomen in bosreservaten laat bijvoorbeeld zien dat de omtrekgroei van bomen in het droge jaar 2018 in veel gevallen aanmerkelijk lager was dan in de jaren 2015 tot en met 2017. Uit de metingen komt wel duidelijk naar voren dat met name bij de onderzochte naaldbomen (grove den en douglas) de groei stakte. De droogte had bij de loofbomen (eik en beuk) minder effect op de omtrekgroei. Ook werd duidelijk dat het effect verschilt per soort en groeiplaats. Op een van de locaties vertoonde een beuk zelf een hogere groei in 2018 dan in de voorgaande jaren (Lerink *et al.*, 2019). Jaarringonderzoek uitgevoerd door het Dendrolab van Wageningen UR in proefvelden laat zien dat Nederlandse herkomsten van zomer- en wintereik geen verminderde groei vertoonden in droge jaren zoals 2003 & 2018 (en ook niet in 2019) (Buras *et al.*, 2020).

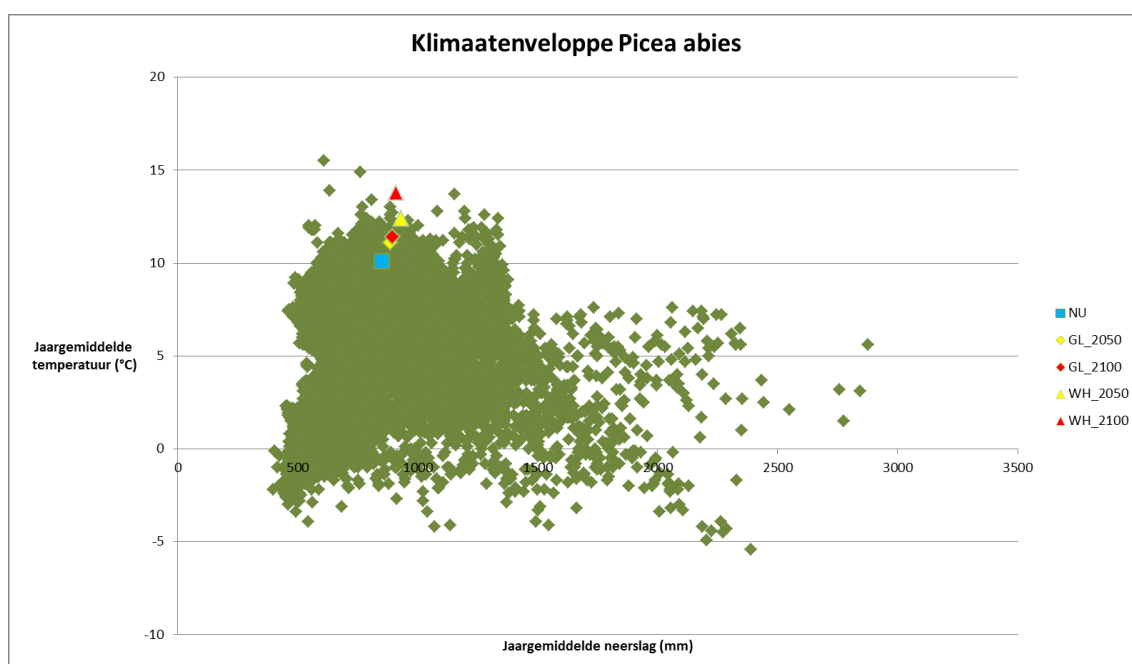
De mate waarin bomen herstellen na droogte verschillen ook per soort. Herkomsten van onder andere gewone esdoorn vormden in het droge jaar 2018 weliswaar een smallere jaarring maar herstelden goed in 2019 (figuur 1.5 links). Lariks op arme zandgrond had meer moeite met herstel en groeide in 2018 en 2019 nog net iets slechter dan in de jaren 2010 & 2011 (figuur 1.5 rechts).



Figuur 1.5 Gemiddelde jaarringbreedte van herkomsten van gewone esdoorn (links) (gemeten aan 20 bomen) en lariks (rechts) (gemeten aan 18 bomen). De peilen geven de groei in het extreem droge jaar van 2018 weer (Bron: Dendrolab Wageningen UR).

Door de daling van het grondwater zullen groeiplaatsen ook minder geschikt worden voor bepaalde (droogtegevoelige) boomsoorten. Voor sommige soorten zal het toekomstige Nederlandse klimaat mogelijk zelfs geheel ongeschikt worden (figuur 1.6). Van andere soorten, zoals de zomereik voorspellen scenariostudies dat het areaal in Nederland juist zal toenemen (Sáenz-Romero *et al.*, 2017).

Tot slot leidt de toenemende droogte tot een verhoogd risico op bosbranden (Braakhekke *et al.*, 2014; Van der Aa *et al.*, 2015).



Figuur 1.6 Voorbeeld van de verwachte impact van klimaatverandering op fijnspaar. De groene stippen geven aan binnen welke klimaatgrenzen de soort momenteel in Europa voorkomt. De blauwe stip geeft het huidige gemiddelde Nederlandse klimaat aan. De gele en rode stippen geven het verwachte klimaat aan in respectievelijk 2050 en 2100. In het meest extreme klimaatscenario kent Nederland in 2050 al geen geschikt klimaat meer voor de fijnspaar. (Bron: Kremers, 2017). De bovenstaande afbeeldingen zijn vooral bedoeld als indicatie van de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor boomsoorten. In deze benadering is geen rekening gehouden met de eventuele fenotypische plasticiteit van boomsoorten.

De neerslag wordt in alle scenario's extremer, wat kan leiden tot meer sterfte en dynamiek in bossen, vooral in de zomer wanneer bomen in het blad staan. De veranderingen in gemiddelde windsnelheden door het jaar heen en tijdens (winter)stormen zijn echter lastig te voorspellen. Ze vallen binnen de natuurlijke variabiliteit (KNMI, 2015). Het algemene beeld is dat het risico op storm en daarmee het risico op windworp in het bos toeneemt (Van der Aa, 2015).

Een laatste belangrijk gevolg van klimaatverandering is de stijging van de zeespiegel. De verwachting is dat deze in 2050 met +15cm tot +40 cm zal zijn toegenomen. De stijging vindt plaats met een snelheid van 1 tot 7,5 mm per jaar (KNMI, 2015). Door met name een toenemende zoute kwel waarbij zeewater via de ondergrond het land binnendringt neemt het zoutgehalte in de bodem en het (grond)water toe. Verzilting speelt vooral in de lagere delen van West- en Noord Nederland, zoals grote delen van Zeeland en Zuid-Holland en het kustgebied van Noord-Holland, Friesland en Groningen. In sommige gebieden wordt de verzilting versterkt door daling van de bodem. Op plekken met open riviermondingen (Nieuwe Waterweg en Westerschelde) dringt het zilte zeewater rechtstreeks het land binnen (De Boer & Radersma, 2011; Wolters *et al.*, 2018). Dit laatste kan met name effect hebben op de Biesbosch. Verzilting kan onder meer leiden tot een verstoring van de nutriëntenhuishouding en daarmee een verminderde groei en veranderende samenstelling van bossen. Hoge zoutconcentraties zijn toxisch voor de meeste soorten bomen en planten.

Het klimaat is altijd aan verandering onderhevig geweest, maar de huidige klimaatverandering gaat ongekend snel. Het is nog onduidelijk in welke mate de bossen in Nederland autonoom zullen veranderen als reactie op de veranderende omstandigheden. Naar verwachting heeft klimaatverandering niet zo zeer effect op het voortbestaan van bossen an sich, maar vooral op de soortensamenstelling en de een groot aantal ecosysteemdiensten die deze bossen kunnen leveren. Tabel 1.6 somt de belangrijkste effecten op van klimaatverandering op bossen.

Tabel 1.6 Effecten klimaatverandering op de abiotiek en biotiek van bossen

Gevolgen		
klimaatverandering	Effect op abiotiek bossen	Effect op biotiek bossen
Minder neerslag in groeiseizoen	Daling grondwaterstand (in groeiseizoen) en lagere vochtbeschikbaarheid	Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag (aandeel droogtegevoelige soorten neemt af)
		Afnemende groei
		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte (door gebrek aan vocht en verhoogde (kwetsbaarheid voor) ziekten en plagen).
		Verhoogd bosbrandrisico
		Verstoring bodembiologie
Meer neerslag buiten het groeiseizoen	Hogere grondwaterstand (buiten groeiseizoen) en daarmee lagere zuurstofbeschikbaarheid	Verhoogd risico op windworp (door slappere bodem en afstervende wortels)
		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte bij langdurig natte omstandigheden als

		gevolg van lagere zuurstofgehaltes in de bodem en afsterven delen van het wortelstelsel
		Verstoring bodembioologie bij langdurig natte omstandigheden als gevolg van lagere zuurstofgehaltes in de bodem (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)
Extremere neerslag (regen, hagel, onweer)	Toename hagelschade en blikseminslag (dit laatste zal naar verwachting beperkt zijn)	Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte (door gebrek aan vocht en verhoogde (kwetsbaarheid voor) ziekten en plagen).
Verhoogd risico windworp		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte (door gebrek aan vocht, verhoogde (kwetsbaarheid voor) ziekten en plagen en wortelschade)
Verlenging groeiseizoen		Verhoogde kans op vorstschade (door vervroegd uitlopen bomen, struiken, planten)
		Toenemende groei
		Verstoring voedselweb als gevolg van vervroegd uitlopen en bloeien waardplanten (o.a. effect op bloemzoekende insecten, verstoring prooi-predatorrelaties)
Stijging gemiddelde jaartemperatuur		Toenemende groei (mits andere factoren zoals nutriënten en vocht niet beperkend zijn)
		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte door (kans op) nieuwe ziekten en plagen uit warmere gebieden en overleven van plaaginsecten als gevolg van zachtere winters.
		Verhoogde vochtbehoefte en veranderende soortensamenstelling



		Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag (aandeel droogtegevoelige soorten neemt af)
		Verstoring bodembiologie
Stijging zeespiegel	Meer verzilting	Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag
		Afnemende groei vanwege veranderde/verstoorde nutriëntensamenstelling
		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte als gevolg van toxisch effect zout
		Verstoring bodembiologie als gevolg van veranderde/verstoorde nutriëntensamenstelling (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)

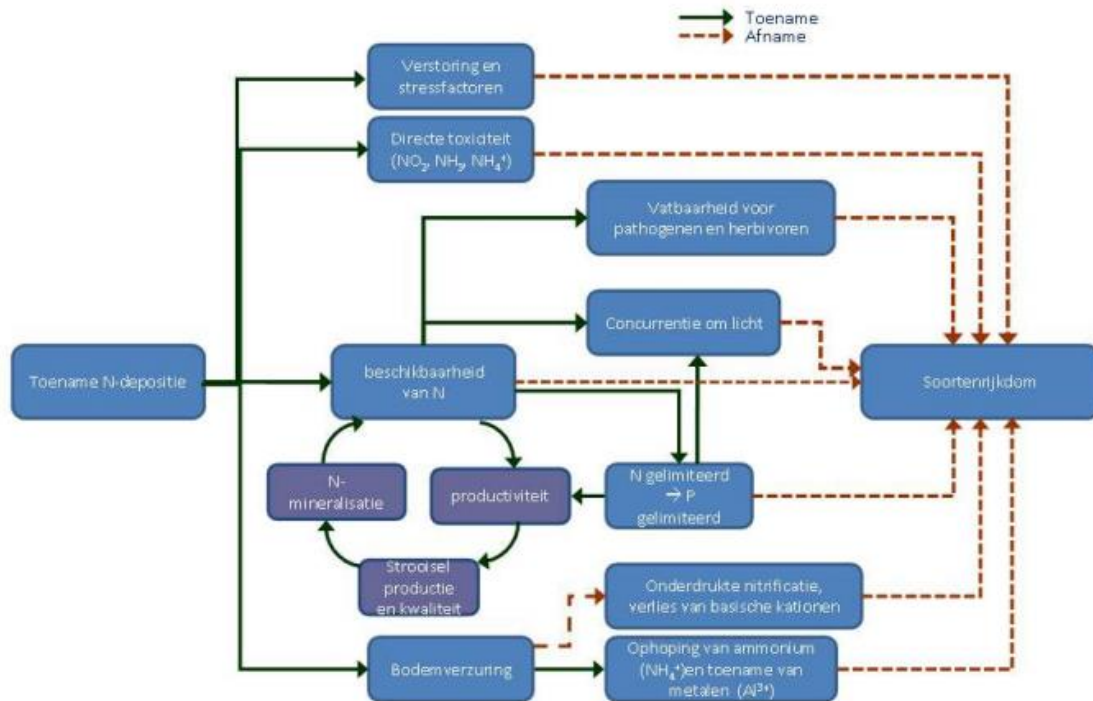
1.4 Stikstofdepositie en andere drukfactoren

Naast een veranderend klimaat zijn er andere factoren die de ontwikkeling van vitaal bos in de weg kunnen staan. In veel gevallen zullen deze factoren de effecten van klimaatsverandering versterken.

1.4.1 Verhoogde stikstofdepositie

Vrijwel overal in Nederland is er sprake van een (veel) te hoge stikstofdepositie, hoofdzakelijk afkomstig uit de landbouw (in de vorm van ammoniak) en in mindere mate uit het verkeer (stikstofoxiden). Deze overmaat van stikstof heeft voor tal van planten- en diersoorten zowel directe negatieve effecten, als indirecte negatieve effecten via aantasting van hun leefgebied (figuur 1.7). De gevolgen die kunnen optreden zijn: 1) Directe toxiciteit van hoge concentraties van gasen op individuele plantensoorten; 2) Eutrofiëring door geleidelijke toename van de N-beschikbaarheid; 3) Verzuring van bodem en water; 4) Negatieve effecten van de verhoogde beschikbaarheid van gereduceerd N (ammonium); 5) Toegenomen gevoeligheid voor secundaire stressfactoren, zoals schimmelinfecties en insectenplagen en vorst- of droogteschade; en tenslotte 6) Verschuivingen in de chemische samenstelling van planten onder invloed van een grotere N-beschikbaarheid. Daardoor

verandert de kwaliteit van de planten als voedsel voor herbivoren met allerlei gevolgen hoger in de voedselketen (Bal et al. 2014).

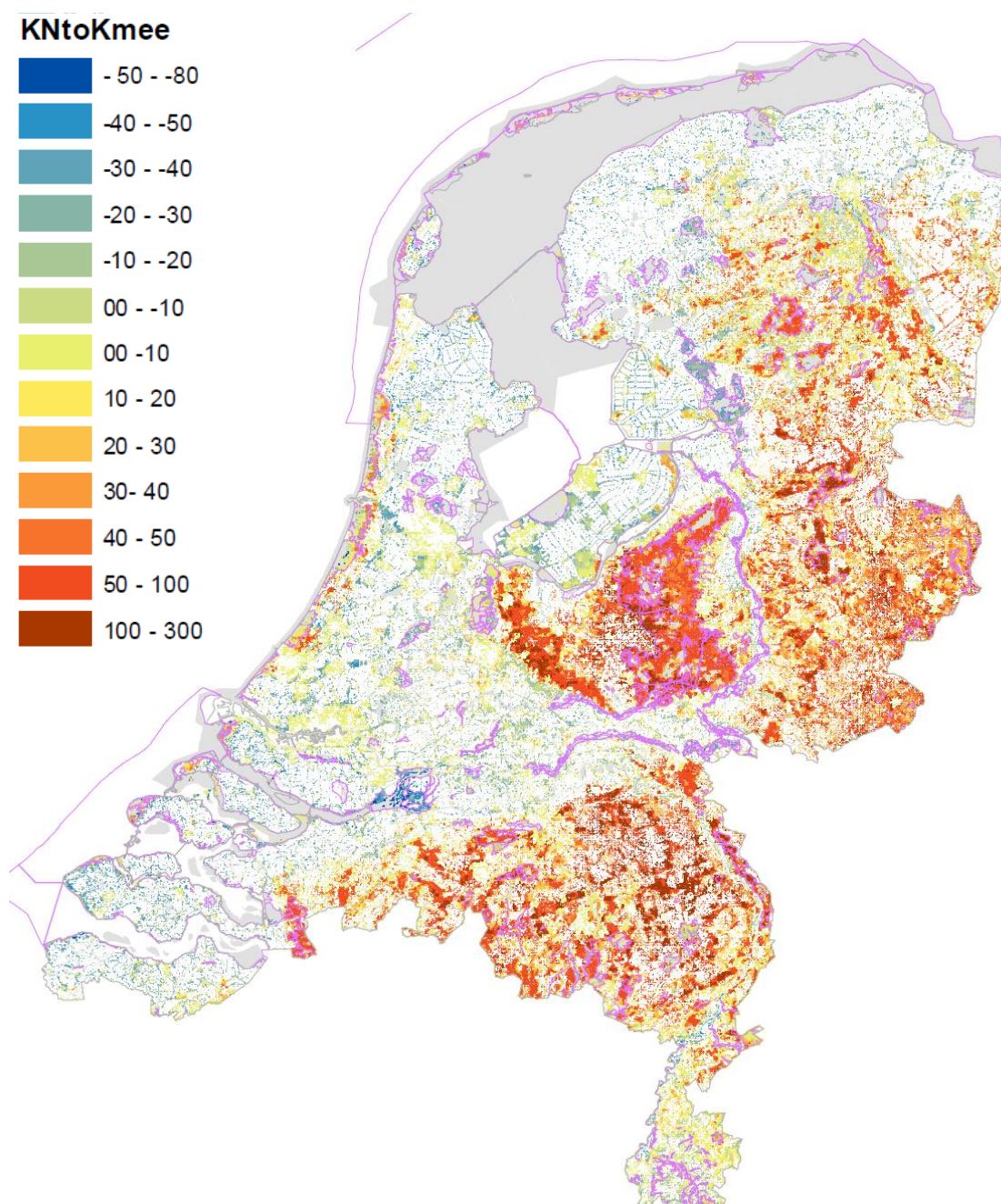


Figuur 1.7 Schema met de ecologische gevolgen van stikstofdepositie op ecosystemen (naar Bobbink & Hettelingh 2011).

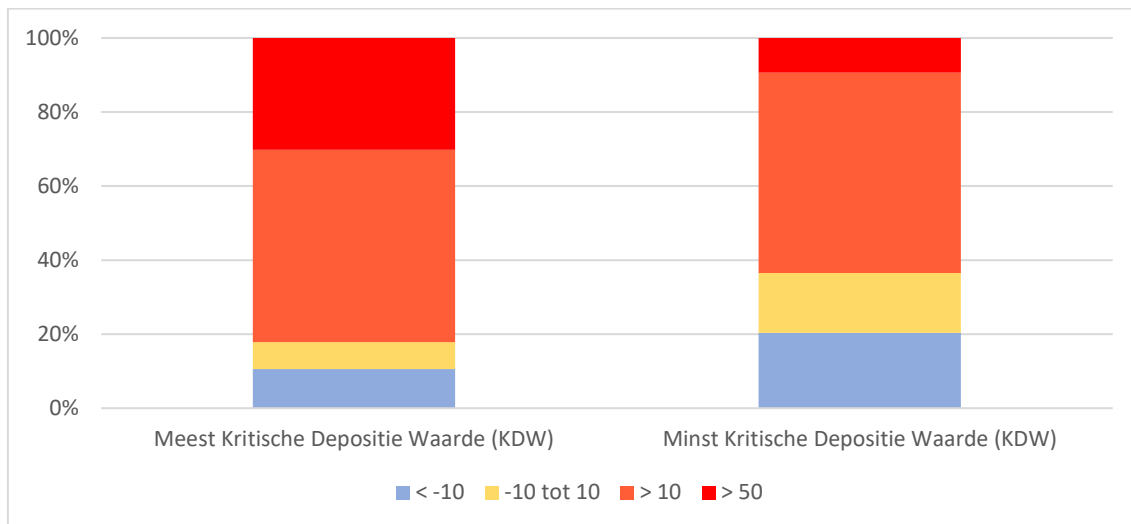
De effecten van verhoogde stikstofdepositie raken alle aspecten van bosesystemen en leiden daarmee o.a. tot verlaagde ecosysteemproductiviteit, afnemen van de biodiversiteit, vermindering van de weerbaarheid tegen droogte, boomziekten en plaaginsecten en in de meest extreme gevallen, op arme zandgronden, tot massale boomsterfte door voortgaande bodemverzuring (als gevolg van AL-toxiciteit). In een zeer groot deel van de Nederlandse bosgebieden wordt de Kritische Depositiewaarde (KDW) voor bos overschreden (zie figuur 1.8 en Annex 2).

Op 215.000 tot 268.000 hectare van het Nederlandse bos wordt de KDW overschreden (op basis van minst –meest kritische KDW). Dit is 58% tot 72% van het bosareaal. Daarnaast zit tussen de 10–20% van het bosoppervlak rond de kritische norm. Het is goed te beseffen dat de KDW al een relatief ruime marge geeft, gegeven de reeds opgeslagen depositie in de afgelopen decennia en de sterke afname van het bufferend vermogen van de bodem (Bergsma et al 2018).

Verhoogde stikstof depositie is tezamen met klimaatsverandering de grootste drukfactor op het Nederlandse bos. Zonder het terugbrengen van de stikstofdepositie én het uitvoeren van maatregelen gericht op mitigatie van de reeds aanwezige hoge stikstoflast binnen de bossen is duurzaam herstel en ontwikkeling in de richting van vitaal bos niet mogelijk.



Figuur 1.8 Mate van onder-/overschrijding van de Kritische Depositiewaarde KDW (op basis van meest kritische waarde) van Ntot depositie. Per groeiplaatstype is de KDW van de minst (laagste) en meest (hoogste) KDW van de daarin voorkomende N2000 boshabitatypen bepaald (hier meest kritische KDW weergegeven). Vervolgens is de RIVM depositiekaart Ntotaal 2017 samengebracht met de Nederlandse bosgroeiplaatsenkaart, resulterend in een landelijk kaartbeeld en een kwantificering van de mate van onder- of overschrijding van de KDW per bosgroeiplaatsstype. De gele en rode kleuren tonen de bosgebieden waar de N-depositie de KDW overschrijdt. De blauwe kleuren tonen de bosgebieden waar de N-depositie onder de KDW voor bos blijft.



Figuur 1.9 Samenvattend overzicht van het aandeel van het Nederlandse bos per onder- of overschrijdingsklassen van de Kritische Depositie Waarden (KDW) (Zie ook annex 2).

1.4.2 Verdroging door ontwatering, peilverlaging en (grond)wateronttrekking

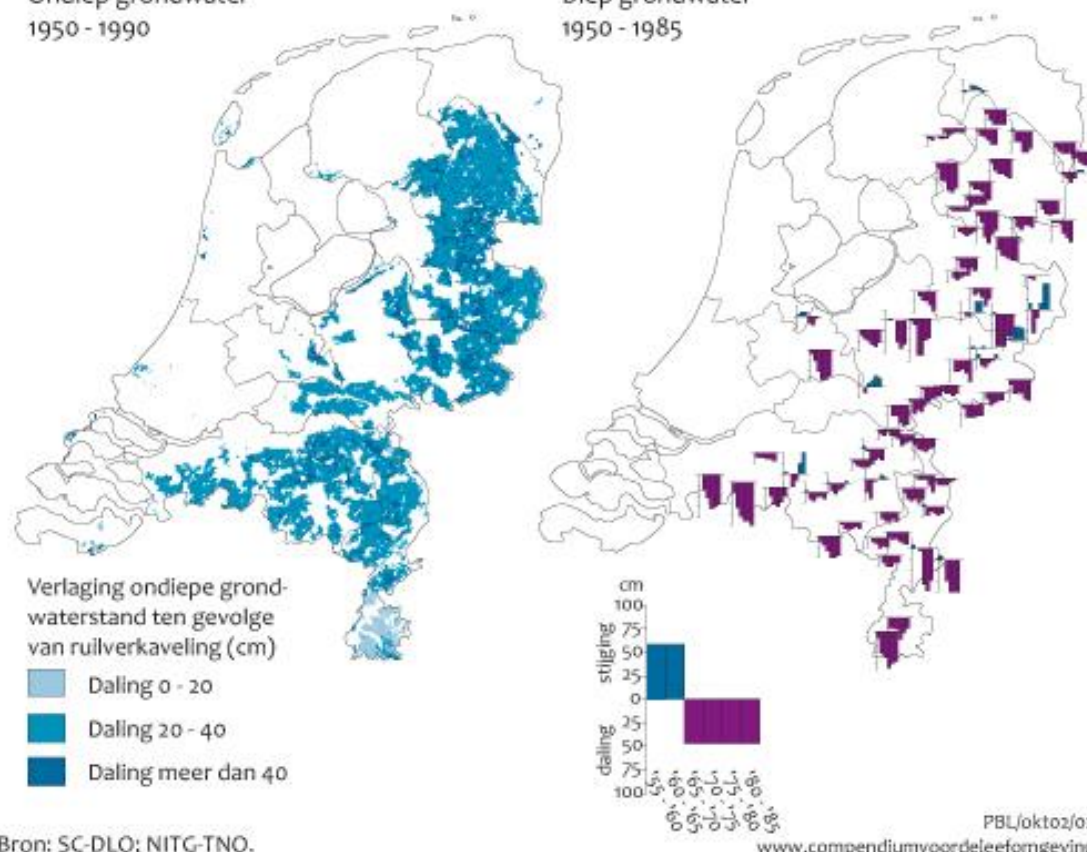
Ontwatering of grondwateronttrekking in bossen zorgt voor het verdwijnen van biodiversiteit en tot een vermindering van de weerbaarheid tegen droogte. Dit leidt tot minder infiltratie van regenwater en grondwateraanvulling. Dit heeft negatieve gevolgen voor kwelstromen naar verder weg gelegen gebieden. Door het wegvallen van kwel kunnen kwelafhankelijke habitats verdwijnen in Natura 2000-gebieden of andere natuurgebieden binnen het NNN omdat de aanvoer van nutriënten wegvalt en de habitats nog gevoeliger worden voor verzuring. In veengebieden leidt verdroging daarnaast tot oxidatie van veen waarbij direct vastgelegde CO₂ vrijkomt en interne eutrofiëring plaatsvindt.

Door grondwaterwinning en ontwatering is de afgelopen decennia in Zuid- en Oost-Nederland grootschalig het grondwaterpeil lager komen te liggen (figuur 1.10). Met toenemende droogteperiodes gaat dit meer en vaker tot vitaliteitsproblemen in het bos leiden.

Verandering grondwaterstand

Ondiep grondwater
1950 - 1990

Diep grondwater
1950 - 1985



Bron: SC-DLO; NITG-TNO.

Figuur 1.10 Verandering van de grondwaterstand van het ondiepe (links) en diepe (rechts) grondwater over de periode 1950–1985.

1.4.3 Versnippering

Door uitbreiding en intensivering van de landbouw, urbanisatie en (grootschalige) omvorming naar andere natuurtypen zijn veel boscomplexen in de afgelopen decennia kleiner geworden en meer geïsoleerd komen te liggen. In algemene zin leidt dit tot een afname van specifieke bosgebonden biodiversiteit, omdat deze hoger is in grotere boscomplexen (Honnay *et al.* 1999; Hermy & Vandekerckhove, 2004). Daarnaast is de kans op het lokaal definitief verdwijnen van specifieke (bosgebonden) soortgroepen groter in kleinere boscomplexen doordat populaties vaak kwetsbaarder zijn en herkolonisatie beperkt kan plaatsvinden. Typische bossoorten hebben vaak een lage dispersiecapaciteit (Hermy *et al.* 1999). Hierbij is niet alleen het bosoppervlakte van belang, maar ook de algehele landschapsopbouw en de hoeveelheid bos binnen het omliggende landschap (Honnay *et al.* 2002). Daarnaast is het voorkomen van specifieke natuurlijke processen zoals bijvoorbeeld overstroming van belang.

Kleinere boscomplexen zijn daarnaast gevoeliger voor externe invloeden zoals stikstofdepositie, pesticiden en ontwatering omdat het aandeel randzone in kleinere bossen groter is ten opzichte van het totale bosoppervlak. Deze randzones kennen tot 50–200 m diep het bos in een hogere stikstofdepositie (o.a. door verhoogde turbulentie) (De Schrijver *et al.* 2007), maar ook een zwak ontwikkeld bosmicroklimaat met minder

temperatuurbuffering, hogere bodemtemperatuur en een, lagere luchtvochtigheid. Door de effecten van klimaatverandering worden deze effecten groter. Wanneer bossen bovendien rechtstreeks grenzen aan intensieve landbouw is er ook rechtstreekse inwaai en insijpelen van nutriënten en pesticiden.

1.4.4 Gemechaniseerde houtoogst en bodemverdichting

Bij houtoogst wordt biomassa, en de daarin opgeslagen mineralen en koolstof, verwijderd uit het bos. Zonder ingrijpen zouden alle bomen op enig moment afsterven en zullen de opgeslagen mineralen en koolstof daarna beschikbaar komen voor bosgebonden organismen. Wanneer door oogst te veel biomassa wordt verwijderd uit het bos leidt deze afvoer van mineralen tot een verarming van het systeem. Hoe snel dit gebeurt is afhankelijk van de groeiplaats (*De Vries et al. 2019*). Daarnaast zouden deze bomen, wanneer deze niet uit het bos worden verwijderd, in het proces van afsterven en verteren een belangrijk habitat vormen. Meer dan de helft van de bossoorten is op enig moment van zijn levenscyclus afhankelijk van de aanwezigheid van dood hout (*Stokland et al. 2012*). Ook in natuurbos verdwijnen op veel plaatsen nog de oudste loofbomen waardoor de biodiversiteit gebonden aan aftakelende bomen en dood hout sterk onder druk staat.

Daarnaast wordt bij gemechaniseerde houtoogst de bodem bereiden met zware machines. Bij het berijden van de bodem worden bodemdeeltjes samengedrukt, waardoor het aandeel lucht en water in de bodem afneemt. Tevens verandert de bodemstructuur waardoor infiltratie van hemelwater en gasuitwisseling tussen bodem en atmosfeer wordt belemmerd. Deze veranderingen in de bodemstructuur hebben onder andere gevolgen voor de overlevingskansen en groei van jonge zaailingen. Hoewel het kiemsucces van zaailingen vaak hoger ligt op verdichte bodems kunnen jonge zaailingen met hun fijne wortels lastig verdichte bodems penetreren (*Kremers & Boosten, 2018*). Dat geldt uiteraard ook voor bijzondere bosflora en mycorrhizae. De mate waarop bodemverdichting een bedreiging vormt is afhankelijk van de schaal waarop de berijding met machines plaatsvindt.

Het natuurlijk herstel van verdichte bodems is een proces dat minimaal enkele decennia in beslag neemt. Processen die bijdragen aan bodemherstel zijn onder meer zwel en krimp (bij kleibodems), vriezen en dooien en biologische activiteit door bodemfauna (*Kremers & Boosten, 2018*). Bodemfauna, met name regenwormen werken door het graven van gangenstelsels de bodem weer los en dragen daarmee bij aan herstel van de bodemstructuur. Wanneer processen als zwel en krimp en vriezen en dooien ontbreken zal bodemverdichting vooral moeten worden hersteld door de bodemfauna. Grote delen van het Nederlandse bos liggen echter op armere zandgronden waar regenwormen niet of nauwelijks onderdeel uitmaken van de bodemlevensgemeenschap. Aangezien de natuurlijke herstelperiode over het algemeen langer is dan de periode tussen twee houtoogsten, zullen de effecten van het rijden op de bodem opstapelen en zal tussentijds geen herstel kunnen plaatsvinden. Wanneer dus bij opeenvolgende houtoogst werkzaamheden geen aandacht is voor het beperken en concentreren van rijbewegingen zal grootschalige bodemverdichting plaatsvinden. In een Vlaamse studie in een bosgebied waar over een aantal decennia meerdere opeenvolgende gemechaniseerde houtoogsten hebben plaatsgevonden zijn verdichte oppervlakte gemeten van 70 tot 80% van het totale bosoppervlak (*Ampoorter 2011*). Bodemverdichting kan daarmee in potentie een grote impact hebben op het bos. De lange termijn effecten van



bodemverdichting op de groei en vitaliteit van bossen zijn echter nog maar weinig onderzocht (De Jong *et al.*, 2020). Overmatige afvoer van biomassa en grootschalige bodemverdichting leidt daarmee tot een verlaging van de weerbaarheid van bossen tegen droogte en ziekten en plagen en tot verlaging van de biodiversiteit en ecosysteemproductiviteit.

1.4.5 Aanwezigheid invasieve exoten

In onze bossen komen verschillende uitheemse dier- en plantensoorten voor, waaronder boomsoorten die voor de bosbouw zijn geïntroduceerd. De meeste uitheemse soorten geven geen problemen omdat ze niet kunnen overleven of omdat ze niet uitgroeien tot een plaag en/of geen schade aanrichten. Wanneer soorten zich snel uitbreiden en daarbij inheemse soorten verdrukken en/of opeten, ziektes overdragen naar andere soorten, een gevaar opleveren voor de volksgezondheid en/of economische schade veroorzaken spreken we van invasieve exoten. Afhankelijk van de specifieke ecologie van een invasieve exoot kunnen deze soorten een belemmering vormen voor alle aspecten van vitaal bos.

1.4.6 Eenzijdige boomsoortensamenstelling en leeftijdsopbouw

Het grootste deel van onze bossen is de afgelopen 150 jaar aangeplant als monocultuur, deels met uitheemse boomsoorten. Door spontane ontwikkeling en bosbeheer zijn veel van deze bossen inmiddels meer gemengd en komen meerdere boomgeneraties door elkaar heen voor. Echter heeft een groot deel van ons bosoppervlak nog altijd een betrekkelijk eenzijdige boomsoortensamenstelling en leeftijdsopbouw, met scherpe grenzen tussen rechthoekige bosvakken. Dit maakt deze bossen relatief kwetsbaar voor soortspecifieke ziekten en -plagen en bossen kunnen zich slechter aanpassen na het optreden van verstoringen.

1.4.7 Gedegradeerde bodems

De bodems waarop onze bossen zijn aangeplant zijn de afgelopen eeuwen intensief gebruikt. Met name op de hoge zandgronden heeft (over)begrazing, houtoogst, hakhout, plaggen er voor gezorgd dat in de bodems relatief weinig organische stof en mineralen beschikbaar zijn. Hoewel dit eeuwenlange gebruik van deze gronden tevens tot een specifieke biodiversiteit heeft geleid, maar zorgt dit er ook voor dat de bossen die hier inmiddels zijn ontstaan minder productief zijn, en zeer gevoelig voor m.n. droogte en verhoogde stikstofdepositie.

1.4.8 Hoge wildstand

Grote grazers zoals Edelhert, Wild zwijn en Ree zijn een belangrijk onderdeel van bosccosystemen. De soorten hebben een grote invloed op hun omgeving en faciliteren het voorkomen van verschillende andere soorten. Daarnaast hebben deze dieren een grote aantrekkingskracht op het publiek en dragen daarmee bij aan de recreatieve en economische betekenis van onze bossen.

Wanneer de soorten echter jaarrond in hoge dichtheden in bossen voorkomen omdat ze worden bijgevoerd met mineralen, omdat de oorspronkelijke seizoensmigratie niet meer plaatsvindt (Tucker *et al.*, 2018), en zich bovendien een groot deel van de tijd in bos

verschuilen, wordt de vestiging van bosverjonging door vraat aldaar sterk belemmerd (Ramirez *et al.*, 2020) en is het niet mogelijk natuurdoelstellingen (Natura2000) te behalen (Den Ouden *et al.*, 2020). Ook bij jaarrond aanwezigheid van lagere dichtheden wordt de samenstelling van de verjonging beïnvloed, ten faveure van naaldbomen. De grazers hebben daarbij een sterke voorkeur voor boomsoorten met nutriëntenrijk blad. Door schillen en vegen van het gewei wordt daarnaast de potentiële houtkwaliteit van de verjonging verminderd.

Tabel 1.7 Effecten van overige externe en interne bedreigingen op de abiotiek en biotiek van bossen

Externe bedreiging	Effect op abiotiek bossen	Effect op biotiek bossen
Verzuring/vermesting	Verlaging pH	Afnemende groei
	Lage kationen- beschikbaarheid	Afnemende vitaliteit (en daarmee en verhoogde kwetsbaarheid voor ziekten en plagen)
	Uitputting verweerbare mineralen	Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag
	Verlaagde bufferingscapaciteit	Verstoring bodembioLOGIE (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)
	Onevenwicht N-kationen	Verstoring voedselweb en daarmee verminderde vitaliteit en voortplanting bosgebonden fauna
	Verhoogde Al- concentraties	Boomsterfte en negatief effect po kruidlaag en vitaliteit bodemleven
Verdroging als gevolg van peilverlaging / grondwateronttrekking	Daling grondwaterstand (in groeiseizoen) en lagere vochtbeschikbaarheid	Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag (aandeel droogtegevoelige soorten neemt af)
		Afnemende groei
		Afnemende vitaliteit en verhoogde sterfte (door gebrek aan vocht en verhoogde (kwetsbaarheid voor) ziekten en plagen).
		Verhoogd bosbrandrisico
	Veenoxidatie (Interne) eutrofiëring	
Inlaat gebiedsvreemd water	(Interne) eutrofiëring	
	Vernatting	Verstoring bodembioLOGIE bij langdurig natte omstandigheden als gevolg van lagere zuurstofgehalten in de bodem (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)
Versnippering bosgebieden		Kwetsbaar kleine populaties
		Beperkte kolonisatie- en migratiemogelijkheden
		Lagere biodiversiteit



Effect op abiotiek bossen		Effect op biotiek bossen
Hoge wildstand		Veranderende soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag
		Belemmering vestiging en ontwikkeling natuurlijke bosverjonging
Grootschalige bodemverdichting door gemechaniseerde houtoogst	Samendrukken bodemdeeltjes	Belemmering vestiging en ontwikkeling natuurlijke bosverjonging (beperkte doorwortelbaarheid)
	Vermindering zuurstof gehalte bodems	Verstoring bodembiologie (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)
	Beperking uitwisseling voedingsstoffen en vochthuishouding	
Aanwezigheid invasieve exoten		Verdringing gewenste flora
		Belemmering vestiging en ontwikkeling gewenste natuurlijke bosverjonging
Eenzijdige boomsoortensamenstelling en leeftijdsopbouw		Verhoogd risico op stormschade
		Verhoogd risico op ziekten en plagen
		Beperkt aanbod aan habitats voor bosgebonden biodiversiteit, i.h.b.z. bij dominantie uitheemse boomsoorten (vaak lage boomsoort gerelateerde biodiversiteit)
Dominantie verzurende soorten		Dikke strooisellaag
Gedegradeerde bodems (voormalige heideterreinen, stuifzanden, duinen)		Lage groei
		Lage vitaliteit (en daarmee en verhoogde kwetsbaarheid voor ziekten en plagen)
		Beperkte soortensamenstelling, zowel in boom- en struiklaag als in kruidlaag
		Beperkte ontwikkelde bodembiologie (werkt ook weer door op vitaliteit bomen)
		Dikke strooisellaag

1.5 Synthese: actuele risico's per bostype

In tabel 1.8 zijn per bostype de belangrijkste bedreigen weergegeven voor de drie ecosysteemdiensten: koolstofvastlegging, houtproductie en natuurwaarde. De bedreigingen zijn gebaseerd op literatuur⁵ en expert-judgement. Aan de hand van kleuren is per bostype en ecosysteemdienst aangegeven waar de bedreigingen lage (groen), matige (oranje) of hoge (rood) effecten hebben. Een effect is hoog ingedeeld wanneer een bostype een hoge (potentiële) bijdrage levert aan een ecosysteemdienst (zie tabel 1.4). Andersom is een effect laag ingedeeld wanneer een bostype een lage (potentiële) bijdrage levert aan een ecosysteemdienst (zie tabel 1.4).

Tabel 1.8 Belangrijkste bedreigen per bostype en ecosysteemdienst (koolstofvastlegging, houtproductie en natuurwaarde). Aan de hand van kleuren is per bostype en ecosysteemdienst aangegeven waar de bedreigingen lage (groen), matige (oranje) of hoge (rood) effecten hebben gelet op de actuele én potentiële bijdrage van dit bostype aan de ecosysteemdienst.

Nr	Bostype	Belangrijkste bedreigingen voor: Koolstofvastlegging	Belangrijkste bedreigingen voor: Houtproductie	Belangrijkste bedreigingen voor: Natuurwaarde
1	Bos op kalkrijke zandgronden (duinen)	1) Verdroging 2) Verzilting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Verzilting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Invasieve exoten 3) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 4) Verzilting
2	Bos op kalkarme gronden (duinen)	1) Verdroging 2) Verzuuring/vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 5) Verzilting	1) Verdroging 2) Verzuuring/vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 5) Verzilting	1) Verdroging 2) Verzuuring/vermesting & Dominantie verzurende soorten 3) Invasieve exoten 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 5) Verzilting
3	Bos op buitendijkse zeekleigronden	1) Verzilting 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen	n.v.t.	1) Versnippering 2) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 3) Verzilting

⁵ Hiervoor zijn onder meer de (concept) Ecological assessments van de OBN Deskundigenteams voor de verschillende landschappen gebruikt.



		3) Verhoogd windworprisico 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur		
4	Bos op binnendijkse zeekleigronden	1) Verdroging 2) Verzilting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisico5) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Verzilting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisico5) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 3) Versnippering 4) Verzilting
5	Bos op laagveen en klei op veen (buiten de duinen)	1) Verdroging 2) Verzuring/ vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisico 5) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Verzuring/ vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisico 5) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Verzuring/ vermesting 3) Versnippering 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur
6	Bos op buitendijkse rivierkleigronden	1) Verdroging 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen 3) Verhoogd windworprisico 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	n.v.t.	1) Verdroging 2) Inlaat gebiedsvreemd water 3) Versnippering 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur
7	Bos op binnendijkse rivierkleigronden	1) Verdroging 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen 3) Verhoogd windworprisico4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen 3) Verhoogd windworprisico4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verdroging 2) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 3) Versnippering

8	Bos op stagnerende leem- en kleigrond (hydromorfe kenmerken)	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisco5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisco5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur 4) Versnippering
9	Bos op droge leemgronden	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisco 5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisco 5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur 4) Hoge wildstand
10	Bos op rijke, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen)	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand	1) Verzuring/ vermesting & Dominantie verzurende soorten 2) Verdroging 3) Versnippering 4) Invasieve exoten
11 *	Bos op arme, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen)	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand 5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand 5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur	1) Verzuring/ vermesting & Dominantie verzurende soorten 2) Verdroging 3) Gedegradeerde bodems 4) Invasieve exoten 5) Eenzijdige boomsoortensamen stelling en structuur 6) Hoge wildstand
12	Bos op kleiarm (hoog)veen	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging	n.v.t.	1) Verzuring/ vermesting 2) Verdroging 3) Versnippering



		3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Verhoogd windworprisco		4) Inlaat gebiedsvreemd water 5) Invasieve exoten
13	Bos op beekdalgronden	1) Verdroging 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen 3) Verhoogd windworprisco	1) Verdroging 2) Verhoogd risico op ziekten en plagen 3) Verhoogd windworprisco	1) Verdroging 2) Versnippering 3) Inlaat gebiedsvreemd water 4) Invasieve exoten
14	Bos op kwelgevoede zandgronden	1) Verdroging 2) Verzuring/vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand	1) Verdroging 2) Verzuring/vermesting 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Hoge wildstand	1) Verdroging 2) Verzuring/vermesting & Dominantie verzurende soorten 3) Versnippering 4) Invasieve exoten
15	Bos op hellinggronden op ondiepe kalk	1) Verzuring/vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verzuring/vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Versnippering 2) Verdroging 3) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 4) Invasieve exoten
16	Bos op gronden op vuursteeneluvium	1) Verzuring/vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Verzuring/vermesting 2) Verdroging 3) Verhoogd risico op ziekten en plagen 4) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur	1) Versnippering 2) Verdroging 3) Eenzijdige boomsoortensamenstelling en structuur 4) Invasieve exoten

11*: Bos op arme, regenwatergevoede zandgronden (buiten de duinen) heeft een lagere actuele en potentiële bijdrage aan de ecosysteemdiensten koolstofvastlegging en houtproductie. De bedreiging van deze ecosysteemdiensten is hier hoog doordat de combinatie van stikstofdepositie en klimaatopwarming dit bostype tot een van de meest kwetsbare maakt.



2 Meer en beter natuur(in)bos

2.1 Natuurbos en natuur in bos

Biodiversiteit is een van de centrale doelen in de Nationale bossenstrategie. Bosgebonden biodiversiteit maakt onderdeel uit van de bosbeheersdoelen in zowel bos met hoofdfunctie natuur als in multifunctioneel bos waarin het realiseren van de verschillende ecosysteemdiensten nevens geschikt aandacht krijgen, zij het dat daarbij het accent vaak op biodiversiteit, recreatie dan wel houtproductie ligt.

De term ‘Natuurbos’ blijkt verschillende geïnterpreteerd te worden in Nederland. Hoewel biodiversiteit de gemeenschappelijk factor is, bestaat over de na te streven biodiversiteitsdoelen geen eenduidigheid. Daarnaast spelen de begrippen als verscheidenheid (welke biodiversiteit, bostype), natuurlijkheid en spontaniteit een rol. Er zijn in de huidige opvattingen over ‘natuurbos’ drie hoofdstromingen te onderscheiden:

1. Beheerd natuurbos met specifieke biodiversiteitsdoelen. Doel: behoud bestaande huidige of herstel historische biodiversiteit (Natura 2000) of cultuurhistorische waarden (stinzebos, middenbos).
2. Onbeheerd natuurbos dat zich spontaan kan ontwikkelen, al dan niet gestuurd door begrazing. Doel: spontane ontwikkeling bos en biodiversiteit die daar uit ontstaat, gebaseerd op huidige uitgangssituatie.
3. Onbeheerd zelfregulerend natuurbos (secundair oerbos). Doel: ontwikkelen groeiplaats specifieke bosgebonden biodiversiteit en bostype dat zichzelf onder het veranderende klimaat in stand houdt.

Eigenaren en overheden kunnen kiezen op welke typen natuurbos ze willen sturen en in welke mate. De verwachting is dat het zelfregulerend natuurbostype, na inleidend beheer, het best bestand is tegen klimaatverandering en extreme weersomstandigheden. Dit lijkt ook de beste garanties te bieden voor behoud en herstel van de karakteristieke bosgebonden biodiversiteit.

De tweedeling in bosdoelen tussen beheerd (1 en 2 ‘begraasd’) en onbeheerd (2 ‘onbegraasd’ en 3) bos met hoofddoel biodiversiteit sluit sterk aan bij de Protected Forest categorieën die de Europese ministeriële conferentie over bescherming van bossen in Europa (MCPFE; Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe) onderscheidt bij bescherming van bosgebonden biodiversiteit (MCPFE, 2003; Latham *et al.*, 2005; Parviainen & Frank, 2006; Frank *et al.*, 2007): Enerzijds onbeheerd natuurbos (categorie 1.1) en het natuurbos in ontwikkeling naar onbeheerd natuurbos (categorie 1.2) en anderzijds natuurbos dat beheerd wordt om specifieke biodiversiteitsdoelen te realiseren (bijvoorbeeld traditioneel bosbeheer zoals begrazing of hakhout; categorie 1.3). Daarnaast benoemt de MCPFE ook het belang van multifunctioneel bos voor biodiversiteit: *‘The better conservation issues are covered in multifunctional, close-to-nature silviculture the less important and essential the protected areas are’*.

Om duidelijkheid te creëren reserveren we in dit document de term ‘Natuurbos’, conform de MCPFE-indeling voor Zelfregulerend Natuurbos en bos op weg daarheen (categorieën 1.1 en 1.2). Bos waarin de spontane bosontwikkeling alle ruimte krijgt bij een wildstand die de impact van natuurlijke vraat benadert, eventueel na inleidend beheer gericht op herstel van bodem en hydrologie en op bijsturen van de (boom)soortensamenstelling en bosstructuur. Uit deze definitie volgt dat niet alle bos met hoofdfunctie natuur onder deze definitie van

Zelfregulerend Natuurbos valt. Bossen die (ook na het inleidend beheer) beheerd worden gericht op biodiversiteitsdoelen, de beheerde natuurbossen, vallen buiten deze definitie.

In paragrafen 2.2 t/m 2.5 gaan we in op de afwegingen bij beheer-keuzes gericht op het optimaliseren van natuurwaarde en biodiversiteit in beheerde natuurbossen. Daarna gaan we in op het Zelfregulerend Natuurbos (2.6) en hoe meer en beter Zelfregulerend Natuurbos te realiseren (2.7).

2.2 Natuurwaarde - vertrekpunt

De ontwikkeling van natuurwaarden, waaronder biodiversiteit, van de Nederlandse bossen (bosecosystemen, soorten) wordt in belangrijke mate bepaald en belemmerd door de uitgangssituatie, het abiotische milieu, de biotiek en het beheer. Hierin zit een volgorde van belangrijkheid zoals ook in landschapsecologische benadering (Van Montfort *et al.*, 2011) gehanteerd wordt en een prioritering en mate van handelingsperspectief aangeeft. Dit betekent dat er binnen landschappen een hiërarchie bestaat waarin de invloed van grootschalige kenmerken en processen, zoals geomorfologie en waterstromen in beginsel domineren over meer lokale interacties zoals tussen soorten en beheer. Vooraleer er verkend wordt (a) wat het vertrekpunt is, (b) hoe natuurwaarden getypeerd kunnen worden en (c) hoe en waar er vervolgens meer natuur(in)bossen gerealiseerd kan worden, is het goed te beseffen dat onze bossen ernstig onder druk staan als gevolg van verzuring, verdroging, versnippering en klimaatverandering. De effectiviteit van beheermaatregelen gericht op de versterking van de natuurkwaliteit is grotendeels afhankelijk van het succes van het terugdringen van verzuring, verdroging, versnippering en klimaatverandering.

2.2.1 Voormalig landgebruik

Nederland kent in het verre verleden een grote variatie aan bosecosystemen, van drogere bossen op de hogere zandgronden, dynamische bossen in het rivierengebied, moerasbossen in de veengebieden tot aan rijke bossen in de beekdalen. Daarvan is weinig overgebleven. Zoals al is aangegeven in hoofdstuk 1 resteert verreweg het meeste daarvan op de armere zandgronden (zie tabel 1.1). De rijkere gronden werden in het verleden ontgonnen voor de landbouw (behoudens de recente bebossingen in het westen en Flevoland). Daarmee is er een beperkte resterende variatie in Nederlandse kenmerkende bosecosystemen, met een beperkt areaal en grote mate van versnippering. Met als gevolg een verlies aan karakteristieke soorten en een ernstig knelpunt voor het duurzaam voortbestaan, vestiging en uitwisseling van soorten en populaties.

Daarbovenop zijn verreweg de meeste bossen nog relatief jong (na 1900), met een op de zandgronden vaak sterk verarmde bodem (door voormalig landgebruik) en een eenzijdige soortensamenstelling bij aanleg. De factor tijd, historische continuïteit en voormalig landgebruik hebben daarmee grote invloed. Er ontbreekt grotendeels een goed ontwikkelde bosbodem, zeer oud bos, aftakelingsstadia, dik dood hout en wortelkluiten, met nog maar een beperkt voorkomen van soorten afhankelijk van oude en aftakelend bos. Tegelijkertijd zien we door een beperkte dynamiek (in het nog relatief jonge bos) en beperkte soortensamenstelling (en versnelde successie onder invloed van stikstof) en het versneld dichter en donkerder worden van het bos. Schaduwtolerante oudbosplanten zoals bosanemoon, kleine maagdenpalm, daslook en eenbloemig parelgras gaan hierdoor vooruit (Vandekerckhove 2019b). Soorten die in een veel dynamischer landgebruik in het verleden in



het landschap voorkwamen (Bijlsma & Siebel, 2003) hebben zich nu teruggetrokken in de resterende bos- (en overige) natuurgebieden. Sommige zogenoemde oud bossoorten die afhankelijk zijn van wisselende lichtniveaus of kale bodems (reliëf, wortelkluiten) doven uit en trekken zich terug naar dynamischere situaties langs bospaden of dynamischer beheerd bos (Bijlsma et al. 2002). Daarnaast staan ook (semipermanente) open delen met de daarvan afhankelijke biodiversiteit onder druk, onder meer door een beperkte dynamiek en hoge stikstofdepositie met vergrassing, verruiging en versneld dicht groeien als gevolg.

2.2.2 Abiotiek

Bodem en hydrologie bepalen in beginsel welke soorten en bostypen waar kunnen voorkomen (Den Ouden *et al.*, 2010, zie ook bostypenkaart, figuur 1.1), maar hierin is ook een terugkoppeling; boomsoorten hebben ook invloed op de humus en bodemontwikkeling, met name op de zandgronden (Hommel *et al.*, 2007). Daarnaast is het niet alleen een resultante van bodemtype en hydrologie (en soortensamenstelling), ook de positie in het landschap draagt sterk bij aan de lokale en regionale variatie (denk aan meer noordelijke soorten in Drenthe en Noord Veluwe, of de samenhang tussen beekdalen en bovenloop). Waar de abiotiek vooral gaat over wat waar zou kunnen, gaat het voormalig landgebruik wat waar en in welke hoedanigheid nog resteert en wat het vertrekpunt is voor verdere ontwikkeling. Het beoordelen van de natuurwaarde/kwaliteit zal dus ook recht moeten doen aan deze abiotische en lokale en regionale differentiatie.

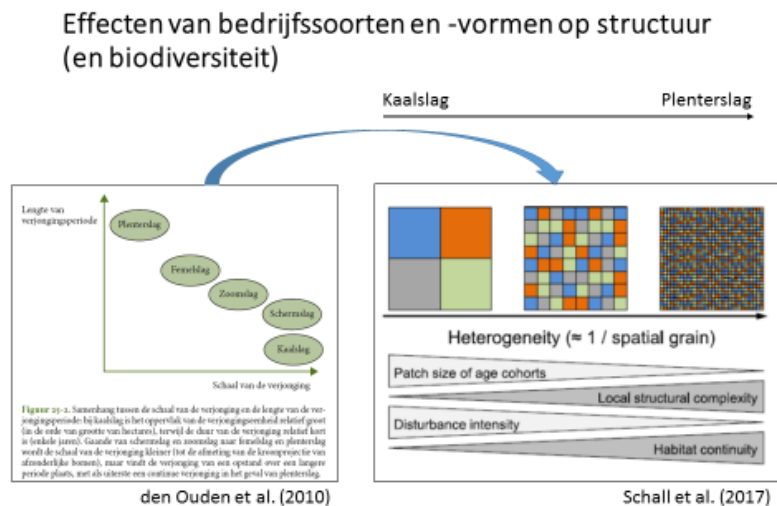
Naast deze vertrekpunten (voormalig landgebruik, abiotiek, positie in het landschap) hebben meer recente abiotische factoren als vermesting, verdroging en klimaatverandering, een zeer grote invloed op de toestand en ontwikkelingsrichting., zoals uitgewerkt in hoofdstuk 1.

2.2.3 Biotiek en beheer

Door beperkingen aan ruimte, specifieke groeiplaatsen, samenhang en het voormalige landgebruik is de soortenpool, de bosstructuur en het functioneren van de interactie tussen abiotiek en biotiek belemmerd. Tegelijkertijd is er een toename van wilddruk die op diverse plaatsen met name de loofbosverjonging beperkt en soms de soorten in de kruidlaag kan belemmeren (Schulze, 2018; Den Ouden *et al.* 2020). In het beheer is veel veranderd ten opzichte van het verleden, bossen zijn gemengder met een hoger aandeel loofhout en meer dood hout. Tegelijkertijd is er een aandeel niet-inheemse productieve soorten in met name de multifunctionele bossen en is er nog maar een beperkt aandeel oude, dikke en dode bomen vergeleken met natuurlijkere bossen elders, deels door de nog jonge bosontwikkelingstijd, maar deels ook door het oogsten van hout waardoor maar een beperkt aandeel bomen oud, dik en dood worden. Daarbij komt dat veel dikke oudere bomen in bossen langs wegen en paden staan, die vanuit veiligheidsoverwegingen niet natuurlijk kunnen afsterven.

Daarnaast is 'niets doen' een veel voorkomende beheerpraktijk (al dan niet met inleidend beheer) in bossen met een natuuraccent. Uit het bosreservatenonderzoek kan men afleiden dat 'niets doen' zeker in de nog relatief jonge bossen, vooralsnog een beperkte meerwaarde levert voor de natuurkwaliteit. Er treedt de eerste decennia weinig differentiatie op in bosstructuur, met weinig dynamiek en met mogelijk verlies van zogenoemde bosrelictsoorten (Bijlsma *et al.*, 2009). Naarmate bossen (aanzienlijk) ouder zijn zal er ook sneller meer dynamiek, verval en structuurvariatie ontstaan en soorten profiteren die daarvan afhankelijk zijn (mits dat ze deze bossen kunnen bereiken). Veel van de huidige

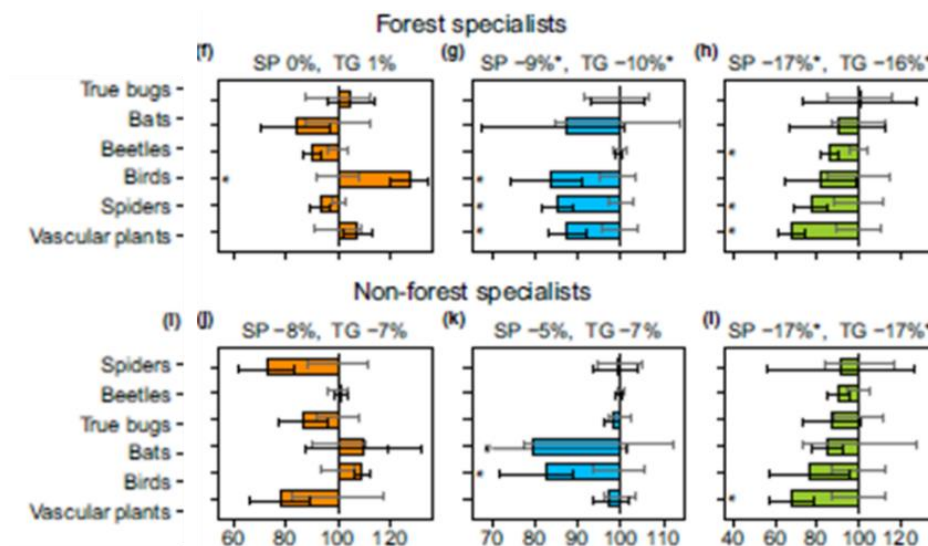
gewaardeerde biodiversiteit in bossen kent een historie uit een dynamischer landschap (en landgebruik). Tegelijkertijd is er ook een heel scala aan bosgebonden biodiversiteit afhankelijk van oud bos, met een overwegend gesloten bosklimaat (Vandekerckove, 2019), de meeste van deze soorten zijn minder herkenbaar en aansprekend (mossen, spinnen, slakken, zwammen). Niets doen, of alleen kleinschalig ingrijpen, levert een belangrijke bijdrage aan de ene zijde van het spectrum, maar is geen panacee voor het behoud en ontwikkeling van het hele spectrum aan soorten die aan bos verbonden zijn, zeker op landschapsschaal, zoals



Loc 1

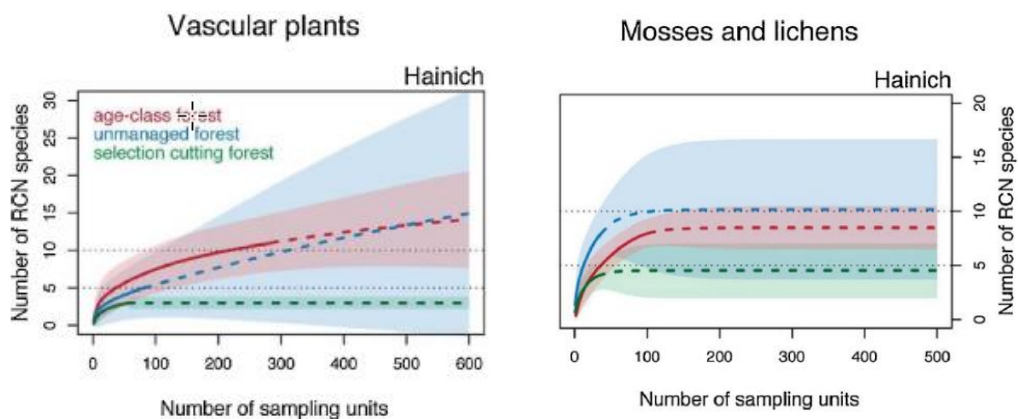
19

ook uit onderzoeken in beukenbossen in Duitsland wordt gerapporteerd (Paillet *et al.*, 2010; Molder *et al.* 2014; Schulze *et al.*, 2017).



Figuur 2.1. Soortenrijkdom in soortengroepen van bos- (boven) en niet bosspecialistische soorten (onder) bij kleinschalige uitkap (ongelijkjarig) ten opzichte van gelijkjarig beheer. Van links naar rechts: diversiteit op opstandsniveau, variatie tussen opstanden, en in het gehele bosgebied. Waarden kleiner dan 100%

geven aan dat uitkap minder soorten herbergt dan gelijkjarig beheer. (Bron: Schall et al. 2018, *Journal of Applied Ecology*)



Figuur 2.2. Aantal prioritaire bedreigde en beschermde planten-, mos- en korstmossoorten (oa N2000, Rode Lijsten) in bosgebied Hainich in Duitsland in verschillende bosbeheervormen (gelijkjarig=rood, niets-doen=blauw, uitkap=groen) bij een toenemend aantal en oppervlak aan monsterpunten. De doorgetrokken lijnen zijn de metingen, de stippellijnen de extrapolatie hiervan en het gekleurde schaduwdeel het 95% betrouwbaarheidsinterval. (Bron: Schulze 2018, *Journal for Nature Conservation*).

2.3 Uitgangspunten voor versterking en de functionele rol van biodiversiteit

Vitale bosesystemen zijn randvoorwaardelijk voor het behoud en de ontwikkeling van natuurkwaliteit, evenals voor andere ecosysteemdiensten. Bronmaatregelen zijn hiervoor cruciaal; werk aan verontdroging, breng de depositie drastisch terug en beperk klimaatverandering ($<2^{\circ}\text{C}$). Zoals in Hoofdstuk 4 verder is uitgewerkt, zijn vervolgens maatregelen die de abiotiek verbeteren, de wilddruk en de negatieve effecten van oogst op nutriëntenbalans en bodemontwikkeling beperken, van belang om condities te scheppen voor behoud en ontwikkeling van (functionele) biodiversiteit.

Biodiversiteit is niet alleen een waarde op zich (culturele ecosysteemdienst), het heeft allereerst een belangrijke rol in het functioneren van ecosystemen (ondersteunende ecosysteemdienst). Een grotere mate van functionele biodiversiteit, oftewel de bezetting van niches en volledigheid van processen (omzetting nutriëntencycli, predator-prooi relaties, voedselketen) draagt doorgaans bij aan een efficiënter gebruik van nutriënten en water, een doorgaans hogere productiviteit (en CO_2 vastlegging) en een grotere veerkracht ten aanzien van invasieve exoten (bv Amerikaanse vogelkers), plaagvorming (bv eikenprocessierups), storm en bosbrand).

2.4 Welke natuurwaarde?

De vraag om de natuur(in)bossen te vergroten, gaat allereerst om de vraag welke natuur waar vergroot of versterkt moet worden. Algemeen worden er drie pijlers onderkend: verscheidenheid (zeldzaamheid/biodiversiteit), kenmerkendheid en natuurlijkheid (Natuurbeleidsplan LNV, 1990).

1. Verscheidenheid (zeldzaamheid/biodiversiteit) gaat met name over het behoud of de versterking van zeldzame en/of bijzondere, vaak bedreigde, soorten(samenstellingen). Vaak is deze afhankelijk van intensieve(re) of specifieke beheervormen in het verleden, zoals hakhout, middenbos, of parkbos., en/of kleinschalige bostypen. Maar hiertoe kunnen ook landschappen gerekend worden waarin een grote mate van ruimtelijke variatie en samenhang is tussen verschillende terreintypen zoals bos, heide, beeklopen en graslanden.

2. Kenmerkendheid is de mate waarin een populatie of levensgemeenschap van nature in zijn omgeving past. Het gaat hierbij om soorten en ecosystemen die kenmerkend zijn voor het abiotische milieu in Nederland. Dit betreffen kenmerkende bosccosystemen van Nederland, getypeerd door de bosgemeenschappen (Den Ouden *et al.*, 2010) en in belangrijke mate specifiek aangewezen in N2000 boshabitattypen, Bosreservaten en A-locaties, maar ook bijzondere bosgemeenschappen die voorkomen buiten de aangewezen N2000 begrenzingen (en van belang voor een goede staat van instandhouding) kunnen hiertoe gerekend worden (zie ook figuur 1.1 en tabel 1.1). De N14/15 (en afgeleide N16) bostypen zijn hier in belangrijke mate op gebaseerd.

3. Natuurlijkheid: een grotere natuurlijkheid wordt doorgaans gekoppeld aan een mindere mate, of afwezigheid van menselijke invloed. Het is echter een negatieve benadering en voer voor discussie hoe die invloed moet worden bepaald en gewogen. Een alternatief daarvoor is het streven naar een grotere natuurlijkerheid, getypeerd door een grotere (letterlijk en figuurlijk) ruimte voor abiotische (overstroming, verstuiving, bosbrand) en biotische (groei, afbraak, concurrentie, predatie, herbivorie, natuurlijk leef/kudgedrag, bestuiving) processen en de interactie daartussen (Bijlsma *et al.*, 2017). Dit betreft veelal boslandschappen waarin diverse ontwikkelingsstadia en successiestadia kunnen voorkomen, waaronder gesloten, oude en aftakelende delen afgewisseld met een vaak beperkt aandeel (semipermanente) open delen. De dominante soorten (bomen en herbivoren) spelen hierin een belangrijke rol. De vegetatie is steeds meer een afspiegeling van abiotische (hydrologie, geomorfologie) en biotische (concurrentie, humusontwikkeling, begrazing) interacties.

- Wat voor type boslandschap onder natuurlijkere omstandigheden kan ontstaan is onderdeel van debat. Referenties zijn hiervoor maar beperkt geschikt omdat (a) de uitgangssituatie (verarmde bodem, eenzijdig en beperkt aanwezigheid van soorten, waaronder bodemorganismen), en (b) de huidige abiotische omstandigheden (verdroging, klimaatverandering, verzuring) sterk afwijken van die in het verleden of elders. Nog even los van (c) (pre)historische en huidige natuurlijke migraties van soorten, denk aan de historisch relatief laat en nog recentere kolonisatie van respectievelijk beuk en esdoorn in Noordwest Europa. Er zullen dus nieuwe landschappen ontstaan (novel ecosystems, Hobbs *et al.*, 2009). Of deze vooral open (cf Vera, 2000) of meer gesloten zijn (Sutherland, 2002; Svenning, 2002; Bradshaw, 2003; Mitchell, 2004), zou wel eens twee zijden van dezelfde medaille kunnen zijn en afhankelijk van de uitgangssituatie, welke verstoringsregimes optreden, en welke sleutelsoorten (bv zuur- of rijkstrooiselsoorten, herbivoren) in welke mate en in welke fase van het ontwikkelingstraject de ruimte krijgen (Hommel, Desie, Vera). Hierbij lijkt er een grotendeels wetenschappelijke consensus te bestaan dat, ook al maakten grote grazers onderdeel uit van diverse ecosystemen, het bos in prehistorische tijden



overwegend gesloten was (2,), “waarbij open plekken van nature aanwezig zijn in laagtes, verlaten beddingen en waar door water en ijsgang de opgaande vegetatie is vernietigd. Rivier- en beekdalen spelen daarbij een duidelijke rol in het vegetatiemozaïek”(Baeté & Vandekerkhove 2001).

Niet elke uitgangssituatie leidt dus noodzakelijkerwijs tot hetzelfde ‘eindbeeld’, er zijn meerdere ‘ecological pathways’ (Hidding *et al.*, 2013). Het is bekend dat door sterke veranderingen ecosystemen van de ene staat/toestand naar een andere stabiele toestand kunnen omslaan (Regime shifts en alternatieve stabiele toestanden; May, 1977; Scheffer *et al.*, 2001; Beisner *et al.*, 2003) De mogelijkheden die dit kan bieden voor revitalisering van jonge bossen worden uitgewerkt in het volgende hoofdstuk.

Focus van beleid

Voor het versterken en vergroten van natuurwaarde is in eerste instantie van cruciaal belang dat er gewerkt wordt aan goed functionerende bosccosystemen (functionele biodiversiteit), die klimaat- en stikstofbestendig zijn. Dat is een cruciaal uitgangspunt voor verdere versterking. Het is daarbij van belang dat in het beleid en beheer er een grotere nadruk wordt gelegd op het creëren van goede milieu/ecologische randvoorwaarden, naast aandacht voor de beoogde soortensamenstelling en abundantie daarvan (RLI, 2013). In een veranderend klimaat is het namelijk beter te richten op goede milieucondities, mogelijk met verrassende resultaten in de soorten die hierin een plek weten te vinden (Bijlsma & Siebel, 2003; Bijlsma, 2005; RLI 2013).

Daarnaast zijn de huidige natuurdoelen in belangrijke mate gestoeld op het behoud van de inheemse biodiversiteit. Klimaatverandering zal leiden tot het verschuiven van concurrentieverhoudingen, het verdwijnen van inheemse soorten⁶, het verschijnen van zuidelijke Europese soorten en verdwijnen van inheemse soorten elders die de snelheid van klimaatverandering niet bij kunnen benen (zie bijvoorbeeld Wamelink, 2020). Dit vraagt een heroverweging van de Nederlands inheemse focus, naar een breder en meer Europees-inheems perspectief eventueel zelfs met andere soorten die de veerkracht (functionele biodiversiteit) van bossen kunnen vergroten en daarmee betere omstandigheden kunnen bieden aan het voorkomen en de bescherming van belangwekkende soorten. Uiteraard pas na zorgvuldige screening en monitoring van proeven, en in samenhang met concurrentiekrachtige inheemse soorten om dominantie te voorkomen.

Beheeraccenten

Het huidige en potentiële voorkomen van karakteristieke soorten in bossen omvat een breed spectrum van variatie aan groeiplaatsen samen met de erfenis van soortensamenstellingen en beheervormen uit het voormalig (historische) landgebruik en de mogelijkheid voor ontbrekende soorten om de betreffende bossen te koloniseren. Veel waardevolle bossoorten komen uit een veel dynamischer gebruik van het landschap en

⁶ Lijkt er vooralsnog niet op dat boomsoorten op korte termijn uit Nederland zullen verdwijnen, maar mogelijk wel op specifieke locaties en groeiplaatsen. Geldt overigens wel voor oa plantensoorten (Wamelink 2020),

hebben zich noodgedwongen ‘teruggetrokken’ in de resterende bosgebieden. Veel van deze soorten staan onder druk en hebben daar dan ook een grote verantwoordelijkheid voor. Andere soorten, van oude, ontwikkelende en aftakelende bossen komen nog maar mondjesmaat voor maar vormen eveneens belangrijke natuurwaarden.

De huidige natuurindeling van N2000 en de op groeiplaats gebaseerde SNL indeling (N1 met nadruk op grootschalig natuurlijk, N14/15 nadruk op kenmerkendheid met N16 als multifunctionele variant daarvan, N17 nadruk op verscheidenheid) suggereren een strikt scheiding tussen typen (en doelen).

Gegeven het brede spectrum aan groeiplaatsen in combinatie met de variatie in voormalig landgebruik en landschappelijke samenhang doet het meer recht om uit te gaan van beheeraccenten, met aan de ene zijde van het spectrum de nadruk op het behoud van bijzondere biodiversiteit, en aan de andere zijde van het spectrum de ontwikkeling van meer natuurlijkere natuurwaarden (figuur 2.3). De behoud strategie zal zich meer richten op de bijzondere en kenmerkende natuurwaarden van vaak kleinschalige zeldzame bostypen en beheervormen (beek/bronbossen, middenbos). De ontwikkelingsgerichte strategie zal zich meer richten op grotere boscomplexen (waar mogelijk met oude bosgroeiplaatsen), waarin bosontwikkeling, bosdynamiek en verstoring en de interactie tussen abiotiek en biotiek met als gevolg meer natuurlijkerheid (en kenmerkendheid) een grotere rol spelen.

Vanuit het belang van verstoringsregimes in de bosdynamiek doet het meer recht om verstoringen zoals uit- en groepenkap (naast storm, bosbrand, ziekten, overstroming, etc) te beschouwen als mogelijk onderdeel van de natuurstrategie die in enige (meer of mindere) mate een bijdrage kan leveren aan de bosdynamiek. ontwikkelen en de bijdrage die deze bossen leveren aan schaal en uitwijkmogelijkheden in boslandschappen met verschillende beheertypen (Bijlsma et al 2009).

Figuur 2.3 Schematisch overzicht van (elkaar aanvullende) beheer strategieën (aangepast naar Bijlsma pers.com.)

Behoud <-----> Ontwikkeling			
Doel	behoud en versterking van aanwezige/potentiele specifiek te benoemen natuurkwaliteit		ontwikkeling van nieuwe natuurkwaliteit zoals aanzienlijke aftakelingsfasen met dik staand en liggend dood hout, scheuren, wortelkluiten en kuilen, persistente open ruimtes, dynamisch bosmozaïek, successie
oogmerk	Verscheidenheid / Kenmerkendheid	Kenmerkendheid	Natuurlijkerheid / Kenmerkendheid

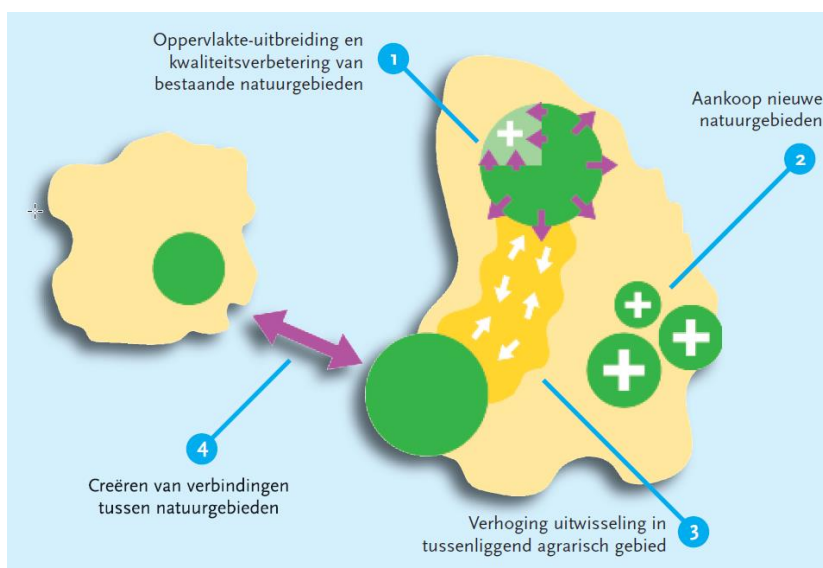


Criteria	1. Zeldzame en kleinschalige/lokale kenmerkende bosccosystemen en beheervormen 2. aanwezigheid leefgebied van soorten met geringe mobiliteit 3. regionaal/nationaal kwetsbare/bedreigde soorten 4. kansrijkdom op versterking via leefgebiedbenadering (meerdere soorten) 5. landschappelijke samenhang met andere natuurtypen dan bos	1. aanwezigheid van oud(er) bos (zeg >80–100 jaar): op afzienbare termijn aftakeling, windworp, dik dood hout e.d. (=biotische kwaliteit) 2. aanwezigheid van in tijd en ruimte wisselende graasdruk (op droge zandgronden, volgordelijk na verjonging en groei van loofbomen en –struiken boven vraatgrens) en/of (aanzienlijke) abiotische dynamiek (rivier, kust, grondwater) (=abiotische kwaliteit) 3. kansrijkdom op abiotische herstel 4. Schaal en landschappelijke samenhang met andere natuurtypen dan bos
Typen	• natuurbos: duinen (deels), eiken–haagbeukenbos • cultuurhistorie (hakhout/middenbos & parkbos (deels))	• natuurlijker boslandschap voor zover voldaan aan criteria • natuurbos duinen (deels?), veen, en (deels) overstroomde bossen • oud natuurbos binnenland • multifunctioneel bos
Beheervorm van laag tot hoog dynamisch (met oogst)	Dynamiek van belang voor behoud/ontwikkeling van structuur en soortensamenstelling, met oogst mogelijk binnen grenzen van ecologisch functioneren	Gradienten mogelijk van geen, beperkte kleinschalig ingrijpen (dynamiek) tot aan ontwikkelende multifunctionele bossen
Natuurvergroten /versterkende maatregelen	• Vergroten areaal kleinschalige zeldzame kenmerkende bosccosystem en landschappelijke samenhang • Beperken klimaatverandering/verzuring/verdroging/versnippering • Vergroten dynamiek • Verhogen aandeel (rijkstrooisel)soorten en veerkracht	• Beperken klimaatverandering, verzuring/verdroging • Vergroten rijkstrooisel– en klimaatbestendige soorten • Vergroten oude, dikke en dode bomen en open terreindelen (grazige boswegen) • Vergroot landschappelijke samenhang
N2000/ SNL typen	H2180 Duinbos (pp) H9160 Eiken–Haagbeukenbos H9190 Oude eikenbossen H91E0_C Beekbegeleidend bos	H2180 Duinbossen (pp) H9110 Veldbies–beukenbos H9120 Beuken–eikenbos H91E0_AB Ooibossen H91F0 Hardhoutooibos

	N17, N14/15, (N16)	N1, N14/15, N16
--	--------------------	-----------------

2.5 Versterken en vergroten van natuur(in)bossen

De aanbevelingen voor het versterken en vergroten van de natuurwaarde van bossen in Nederland volgt de prioritering zoals geformuleerd door Berendse (Berendse et al. 2013) in hun studie naar het versterken van natuur in Nederland. Kort gezegd benoemen zij de acties die in effectiviteit het meest kansrijk zijn in de volgorde: (1) vergroten en versterken van bestaande gebieden, (2) nieuwe gebieden aanleggen en tot slot (3) het verbinden van bestaande gebieden. Binnen deze volgorde benoemen we de mogelijke acties in relatie tot de eerder genoemde knelpunten en gaan in op een aantal kernpunten daarbinnen voor een veerkrachtiger, klimaat- en stikstofbestendiger bos. Om dit te operationaliseren voor concrete situaties zal dit in de landschappelijke context en via gebiedsprocessen moeten worden beoordeeld.



Figuur 2.4 Landschapsecologisch model voor natuurversterking Berendse et al., 2013)

Het vergroten en versterken van natuurbos in de betekenis van onbeheerde, natuurlijk functionerende bossen wordt specifiek uitgewerkt onder 2.7.

2.5.1 Vergroten van de ruimte voor natuurwaarde bestaande bossen

- De schaal van gebieden, inclusief gradiënten en samenhang met andere terreintypen, is van belang voor het duurzaam voorkomen van de verschillende ontwikkelingsstadia en vergroot de levensvatbaarheid van populaties (Berendse et al. 2013). Prioriteit van het vergroten van bossen moet liggen bij kleinere oude loofboskernen en zeldzame bosgroeiplaatsen (zie tabel 1.1). Deze bosuitbreiding met brede 'bufferbossen' maken de beste kansen om hun natuurwaarde te ontwikkelen door kolonisatie, zorgen voor een groter boscomplex, dus groter biodiversiteitspotentieel, en gaan tegelijk sterk bufferend



optreden voor externe drukken naar de kwetsbare oude boskern toe. Tevens zou voor alle Nederlandse bostypen toegewerkt moeten worden naar een aantal grotere kernen natuurlijker bos waar de biodiversiteit van alle verschillende ontwikkelingsstadia optimaal behouden kan blijven.

- Verkenning van de huidige toestand, kwaliteit en functioneren van bossen op zeldzame bosgroeiplaatsen, waarvan een deel een multifunctionele doelstelling met oogst heeft (zie Bijlage 1, tabel 1 met geel gemarkeerd zoekareaal). Daar waar er kwaliteit of potentie is tot het realiseren van zeldzame kenmerkende bosesystemen zal de beheerdoelstelling heroverwogen worden naar een primaire natuurdoelstelling ten einde het areaal kenmerkende zeldzame bosgroeiplaatsen te vergroten.). Tegelijkertijd is ook een heroverweging naar een multifunctionele doelstelling met oogst mogelijk op algemenere bosgroeiplaatsen met een primaire natuurdoelstelling die een beperkte natuurkwaliteit of potentie hebben binnen de landschappelijke context.
- Versterken en ontwikkeling van natuurwaarde in bestaande bossen
- Goed functionerende bosesystemen waarin de functionele biodiversiteit en goede abiotische condities zorg dragen voor een grotere veerkracht is randvoorwaardelijk voor het behoud, en de versterking van natuurwaarde.
- Creëer de juiste abiotische randvoorwaarden door het beperken van stikstof- en zwaveldepositie, het tegengaan van klimaatverandering en het herstel van de natuurlijke hydrologie van gebieden als bronmaatregelen. Als bron/buffermaatregelen getroffen worden dan kan aanvullend bijgestuurd worden via nutriëntensupplementen als bv steenmeel en het inbrengen van rijk strooiselsoorten.
- Hanteer een benadering die uitgaat van lokale/regionale bos(landschap)complexen die in samenhang de variatie in milieu, beheervormen en -doelstelling en omstandigheden bieden voor de daarvan afhankelijke soorten. Richt beheer en beheerevaluaties eveneens op de samenhang (soorten, structuur, functioneren) in bos(landschap)complexen (en niet de afzonderlijke beheertypen).
- De beperkte historische continuïteit van meeste bossen, en beperkte ouderdom van de bomen als sleutelorganismen daarbinnen, betekent meer aandacht voor, en zuinig zijn op, loofbossen op oude bosgroeiplaatsen en veteraanbomen. Daarnaast is geduld samen met het ruimte bieden om bomen oud en vervallen te laten raken van groot belang. Deels is daarbij een ruimtelijke zonering van een OADO netwerk (ecologisch netwerk van oude, aftakelende en dode bomen, met in de periferie semipermanente open delen en grazige boswegen (om bosmicroklimaat niet in gedrang te laten komen), met name binnen multifunctionele bossen, een doelgerichte werkwijze. Daar waar omvorming (veelal van niet-inheemse naaldbomen naar inheemse loofbomen) aan de orde is, is het behoud van bosklimaat en kleinschalige geleidelijke transitie te prefereren boven het verlies van bosklimaat en oude, aftakelende bomen. Dood hout vervult een cruciale rol in het functioneren van het bosesysteem (en vochtvasthoudend vermogen) en het voortbestaan van veel van de bosgebonden biodiversiteit (Jagers op Akkerhuis *et al.*, 2005; Stockland *et al.* 2012). Toewerken naar een verhoging van het aandeel dood hout, in verschillende vormen, maten en verteringsstadia is daarbij van belang ten behoeve van natuurlijke variatie in micromilieus voor gespecialiseerde houtbewonende organismen.
- Zorg voor meer variatie in dynamiek als ecologisch sleutelproces(velling). Dit vergroot de heterogeniteit en schept zo verscheidenheid aan leefomstandigheden voor veel soorten. Heb daarbij aandacht voor zowel de hogere dynamiek en openheid als voor delen met

een lagere dynamiek en donkere gesloten bosdelen. Dit geldt zowel voor bossen met een behoud strategie (oude leembossen, middenbos) als in bossen met een ontwikkelingsstrategie.

- Vergroot de menging en soortenrijkdom van bossen in algemene zin. Vertrek daarbij van de actuele standplaatseigenschappen en wat aan lokale soort- en genenbronnen aanwezig is. Waar dit pallet belangrijke hiaten vertoont kan overwogen worden om ontbrekende sleutel-boomsoorten in te brengen, zowel rijkstrooiselsoorten die de bodem en vochtvasthoudend vermogen verrijken als soorten die klimaatbestendiger zijn. Verrijk ze daarnaast met bronpopulaties van weinig mobiele dier- en plantensoorten die niet op eigen kracht kunnen komen.
- Begrazing is een belangrijk ecologisch proces, met name in het vertragen van successie (versneld onder invloed van stikstofdepositie) en het langer open houden van terreindelen. De keerzijde is dat begrazing de verjonging van loofsoorten belemmert, waaronder de rijkstrooiselsoorten, met als gevolg een versterkte verzuring. Hanteer een volgordelijkheid; realisatie van verjonging en groei boven de vraatgrens van gewenste loofsoorten bij een lage graasdruk, waarna graasdruk die bij voorkeur in tijd en ruimte kan fluctueren.

Kernpunten

- Bossen kennen een zeer lange ontwikkelingstijd. Werk toe naar een grotere mate van flexibiliteit, om ook toekomstige generaties de ruimte te bieden om eigen accenten te leggen in bossen en boscomplexen. Werk toe naar een focus op, en meer complementariteit in, boscomplexen, door verschillende accenten in beheerdoelstellingen en –vormen, in het boslandschap. Bijvoorbeeld op de hogere zandgronden delen met spontane ontwikkeling (cf natuurlijkerheid/kenmerkendheid; dikkere humuspakketten, aftakelende bomen, wortelkluiten), al dan niet versneld door actieve ingrepen (omvorming naaldbos). Bodemherstel is hier beperkt tot remediërende maatregelen tegen mineralen-onevenwichten door stikstofdepositie. Versterken van de soortenrijkdom met (naast de dominante eiken, beuken en dennen) ook zuurtolerante soorten met goed afbrekend strooisel zoals trilpopulier, lijsterbes, berk, vuilboom. Rijkstrooiselsoorten op plekken die van nature rijker zijn (leembijmenging, leemflenzen, overstoven profielen, mineralenrijke kwel). Delen met lichtrijkere en/of dynamischere varianten van voorgaande via gericht kapbeheer (plenterbossen met schaduwboomsoorten, uitkapbossen met lichtboomsoorten, groepenkap) en eventueel ook extensieve begrazing, mede als uitvalsbasis voor soorten die in lagere dynamische delen onder druk kunnen komen te staan (bv hengel als bosrandsoort, kleine ijsvogelvlieder, guldenroede),. En delen met specifieke maatregelen gericht op behouden of versterken van bestaande kwaliteiten waaronder waardevolle naaldbossen, met geassocieerde biodiversiteit (zeer oude grove dennenbestanden, dennen op stuifduin, of oud bossoorten, cf verscheidenheid). Zie als voorbeeld een uitgewerkt beheerstrategie model voor boscomplexen door Vandekerckhove (2019) (figuur 2.5).).
- Het is goed te beseffen dat de uitgangssituatie (voormalig beheer, abiotiek, biotiek) samen met de mate waarin sleutelsoorten – voornamelijk de boomsoorten - de ruimte krijgen, in belangrijke mate de ontwikkelingsrichting van bossen stuurt. Verder gaan vanuit de huidige situatie zal bijvoorbeeld in bossen op de hogere zandgronden met hoge wilddruk leiden tot een ontwikkeling naar een bossysteem dat lange tijd gedomineerd

door zuurstrooiselsoorten van grotendeels naalddhout en ouder wordende (maar beperkt verjongende) beuken- en eikenbossen met dikke humuspakketten die mogelijk op langere termijn meer ruimte bieden voor een groter vochtvasthoudendvermogen. Het inbrengen van rijkstrooiselsoorten samen met het in ieder geval tijdelijk beperken van wilddruk zal lokaal de ontwikkeling richting een rijker bos met een snellere en grotere nutriëntencyclus en vochtvoorziening sturen. Beide hebben een eigen (deels nog te ontdekken) kwaliteiten. Zoneer deze verschillende ontwikkelingsrichtingen. Met enerzijds een strategie gericht op een verder gaande spontane ontwikkeling van oude eiken- en beukenbossen op oud bosgroeiplaatsen (bv N2000 Beukenbos met hulst), aangevuld met enkele extra soorten voor een grotere mate van veerkracht. En verrijk, waar mogelijk, met name de jongere en minder ver ontwikkelde bossen met zuurtolerante rijkstrooiselsoorten (van ratelpopulier, lijsterbes, berk, vuilboom op arme groeiplaatsen, tot aan linde, esdoorn, haagbeuk en kers op de rijkere). Aangevuld met multifunctionele bossen, waarbinnen ook meer open en gesloten bosbeheertypes mogelijk zijn (plenterbossen met schaduwboomsoorten, uitkapbossen met lichtboomsoorten, kleinschalig gelijkjarige bossen (femelkap, groepenkap).



Figuur 2.5. Strategische zonering in een groter boscomplex (200–300ha) voor zowel gesloten- als warmteminnende soorten. Zonering bestaat uit gesloten boskern (donkergroen) door kleinschalig beheer, met daarin bosreservaten (blauwe vlakjes) en veteranenbomen en veteranenbomengroepen (stippen en groene vlakjes) die als stapstenen fungeren (gele pijlen), omgeven door een matrix van multifunctioneel beheer met halfschaduw en lichtbehoevende soorten (middelgroen), met daarin kleinere en grotere tijdelijke en permanente open plekken met zonbeschenen habitatbomen, open corridors, bosranden en halfopen bossen zoals middenbos (licht groen), (Bron Vandekerckhove, 2019).

2.5.2 Vernieuwen van bossen voor natuurwaarde

- Realiseer nieuwe boscomplexen of laat ontstaan, bij voorkeur op zeldzame bosgroeiplaatsen en in samenhang met andere terreinentypen..
- Voorkom ontbossing, , zorg voor strikte bescherming van oude bosgroeiplaatsen en zeldzame kenmerkende bosecosystemen, en compenseer verliezen ruimhartig.

2.5.3 Verbinden van bossen voor natuurwaarde

- Er is een grote mate van versnippering en beperkte landschappelijke samenhang in bos- en natuurgebieden. Het realiseren van corridors in landelijk gebied of bosverbindingen vergroot de mate van uitwisseling en migratie van soorten met een beperkt dispersievermogen. Prioriteer hierbij op de realisatie van het NNN in het algemeen en in het bijzonder tussen zeldzame bostypen en oude boskernen.

2.6 Wat verstaan we onder Zelfregulerend Natuurbos?

Alle oorspronkelijke bossen of oerbossen zijn verdwenen uit Nederland. De meeste bossen hier zijn aangeplant en relatief jong. Wereldwijd is er nog steeds in alle klimaatzones relatief veel oorspronkelijk bos te vinden. Hiermee kunnen we ons een beeld vormen hoe zo'n er uitziet en functioneert. Duidelijk is dat het om zelfregulerende systemen gaat. De structuur en opbouw komt sterk overeen. Afhankelijk van klimaatzone, hoogteligging, en ondergrond zien we vooral verschil in het aantal boomlagen. Uiteraard is de soortsaamenstelling overal anders.

Rijk en provincies streven een bepaald areaal natuurbos na. Het is gewenst hierbij een beeld te hebben wat dat inhoudt. Het belangrijkste kenmerk van natuurbos, of beter natuurlijk functionerend bos, is (op termijn) zelfregulatie waarbij de kenmerkende bosbiodiversiteit intact blijft zonder aanvullend beheer behoudens wilstandbeheer (indien grote predatoren afwezig zijn) of onderhoud langs paden. Natuurlijk functionerende bossen zijn stabiele systemen met een interne dynamiek door afstervende en omvallende bomen. Er is een grote variatie in boom- en struiksoorten en leeftijdsopbouw. Natuurlijke begrazing (met natuurlijke predatie) heeft geen ingrijpend effect op het bosbeeld.

Er zijn weinig of geen natuurbossen in Nederland die op dit moment al deze kenmerken bezitten, maar er zijn bossen die al aardig op weg zijn zoals de Biesbosch. Nederlands Natuurbos is dus bos dat zich spontaan kan ontwikkelen tot 'oerbos'. Dit kan secundair oerbos genoemd worden (Frelich & Reich 2003). Dit zijn eerder beheerde bossen die na decennia van niets-doen-beheer oerbos eigenschappen hebben ontwikkeld (Piovesan et al., 2008) (Ziaco et al., 2012) (FAO 2015) (Buchwald 2005).

Doel van de natuurbosontwikkeling is zelfregulerend secundair oerbos. Zoals Kris Vandekerkhove (Vandekerkhove 2019)b uitwerkt worden oerbossen niet gedefinieerd of geïdentificeerd door één enkel kenmerk, maar door een combinatie van verschillende factoren. Hier onder, op basis van de wetenschappelijke literatuur, de meest gebruikte indicatoren en descriptoren van oerbos die hij benoemt (Barton & Keeton 2018) (Bauhus et al., 2009) (Buchwald 2005) (Burrascano et al., 2013) (Frelich & Reich 2003) (Gilg 2005) (Greenberg et al., 1997) (Hayward 1991) (Hilbert & Wiensczyk 2007) (Hunter 1989) (Kaufmann et al., 1992) (Kimmins 2003) (Uhlrig 2003) (Wells et al., 1998) (Wirth et al., 2009) (Ziaco et al., 2012):



- Structurele complexiteit van het bladerdak: de boomlaag wordt gekenmerkt door een natuurlijke boomsoortensamenstelling en vertoont meestal een onregelmatig meerlagig kronendak met inbegrip van openingen in het kronendak en structuurrijke ondergroei. Dit is het resultaat van de interactie van kleinschalige en grootschalige natuurlijke verstoringen. In gematigde streken prevaleren de kleinschalige verstoringen boven grootschalige verstoringen. Dit leidt tot fijnkorrelige onregelmatige patronen van de structuur van het kronendak, zowel horizontaal als verticaal.
- Oerbossen bevatten een breed scala aan verschillende leeftijds- en grootteklassen van bomen, zowel levend als dood. Het meest in het oog springend in dit verband is de aanwezigheid van grote en oude bomen. Grote bomen (meer dan 50 cm of zelfs 80 cm DBH) vormen een belangrijk deel van de bomenpopulatie. In het algemeen hebben de opstanden vaak een hoog grondvlak en bovengrondse biomassa. Ook, de grote hoeveelheden en de grote verscheidenheid in grootte en vervalstadium van dode bomen, beide liggend en status, zijn kenmerkend.
- De kleinschalige put- en heuveltopografie is wijdverspreid over het gebied, als gevolg van de ontworteling van grote bomen.
- Bomen staan niet regelmatig verspreid en verdeeld over de oppervlakte, maar komen in een willekeurig patroon voor. (Wolf, 2005; Vandekerckhove et al., 2018;).
- Bomen bevatten vaak een hoge dichtheid en verscheidenheid aan microhabitats zoals holtes, scheuren en schimmellichamen met als gevolg een hoge biodiversiteitswaarde (Larrieu et al., 2018).
- Een belangrijk deel van de biodiversiteit in oerbossen is strikt of hoofdzakelijk afhankelijk van de microhabitats - ten gevolge van langjarige spontane ontwikkeling - en de aanwezigheid van dood hout (Esseen et al., 1997) (Harmon et al., 1986) (Heilmann-Clausen et al., 2014) (Kirby & Drake 1993) (Økland et al., 1996) (Stokland et al., 2012) (Siitonen 2001). Deze soorten vereisen een lange continuïteit van deze kenmerken om te kunnen overleven.

2.7 Naar meer en beter Zelfregulerend Natuurbos

2.7.1 Meer natuurbos

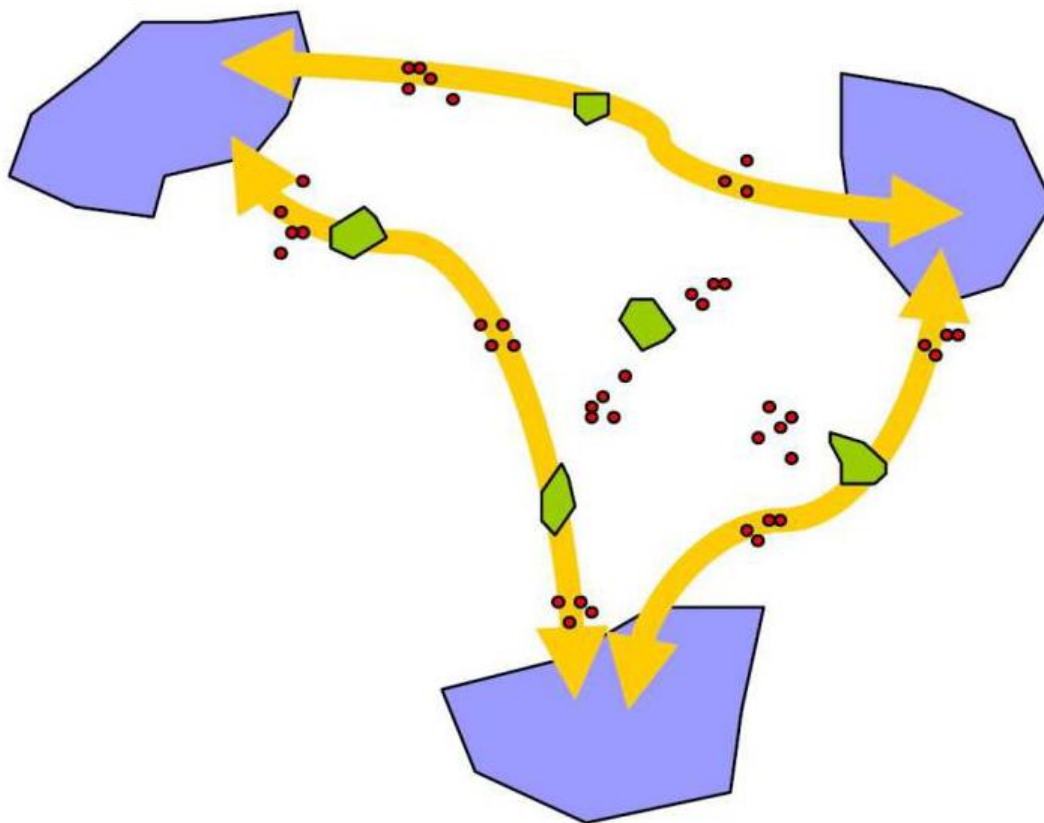
Op dit moment is in circa 25% van het bosareaal het beheer primair gericht op natuur (Ambities en doelen van Rijk en provincies voor de Bossenstrategie, 2020). Dit is zowel beheerd natuurbos als bos in ontwikkeling naar onbeheerd zelfregulerend natuurbos. Veel van dit bos wordt nog in sterke mate getypeerd door het voormalig bosgebruik, waar dit bos voor aangelegd is. Meer natuurbos betekent in eerste instantie het vergroten van het aandeel van die 25% waarin maatregelen genomen worden om een klimaatresiliente ontwikkeling naar zelfregulerend natuurbos in gang te zetten. Daarnaast betekent meer natuurbos areaaluitbreiding (nieuw bos) voor de nagenoeg ontbrekende zeldzame bostypen, met name oibossen en veenbossen.

Minimum oppervlakte zelfregulerend natuurbos

Henk Koop en collega's hebben, op basis van studies van bestaande zelfregulerende bossen het MSA of Minimum Structuur Areaal gedefinieerd, als zijnde de oppervlakte noodzakelijk om alle ontwikkelingsfasen van een bepaald bostype te kunnen omvatten. Deze oppervlakte varieert van 10 ha (voor o.a. essenbronbos en elzenbroekbossen) tot 50 ha voor bostypen met lichtboomsoorten, die grote verjongingsopeningen vereisen (bv. Eiken-Berkenbos) (Koop 1993) (Al et al., 1995).

Natuurbos en ander bos: zonering en onderlinge versterking.

De biodiversiteit van de zelfregulerende natuurbossen wordt versterkt door deze in te bedden in grotere boscomplexen bestaande uit beheerd natuurbos, cultuurbossen en multifunctioneel bos. Niet alleen wordt het natuurbos zo gebufferd, gelijktijdig versterkt dit de biodiversiteit in de andere bossen (zie ook 2.5.1).



Figuur 2.6 Schematische weergave van een functioneel netwerk van onbeheerd natuurbos bestaande uit onbeheerd natuurbos (> 10 ha; blauwe vlekken) verbonden door onbeheerde opstanden (1–5 ha - groen) en habitatbomen (rode punten). Gebieden met hogere aantallen habitatbomen en habitatboomgroepen vormen verbindingen (gele pijlen). Uit: Vandekerckhove et al., 2013, gebaseerd op Lachat and Bütler 2007. Zie ook figuur 2.5.

2.7.2 Beter natuurbos / ontwikkelen natuurbos

De inleidende beheermaatregelen voor onbeheerd natuurbos zijn in essentie de revitaliseringsmaatregelen voor alle bossen en zijn gericht op bodemherstel (rijk strooisel en steenmeel), hydrologisch herstel, structuurherstel, versterken menging met nadruk op rijk strooiselsoorten en droogte resistente soorten, vergroten aandeel oude, aftakelende en dode bomen en herstel soortenpool. In hoofdstuk 4 worden deze maatregelen uitgewerkt. Hier onder enkele specifieke aandachtspunten voor bos in ontwikkeling naar zelfregulerend natuurbos.



Structuur blijven maken, totdat aftakeling zorgt voor structuur

Zelfregulerend natuurbos kent een grote structuurvariatie, zowel horizontaal (bomen van verschillende leeftijden, zowel geclustersd als individueel) als verticaal (onder het kronendak ook een tweede boomlaag, een stuiklaag en een kruid en moslaag). Grootschalige eenmalige structuurmaatregelen volstaan bij het overgangsbeheer niet. Deze open ruimte groeit in 30 jaar weer naar het kronendak en de horizontale structuur verdwijnt. Beter is om met een regelmaat steeds weer kleine openingen in het kronendak te maken. Zo ontstaat een spreiding in leeftijd en wordt voorkomen dat het aftakelingsproces door zelfdunning te veel verstoord wordt.

Menging blijven stimuleren tot alle zaadbomen volwassen zijn

Deze ingrepen in het kronendak kunnen gekoppeld worden aan het ruimte creëren voor de ingebrachte boomsoorten (ontbrekende soorten, rijkstrooiselsoorten en droogtetolerante soorten). De begeleiding van deze bomen moet opgevolgd worden totdat deze zich met hun kroon in tot het kronendak gevestigd hebben.

OAD netwerk bij drastisch ingrijpen

Het netwerk van Oude, Aftakelende en Dode bomen is in essentie ontwikkeld voor multifunctioneel bosbeheer. Maar wordt ook toegepast wanneer gekozen wordt voor drastisch ingrijpen bij omvorming naar natuurbos; ook hier bestaat het risico dat er te weinig oude bomen en bomen die mogen verouderen overblijven. In zelfregulerend natuurbos komen per ha 5-20 Oude en aftakelende bomen voor (daar waar de groeiplaats veroudering toestaat) (Vandekerkhove 2019). Meestal zal de ontwikkeling naar zelfregulerend bos ingezet worden met kleinschalige ingrepen waardoor een OAD netwerk overbodig is.

Dood hout op weg naar zelfregulerend natuurbos

Niets doen beheer, niet ingrijpen in het kronendak, zorgt voor een aandeel van 4% dood hout ten aanzien van de houtvoorraad in 10 tot 15 jaar tijd. Afhankelijk van de groeiplaats komt dit overeen met 10-25 m³/ha. In 30 jaar tijd kan zo 10% dood hout bereikt worden. Hetgeen in de buurt komt van de 15-30% dood hout in zelfregulerende natuurbossen (Korpel 1997) (Saniga & Schütz 2001) (Christensen et al., 2005) (Vandekerkhove et al., 2009) (Vandekerkhove 2019).

Open ruimte in zelfregulerend natuurbos

Vaak worden bij het ontwikkelen van zelfregulerend natuurbos grote groepenkappen en kaalkappen toegepast om open ruimte te creëren. Deze maatregelen blijken niet in overeenstemming met het doel. Recente studies laten zien dat tijdelijk ten gevolge van brand 5 - 15 % openheid kan ontstaan in zelfregulerend natuurbos. Gemiddeld is er echter maximaal 5% ingestorte en verjongingsoppervlak aanwezig (Kenderes et al., 2008) (Commarmot et al., 2013) (Hobi et al., 2015) (Vandekerkhove 2019).

Ontijdige vraatdruk

Een hoge vraatdruk maakt de ontwikkeling naar zelfregulerend natuurbos onmogelijk door de selectiviteit in de vraat: de loofbomen en vooral de nieuw aangebrachte soorten worden

als eerste aangevreten. Gedurende het gehele lange ontwikkelingsperiode wordt de vraatdruk het best gemonitord en bijgestuurd aan de hand van impact op boom- en struiksoortensamenstelling en structuurontwikkeling (gelaagdheid). Eenmaal het natuurbos zijn zelfregulerende eigenschappen ontwikkeld heeft kan de vraatdruk waarschijnlijk omhoog. De huidige vraatdruk is dus 'ontijdig', komt niet overeen met de ontwikkelingsfase waarin het bos zich bevindt. Monitoring zal ook in de toekomst noodzakelijk zijn omdat wildstanden en aantal predatoren in ons cultuurlandschap niet overeen komen met natuurlijke aantallen en gedrag.

3 Ontwikkelingsperspectief Nederlandse bossen

Nederland kent een breed scala aan bostypen. De meeste Nederlandse bossen zijn nog relatief jong en mede daardoor beperkt ontwikkeld. Op rijkere gronden is de potentie van jonge bossen, denk aan ooibossen, beekbegeleidende bossen, bossen op klei/leemgronden, hoog en er wordt algemeen onderkend dat deze een waardevolle bijdrage kunnen leveren aan de biodiversiteit en kenmerkendheid. Deze bossen hebben zelfs de potentie om tot de rijkste bossen van Nederland te horen, gegeven voldoende ontwikkelingstijd, dynamiek en de bereikbaarheid voor (minder mobiele) karakteristieke bossoorten. Maar ook de jonge bossen op de zandgronden kunnen zich ontwikkelen tot soortenrijke, veerkrachtige bosecosystemen. Voor zulke bossen op armere gronden (zandgrond) zijn meerdere ontwikkelingsrichtingen mogelijk. Hommel et al. (2007) en Desie *et al.* (2020a en 2020b) onderscheiden twee alternatieve toestanden; een zuurgedomineerd relatief voedselarm bostype, zoals het grotendeel van de bossen op zand momenteel, en een voedselrijker meer gebufferd bostype dat ook op armer moedermateriaal kan voorkomen. Bosbeheerders kunnen deze ontwikkelingsrichting sturen. Ze hebben de keuze tussen een ‘verzurende’ bosontwikkeling – gedomineerd door zuur-strooiselsoorten (den, eik, beuk) – en een ‘verrijkende’ ontwikkelingsrichting – onder invloed van rijkstrooiselsoorten (linde, esdoorn, zoete kers, haagbeuk, hazelaar maar ook berk, lijsterbes en vuilboom) – waardoor er een snellere omzetting en grotere beschikbaarheid van nutriënten en vocht voor de vegetatie optreedt, met een potentieel bredere soortensamenstelling van onder andere oudbossoorten als gevolg.

De ontwikkelingspotentie van jonge bossen op rijkere gronden is alom bekend en uitvoerig beschreven. Het inzicht dat er voor bossen op zandgronden naast een ‘verzurend’ ontwikkelingsperspectief – met goed ontwikkelde voorbeelden – ook een ‘verrijkend’ ontwikkelingsperspectief bestaat is – onder bosbeheerders en beleidsmedewerkers – minder bekend. Daarom ligt de focus van dit hoofdstuk bij de mogelijkheden die boomsoorten met rijk strooisel bieden bij revitalisering van de Nederlandse bossen.

3.1 Veel jonge bossen

Eind 18^e eeuw was circa 3% van het Nederlandse landoppervlakte bebost (Boosten, 2016), nu is dat – na forse herbebossingsinspanningen – 11%. Waar in de negentiende en begin twintigste eeuw deze bossen vooral werden aangeplant op de arme zandgronden, verrezen er in de loop van de twintigste eeuw steeds meer bossen op rijkere gronden. Voorbeelden hiervan zijn de polderbebossingen in de Wieringermeer (vanaf 1931), Noordoostpolder (vanaf 1947) en Flevopolder in 1950–1980. Vanaf de jaren zestig kwam daar de aanleg van recreatiebossen bij, met name in het westen van Nederland. Tegenwoordig staat ongeveer 12,5% (45.000 ha) van het Nederlandse bos op rijke gronden.

3.2 Jonge bossen op rijke gronden

De bossen op rijkere gronden bestaan vaak uit monoculturen van loofhout en zijn de meestal nog relatief jong. Es en populier komen voor in een substantieel deel van deze bossen. Echter, een groot deel van het essenbos is aangetast door de essentaksterfte of zal, naar verwachting, in de toekomst ten prooi vallen aan de ziekte. Ook veel populierenvakken zijn nu aan verjonging toe. Dit is een forse opgave voor het bosbeheer. Maar biedt

tegelijkertijd ook de kans voortvarend toe te werken naar een gevarieerd, kleinschaliger en veerkrachtig bos.

Bossen op rijke gronden kunnen tot de soortenrijkste, meest aantrekkelijke en productiefste bossen van Nederland gaan behoren. Deze nog vaak relatief jonge bossen hebben bovendien de potentie om uit te groeien tot veerkrachtige gemengde bossen waarin een gevarieerde samenstelling en bosstructuur gecombineerd wordt met mogelijkheden om kwaliteitshout te leveren. Op lange termijn zullen bossen op rijke gronden bossen worden waarin woudreuzen en verjonging van diverse soorten door elkaar heen voorkomen. Het bos zal grotendeels uit schaduwverdragende loofboomsoorten bestaan (zoals esdoorn, beuk, iep, linde, haagbeuk), afgewisseld met delen waar cultuurpopulier en wilg meer prominent aanwezig zijn en delen met lichtboomsoorten zoals eik, els en berk. Binnen deze bossen vormen natuurkernen, veteraanbomen, bosranden en (al dan niet tijdelijke verruigde) open plekken en grazige boswegen een ecologisch netwerk van stapstenen voor veel flora en fauna. Naast de natuurwaarde, vergroten ze ook de recreatieve waarde van deze bossen.

Mooie voorbeelden van deze bosontwikkeling zijn te vinden in het Robbenoordbos (Wieringermeer 1946), het Amsterdamse bos (1934) en, een van de mooiste voorbeelden, een fantastisch gemengd jong loofbos op rijke gronden, in Landgoed Mariënwaerd (<1900). In Duitsland en België zijn hier en daar mooie, voor Nederland representatieve, voorbeelden te vinden van goed ontwikkelde bossen op rijke gronden zoals het Maaßeler Lindenwald (zie figuur 3.1), Sammerrot of het Hasbrucher – en het Neuenburger Urwald.



Figuur 3.1 Het Maaßeler Lindenwald is een goed voorbeeld voor de potenties van de leembossen. Het bos ligt op kalkrijke keileem, in het voorjaar kan het er zeer nat zijn. Ondanks een extensieve ontwatering wordt het in de zomer droog genoeg zodat bomen ook dik en oud kunnen worden. In de kruidlaag groeien veel kalkminnende soorten als Heelkruid, Bosbingelkruid, Slanke sleutelbloem en Christoffelkruid



3.3 Jonge bossen op zandgronden

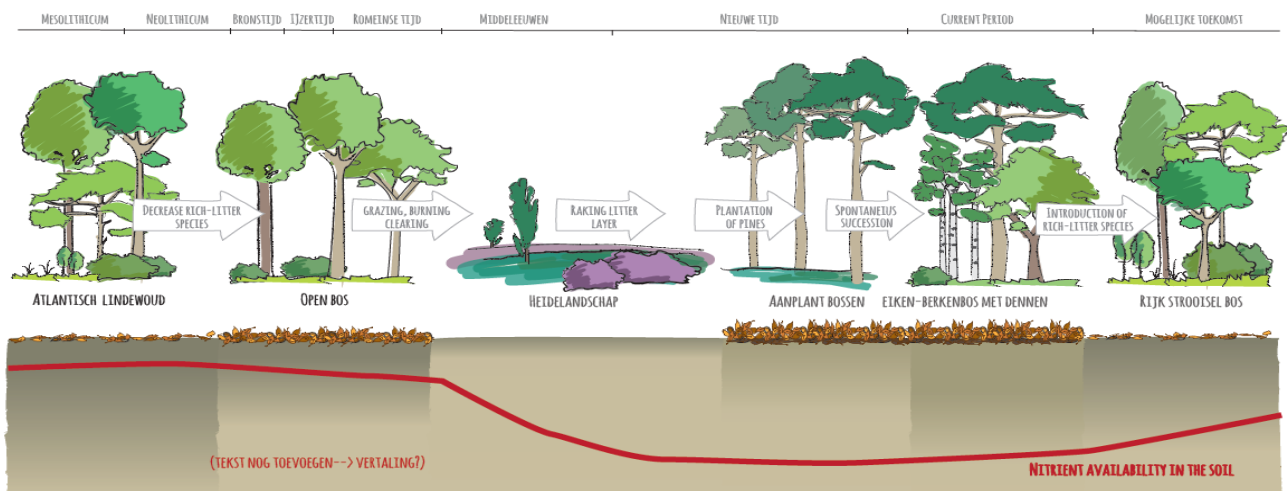
De bossen op zand zijn eigenlijk een product van jarenlange landgebruiksveranderingen die hebben geleid tot de bodemverzuring en afname van nutriëntenbeschikbaarheid. De verzurende depositie heeft dit proces in een stroomversnelling gebracht. Deze bodemdegradatie is erg bepalend voor de vitaliteit van het bos dat er op voorkomt en brengt vele problemen met zich mee. Eikensterfte in bossen op zandgronden is hier naar alle waarschijnlijkheid het gevolg van (Lucassen et al. 2014)

Jong bos op zandgronden, meestal bestaande uit voormalige monoculturen van naalddhout en eik is in Nederland veruit het meest voorkomende bostype. Nochtans, stonden er ooit op deze zandgronden bossen die aanzienlijk rijker aan boomsoorten en structuur waren dan nu het geval is. Pollenonderzoek laat zien dat er vroeger een grote verscheidenheid aan boomsoorten op deze bodems voorkwam (Casparie & Groenman-van Waateringe, 1980, Zagwijn 1994, Doorenbosch 2013). Echter door een reeks landgebruiksverandering doorheen de tijd zijn de bodems verzuurd en de bossen “verarmd” tot de kenmerkende bossen die we nu kennen.

In de periode van 6000 t/m 3500 v.Chr. waren de zandgronden bedekt met het Atlantisch lindenwoud (Hommel et al., 2007). Eik was dominant op de armere zandgronden, gevolgd door de linde. Daarnaast kwamen berken, iepen en gewone es voor, met plaatselijk ook hulst, taxus en grove den. De struiklaag bestond voornamelijk uit hazelaar, maar bevatte ook wegedoorn, vuilboom, gewone vogelkers en lijsterbes. Op de leemhoudende zandgronden domineerde linde over eik en de andere soorten. Tevens had iep een groot aandeel, net als gewone es, hulst, esdoorn en taxus (Casparie en Groenman-van Waateringe 1980). De kruidlaag in het Atlantisch lindenwoud bestond waarschijnlijk uit typische bosplanten zoals bosanemoon, dalkruid en gewone salomonszegel (Nyssen et al., 2016). Het gemengde eiken-lindenbos was in staat haar eigen groeiplaats in stand te houden, waardoor ook op armere plekken een relatief rijk boscossysteem kon voort bestaan, waar lindes een belangrijk onderdeel van uitmaakten. Nutriënten werden in kringlopen van het ecosysteem vastgehouden, waardoor er geen merkbare verliezen door uitspoeling optraden (Spek 2004). Als gevolg hiervan ontwikkelde zich een mineraalrijke bruine bosbodem met een rijkbodemplen die door de nutriëntenpomp in stand gehouden werd.

In het Neolithicum begon, door toedoen van de mens, de teruggang van dit prehistorische lindenwoud door brandcultuur (slash- and burn), bosbeweiding en de aanleg van akker- en weidegrond. De ecologisch rijke lindenbossen evolueerden naar eik-gedomineerde, soortenarmere bossen. Het daarop volgende agrarische gebruik, met houtoogst, overbeweiding, en het verwijderen van strooisel en plaggen, zorgden voor een verdere degradatie van bijna alle bossen naar heide (zie Figuur 3.2). In de gespaarde bossen werd eik sterk bevoordeeld, voornamelijk in hakhoutsystemen. Hakhout leverde producten als brandhout, houtskool en eikenschors voor de leerlooierij, en was makkelijk met de hand te bewerken. Bos met opgaande bomen was een zeldzaamheid.

Op de zandgronden, die worden gekenmerkt door een geringe buffercapaciteit, leidde deze ontwikkelingen tot verarming en verzuring van de bovengrond. De oorspronkelijk bruine bosbodems degradeerden tot podzolgronden. Basische kationen spoelden uit door de verzurende invloed van eik en heide en werden afgevoerd door strooiselroof en plaggen. Dit leidde tot een daling van de bodem-pH en een toename van het aluminiumgehalte tot toxische waarden. Een deel van de bodemfauna, verantwoordelijk voor de bodemvermenging, verdween hierdoor. Dat resulteerde in het stilvallen van de verticale nutriëntencycli in de bodem.



Figuur 3.2. Veranderend landgebruik op de zandgronden zorgde sinds het neolithicum voor veranderingen in bodemprocessen en nutriëntenbeschikbaarheid (rode lijn). De uitputting van de buffercapaciteit door de verzuring heeft een regime shift tot gevolg van de basenbuffering naar een buffering door aluminium- en ijzerhydroxiden. De introductie van rijk strooiselsoorten kan er voor zorgen dat nutriëntenbeschikbaarheid weer toeneemt (Sauren 2020).

Vanaf het eind van de 19e eeuw werden grote delen van de onrendabel geworden heide weer productief gemaakt door ze te bebossen met gelijkjarige, homogene dennenplantages. En, door het wegvallen van de markt voor de producten uit hakhoutbossen, werden deze omgevormd naar opgaand eikenbos. De nutriëntencycli kwamen in dit nieuwe bos slechts moeilijk op gang door het overwegende zure strooisel en vanaf de jaren 1950 vooral door de verzurende zwavel- en stikstofdepositie.

In de tweede helft van de 20e eeuw het multifunctionele bosbeheer om te voldoen aan de maatschappelijke behoefte aan recreatie en natuurbescherming. Deze multifunctionele benadering (Van Miegroet, 1982) – die eigenlijk een verfijning is van het duurzaamheidsprincipe (Von Carlowitz, 1713) – is vandaag de dag verbreid tot het principe van ecosysteemdiensten (de Groot, 1987, Costanza et al., 1997). Sinds de eeuwwisseling wordt steeds meer onderkend dat bossen, naast de productie-, natuur- en recreatiefunctie, een veel breder palet aan ecosysteemdiensten verschaffen, zoals het vasthouden van water en het vastleggen van CO₂.

3.4 Een probleem om op te lossen: bodemverzuring

Ondanks het feit dat natuurlijke processen een steeds belangrijkere rol zijn gaan spelen, domineren op de zandgronden nog altijd grove den en eik. Het bodemherstel in deze



nieuwe bossen verloopt zeer langzaam doordat deze soorten met verzurend strooisel de overhand hebben. De opkomst van industrie, intensieve veehouderij en verkeer vanaf de Tweede Wereldoorlog, zorgden voor een sterke toename van ammoniak en stikstofoxiden in de atmosfeer. De atmosferische depositie van SO_2 , NO_x en NH_y versterkt het verzurende effect van het moeilijk afbreekbare strooisel van deze bossen, met als gevolg dat de nog aanwezige basische kationen nog steeds uitspoelen en het gebrek aan evenwicht in de nutriëntenbalans in de bodem blijft toenemen (Bobbink et al., 2012). In veel bodems wordt verzuring gebufferd door carbonaten, uitwisselbare kationen en vertering van silicaten (Ulrich and Sumner, 2012). Deze buffercapaciteit is echter zeer beperkt in de gedegradeerde zandbodems en raakt snel uitgeput door de grote input van zuren (Nyssen et al., 2016). Door de toenemende verzuring heeft de uitputting van de buffercapaciteit ervoor gezorgd dat de basenbuffering opgeschoven is naar een buffering door aluminium- en ijzercomplexen (Nyssen et al., 2016). De buffering door aluminium- en ijzercomplexen versterkt de verzuring nog meer (De Schrijver et al., 2010), waardoor de al verzwakte veerkracht nog verder afneemt. Door menselijk toedoen is de veerkracht van de bosesystemen op zand geërodeerd en heeft een regime shift plaats gevonden van een zichzelf in stand houdend systeem naar een zichzelf verzurend systeem. Zo'n 'regime shift' kan er uiteindelijk toe leiden dat ecosystemen overgaan van een gewenste staat, waarbij het leveren van diensten mogelijk is, naar een maatschappelijk minder gewenste staat (Folke et al., 2004).

Herstel van de vitaliteit en de biodiversiteit van de bossen op zandgronden begint bij het aanpakken van het grootste probleem: de bodemverzuring. Bodemverzuring heeft verschillende nefaste gevolgen voor het ondergrondse ecosysteem waaronder het verlies van basische kationen. De uitputting van de buffercapaciteit door de verlies aan basische kationen heeft een 'regime shift' tot gevolg van de basenbuffering naar een buffering door aluminium- en ijzercomplexen die de bodemchemie beheersen (Vitousek & Chadwick, 2013). Deze bodemprocessen karakteriseren vervolgens de bodemecologische processen (Ulrich & Sumner, 2012) en corresponderen met de 'alternative stable states' theorie (ASS) (Scheffer et al., 2001; Beisner et al., 2003). Kort samengevat gaat de shift in bodemchemie (van basen naar aluminium) gepaard met een shift in humusvorm (van mull naar moder/mor), in bodemgemeenschappen (minder/geen regenwormen, meer fungi gedomineerde afbraak vs bacterie-geedomineerde afbraak) en zelfs in koolstofopslag (accumulatie bovenop de bodem vs inwerking van koolstof in stabiele vormen in de bodem).

Omdat de zandgronden slechts een beperkte buffercapaciteit hebben kan de basenbuffering gemakkelijk omslaan naar een buffering gedomineerd door aluminium en ijzer. Maar andersom: deze beperkte buffercapaciteit houdt echter ook in dat een 'regime shift' naar de buffering door basen, relatief gemakkelijk is. Met andere woorden: wanneer een zandbodem volledig verzuurd is en alle uitwisselingsplaatsen bezet zijn met aluminium is er minder basen input nodig om de bodem te herstellen dan bijvoorbeeld bij een leem of klei-bodem. Dat wil zeggen dat de meer kwetsbare factor van deze bossen, de arme zandbodem, tegelijkertijd ook de sleutel voor een succesvolle herstelstrategie is.

3.5 Zowel –voedselarm als -rijk bos mogelijk op zandgronden

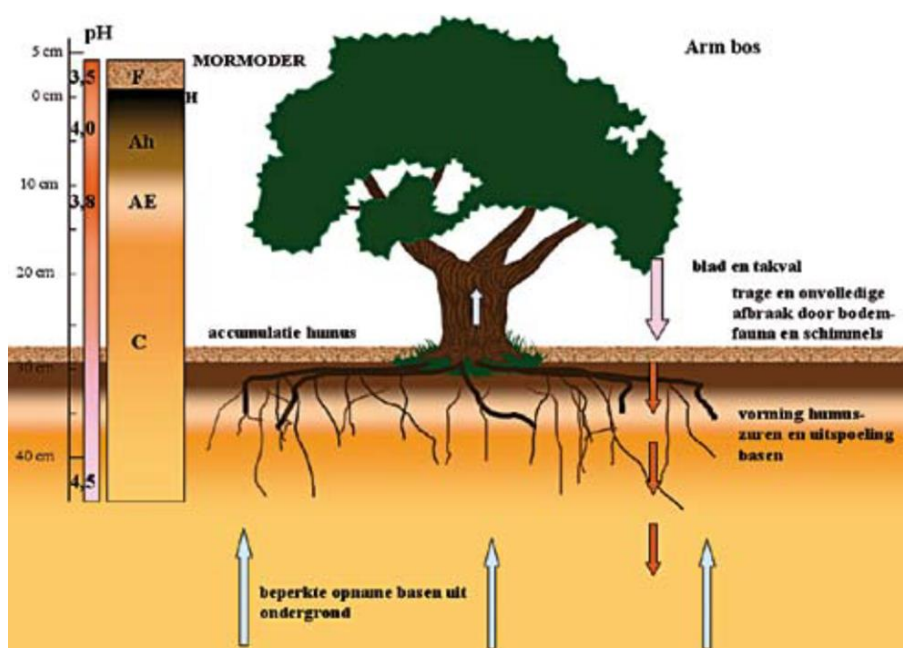
In de jonge bossen op zand komen oplettende bosbeheerders en –ecologen grote verschillen tegen in de ondergroei op eenzelfde zandig moedermateriaal, ook op korte afstand van elkaar in eenzelfde bos. Naast de typische ondergroei van bossen op uitgeloogde bodems komt soms een rijker ondergroei voor met soorten als dalkruid, klaverzuring en salomonszegel. Dit is het gevolg van de twee ontwikkelingspaden die een bos op zand kan inslaan. Op weinig nutriëntenrijke bodems kan de boomsoort beslissend zijn voor de richting waarin het ecosysteem zich ontwikkelt: i.e. een rijk (grotere nutriëntenbeschikbaarheid) of een arm bos (Hommel et al. 2007).

3.5.1 De nutriëntenpomp

Hoe kan op zo een arme zandbodem een voedselrijk systeem voorkomen? Zeker wanneer de eeuwenlange degradatie, de invloed van depositie en de bevoordeling van soorten met verzurend strooisel, heeft gezorgd voor een pH daling van de bodem en vrijkomen van toxische aluminiumionen. Grotere bodemfauna, zoals regenwormen, die verantwoordelijk is voor bodemvermenging verdween hierdoor. Dit leidde tot het stilvallen van verticale nutriëntencycli in de bodem.

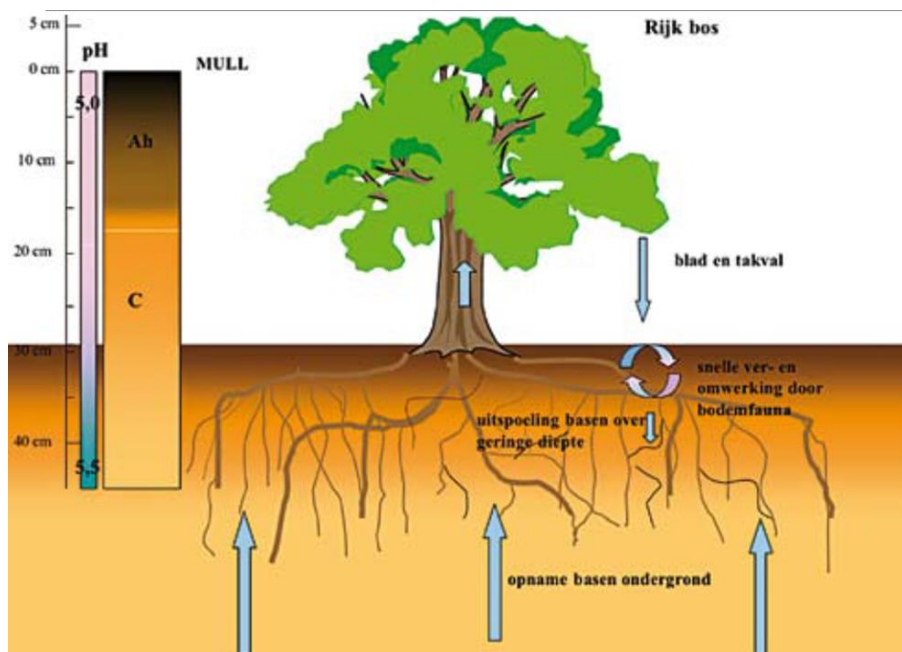
Het herstel van deze cycli, de nutriëntenpomp, wordt gezien als de sleutel om de veer- en draagkracht van de bossen te vergroten en om een structurele verbetering van de biodiversiteit teweeg te brengen. Herstel van de nutriëntenpomp zorgt ervoor dat de nutriënten sneller gaan circuleren waardoor de nutriëntenbeschikbaarheid vergroot. Bovendien worden zo de basen die vrijkomen bij het verweren van mineralen in de ondergrond in beschikbare vorm naar de bovengrond gebracht. keuze van boomsoorten speelt hierbij een doorslaggevende rol.

Basenarm, verzurend strooisel wordt hoofdzakelijk afgebroken door schimmels. Deze afbraak verloopt traag waardoor het strooisel zich bovengronds opstapelt. Bij de afbraak komen humuszuren vrij die uitspoeling van de kationen uit de bovengrond versterken, wat leidt tot de vorming van een podzolbodem (zie figuur 3.3). Op deze arme en verzuurde bodems gedijen slechts een beperkt aantal soorten in de kruidlaag waardoor deze bossen meestal zeer soortenarm zijn (Hommel et al., 2007).



Figuur 3.3 Biochemische cyclus in een arm bossysteem (uit Hommel et al. 2007).

In bossen, gedomineerd door boomsoorten met rijk strooisel daarentegen, nemen de bomen basische kationen op uit diepere bodemlagen die via strooiselafbraak weer beschikbaar komen in de bovengrond (zie figuur 3.4). De hier door bacteriën gedomineerde strooiselafbraak verloopt snel. De hier ook aanwezige meso- (mijten, springstaarten, potwormen, nematoden) en macrofauna (voornamelijk regenwormen en insectenlarven), zorgt voor vorming van stabiele humus waarin nutriënten vastgelegd worden en die door regenwormen doorgemengd wordt in de minerale bodem. De bodem is hierdoor beter gebufferd tegen verzuring, de mineralenbeschikbaarheid neemt toe en de pH van de bodem zal stijgen (Hommel et al., 2007). Deze buffering van de huidige zure bosbodems draagt in sterke mate bij aan een verhoogde draag- en veerkracht van het bosesysteem en een verhoging van de biodiversiteit.



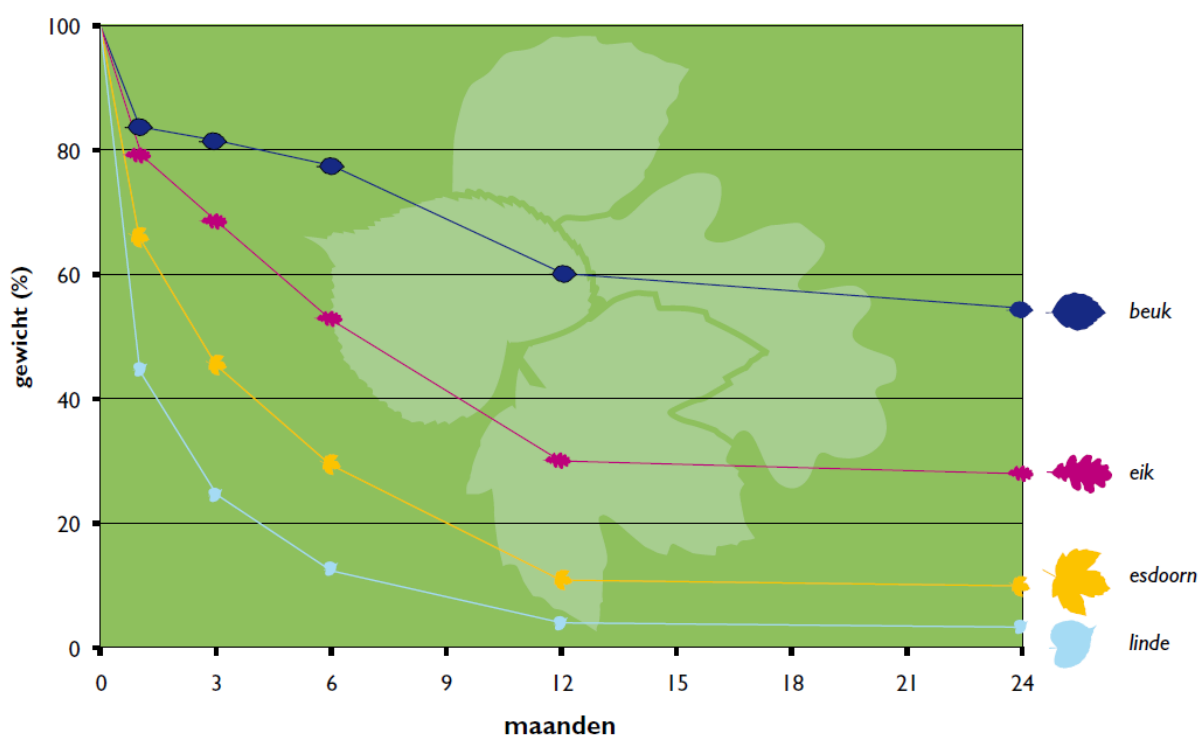
Figuur 3.4. Biochemische cyclus in een rijk, goed gebufferd bossysteem (uit Hommel et al. 2007).

3.5.2 Rijkstrooisel als motor van nutriëntenpomp

Meestal wordt met arm of rijk verwezen naar de bodemtextuur, maar dit alleen is niet doorslaggevend. Op relatief nutriëntenarme bodems, zoals zandgronden, blijken boomsoorten bepalend te zijn voor de ontwikkeling van een ecosysteem in de richting van een rijk of arm systeem (Hommel et al., 2002). Zij oefenen namelijk een beduidende invloed uit op het biogeochemisch circuleren van nutriënten in het bosesysteem via de kwaliteit en kwantiteit van het strooisel. De introductie van boomsoorten met goed afbreekbaar strooisel – ofwel rijkstrooiselsoorten – kan arme, verzuurde bossen met een lage biodiversiteit op termijn omvormen naar meer rijke gebufferde bossen met een hogere biodiversiteit.

Rijkstrooiselsoorten zoals winterlinde en esdoorn hebben een aantoonbaar positief effect op de buffering van de bodem, doordat deze verrijkt wordt met kationen die via de afbraak van strooisel weer in de bodem terecht komen (Hobbie et al., 2006). Van linde is bekend dat deze calcium (Ca) in de bladeren accumuleert, dat vervolgens met de bladval in de strooisellaag terecht komt, waarmee de buffercapaciteit van de bodem verbeterd (Kuiters 1987). Daarnaast beschikken linde en esdoorn over een diep reikend wortelstelsel, waarmee zij nutriënten kunnen opnemen uit diepere bodemlagen die minder of niet zijn aangetast door verzuring en uitspoeling (Kuiters 1987, Baeté 2005). Andere soorten die naast linde en esdoorn een verrijkend effect hebben zijn bijvoorbeeld zoete kers, haagbeuk, gewone es, iep, wilg, lijsterbes, hazelaar, Europese en Amerikaanse vogelkers en populier.

Soorten als grove den, eik, beuk en lariks die nu de bossen op zandgronden domineren produceren nutriëntarm, zuur en moeilijk afbreekbaar strooisel (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5 Soortgebonden verschillen in afbraaksnelheid van bladstrooisel in een experiment waarbij strooisel van verschillende loofboomsoorten werd ingebracht in een dennenbos op arme zandgrond (Muys 1993).

Rijkstrooiselsoorten dragen dus bij aan een hoger aandeel van plantopneembare basische kationen Ca^{2+} , K^{+} , Mg^{2+} en Na^{+} in de humuslaag en minerale bodem. Ze vormen hiermee de basis van de nutriëntenpomp in een rijk bossysteem. De hogere pH waarden die door het hogere aandeel basische kationen ontstaat, geeft bodemfauna de kans zich verder te ontwikkelen. Zij zorgen voor een goede afbraak en vermenging van het strooisel met de minerale bovengrond. Nutriënten in het rijke strooisel komen hiermee beschikbaar voor plantopname. De nutriëntencyclus wordt zo weer sluitend gemaakt. Het herstel van de nutriëntenbeschikbaarheid en een hogere pH zorgt ervoor dat ook meer soorten zich kunnen vestigen in de ondergroei van het bos (Wolf et al., 2006). Waaronder oud bossoorten.

Niettegenstaande de bosomvormings- en bosontwikkelingsmaatregelen van afgelopen decennia die tot meer gemengde bossen geleid hebben, verhindert de huidige boomsoortensamenstelling een succesvolle 'regime shift' naar een rijker boscysteem. De dominante boomsoorten in het kronendak, grove den (*Pinus sylvestris*), zomereik (*Quercus robur*) en beuk (*Fagus sylvatica*), zijn boomsoorten met sterk verzurend strooisel die de bosbodem in het Fe/Al procesdomein houden. Boomsoorten met 'rijk strooisel' als winterlinde (*Tilia cordata*), ratelpopulier (*Populus tremula*), gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*), Noorse esdoorn (*Acer platanoides*), ruwe berk (*Betula pendula*) en Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) produceren daarentegen strooisel dat gemakkelijk

afbreekbaar is en rijk is aan calcium en andere nutriënten (Reich et al., 2005; Schrijver et al., 2012, Desie et al 2020a).

3.5.3 Snelle nutriëntencyclus zorgt voor grotere nutriëntenbeschikbaarheid / recyclage

Rijkstrooisel staat niet enkel voor strooisel rijker aan basen maar ook voor een mechanisme waarin een snelle nutriëntencyclus centraal staat. Wanneer de basen sneller opnieuw beschikbaar komen (en niet ophopen bovenop de minerale bodem) zijn er voor de vegetatie meer basen beschikbaar. Grofweg kan gezegd worden dat strooisel dat in een jaar omgezet wordt drie maal zoveel nutriënten beschikbaar stelt aan de vegetatie als strooisel dat drie jaar op de minerale bodem ligt. Voor een hogere basenbeschikbaarheid hoeven deze niet noodzakelijkerwijze “ergens gehaald te worden”, bijvoorbeeld uit de verwerking van mineralen. De nutriëntenpomp gaat dus niet enkel over het “oppompen” van nutriënten van diepere rijkere lagen maar ook over het efficiënter rondpompen en recycleren van de basen.

Rijkstrooiselsoorten zorgen dus voor een versnelde nutriëntencycli. Wanneer naar een verhoging van de totale voorraden aan nutriënten in de vorm van verweerbare mineralen in het ecosysteem gestreefd wordt kan het toevoegen van steenmeel een oplossing bieden.

3.5.4 Bijkomende voordelen voedselrijk systeem: veerkracht in een droger klimaat

Niet enkel qua nutriëntenbeschikbaarheid hebben rijkstrooiselsoorten een positief effect. Bij de ontwikkeling van een betere bodem als gevolg van de aanplant van rijkstrooiselsoorten neemt ook het humusgehalte in de bodem toe en wordt er meer koolstof vastgelegd in de bodem. Deze toename in het humusgehalte heeft gevolgen voor de mate waarin bodems vocht kunnen vasthouden omdat de veldcapaciteit door adsorptie toeneemt (Olness & Archer 2005). Ook in eigen veldmetingen (Bosgroep Zuid Nederland) blijkt deze relatie en kunnen we een verhoging van de koolstofopslag verwachten die gepaard gaat met een verbetering van de waterretentie. Vergelijkingen tussen podzolen en ontwikkelde bruine bosbodems (van 70–100 jaar) geven een verbetering van ongeveer 10–20% in waterretentie berekend vanuit een relatie tussen organische stof en vochtgehalte in meer dan 50 bodems (Van den Berg 2020).

Het valt op dat de oude boslocaties een grotere veldcapaciteit bezitten dan de jongere. De hoeveelheid water per liter bodem in oude bossen is met gemiddeld 300 ml/L verse bodem in de A horizont een stuk hoger dan die van jonge bossen (220ml/L verse bodem). De reden voor dit verschil is niet alleen humus overigens, ook ‘ouderdom’ zorgt voor de vorming van meer kleimineralen en een beter watervasthoudend vermogen (Van den Berg 2020).

Er is dus een sterke indicatie dat de omvorming van verzurende naar rijkstrooiselsoorten op termijn leidt tot een verbetering van het vochtleverend vermogen van de bodem. Door dit bostype dan ook ouder te laten worden zal er nog meer water vasthouden worden.

3.6 De keuze van de beheerder

De beheerder heeft als twee uitersten in zijn boomsoortenkeuze op zandgronden de keuze tussen een ‘verzurende’ bosontwikkeling en een ‘verrijkende’ bosontwikkeling.

- De **‘verzurende’ bosontwikkeling**, gedomineerd door zuurstrooiselsoorten als beuk, den en eik, leidt op lange termijn tot bostype met een lage nutriëntenbeschikbaarheid



en een laag vochthoudend vermogen in de minerale bodem en waarschijnlijk een lage veerkracht ten aanzien van klimaatverandering.

- De **‘verrijkende’ bosontwikkeling**, gedomineerd door rijkstrooiselsoorten als linde, esdoorn, iep, zoete kers, haagbeuk en hazelaar, leidt op lange termijn tot een bostype met een hogere nutriëntenbeschikbaarheid en een hoger vochthoudend vermogen in de minerale bodem. En daardoor waarschijnlijk een hogere veerkracht ten aanzien van klimaatverandering.

Beide ontwikkelingsrichtingen leveren ecologisch waardevolle bosesystemen op. Goed ontwikkelde voorbeelden van ‘verzurende’ ontwikkeling genieten in Nederland meestal een Natura 2000 bescherming. Goede voorbeelden van ‘verrijkende’ ontwikkeling op zandgrond verkeren meestal nog in een vroege ontwikkelingsfase en zijn in Nederland eerder zeldzaam

De ‘verzurende’ en de ‘verrijkende bosontwikkeling’ zijn twee uitersten op een spectrum. Daartussen ligt een volledig spectrum aan tussenoplossingen:

- Deze **tussenweg** zal in de bosbeheerpraktijk - tenzij er voor groepenkap en heraanplant gekozen wordt – altijd toegepast worden. Bij selectie van bomen in het kronendak worden rijkstrooiselsoorten bevorderd binnen de matrix van zuur strooiselsoorten en in verjonging worden rijkstrooisel struik- en boomsoorten geselecteerd en aangeplant. Geleidelijk neemt zo het aandeel rijk strooisel toe tot een hoeveelheid die bij de beheerdoelen past. Dit betekent niet altijd dat rijkstrooiselsoorten de strooiselproductie domineren. Daar waar een eikenbos gewenst is zal eik het bos domineren, in menging met rijkstrooiselsoorten als linde, zoete kers en berk. En met lijsterbes, vuilboom, hazelaar en berk in de struiklaag.

3.6.1 Waardevolle zure bosesystemen

De ‘oude eikenbossen’, in Natura 2000 benoemd als habitattypen ‘Oude zuurminnende eikenbossen op zandvlakten met *Quercus robur* (H9190)’ en ‘Beuken–Eikenbossen met Hulst (H9120)’ kunnen zeer waardevolle zure bosesystemen zijn. De meeste in Nederland aangewezen bossen van dit type zijn niet heel erg oud.

Deze oude eikenbossen hebben een groot potentieel op de hoge zandgronden. Goed ontwikkelde voorbeelden komen alleen voor op oude bosgroeiplaatsen. Deze kunnen dienen als aanknopingspunt om deze waardevolle systemen uit te breiden in aangrenzend jong bos (Bijlsma 2018). Waarbij het onduidelijk is hoe groot de klimaatveerkracht van deze bossen is. Monitoring van de vitaliteit en onderzoek naar mogelijkheid om hierin bij te sturen is belangrijk.



Figuur 3.6 Oud zuurminnend eikenbos met oude eiken (Foto Lebrac)

3.6.2 Waardevolle verrijkende systemen

Van intermediaire zand-groeiplaatsen – lemig zand, aanwezigheid van klei of leemlenzen, overstoven profielen, gebufferde kwel – is bekend dat de dominantie van rijkstrooiselsoorten in het kronendak een regime-shift van het aluminium- naar het basenbufferdomein mogelijk maakt waarmee een zichzelf verrijkend systeem ontstaat (Hommel 2007, Desie 2019, Desie 2020b).

Een goed voorbeeld van rijkstrooieffecten in een oud bosgebied met een reeds sterk verzuurde bovengrond zien we op de Veluwe bij Doorwerth. Op één en hetzelfde type bosbodem werden hier kort na de oorlog open plekken in een oud eikenhakhout ingeplant met eik, beuk, haagbeuk, esdoorn en linde. Enkele decennia later blijken de verschillen in ondergroei en humusprofiel al bijzonder groot te zijn (Hommel & de Waal 2004). Opvallend hierbij is dat de jonge eiken- en beukenopstanden qua ondergroei en humusvorm niet sterk verschillen van de veel oudere eiken- en beukenopstanden in de directe omgeving. Onder esdoorn en vooral onder linde blijkt zich daarentegen duidelijk een ontwikkeling in de richting van een rijk boscossysteem te voltrekken (Hommel et al 2007)

Uit dit onderzoek blijkt dat de strooiselkwaliteit een grote rol speelt in de basenhuishouding. Onder linde, en mindere mate ook esdoorn en haagbeuk, zijn een hogere basenhuishouding te vinden en een 'rijker' humusprofiel ten opzichte van de oorspronkelijke toestand. Hiervoor diende een oude eikenopstand als referentie. Vooral linde laat een sterke invloed zien,



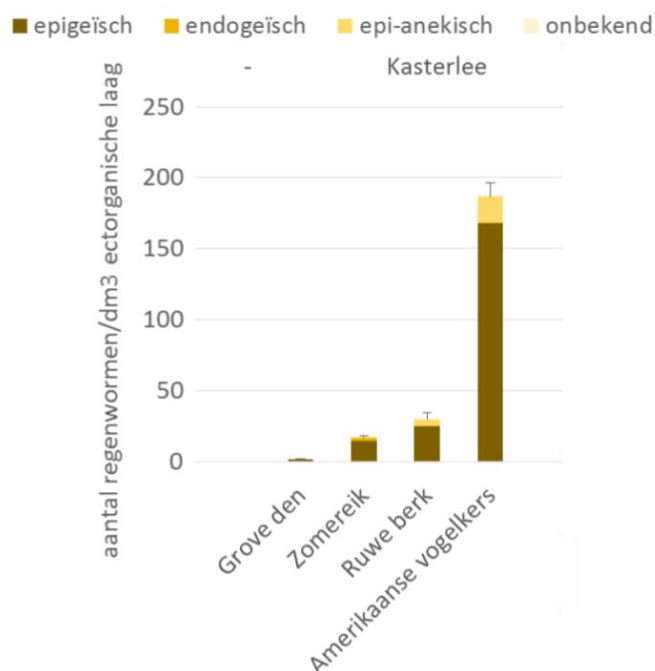
waarbij pH en het calcium gehalte onder de rijkste lindenopstanden significant hoger zijn dan onder de oude eikenopstand.

De kwaliteit van het strooisel heeft een belangrijke invloed op de dikte van de strooisellaag en de ontwikkeling van het humusprofiel. In de opstanden in Doorwerth is een duidelijk verband gevonden tussen humusvorm en diversiteit van bodemfauna. In een van de lindenopstanden heeft zich een rijke mull(-moder) humusprofiel gevormd. Hierin heeft zich een diverse bodemfauna gevestigd en heeft zich een soortenrijke ondergroei ontwikkeld. De esdoorn en overige lindenopstanden hebben zich ontwikkeld tot een moder humusprofiel, dat een middenpositie inneemt tussen de rijke mull en arme mor humusvormen.

De dikste humusprofielen zijn te vinden onder zowel de jonge als oude eiken- en beukenopstanden. De strooiselafbraak hierin wordt gedomineerd door schimmels en mesofauna, wat resulteert in de ontwikkeling van mormoder of zelfs morachtige humusprofielen. De haagbeukenopstand zit betreft strooiselkwaliteit en bodemfaunadiversiteit tussen linde en esdoorn enerzijds, en eik en beuk anderzijds.

Onderzoek aan de humusprofielen onder de verschillende boomsoorten in het pastoorsbosje in Kasterlee toont de ontwikkeling van een mull humusprofiel (oligomull of dysmull) onder de soorten met makkelijker afbreekbaar strooisel (Amerikaanse vogelkers, Noorse esdoorn). Onder overige soorten heeft zich een moder profiel ontwikkeld. Ook de hoeveelheid basische kationen vertoont verschillen als gevolg van de boomsoorten: Grove den, Zomereik en Douglas resulteren in een lage basenverzadiging terwijl de overige soorten en met name Noorse Esdoorn resulteert in een verhoogde basenverzadiging.

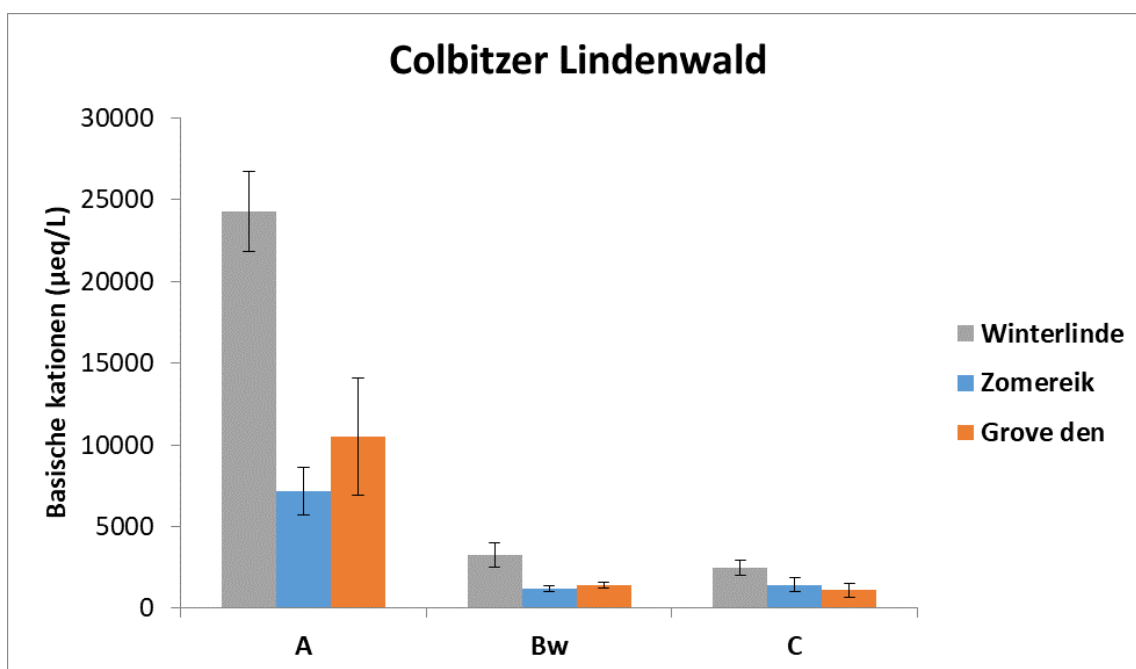
De resultaten lijken sterk op die van het bomenpark te Heeze waarbij ook in Kasterlee de wormen beter vertegenwoordigd zijn onder de soorten met makkelijk afbreekbaar strooisel (figuur 3.7).



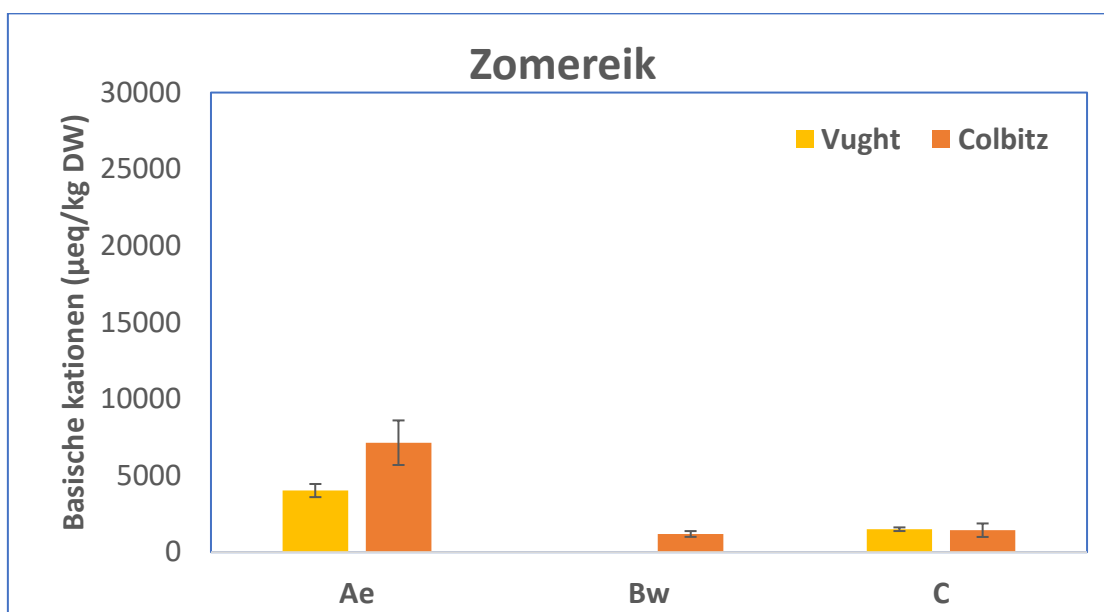
Figuur 3.7 Hoeveelheid aangetroffen regenwormen in verschillende opstanden in het Pastoorsbosje te Kasterlee.

Het 220 hectare grote Colbitzer Lindenwald, nabij Magdeburg (D), is het grootste aaneengesloten lindenbos in midden Europa. Het is ontstaan door de aanplant 200 tot 250 jaar geleden van linden op een deel van de Letzlinger boomheide met een bodem bestaand uit grof zand waarin de pH H₂O nergens hoger ligt dan 4,2 en het grondwater ver onder wortelbereik staat. Tussen de linden komen nog ongeveer 500 jaar oude eiken voor.

Bodemanalysen laten zien dat, in vergelijking met de oude eiken- en grove dennengroepen, onder de lindes meer basische kationen beschikbaar zijn, en dan voornamelijk in de bovenlaag (A-horizont) van de bodem (figuur 3.8). Uit een vergelijking van de gehalten aan basische kationen in het moedermateriaal onder zomereik tussen Colbitz en een eikenopstand in Vught (beide op zand) blijkt dat we met vergelijkbaar moedermateriaal te maken hebben. De beschikbare hoeveelheid kationen onder eik verschilt niet significant. Bovendien is de kationenbeschikbaarheid in de C-horizont vergelijkbaar (zie figuur 3.9). Ook de potentiële hoeveelheid kationen in verweerbare mineralen in het moedermateriaal verschilt nauwelijks (Eigen onderzoek Bosgroep Zuid-Nederland).

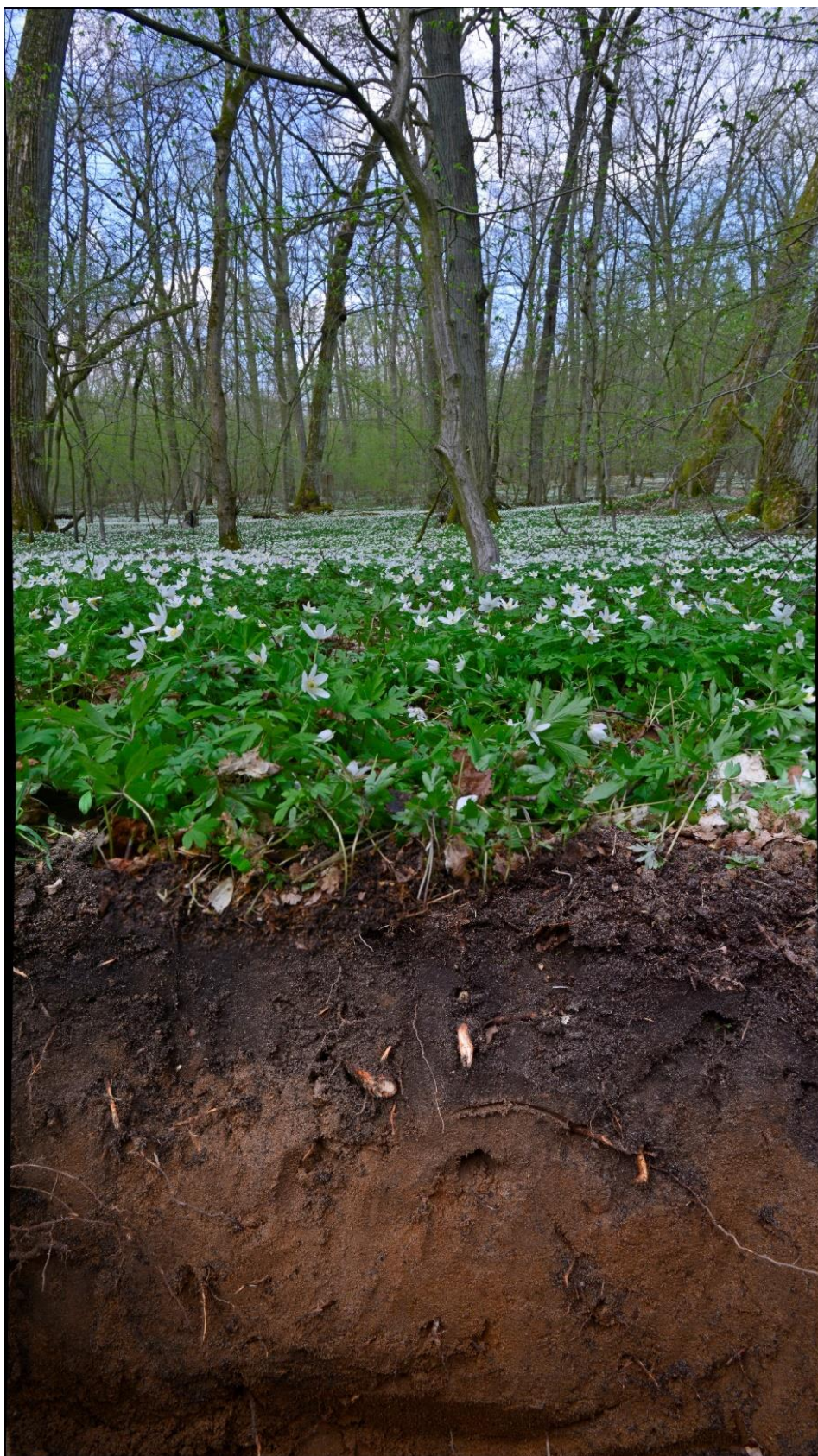


Figuur 3.8 Beschikbaarheid van basische kationen in verschillende bodemhorizonten onder Linde, Zomereik en Grove den in opstanden in het Colbitzer Lindenwald ($n=4$).



Figuur 3.9 Beschikbaarheid van basische kationen in verschillende bodemhorizonten in eiken gedomineerde opstanden in Vught en Colbitz.

Eigen vegetatieopnames in het Colbitzer lindenwald onder linden, eiken en dennen bevestigen eerdere vegetatieopnames (Zerbe, 2004; Kähler, 2003). Daar waar linden domineren heeft zich een typische 'eiken-haagbeuken' flora ontwikkeld terwijl de vegetatie onder verzurende boomsoorten nauwelijks afwijkt van deze in vergelijkbare Nederlandse bossen op zandgrond



Figuur 3.10. Bosanemoon op grof zand onder Linde en Haagbeuk. Colbitzer Lindenwald (D).
(foto Peter Voorn).



3.6.3 Rijk strooisel op arme zandgronden

Juist op arme bosgroeiplaatsen kan een iets betere strooiselkwaliteit bijdragen aan een hogere bodemvruchtbaarheid. Ook is aangetoond dat strooieffecten de bodemverzuring door atmosferische depositie – enigszins – kunnen tegengaan. Beide aspecten zijn juist op de meer voedselarme groeiplaatsen van belang.

Op de armste zandgronden zijn de mogelijkheden voor boomsoortkeuze echter beperkt. Rijkstrooiselsoorten vereisen vaak een betere basenvoorziening van zuurstrooiselsoorten. Hier is de ‘tussenweg’ (zie 3.7) de oplossing; het kiezen voor ‘kwartiermakers’, zuurtolerante ‘quick recyclers’, rijkstrooiselsoorten die op de arme zure zandgronden een geleidelijke bodemverbetering kunnen op gang brengen zodat de meer-eisende rijkstrooiselsoorten zoals winterlinde, iep en haagbeuk op termijn een kans maken. Belangrijke kwartiermakers op arme zandgronden zijn ruwe berk, lijsterbes, vuilboom, boswilg, grauwe abeel, ratelpopulier, hazelaar en Amerikaanse vogelkers. Dit zijn soorten die vaak reeds in het bos aanwezig zijn en recent onderzoek toont het positieve effect bij voldoende rijkstrooisel productie (Van Nevel et al., 2014) (Desie et al., 2020) (Bosch 2020).

Eerste prioriteit op arme zandgronden is dan ook het stimuleren van een struiklaag en de spontane ontwikkeling naar loofhout met rijk strooisel zoals berk in grove dennen- eiken en beukenbossen. Een geslaagde aanplant van enkele lindes, esdoorns en iepen verzekert de aanwezigheid van hun zaad wanneer de bodem daar aan toe is. Esdoorn is zuurtolerant en stelt minder eisen aan de nutriëntenvoorziening dan winterlinde en iep.

3.6.4 Is herstel bruine bosgrond mogelijk?

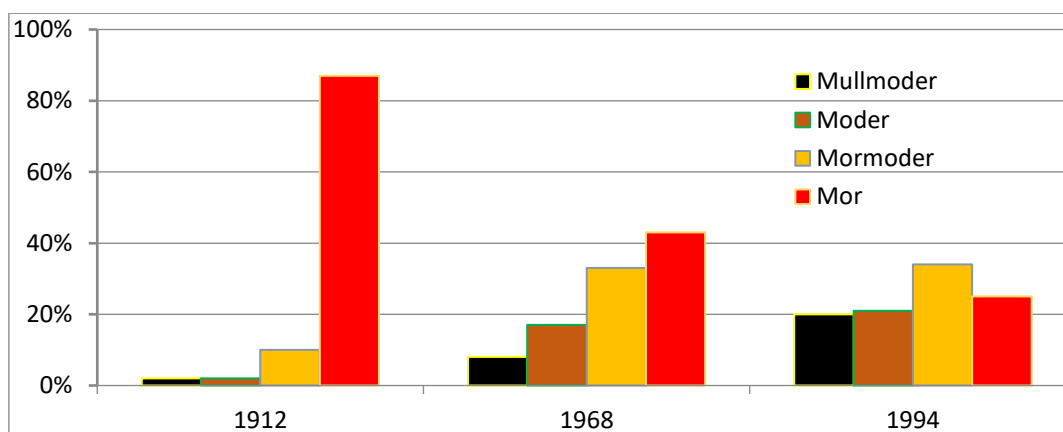
De inmenging van stabiele humus in de minerale bodem door regenwormen leidt geleidelijk aan tot herstel van een ‘Bruine bosbodem’. Deze ontwikkeling valt waar te nemen onder oude rijkstrooiselsoorten (zie figuur 3.11). Of deze ontwikkeling beperkt blijft tot de bovenste decimeter van de minerale bodem – het bereik van woelende regenwormen – dan wel zich doorzet naar grotere diepten – door diepgravende regenwormen – is nog nooit onderzocht en daardoor onbekend.



Figuur 3.11 Herstel van bruine bosbodem door inmengen van stabiele humus onder een 70 jarige linde in eikenbos op humuspodzol. De grijze uitspoelings-horizont onder de eiken (links) is omgezet in een 10 tot 15 cm dikke bruine bosgrond.

3.6.5 Kan dat ook in bos met productie?

Het Sauener Wald, op leemarm tot lemig zand laat zien dat middels gerichte maatregelen een grote mate aan bodemherstel ook in bos met een productiefunctie mogelijk is. In 1912 was over bijna 90% van de oppervlakte van dit 700 ha grote bos mor-humus te vinden (zie figuur 3.12). Sinds 1913 is men begonnen met de omvorming van de dennenplantages naar gemengd bos door onderplanten met loofhout. Tijdens een inventarisatie in 1968, toen de aangeplante boomsoorten het kronendak bereikten, bleek het aandeel mor teruggebracht naar ruim 40%. Deze ontwikkeling bleek zich door te zetten. Namelijk tijdens de inventarisatie van 1994 was het aandeel Mor teruggebracht tot 25% en werd de rest van het oppervlakte bedekt door rijkere humusvormen (Bergmann, 2001; Höppner 2011).



Figuur 3.12 Humusontwikkeling in het Sauener Wald (naar Bergmann 2011).

De Mor-humus – die bijna 90 % van het oppervlakte bedekte – is vervangen door humusvormen waarin het strooiselpakket grotendeels door bodemfauna omgezet wordt en de humus en mineralen in de bodem opgeslagen worden. Een eeuw bosontwikkeling heeft in het multifunctionele Sauener Wald geleid tot een forse toename van de gemiddelde bijgroei. Deze bedroeg in 1912 6m³/ha en steeg naar 12m³/ha in 2013 (Müller 2014). Belangrijkste oorzaken hiervoor zijn de verbeterde nutriënten- en vochtvoorziening en de sterk toegenomen gelaagdheid van het bos.

3.6.6 De keuze is aan de beheerder

Dit geeft de beheerder op zand-groeiplaatsen een effectief middel in handen om de ontwikkeling van bosbodem en ondergroei te sturen. Dit blijkt dit niet alleen te werken op rijkere zandgronden maar ook op armere, waarbij daar de ontwikkeling langzamer gaat en het ook nog onzeker is of een regime-shift van aluminium naar basenbuffering haalbaar is. Ook wanneer wij oude, door eenzijdige boomsoortkeuze en/of atmosferische depositie verzuurde bosbodems willen proberen te herstellen, kan het inbrengen van boomsoorten met rijk strooisel leiden tot een aanzienlijke verbetering van de bodemkwaliteit. (Hommel 2007)

3.6.7 Het creëren van veerkrachtige bossen

Onder de huidige bedreigingen van bosesystemen, waaronder de stikstofdepositie en klimaatverandering de belangrijkste zijn is er een sterke indicatie dat de veerkracht van bosesystemen op zandgronden versterkt door het ‘verrijkende’ alternatieve ontwikkelingspad.

Het rijkstrooiselmechanisme zorgt voor een diepere inmenging en stabiele opslag van humus in de bodem. Hetgeen leidt tot een verhoogde nutriëntenbeschikbaarheid en een verhoogde vochtbeschikbaarheid in de minerale bodem. Bovendien zorgt de rijkstrooiselonntwikkeling, door een verhoogde basenbeschikbaarheid voor een gedeeltelijk herstel van het onevenwicht dat veroorzaakt wordt door de voortgaande stikstofdepositie. Het ‘verzurende’ ontwikkelingspad loopt het risico vast te lopen in afnemende nutriënten- en vochtbeschikbaarheid. Het eikensterven zou daar een vooraankondiging van kunnen zijn.



4 Aanpak bosrevitalisering

Vitaal bos is bos dat nu én in de toekomst duurzaam de door ons gewenste ecosysteemdiensten kan leveren, ook wanneer het klimaat veranderd. Hiervoor moeten onze boscossystemen weerbaar en veerkrachtig ingericht worden. Dit betekent:

1. Dat de bossen weerbaar zijn tegen extreme omstandigheden (zoals droogte, storm, nieuwe boomziekten of massaal voorkomen van plaaginsecten).
2. De bossen in staat zijn te herstellen na het plaatsvinden van catastrofes (bijvoorbeeld uitvallen van boomsoorten, bosbrand of (lokaal) verdwijnen of verschijnen van soorten)
3. De bossen in staat zijn zich aan te passen aan onzekere toekomstige omstandigheden (bijvoorbeeld minder neerslag en hogere temperatuur, vestiging van nieuwe soorten, toename van ziektes en plagen, of een veranderende houtmarkt).
4. Dat bossen, wanneer het beheer gestaakt wordt, zich onder het veranderende klimaat ontwikkelen naar zelfregulerende natuurbossen.

Om te zorgen dat bossen weerbaar en veerkrachtig zijn dienen een aantal randvoorwaarden in acht genomen te worden. Deze randvoorwaarden voor vitaal bos gelden voor alle bossen onafhankelijk van de gewenste ecosysteemdiensten. Dus net zo goed voor multifunctioneel bos als voor natuurbos. Daar waar dit in de uitwerking verschilt wordt dit aangegeven.

4.1 Landschap

Nederlandse bossen staan momenteel onder invloed van verschillende processen die de gezondheid van de bossen negatief beïnvloeden, namelijk verdroging, vermessing, verzuring, mondiale verspreiding van ziekten en plagen en klimaatverandering (zie hoofdstuk 1). Dit zijn grotendeels onderwerpen die de regio van een bepaald bos te boven gaan en die enkel met externe maatregelen aangepakt kunnen worden. Ze liggen buiten de reikwijdte van een individuele bosbeheerder, maar voor de vitaliteit van het Nederlandse bos is verlaging van atmosferische depositie, optimalisatie van de hydrologische situatie essentieel. Aanpak van deze situatie via gebiedsprocessen is vaak een voorwaarde voor het inzetten van revitalisering. Ook de beperking van klimaatverandering is van groot belang. Zonder oplossing van deze problemen zorgen de onderstaande maatregelen weliswaar voor een verlichting van de problematiek, maar ligt een duurzame situatie niet binnen handbereik.

4.1.1 Landschap en water

De hydrologische situatie van een bosgebied is vaak niet gericht op het functioneren van het bos en de natuur, maar op waterbelangen in de omgeving. Nabij bewoning en landbouw wordt het waterpeil vaak op een lager niveau gehouden dan nodig voor de bossen, wat de vitaliteit en biodiversiteit meestal niet ten goede komt. Hoog gelegen zandgronden kunnen geheel regenwatergevoed zijn en onafhankelijk van peilbeheer, maar nabij gelegen gebieden waar het waterpeil niet te hoog mag kunnen het grondwater in de bossen beïnvloeden. In veel bosgebieden kan niet alleen voor het bos maar ook voor de regio winst behaald worden door het vermogen om water vast te houden te vergroten en zo bijvoorbeeld piekafvoeren te verminderen. Vaak is de vitaliteit van bos is het beste geborgd onder een natuurlijk (grond)waterregime. Boscossystemen zijn aangepast aan de grondwaterdynamiek op specifieke plekken in het landschap, inclusief periodieke droogte of inundatie. De aanvoer

van kwel- of rivierwater is daarnaast een essentieel onderdeel van de mineralenhuishouding van verschillende bostypen.

Ten behoeve van duurzaam vitaal bos is veelal een integrale watersysteembenadering op landschapsschaal noodzakelijk. Een herordening van functies en grondgebruik is plaatselijk waarschijnlijk noodzakelijk om te komen tot een duurzaam watersysteem.

4.1.2 Schaal, buffering en verbinding van bosgebieden

Kleinere bosgebied en beperkte verbinding van bossen is één van de problemen voor de overleving en verspreiding van bossoorten. Een klein bosgebied maakt populaties kwetsbaar. Door geïsoleerde ligging van de bossen kunnen bovendien bosplanten (Baeten et al., 2009) en andere soorten met beperkte mobiliteit deze niet bereiken. Het verbeteren en inrichten van het natuurnetwerk is van belang om soortenuitwisseling mogelijk te maken en vitaliteit van populaties zo te vergroten. In tijden van klimaatverandering maakt dit bovendien migratie mogelijk. Het belang van de schaal van een bosgebied wordt door klimaatverandering verder vergroot. De veranderingen zijn binnen een gebied beter op te vangen als er verschillende bostypen langs een gradiënt aanwezig zijn die zodoende met de klimaatverandering langs deze gradiënt kunnen meebewegen.

Door een goede keuze van de locaties en soorten voor bosuitbreiding kan nieuw bos ook een belangrijke meerwaarde zijn voor de revitalisering van bestaand bos. Met nieuw bos kan de ruimtelijke configuratie en buffering tegen externe drukken van de huidige bossen verbeterd worden. Buffering van bestaande boskernen via bufferstroken van nieuw bos kan in belangrijke mate stikstofdepositie wegvangen en deze zones kunnen de overgangsgebieden vormen voor de opbouw van een bosmicroklimaat in de oude kern van het bos. Het gaat niet alleen om uitbreiding in rond een boskern, maar ook door inbreiding kan de situatie voor het bos sterk verbeterd worden als enclaves met een sterk negatieve invloed op het bos omgevormd kunnen worden. Daardoor kan de externe druk op het bos sterk verminderd worden en de bosstructuur te versterkt.

4.2 Abiotiek

4.2.1 Hydrologie

Verdroging van bosgebieden afgelopen jaren steeds duidelijker is geworden. De droge zomers van de afgelopen jaren maken de problematiek extra duidelijk. Grondwater is bovendien zeer belangrijk voor de basenvoorziening. Daarnaast is verhoogde infiltratie van neerslag noodzakelijk voor grondwateraanvulling en kwelherstel. Die kwel is randvoorwaarde voor de realisatie van kwelafhankelijke habitats elders in het landschap.

Vaak zijn voor een degelijke hydrologisch herstel ingrepen op landschapsschaal noodzakelijk, maar ook herstelmaatregelen in het terrein zelf zoals het aanpakken van detailontwatering is belangrijk (Van der Burg et al., 2016). Aanpassing van de hydrologie van een bos vereist vakmanschap, omdat bij te snelle of ondoordachte wijzigingen waardevolle stukken bos onnodig beschadigd kunnen raken (Olsthoorn et al., 2003). Aanpassingen aan de waterhuishouding in een gebied vereisen daarom veelal een degelijke systeemanalyse.

In het bijzonder op zandgronden kan het vochtleverend vermogen van de minerale bodem fors vergroot worden door toename van het humusgehalte. De geëigende maatregel hiertoe is de aanplant van rijkstrooiselsoorten, al dan niet in samenhang met het toepassen van steenmeel.

4.2.2 Nutriëntenhuishouding

De nutriëntenhuishouding in bossen staat onder invloed van stikstofdepositie, beheergeschiedenis en de huidige boomsoortensamenstelling onder druk op de armere bosgroeiplaatsen. Eeuwenlange verschraling door menselijk gebruik, aanleg van monocultures en specifiek soortenkeuze wordt door de atmosferische depositie verergerd. Plaatselijke sterfte van nog jonge eiken (Lucassen et al., 2014; Oosterbaan & Bobbink, 2015) en bijvoorbeeld achterblijvend broedsucces van mezen (Van den Burg, 2017) lijken hier hun oorzaak in te vinden.

Oplossingen buiten het terugdringen van de externe problemen worden gezocht in het herstellen van de voedingsbalans door nutriëntengift en door het opnieuw op gang brengen van de nutriëntenpomp. Door het bodemgebruik in het verleden en stikstof depositie zijn vooral de droge zandgronden inmiddels sterk aangerijkt met stikstof terwijl andere belangrijke voedingstoffen niet langer beschikbaar zijn door uitspoeling of afvoer. Door nutriëntengift kan de beschikbaarheid van verweerbare nutriënten weer worden aangevuld. Op dit moment worden experimenten uitgevoerd met het uitstrooien van steenmeel. Hiervan wordt een gestaag en langdurige beschikbaar komen van kationen verwacht dankzij de verwerking van het steenpoeder. De eerste resultaten zijn positief en laten een verbetering van de bodem- en bladchemie zien, maar er is nog geen duidelijkheid over het langetermijneffect rond het onderwerp (Vries et al., 2019). Maar experts als R. Bobbink geven aan geen problemen te verwachten.

Naast herstel door nutriëntengift kan de bodem ook verbeterd worden door het herstel van de nutriëntenpomp door wat ook wel het linde-effect wordt genoemd (Hommel et al., 2007). Recent onderzoek laat zien dat het bijmengen van boomsoorten met basenrijk strooisel een positief effect kan hebben op vitaliteit, productiviteit en veerkracht (Desie et al., 2020) (Bosch 2020). Omdat de aanplant van rijkstrooisel boomsoorten op arme gronden niet eenvoudig is, lijkt een combinatie van bevorderen van reeds aanwezige rijkstrooiselsoorten, aanplant van ontbrekende rijkstrooiselsoorten, aanvullen van nutriënten tekort en introductie van bodembiota het meest kansrijk (Desie et al., 2020).

4.2.3 Herintroductie bodembiota

Introductie van bodembiota levert mogelijk een bijdrage aan duurzaam herstel van de productiviteit (Muys et al., 2003). Deze maatregelen zullen uiteindelijk ook hun uitwerking hebben op de humuslaag, waar het organische stofgehalte zal toenemen. Dankzij een hoger organische stof gehalte neemt ook de capaciteit om water vast te houden toe wat de vitaliteit en veerkracht van onze bossen zal versterken. Gecombineerd leiden deze maatregelen tot een vitaler en veerkrachtiger bos met een hogere productiviteit en koolstofvastlegging.

4.3 Biotiek

4.3.1 Naar soortenrijke gemengde bossen

Gemengde bossen faciliteren niet alleen meer biodiversiteit, maar voor veerkrachtige bossen zijn soortenrijke gemengde bossen noodzakelijk. Essentaksterfte en de droogtestress van fijnspaar heeft de afgelopen jaren laten zien hoe oppervlakttes bos volledig ten prooi kunnen vallen aan een ziekte of plaag wanneer dit gedomineerd wordt door één soort. Door in te zetten op soortenrijkdom kan in de toekomst voorkomen worden dat door een soortspecifieke plaag opstanden volledig verloren gaan. Een bijkomend voordeel is dat gemengde bossen een hogere productiviteit kunnen brengen dan monocultures (Lu, 2017).

Werken met gemengde opstanden met minimaal drie belangrijke boomsoorten kan catastrofale gevolgen door bijvoorbeeld plagen voorkomen. Veerkracht kan daarnaast ook vergroot worden door binnen een soort voldoende ruime diversiteit aan genenbronnen in het bos te behouden of te introduceren (Vander Mijnsbrugge et al., 2017). Aanbevolen herkomsten zijn in Nederland te vinden op de Rassenlijst bomen. Onderzoek moet de komende jaren uitwijzen welke herkomsten van boomsoorten op de Nederlandse rassenlijst het beste kunnen omgaan met de gevolgen van klimaatverandering zoals bijvoorbeeld droogte. In het licht van de voorspelde klimaatwijziging wordt internationaal erkend dat bosplantsoenen niet enkel aangepast moet zijn aan de lokale groeiomstandigheden, maar dat de genetische diversiteit ook best zo hoog mogelijk is (Vander Mijnsbrugge et al., 2017). Daarnaast is natuurlijke selectie via natuurlijke verjonging ten tijde van klimaatsverandering van groot belang om bossen veerkrachtig te houden. Naast de voordelen voor de natuurwaarden en veerkracht van het bos vermindert een gemengd bos met een substantieel aandeel loofhout ook het risico op bosbrand.

4.3.2 Geassisteerde migratie

In het kader van klimaatverandering wordt ook geassisteerde migratie experimenteel overwogen (Hoegh-Guldberg et al., 2008). Het inzetten op soorten en herkomsten die vlakbij hun meest noordelijke verspreidingsgebied hebben en het verminderd gebruiken van soorten die hier hun zuidelijke verspreidingsgebied hebben is een mogelijke strategie (Demey et al., 2015). Er wordt actief gezocht naar mogelijke alternatieve boomsoorten waarmee de productiviteit van bossen op peil gehouden kan worden. Hierbij is het van belang om resultaten van introducties uit het verleden in kaart te brengen en ook te screenen welke soorten mogelijk al in Nederland aanwezig zijn en enige vorm van aangepastheid vertonen. In zuidwest Duitsland is de verwachting dat ook bij optimistische klimaatscenario's de groeiplaatsgeschiktheid van de belangrijkste boomsoorten zal afnemen. Alternatieven voor belangrijke productieboomsoorten worden gezocht tussen zowel bomen uit nabij gelegen gebieden als uit andere werelddelen. (Avila & Albrecht, 2017). Om voorbereid te zijn op de toekomst en een functioneel Nederlands bos voor de volgende generaties te waarborgen is het belangrijk om zowel voor de hand liggende Europese boomsoorten en herkomsten als soorten en herkomsten van elders te toetsen op hun geschiktheid voor de Nederlandse situatie, waarbij steeds een zorgvuldige afweging van te verwachten voordelen en al dan niet te voorzienbare nadelen (oa. screening en monitoring op potentiële invasiviteit een voorwaarde is).



4.3.3 Oudbosplanten: verrijking en indicator

Waardevolle soortenrijke bossen worden vaak ook gekenmerkt door het voorkomen van oud bosplanten. Verspreiding van oud bosplanten is traag. De verspreidingssnelheid van bosanemoon wordt bijvoorbeeld geschat op 0,8 meter per jaar (De Keersmaecker et al., 1999) of ergens tussen de 5 en 85 meter per eeuw (Verheyen et al., 2004). Herintroductie van bosplanten kan overwogen worden voor de ontwikkeling van bosvegetaties (Baeten et al., 2009). Succesvolle herintroductie van oudbosplanten na het herstel van de randvoorwaarden is een indicator voor het succes van de bosontwikkelingsmaatregelen. Aanwezigheid van boomsoorten met goed afbreekbaar bladstrooisel (Luc De Keersmaecker et al., 2010) en een aandeel schaduwboomsoorten (Baeten et al., 2009) of een goed ontwikkelde struiklaag (Verheyen et al., 2004) dragen bij aan dit succes.

4.4 Beheer

Natuurbos en multifunctioneel bos hebben een deels andere hoofddoelen en daarmee deels een ander gebruik of beheer. In dit deel worden aanbevelingen gedaan ter aanpassing van huidige beheerpraktijk om tot een veerkrachtiger bos te komen. Een breed pakket aan maatregelen komt hierbij aan de orde, de meeste maatregelen zijn op alle bossen van toepassing onafhankelijk van de gebruiksdoelen. Daar waar het voorgesteld beheer alleen van toepassing is op multifunctioneel bosbeheer wordt dit aangegeven.

De bossenstrategie stelt zich al tot doel de huidige 25% natuurbos, primair gericht op het herstel van biodiversiteit, te versterken (*Ambities en doelen van Rijk en provincies voor de Bossenstrategie*, 2020). In Natuurbos is het beheer primair op gericht op het ontwikkelen van karakteristieke bosbiodiversiteit. Welk aandeel hierin beheerd natuurbos respectievelijk zelfregulerend natuurbos hebben is niet gespecificeerd. Voor onbeheerd natuurbos (bos met 'niet-doen-beheer') speelt beheer natuurlijk alleen een rol in de ontwikkelingsfase naar zelfregulerend 'oerbos'. Ook hier zijn revitaliseringsmaatregelen aan de orde om eenzijdige structuur en samenstelling ten gevolge van voormalig gebruik te doorbreken en de bossen voor te bereiden op het veranderende klimaat (zie ook 2.7). Middels een OAD netwerk (zie verder) beogen we ook in multifunctioneel bos de kwaliteiten van zelfregulerend bos te verankeren.

4.4.1 Kleinschalig bosbeheer met van behoud bosklimaat

Onder bos heerst een gedempt klimaat, doordat zoninstraling al hoog in de vegetatie voor een deel wordt opgevangen. Enkel gefilterd licht en gedempte hittestraling kan de lagen onder de bovenste kroonlaag bereiken. In het bos is het daarom minder heet, minder licht en er staat minder wind. De bosbodem droogt daardoor minder snel uit, er is minder uitspoeling, en planten en dieren hebben minder last van hittestress. Een toenemende overscherming dempt in bossen de opwarming van het klimaat (Zellweger et al., 2020). Bosbeheer moet daarom ernaar streven om dit bosklimaat zoveel mogelijk te behouden en zo mogelijk te versterken. Dit kan met kleinschalig bosbeheer waarbij de kroonlaag zo lang en zo veel mogelijk behouden blijft.

Zeker voor de biodiversiteit is het van belang om niet enkel in te zetten op kleinschalig uitkapbeheer. Voldoende uitgestrekte zones met nietsdoen, maar ook tijdelijke of

permanente open plekken zijn een belangrijk onderdeel van het boslandschap waar verschillende soorten hun plek vinden (Vandekerkhove, 2019a; Wijdeven, 2020).

4.4.2 Bosstructuur versterken, horizontaal en verticaal

Het voorkomen van jonge en oude bomen onder elkaar en naast elkaar in een bos maakt het meer robuust en veerkrachtig. Een goed ontwikkelde bosstructuur biedt minder aangrijpingspunten voor wind en plagen. Een gelijkjarige monocultuur kan door storm geheel verloren gaan, doordat als de wind eenmaal grip heeft alle bomen mee kunnen gaan. Bij een bos met complexe bosstructuur is veel minder waarschijnlijk dat de wind zo goed grip krijgt op een deel van het bos en als dit gebeurt blijven de lagen onder de kroonlaag meestal grotendeels ongeschonden. Mocht dan toch een deel omwaaien dan staan jongere generaties al klaar om het stokje over te nemen.

4.4.3 Bosverjonging

In vitaal bos komt verspreid over het bos, zowel op open plekken als onder het kronendak, continue verjonging op van verschillende boom- en struiksoorten. Voldoende aanwezigheid van jonge bomen zorgt er voor dat de ecosysteemproductiviteit (en daarmee koolstofvastlegging) voortdurend op peil blijft, er op duurzame wijze geoogst kan worden en dat de bosbeheerder de mogelijkheid heeft om te selecteren ten behoeve van kwaliteitshoutteelt en versterking van de boomsoortenmenging en dat de genetische diversiteit van de boompopulaties in ontwikkeling blijft en vergroot kan worden. Natuurlijke selectie en verjonging is van groot belang voor veerkrachtige bossen ten tijde van klimaatverandering.

4.4.4 Aandeel oude, aftakelende, dode bomen en openheid versterken

Een belangrijk deel van de bosgebonden biodiversiteit is gebonden aan de aftakelingsfase van bomen en bossen. Tot vijftig procent van de 2500 geledpotigen bossoorten die naar schatting in Nederland leven zijn afhankelijk van dood hout voor een of meer van hun ontwikkelingsstadia. Voor paddenstoelen geldt dat 25% van de circa 3500 Nederlandse soorten aan dood hout gebonden zijn (Jagers op Akkerhuis et al., 2005). Veel van deze soorten vereisen de geslotenheid van het bosmicroklimaat. Tegelijk zijn er ook licht- en warmteminnende bossoorten waarvoor de aanwezigheid van openheid belangrijk is (Schoonderwoerd & Dolstra, 2009; Vandekerkhove, 2019b).

Om de ontwikkeling van een netwerk van oude, aftakelende en dode bomen en open delen duurzaam de ruimte te geven in multifunctionele bossen kan dit expliciet in het bos worden begrensd en vastgelegd. Door het zoneren van verspreide bosrefugia (grote bosreservaten en kleinere verouderingseilanden) gecombineerd met habitatbomen en boomgroepen krijgen deze waardes de ruimte zich te ontwikkelen (Nyssen & Wijdeven, 2019). Op die oppervlaktes wordt niet langer ingegrepen en doorlopen bomen hun volledige cyclus.

4.4.5 Wildbeheer

Begrazing door wilde hoefdieren heeft een groot effect op de boomsoorten-samenstelling in het Nederlandse bos (Kuiters & Slim, 2002; Ramírez et al., 2019). Dat geldt vooral als er sprake van overbegrazing of begrazing door geïntroduceerde grote grazers in combinatie met het ontbreken van predatie of wildstandsbeheer. Waar naast reeën ook



edelherten voorkomen krijgen eik, lijsterbes, berk, wilg of trilpopulier niet of nauwelijks de kans op te groeien en verschuift de soortensamenstelling naar naaldbomen, Amerikaanse vogelkers en beuk, die veel minder last van begrazing hebben (Gill, 1992; Kuiters & Slim, 2002). Onder invloed van begrazing kan zo de ontwikkeling naar loofbos of een hoger aandeel rijkstrooisel-soorten geblokkeerd worden (Ramirez et al., 2020). De huidige populatie hoefdieren op de Veluwe wordt als te groot gezien voor behoud en ontwikkeling van de habitattypen waarvoor de Natura-2000 gebieden zijn aangewezen. Verjonging van loofboomsoorten die hier wel verwacht worden blijft uit, terwijl uitheemse boomsoorten sterk toenemen (Den Ouden et al., 2020). Voor de introductie van loofboomsoorten wordt door beheerders daarom veel gebruik gemaakt van rasters of individuele boombescherming. Het plaatsen van deze bescherming kost vaak een veelvoud van de aanplant (Van Lommel, 2018) en is in een regulier beheerbudget onbetaalbaar (vergelijk Kroot, 2019). Daarbij wordt bij begrotingen vaak de kosten voor het opruimen niet eens meegenomen.

Een alternatief voor het beschermen van de aanplant is jacht. Het beheren van de populatie wilde grazers wordt wel als voorwaarde voor natuurvolgend bosbeheer (Kuper & Swart, 2018) en behoud en ontwikkeling van N2000 habitattypen gezien (Den Ouden et al., 2020). Waar een aangepaste graasdruk vooral zorgt voor extra structuur en dynamiek kan een hoge begrazingsdruk de boomsoortensamenstelling, structuur en zelfs het voorkomen van oud bosplanten negatief beïnvloeden. Vertrapping en selectieve begrazing kan leiden tot verdwijnen van soorten (De Keersmaecker et al., 2010). Bosecosystemen worden sterk beïnvloed door wilde hoefdieren en kunnen door hun aanwezigheid in een vroeg successiestadium gedomineerd door lichtboomsoorten blijven. Deze effecten worden versterkt met toenemende aanwezigheid van wilde hoefdieren, waardoor het beperken van hun voorkomen de veerkracht van bossen zou kunnen vergroten (Ramirez et al., 2020).

Door schillen en vegen van het gewei wordt daarnaast in multifunctioneel bossen de potentiële houtkwaliteit van de verjonging verminderd. Dit heeft een negatieve impact op de toepassing van het hout in hoogwaardige houttoepassingen met een lange levensduur. Hierdoor zal de koolstof in het hout(product) ook relatief kort opgeslagen blijven. Daarnaast wordt het substitutie-effect verminderd, omdat de uiteindelijk geproduceerde houtproducten minder geschikt zijn voor de vervanging van fossiele producten zoals kunststof, beton en staal.

Het verlagen van de wilddruk is op veel plekken een voorwaarde voor gemengd veerkrachtig bos en kan via een generieke standsverlaging of door een meer gedifferentieerde aanpak, waarbij lokaal of regionaal de wildstand wordt verlaagd. Aanbevolen wordt om direct waarneembare ecologische effecten in het bos de maatstaf te laten zijn voor het afschot (Den Ouden et al., 2020).

4.4.6 Bodembescherming/exploitatie

Bescherming en ontwikkeling van de bodem is een belangrijke voorwaarde voor veerkrachtig bos. Daarom is het van belang dat ook bij bosbeheermaatregelen voorzichtig met de bodem wordt omgesprongen. Bij deze maatregelen wordt regelmatig gebruik gemaakt van zwaar materieel waarvan sporen in het bos achterblijven. Over de effecten van de bodemcompactie en vervorming die door het berijden van het bosoppervlak wordt veroorzaakt worden zijn nog veel vragen (Kremers & Boosten, 2018), maar dat deze sporen soms nog 10-tallen jaren in de bodem terug te vinden zijn en dat ze invloed hebben op

bodemfauna, mycoflora en de groei van de vegetatie staat vast (Ampoorter, 2011; Kremers & Boosten, 2018). Bijvoorbeeld door gebruik te maken van vaste dunningspaden kan de bodemcompactie en vervorming beperkt blijven tot een klein deel van het bos (Delforterie, 2017; Potvliet & Delforterie, 2016). In de bosbeheerpraktijk is er behoefte aan meer kennis en ervaring over de hoe de bodem het best beschermd kan worden bij boswerkzaamheden (Kremers & Boosten, 2018)

4.4.7 Oogst in relatie tot behoud (en ontwikkeling) voorraad nutriënten (en ecologisch functioneren)

Bij de oogst van bomen worden de nutriënten afgevoerd die als bouwstenen zijn opgeslagen in de biomassa die uit het bos wordt meegenomen. Op de armere groeiplaatsen zijn er al tekorten aan bepaalde voedingstoffen en komen deze door verwerking en atmosferische depositie slechts traag opnieuw beschikbaar. De afvoer moet daarom afgestemd zijn op de draagkracht van het ecosysteem (Bonten et al., 2015; De Keersmaecker et al., 2016). Niet alleen vanwege nutriëntentekorten, maar ook voor de aanwezigheid van dood hout. Dunning en oogst gaat per definitie ten koste van het ontstaan van dood hout, waardoor hier bij actief beheer bewust op gestuurd moet worden, door minder hout uit het bos te halen dan de bijgroei en bijvoorbeeld door de aanleg van een ecologisch netwerk.

4.4.8 Beperkte terreinvoorbereiding

Om natuurlijke verjonging te stimuleren of aanplant eenvoudiger te maken wordt terreinvoorbereiding uitgevoerd, meestal voorafgegaan door groepenkap. Door terreinvoorbereiding verbeteren de kiemkansen voor verschillende boomsoorten en kan plantwerk sneller worden uitgevoerd. Het versnelt echter ook de mineralisatie en kan uitspoeling van voedingstoffen in de hand spelen, daarnaast worden bodemkoolstof en bodemfauna negatief beïnvloed. Terreinvoorbereiding om natuurlijke verjonging te stimuleren of aanplant te vereenvoudigen zoals klepelen en ploegen dient daarom zoveel mogelijk vermeden te worden. In geval van calamiteiten is het wel belangrijk snel weer te laten begroeien om onnodige uitspoeling van voedingstoffen te voorkomen. Dan kan het ruimen van takafval of pleksgewijze bodemverwonding nodig zijn.



4.5 Revitaliserings-maatregelen

De verschillende bedreigingen die vitaal bos in de weg staan willen we aanpakken door de volgende processen op gang te brengen. Deze zijn voor alle bossen relevant onafhankelijk van de te realiseren ecosysteemdiensten. Dus net zo in te ontwikkelen natuurbos als in multifunctioneel bos:

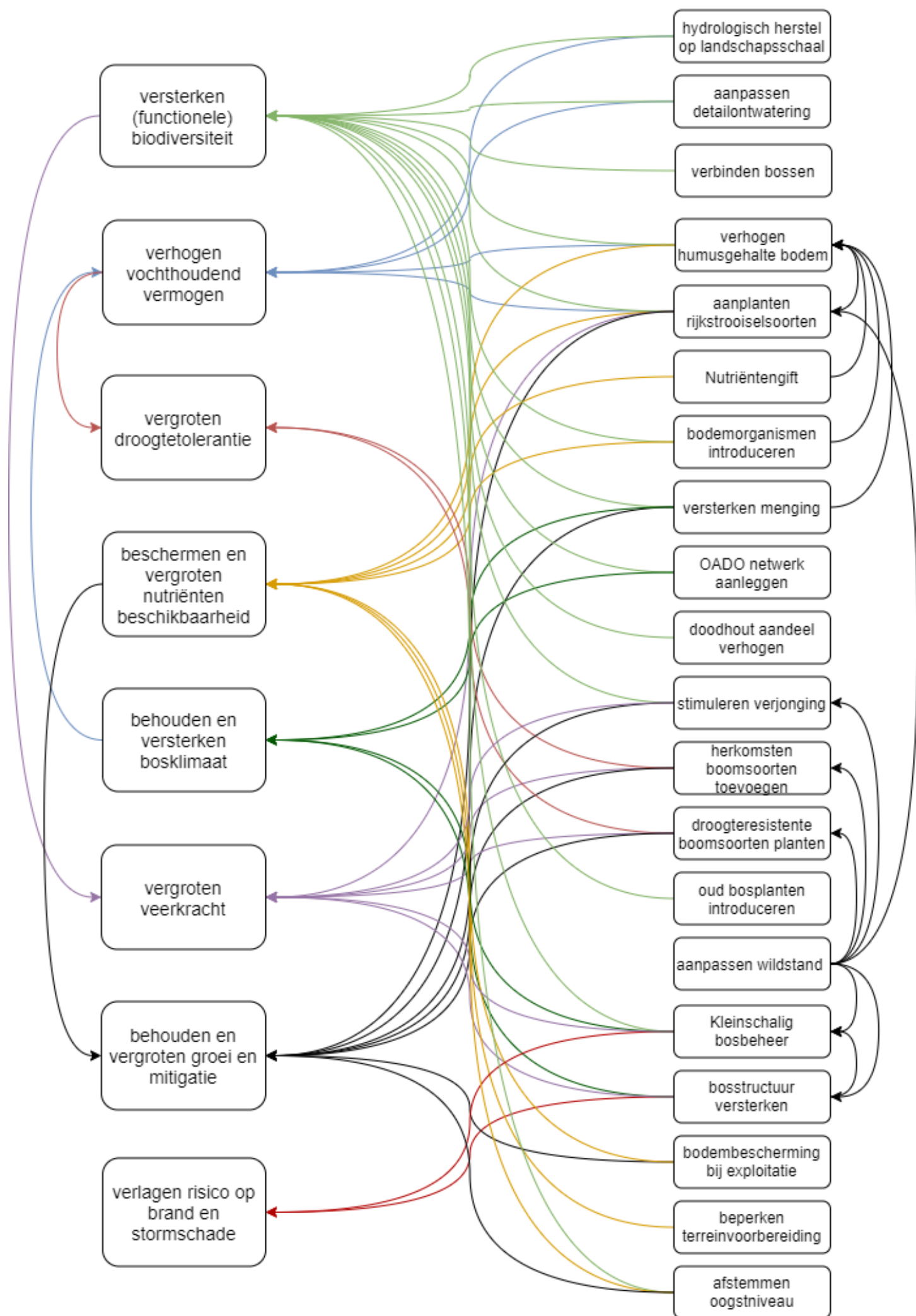
- Drastisch terugdringen N-depositie,
- Herstel watersystemen op landschapsschaal
- Het vergroten van de samenhang van bosecosystemen
- Vergroten areaal bos en bufferen van bestaande door om bestaande boskernen bos aan te leggen en deze te verbinden
- Meer ruimte voor natuurlijke processen
- Het versterken van de (functionele) biodiversiteit,
- Het verhogen van het vochthoudend vermogen
- Het vergroten van de droogtetolerantie
- Het beschermen en vergroten van de nutriëntenbeschikbaarheid
- Het behouden en versterken van het bosmicroklimaat
- Het behouden en vergroten van groei en koolstofmitigatie
- Het verlagen van het risico op brand- en stormschade
- Het verhogen van het aandeel oude, aftakelende bomen en het volume dood hout

Terugdringen van stikstofdepositie en het in toom houden van de klimaatverandering en herstel van hydrologie zijn belangrijke voorwaarden voor een duurzame revitalisering, maar deze maatregelen liggen grotendeels buiten de reikwijdte van het terreinbeheer. Het waar nodig aanpassen van de hydrologische situatie en het verlagen van de wilddruk zijn belangrijke voorwaarden voor revitalisering die op zijn minst deels binnen de mogelijkheden van beheerders liggen, maar die zonder steun van overheden onbereikbaar blijven. Met die aanpassing worden echter grote stappen gezet richting revitalisering, terwijl zonder de ingrepen een deel van de maatregelen moeilijk succesvol uitvoerbaar zijn.

In Figuur 4.1 zijn de maatregelen die we voorzien om deze processen op gang te brengen verbonden met die beoogde effecten. Hier zijn de belangrijkste samenhangen in beeld gebracht, want de werkelijke verknoping van de maatregelen-set is nog complexer. Daaronder worden de maatregelen kort opgesomd. Daar waar maatregelen alleen van toepassing zijn op multifunctioneel bos wordt dit vermeld.

Beoogd effect

Maatregelen





Figuur 4.1 De revitaliserings-maatregelen gekoppeld aan de beoogde effecten die uiteindelijk moeten zorgen voor vitale bossen. De belangrijkste invloeden zijn weergegeven. In werkelijkheid is de samenhang complexer.

4.5.1 Bovenregionaal

- Terugbrengen van de uitstoot van schadelijke stoffen (stikstof, koolstofdioxide, etc.) tot een niveau dat overeenkomt met de draagkracht van onze ecosystemen is een vereiste voor herstelperspectief en duurzame systemen op de lange termijn.

4.5.2 Regionaal

- Hydrologisch herstel op landschapsschaal. De hydrologische situatie moet aangepast worden waarbij meer rekening gehouden wordt met het vereiste regime voor bos- en natuurgebieden. Het terugbrengen van de natuurlijke situatie zal in veel gevallen tot vernatting en soms tot een beter waterkwaliteit leiden en uiteindelijk de veerkracht van de bossen ten goede komen.
- Bufferen van bestaande bossen verlaagt de externe druk op bestaande boskernen
- Uitbreiden en verbinden van bosgebieden verkleint risico's voor kleine populaties en maakt die meer robuust en maakt migratie van soorten tussen bosgebieden mogelijk

4.5.3 Bosgebied

- Streef naar de ontwikkeling van veerkrachtige bossen om de bossen nu en in de toekomst in staat te stellen ecosysteemdiensten te kunnen leveren, ook wanneer het klimaat veranderd.
- Aanpassing van de detailontwatering in bossen om de natuurlijke door ontgreppeling om water langer vast te houden en de natuurlijke hydrologische situatie zo goed mogelijk te herstellen, met oog voor behoud bestaande kwaliteiten
- Versterken van de boomsoortenmenging, waarbij op korte termijn de substantiële aanwezigheid van minimaal drie soorten op opstandsniveau wordt nagestreefd
- Stimuleren van het werken met aan de groeiplaats aangepast genetisch divers, erkend bosplantsoen
- Experimenteer met een voldoende breed pallet aan boomsoorten en erkende zuidelijke herkomsten, vooral gericht op het verhogen van droogteresistentie rekeninghoudend met overleving en gevoeligheid late nachtvorst
- Ondersteunen van experimentele toepassing van alternatieve boomsoorten met hogere droogte- en hittebestendigheid.
- Zorg voor een wildstand die het mogelijk maakt de transitie te maken naar rijke gemengde (loof)bossen.
- Stimuleren van kleinschalig bosbeheer met behoud van het bosklimaat om de invloed van droogte en hitte te dempen. Zowel bij het ontwikkelen van natuurbos als in multifunctioneel bosbeheer.
- Behoud en versterking van bosstructuur in lijn met kleinschalig bosbeheer, ter vergroting van de veerkracht van bossen. Waarbij gesloten bos domineert en tijdelijke open plekken gecreëerd worden voor specifieke biodiversiteitsdoelen en verjonging van lichtbehoevende boomsoorten.

- Stimuleer (natuurlijke) bosverjonging (en bosveroudering) om daarmee de veerkracht van bossen te versterken en de productie en vastlegging van koolstof op peil te houden
- De aanleg van een netwerk van oude, aftakelende en dode bomen (OAD-netwerk) en het waarborgen van voldoende open ruimte in multifunctionele bossen stimuleert de ontwikkeling van bosgebonden biodiversiteit in multifunctionele bossen.
- Houd bij de inrichting van bosgebieden rekening met het vermijden van brandrisico's. Bijvoorbeeld door voldoende loofhoutaandeel en compartimentering door loofhoutsingels van gebieden.
- Verhoging van het aandeel dood hout
- Verhoging van het humusgehalte in de bodem om de voedingstoestand en watervasthoudend vermogen te verbeteren, door het verhogen van het aandeel boomsoorten met een goed afbrekend strooisel in het bos tot minimaal 30% van het grondvlak.
- Praktijkonderzoek naar het introduceren van bodemorganismen om de bodemontwikkeling te versterken
- Herstel van de nutriëntenbalans door nutriëntengiften, bijvoorbeeld via steenmeel, waar deze verstoord is.
- Introductie van oud bosplanten op geschikte locaties ter versterking van de biodiversiteit en als indicatoren van de bosontwikkeling.
- Let bij het beheer van de bossen op beperking van schade aan bos en bodem.
- Wees terughoudend met de toepassing van terreinvoorbereiding om de bodemontwikkeling niet onnodig te verstoren en het uitspoelen van nutriënten te voorkomen..
- Zorg in multifunctionele bossen voor een goede balans tussen oogst, de nutriëntenvoorraad en ecologie



5 Aanbevelingen voor een uitvoeringsimpuls bosrevitalisering

Maatregelen ter vermindering van schadelijke drukfactoren op bos, verhoging van veerkracht van bos en levering van ecosysteemdiensten door bos (zoals natuurwaarde, koolstofvastlegging en houtproductie). Deze aanbevelingen zijn van toepassing op alle bossen, los van de gewenste ecosysteemdiensten.

5.1 Landelijke en regionaal (beleid)

- a. Forse vermindering depositie tot beduidend onder KDW
- b. Verhoging waterbeschikbaarheid
- c. Beperking klimaatverandering
- d. Middelen voor revitalisering op korte termijn (verrijking boomsoorten, structuur, hydrologie), en structureel (duurder kleinschalig beheer, wildbeheer)
- e. Faciliteren onderzoek en beschikbaarheid van zaadmateriaal voor vernieuwde rassenlijst
- f. Calamiteitenfonds voor bossterfte

5.2 Landelijk en regionaal (middelen)

- a. Doorberekenen verhoogde revitaliseringsinspanning in de SNL normkosten
- b. Kwaliteitsimpuls voor revitalisering van bos ontwikkelen (SKNL).
- c. Ontwikkelen klimaat adaptief Natura 2000 beheer en indien nodig wijzigingen in de huidige omschrijvingen en beheer op doelkwaliteiten.
- d. Uitwerken aanvullend rijks en provinciaal financieringsbeleid voor revitaliseringsmaatregelen.
- e. Stimuleren van de sponsoring van CO₂ vastlegging door bedrijven en burgers.
- f. Meekoppelen van de revitaliseringsopgave met andere beleids-opgaven zoals het inrichten van het natuurnetwerk, energietransitie, ruimtelijke ordening, natuurinclusieve landbouw, watersysteemopgaven, biodiversiteit, klimaatadaptatie, klimaatcorridors, economisch en recreatiebeleid.

5.3 Regionaal/lokaal (beheer ism beleid en onderzoek)

5.3.1 No regret

- a. Wildstand in overeenstemming met verjonging en ontwikkeling van loofsoorten, forse verlaging wildstand, in ieder geval komende decennia, waar mogelijk opgevolgd door in tijd en ruimte variabele wildstand.
- b. Verrijking van aanwezige boomsoorten en vergroten van menging en heterogeniteit
- c. Verhogen aandeel rijkstrooiselsoorten waar verhoogde nutriëntenbeschikbaarheid gewenst is
- d. Bijmenging van droogteresistente soorten in laag-risico-bossen (zoals heide- en stuifzandbebossingen met lage biodiversiteitswaarde), na zorgvuldige screening, in samenhang met concurrentiekrachtige inheemse soorten
- e. Versterken structuur en stimuleren bosverjonging door uitkap en groepenkap (behoudens calamiteiten)

- f. Steenmeel in laag-risico-bossen (zoals heide- en stuifzandbebossingen met lage biodiversiteitswaarde)
- g. Variatie in beheervormen in boscomplexen, van niets doen tot groepenkap gericht op ontwikkeling en behoud biodiversiteit middels zonering en OAD netwerk en vergroten aandeel dood hout
- h. Kennis, kunde versterken door kennisuitwisselingsprogramma's

5.3.2 Praktijktolsten en verkenning

- a. Bosuitbreiding van kleinere boskernen, met name oudboskernen en zeldzame groeiplaatsen
- b. Ecologische analyse van zeldzame bosgroeiplaatsen voor beheer gericht op versterking natuurkwaliteit
- c. Bijmenging van droogteresistente herkomsten en soorten in kwetsbare bosecosystemen, na zorgvuldige screening, in samenhang met concurrentiekrachtige inheemse soorten
- d. Nutriënten/steenmeel toevoeging in oude bossen en bossen met hoge biodiversiteitswaarde
- e. Optimalisatie aanplantbemesting en hydrokorrels

5.3.3 Onderzoek

De urgentie de veerkracht van bossen te verhogen is hoog en er is voldoende kennis aanwezig om aan de slag te gaan. Verder onderzoek is noodzakelijk om de aanpak te optimaliseren:

- a. Bodemontwikkeling (en bodementen) bij verschillende boomsoortenmengingen (zowel nutriënten, bodemleven als ontwikkelingspotentieel)
- b. Steenmeel, verdere optimalisering samenstelling en hoeveelheden
- c. Relatie tussen bodemontwikkeling en klimaatresiliëntie
- d. Meerwaarde toenemend aandeel dood hout in verschillende bossystemen en ontwikkelingsfasen daarvan
- e. Biodiversiteitsontwikkeling in oudere en zeldzame bossen in relatie tot dynamiek in licht van verzuring, verdroging en klimaatverandering
- f. Een landsdekkende oudbos groeiplaatsenkaart
- g. Herstart van het bosreservatenmonitoringsprogramma, bij voorkeur in samenhang met natuurbos en multifunctioneel bos
- h. Optimaliseren ecosysteemdiensten in kleinschalig multifunctioneel bosbeheer

5.3.4 Prioritering

Met welke maatregelen en waar maakt Nederland de grootste slag?

1. Randvoorwaarden op orde: stikstofdepositie, waterhuishouding en wildbeheer
2. Vergroten menging en soortenrijkdom Nederlandse bos, te beginnen met minst gemengde opstanden in algemene zin en op zandgronden in bijzonder.
3. Kleinschalig beheer, van niets doen tot groepenkap en zonering daarin
4. Onderzoek en aanplant klimaatbestendigere boomsoorten en herkomsten
5. Onderzoek en toepassing rijkstrooisel en steenmeel
6. Versterken kennis, kunde en capaciteit in beheer
7. Calamiteitenfonds



Gebruikte bronnen

- Al, E.J., H. Koop, T. Meeuwissen, P. Hilgen, T.F.C. Smits, H. C. & A.L. Bosch, 1995. *Ecosysteemvisie bos. Natuur in bossen. Rapport IKC Natuurbeheer nr 14. Informatie- en Kenniscentrum Natuurbeheer. Wageningen.*
- Ambities en doelen van Rijk en provincies voor de Bossenstrategie, 2020. Het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de gezamenlijke provincies.
- Ampoorter E., 2011. *Soil compaction due to mechanized forest harvesting: quantification of ecosystem effects and exploration of recovery potential. PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium.*
- Avila, A. L. de, & Albrecht, A., 2017. *Alternative Baumarten im Klimawandel: Artensteckbriefe: eine Stoffsammlung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA).*
- Baeté, H., 2005. *De ecologie van Esdoorn: van onstuimige schaduw pionier tot zorgzame veteraan. Bosrevue.*
- Baeten, L., Vanhellemont, M., Calster, H. van, Hermy, M., Schrijver, A. de, & Verheyen, K., 2009. *Zullen bosplantenpopulaties zich ooit vestigen in jonge bossen op voormalige landbouwgronden? De Levende Natuur, 110(5), 215-219.*
- Barton, A.M. & W.S. Keeton, 2018. *Ecology and recovery of Eastern old-growth forests. Island Press.*
- Bauhus, J., K. Puettmann & C. Messier, 2009. *Silviculture for old-growth attributes. Forest ecology and management 258(4): 525-537.*
- Beisner, B.E., D.T. Haydon & K. Cuddington, 2003. *Alternative stable states in ecology. Frontiers in Ecology and the Environment 1(7): 376-382.*
- Berendse, F, B. van Leeuwen, B. Arts, T. Bade & S. Kuks, 2013. Onbeperkt houdbaar: advies voor een nieuw natuurbeleid in Nederland. De levende natuur, 3(114), blz 74-83.
- Bergmann, J.H., D. Heinsdorf & M. Ott, 2001. *Sauen 1994-ein gelungener Waldumbau. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 13.*
- Bertrand, R., J. Lenoir, C. Piedallu, G. Riofrio--Dillon, P. de Ruffray, C. Vidal, J.C. Pierrar, Gegout, J.C. 2011. *Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. Nature. 479 (7374), 517-520.*
- Bijlsma, R. J. & Siebel, H. N., 2003. *Spontane ontwikkeling van bos: gevolgen voor flora en vegetatie. In : Vakblad Natuurbeheer. 42, 4, p. 55-58*
- Bijlsma, R. J., de Waal, R. W., Verkaik, E., van den Berg, C. A. & Haveman, R., 2009. *Natuurkwaliteit dankzij extensief beheer : nieuwe mogelijkheden voor beheer gericht op een veerkrachtig bos- en heidellandschap. Wageningen: Alterra. 111 p. (Alterra-rapport; no. 1902)*
- Bijlsma, R. J., Jansen, A. J. M., Janssen, J. A. M., Maas, G. J., Pleijte, M., Schipper, P. C. & Wondergem, H. E., 2017, *Kansen voor meer natuurlijkheid in Natura 2000-gebieden. In: Landschap 34, 3, p. 144-153*
- Bijlsma, R. J., van Blitterswijk, H., Clerkx, A. P. P. M. & de Jong, J. J., 2002. *Bospaden: een vertrouwd vangnet voor bosplanten. In : Nederlands Bosbouw tijdschrift. 74, 1, p. 10-15*

- Bijlsma, R. J., 2005. *Natuurlijkheid en biodiversiteit: een verstoorde relatie*. In : *Vakblad Natuur Bos Landschap*. 2, 2, p. 7-11
- Bijlsma, R., R. de Waal & P. Hommel, 2018. *Droge bossen van het Vecht-en Beneden-Reggegebied (Overijssel): toestand en kansen voor herstel en beheer van de habitattypen Beuken-eikenbossen met hulst (H9120) en Oude eikenbossen (H9190)*. 1566-7197. Wageningen Environmental Research.
- Bobbink, R. & Hettelingh J.P. (eds.), 2011. *Review and revision of empirical critical loads and dose response relationships . Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010*. CCE/RIVM, Bilthoven.
- Bobbink, R., Bal, D., Van Dobben, H. F., Jansen, A. J. M., Nijssen, M., Siepel, H., Schaminée, J. H. J., Smits, N. A. C. & De Vries, W., 2012. *De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen*. Wageningen: Alterra.
- Boer, H. de, S. Radersma, 2011. *Verziltling in Nederland. Oorzaken en perspectieven. Rapport 531*. Lelystad, Wageningen UR Livestock Research.
- Bonten, L. T. C., Bijlsma, R. J., Delft, S. P. J. van, Jong, J. J. de, Spijker, J., & Vries, W. de, 2015. *Houtoogst en bodemvruchtbaarheid*. 74.
- Boosten, M., 2016. *Nederlands bos(beheer): al 250 jaar in ontwikkeling*. *Vakblad Natuur Bos Landschap*. 13; 127, 12-14.
- Boosten, M., J. Penninkhof., 2019. *Erfgoed in het bosbeheer. Handleiding voor het integreren van erfgoedwaarden in het beheer*. Wageningen, Stichting Probos
- Bosch, W., 2020. *Zijn hazelaar, lijsterbes en vuilboom rijk-strooiselsoorten?* Almere, Aeres Hogeschool Almere.
- Braakhekke, W.G, F. Berendse, M. de Jong, A. van Kreveld, A. van Winden, 2014. *Klimaatverandering en natuur. Een verkenning van risico's, kansen en aangrijpingspunten voor klimaatadaptatiebeleid*. Stroming & Wageningen Universiteit.
- Bradshaw, R. C.S. Jones, S.J. Edwards, G.E. Hannon, 2015. *Forest continuity and conservation value in Western Europe. The Holocene, Volume: 25 issue: 1, page(s): 194-202*
- Buchwald, E., 2005. *A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation. Third expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders Proceedings Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*.
- Buras, A., U. Sass-Klaassen, I. Verbeek & P. Copini, 2020. *Provenance selection and site conditions determine growth performance of pedunculate oak. Dendrochronologia*. Vol. 61. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125705>
- Burrascano, S., W.S. Keeton, F.M. Sabatini & C. Blasi, 2013. *Commonality and variability in the structural attributes of moist temperate old-growth forests: a global review. Forest ecology and management* 291: 458-479.
- Casparie, W.A. & W. Groenman-van Waateringe, 1980. *Palynological analysis of Dutch barrows. Palaeohistoria* 22.
- CBS, PBL, RIVM, WUR, 2015. *Goederen en diensten van ecosystemen in Nederland, 2013 (indicator 1572, versie 01 , 2 oktober 2015)*. www.clo.nl. Den Haag, Bilthoven en Wageningen, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), PBL Planbureau voor de



- Leefomgeving, RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu en Wageningen University and Research.
- Christensen, M., K. Hahn, E.P. Mountford, P. Odor, T. Standovár, D. Rozenbergar, J. Diaci, S. Wijdevén, P. Meyer & S. Winter, 2005. Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest ecology and management* 210(1-3): 267-282.
- Clerkx, A.P.P.M., M.P. Didion, G.M. Hengeveld & M. Schelhaas, 2013. *Bosbeheer en klimaatverandering : resultaten van LANDCLIM-simulaties voor Zuidoost-Veluwe*. Alterra-rapport 2438. Wageningen, Alterra, Wageningen-UR.
- Commarmot, B., U. Brändli, F. Hamor & V. Lavnyy, 2013. *Inventory of the largest primeval beech forest in Europe. A Swiss-Ukrainian Scientific Adventure*. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, Ukrainian National Forestry University, L'viv, Carpathian Biosphere Reserve, Rakhiv,.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. & Van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- D. Bal, D. Brunt, R. Bobbink, W. de Vries, A.J.M. Jansen, R.H. Kemmers, M. Nijssen, J.H.J. Schaminée, H. Siepel, N.A.C. Smits, A.J.P. Smolders & H.F. van Dobben, 2014. *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats - Ecologische onderbouwing van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS)*, Alterra Wageningen UR & Programmadirectie Natura 2000 van het Ministerie van Economische Zaken
- De Groot, R. S., 1987. Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, 7, 105-109.
- De Keersmaecker, L., Cornelis, J., & Baeten, L, 2010. Oudbosplanten in Vlaanderen. *Bosrevue*, 34, 17-20.
- De Keersmaecker, L., Cosyns, H., Thomaes, A., & Vandekerckhove, K., 2016. Kan houtoogst stikstofdepositie mitigeren? *Landschap*, 34(4), 5-13.
- De Keersmaecker, L., Verheyen, K., & Hermy, M., 1999. Verspreiding van Bosanemoon in het Muizenbos (B) als voorbeeld van kolonisatie door oud-bosplanten. *De Levende Natuur*, 100(5), 183-185.
- De Schrijver, A., R. Devlaeminck, J. Mertens, K. Wuyts, M. Hermy & K. Verheyen, 2007. On the importance of incorporating forest edge deposition for evaluating exceedance of critical pollutant loads. *Applied Vegetation Science* 10: 293-298.
- Delforterie, W., 2017. *Van goed naar beter: Dunningspaden op veertig meter*. Vakblad natuur bos landschap.
- Demey, A., Frenne, P. D., & Verheyen, K., 2015. *Klimaatadaptatie in natuur- en bosbeheer* (p. 43). Universiteit Gent.
- Den Ouden, J., D.R. Lammertsma & H.A.H. Jansman, 2020. *Effecten van hoefdieren op Natura 2000-boshabitattypen op de Veluwe*. Wageningen University & Wageningen Environmental Research, Wageningen (in druk).
- Desie et al., 2019. Forest conversion to conifers induces a regime shift in soil process domain affecting carbon stability. *Soil Biology and Biochemistry* 136
- Desie, E., K. Vancampenhout, B. Nyssen, L. van den Berg, M. Weijters, G.-J. van Duinen, J. den Ouden, K. Van Meerbeek & B. Muys, 2020a. 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., K. Vancampenhout, L. Van den Berg, B. Nyssen, M. Weijters, J. Den Ouden & B. Muys, 2020b. Litter share and clay content determine soil restoration effects of rich litter tree species in forests on acidified sandy soils. *Forest ecology and management*. In review.
- Doorenbosch, M., 2013. *Ancestral heaths: reconstructing the barrow landscape in the Central and Southern Netherlands*. Sidestone Press.
- Esseen, P.-A., B. Ehnström, L. Ericson & K. Sjöberg, 1997. Boreal forests. *Ecological bulletins*: 16-47.
- FAO, 2015. *FAO, 2015. Global Forest Resources Assessment, 2015. Terms and definitions*. In: *Forest resources Assessment Working Paper 180*. . FAO. Rome, Italy.
- Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson & C. Holling, 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*: 557-581.
- Frank, G., J. Parviainen, K. Vandekerhove, J. Latham, A. Schuck & D. Little, 2007. Protected forest areas in Europe—Analysis and harmonization (PROFOR): Results, conclusions and recommendations. *COST Action E*.
- Frelich, L.E. & P.B. Reich, 2003. Perspectives on development of definitions and values related to old-growth forests. *Environmental Reviews* 11(S1): S9-S22.
- Gilg, O., 2005. *Old-growth forests: characteristics, conservation and monitoring*. Habitat and species management. Techn Report 74.
- Gill, R. M. A., 1992. A Review of Damage by Mammals in North Temperate Forests: 3. Impact on Trees and Forests. *Forestry*, 65(4), 363–388. <https://doi.org/10.1093/forestry/65.4.363-a>
- Greenberg, C., D. McLeod & D. Loftus, 1997. An old-growth definition for mixed mesophytic and western mesophytic forests. GTR SRS-16. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC.
- Haan, B. de., 2012. Aan de slag in die Natura 2000 bossen! *Vakblad Natuur Bos Landschap*. 9; 6, 26-29.
- Harmon, M.E., J.F. Franklin, F.J. Swanson, P. Sollins, S. Gregory, J. Lattin, N. Anderson, S. Cline, N. Aumen & J. Sedell, 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, Elsevier. 15 133-302.
- Hayward, G.D., 1991. Using population biology to define old-growth forests. *Wildlife Society Bulletin* (1973-2006) 19(1): 111-116.
- Heilmann-Clausen, J., E. Aude, K. van Dort, M. Christensen, A. Piltaver, M. Veerkamp, R. Walley, I. Siller, T. Standovár & P. Ødor, 2014. Communities of wood-inhabiting bryophytes and fungi on dead beech logs in Europe—reflecting substrate quality or shaped by climate and forest conditions? *Journal of Biogeography* 41(12): 2269-2282.
- Hidding, B. J.P. Tremblay, S.D. Coté, 2013. A large herbivore triggers alternative successional trajectories in the boreal forest. *Journal of Ecology*, Volume94, Issue12, Pages 2852-2860



- Hilbert, J. & A. Wiensczyk, 2007. Old-growth definitions and management: A literature review. *Journal of Ecosystems and Management* 8(1).
- Hobbie, S.E., P.B. Reich, J. Oleksyn, M. Ogdahl, R. Zytowskiak, C. Hale & P. Karolewski, 2006. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. *Ecology* 87(9): 2288-2297.
- Hobbs, R., E. Higgs, J. Harris, 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 24, Issue 11, November 2009, Pages 599-605
- Hobi, M.L., B. Commarmot & H. Bugmann, 2015. Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). *Journal of Vegetation Science* 26(2): 323-336.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B., Parmesan, C., Possingham, H. P., & Thomas, C. D., 2008. ECOLOGY: Assisted Colonization and Rapid Climate Change. *Science*, 321(5887), 345-346. <https://doi.org/10.1126/science.1157897>
- Hommel, P. & R. de Waal, 2004. Bodem, humus en vegetatie onder verschillende loofboomsoorten op de stuwwal bij Doorwerth. Alterra. Wageningen.
- Hommel, P.W., T. Spek & R. De Waal, 2002. Boomsoort, strooiselkwaliteit en ondergroei in loofbossen op verzuringsgevoelige bodem; een verkennend literatuur- en veldonderzoek. Alterra.
- Hommel, P.W.F.M.; Waal, R.W. de; Muys, B.; Ouden, J. den; Spek, T., 2007. Terug naar het lindewoud : strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer. Zeist : KNNV Uitgeverij.
- Höppner, K., R. Kätzel, A. Egenhardt, K. Dobias, P. Heydeck, K. Hielscher, R. Kallweit, K. Möller, M. Noack & W. Riek, 2011. 140 Jahre forstliches Versuchswesen in Eberswalde-Rückblicke und Perspektiven. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 47: 68-99.
- Hunter, M.L., 1989. What constitutes an old-growth stand? *Journal of Forestry* 87(8): 33-35.
- Jagers op Akkerhuis, G. A. J. M., Wijdeven, S. M. J., Moraal, L. G., Veerkamp, M. T. & Bijlsma, R. J., 2005. Dood hout en biodiversiteit; een literatuurstudie naar het voorkomen van dood hout in de Nederlandse bossen en het belang ervan voor de duurzame instandhouding van geleedpotigen, paddenstoelen en mossen. Wageningen: Alterra. 158 p. (Alterra-rapport; no. 1320)
- Jong, A. de, J. van den Akker, J. Bloem & M. Boosten., 2020. Notitie onderzoek naar bodemschade door bosexploitatie. Wageningen, Wageningen Environmental Research & Stichting Probos.
- Kähler, B., 2003. Vegetationsökologische Untersuchungen im Colbitzer Lindenwald (Nord-Sachsen-Anhalt). Institut für Ökologie. Berlin, Technische Universität Berlin.
- Kaufmann, M.R., W. Moir & W. Covington, 1992. Old-growth forests: what do we know about their ecology and management in the Southwest and Rocky Mountain regions?
- Kemenade, L. van, B. Maes., 2019. Behoud groen erfgoed. Plan voor het behoud van bedreigde wilde bomen en struiken in Nederland. Rapportage Onderzoek Nederlands Cultuurlandschap 5. Amersfoort, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
- Kenderes, K., B. Mihók & T. Standovar, 2008. Thirty years of gap dynamics in a Central European beech forest reserve. *Forestry* 81(1): 111-123.

- Kimmins, J., 2003. *Old-growth forest: An ancient and stable sylvan equilibrium, or a relatively transitory ecosystem condition that offers people a visual and emotional feast? Answer it depends. The Forestry Chronicle* 79(3): 429-440.
- Kirby, K. & C. Drake, 1993. *Dead wood matters: the ecology and conservation of saproxylic invertebrates in Britain. English Nature.*
- Knegt, B. de (ed.), 2014. *Graadmeter Diensten van Natuur; Vraag, aanbod, gebruik en trend van goederen en diensten uit ecosystemen in Nederland. WOt-technical report 13. Wageningen, Wageningen UR.*
- KNMI, 2015. *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. De Bilt, KNMI.*
- Koop, H., 1993. *Ecosysteemvisie bos: natuurbosreferenties. Nederlands Bosbouwkundig Tijdschrift* 65: 227-236.
- Korpel, S., 1997. *Totholz in Naturwäldern und Konsequenzen für Naturschutz und Forstwirtschaft. Forst und Holz* 52(21): 619-624.
- Kremers, J., 2017. *Klimaatadaptatie in het bosbeheer. Ontwikkeling van een model waarmee de impact van klimaatverandering op het bos voor het bosbeheer. Wageningen, Borgman Beheer Advies.*
- Kremers, J., M. Boosten., 2018. *Soil compaction and deformation in forest exploitation. A literature review on causes and effects and guidelines on avoiding compaction and deformation. Wageningen, Stichting Probos.*
- Kroot, M., 2019. *Standaardkostprijzen-Natuur-en-Landschapsbeheer-2019-subsidie-2020.pdf. BIJ12.*
- Kuiters, A. T., & Slim, P. A., 2002. *Regeneration of mixed deciduous forest in a Dutch forest-heathland, following a reduction of ungulate densities. Biological Conservation*, 105(1), 65-74. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00204-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00204-X)
- Kuiters, A., 1987. *Phenolic acids and plant growth in forest ecosystems, Proefschrift Vrije Universiteit. Amsterdam, Free University Press.*
- Kuper, J., & Swart, B. 2018. *Plenteren op z'n Nederlands Zakelijk en professioneel. Vakblad natuur bos landschap.*
- Larrieu, L., Y. Paillet, S. Winter, R. Bütler, D. Kraus, F. Krumm, T. Lachat, A.K. Michel, B. Regnery & K. Vandekerckhove, 2018. *Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. Ecological Indicators* 84: 194-207.
- Latham, J., G. Frank, O. Fahy, K. Kirby, H. Miller & R. Stiven, 2005. *Protected Forest Areas in Europe-Analyses and Harmonisation (PROFOR): Reports of Signatory States. Federal Research and Training Centre for Forests. Natural Hazards and Landscape, BFW, Vienna, Austria: 413.*
- Lerink, B., M. van Toor, L. Konig & G.J. Nabuurs., 2019. *Heeft het bos stilgestaan in 2018?. Vakblad Natuur Bos Landschap. 16 (158), 28-30.*
- LNV, 1990. *Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21149, nrs. 2-3. Ministerie van LNV, 's-Gravenhage.*



- Loboda, S., 2011. *Jahrestagung 2011 der Stiftung August Bier, Das Erbe von August Bier lebt. AFZ/Der Wald.*
- Lof, M., S. Schenau, R. de Jong, R. Remme, C. Graveland, L. Hein, 2017. *The SEEA EEA carbon account for the Netherlands. The Hague, Statistics Netherlands & Wageningen University, table 2.3.2.*
- Lommel, H. van, (2018). *Bescherm bosverjonging tegen wildschade. Vakblad natuur bos landschap.*
- Lu, H. (2017). *Species mixing effects on forest productivity in the Netherlands [University].* <https://doi.org/10.18174/419957>
- Lucassen, E., L. van den Berg, R. Aben, A. Smolders, J. Roelofs & R. Bobbink, 2014. *Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. Landschap 31 (4)*
- May, Robert, 1977. *Thresholds and breakpoints in ecosystems with a multiplicity of stable states. Nature. 269.*
- MCPFE, 2003. *Assessment guidelines for protected and protective forest and other wooded land in Europe. In: Fourth Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Conference Proceedings, 28-30 April 2003. Vienna.*
- MEA, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute. Washington, DC.*
- Mitchell, F. 2005. *How open were European primeval forests? Hypothesis testing using palaeoecological data, Journal of Ecology, Volume 93, Issue 1, Pages 168-177*
- Mölder, Andreas & Streit, Mario & Schmidt, Wolfgang, 2014. *When beech strikes back: How strict nature conservation reduces herb-layer diversity and productivity in Central European deciduous forests. Forest Ecology and Management. 319. 51-61. 10.1016/j.foreco.2014.01.049.*
- Montfort, J. van, P. Schipper, M. Schouten & B. Takman, 2011. *Landschap, 28 (2011), blz 80-87.*
- Müller, M., 2014. *Mondelinge toelichting door de Revierförsterin aan de hand van bosbedrijfstatistieken.*
- Muys, B., 1993. *Synecologische evaluatie van regenwormactiviteit en strooiselafbraak in de bossen van het Vlaamse Gewest als bijdrage tot een duurzaam bosbeheer. Proefschrift RU Gent, 335 pp.*
- Muys, B., 1995. *The influence of tree species on humus quality and nutrient availability on a regional scale (Flanders, Belgium). Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems. Springer: 649-660.*
- Muys, B., Beckers, G., Nachtergale, L., Lust, N., Merckx, R., & Granval, P., 2003. *Medium-term evaluation of a forest soil restoration trial combining tree species change, fertilisation and earthworm introduction. Pedobiologia, 47(5-6), 772-783. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00257>*
- Noack, M., 2011. *Der Sauener Wald, 100-jähriges Waldumbau-Experiment. AFZ-DerWald.*
- Nyssen, B., & Wijdeven, S., 2019. *Biodiversiteit versterken in multifunctioneel bos. Vakblad natuur bos landschap, maart.*

- Nyssen, B., J. Den Ouden & K. Verheyen, 2013. Amerikaanse vogelkers, van Bospest tot Bosboom. Zeist, KNNV Uitgeverij.
- Nyssen, B., R. Van der Burg & E. Desie, 2016. Regime shift in bossen op zandgronden. *De Levende Natuur* 6(117): 230-234.
- Økland, B., A. Bakke, S. Hågvar & T. Kvamme, 1996. What factors influence the diversity of saproxylic beetles? A multiscaled study from a spruce forest in southern Norway. *Biodiversity & Conservation* 5(1): 75-100.
- Oldenburger, J., 2019. Stand van zaken bos in Nederland. Factsheet ten behoeve van de werkbijeenkomsten Bossenstrategie op 20 en 22 november 2019. Wageningen, Stichting Probos.
- Olness, A. & D. Archer, 2005. Effect of organic carbon on available water in soil. *Soil Science* 170(2): 90-101.
- Olsthoorn, A. F. M., Kopinga, J., & Tolkamp, G. W., 2003. Effecten van vernatting in bossen. Conclusies en aanbevelingen voor praktijk en beleid (Rapport EC-LNV nr. 2003/173 O; p. 31). xpertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
- Oosterbaan, A., & Bobbink, R., 2015. Eikensterfte: Een serieus en complex probleem. *Vakblad natuur bos landschap*, 5.
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Virtanen, R., 2010. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 101-112.
- Parviainen, J. & G. Frank, 2006. MCPFE information document on data collection and compiling the statistics on protected and protective forest and other wooded land in Europe. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, liaison unit Warsaw, Warsaw.
- PBL, 2010. De recreatieve waarde van natuur. Geraadpleegd 8 mei 2020 via <https://themasites.pbl.nl/natuurverkenning/over-de-natuurverkenning/het-waarderen-van-natuur/zin-en-onzin-van-monetarisering/de-recreatieve-waarde-van-natuur>
- Piovesan, G., F. Biondi, A.D. Filippo, A. Alessandrini & M. Maugeri, 2008. Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology* 14(6): 1265-1281.
- Potvliet, G., & Delforterie, W., 2016. Nooit meer van gebaande paden? Permanente dunningspaden als mogelijke oplossing voor het beperken van bodemverdichting. *Vakblad natuur bos landschap*.
- Probos, 2020. Kerngegevens Bos en Hout in Nederland. Geraadpleegd 8 mei 2020 via <http://www.bosenhoutcijfers.nl>.
- Ramírez Chiriboga, J. I., 2019. Wild ungulates as forest engineers [Wageningen University]. <https://doi.org/10.18174/499087>
- Ramirez, J. I., Jansen, P. A., den Ouden, J., Moktan, L., Herdoiza, N., & Poorter, L., 2020. Above- and Below-ground Cascading Effects of Wild Ungulates in Temperate Forests. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00509-4>
- Reich, P.B., J. Oleksyn, J. Modrzynski, P. Mrozinski, S.E. Hobbie, D.M. Eissenstat, J. Chorover, O.A. Chadwick, C.M. Hale & M.G. Tjoelker, 2005. Linking litter calcium, earthworms



- and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters* 8(8): 811-818.
- Risicobeheersing en bestrijding van natuurbranden, 2018. Vereniging van Bos en Natuurterreineigenaren (VBNE).
- RLI, 2013. Onbeperkt houdbaar naar een robuust natuurbeleid.
- Sáenz-Romero, C., Lamy, J.-B., Ducousso, A., Musch, B., Ehrenmann, F., Delzon, S., Cavers, S., Chalupka, W., Dağdaş, S., Hansen, J.K., Lee, S.J., Liesebach, M., Rau, H.-M., Psomas, A., Schneck, V., Steiner, W., Zimmermann, N.E. and Kremer, A., 2017, Adaptive and plastic responses of *Quercus petraea* populations to climate across Europe. *Glob Change Biol*, 23: 2831-2847. doi:10.1111/gcb.13576
- Saniga, M. & J.P. Schütz, 2001. Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle. *Journal of Forest Science* 47(12): 557-565.
- Sauren, P., W. Buysse, S. Wijdeven, J. Seynaeve, M. Winnock, L.v. Nevel & B. Nyssen, 2020. *Ecologie in Boomgericht Bosbeheer. Interreg project eco2eco.*
- Schall, P., M. Gossner, S. Heinrichs, M. Fischer, S. Boch, D. Prati, K. Jung, V. Baumgartner, S. Blaser, S. Böhm, F. Buscot, R. Daniel, K. Goldmann, K. Kaiser, T. Kahl, M. Lange, J. Müller, J. Overmann, S. Renner, E. Schulze, J. Sikorski, M. Tschapka, M. Türke, W. Weisser, B. Wermheuer, T. Wubet, C. Ammer, 2018. The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *Journal of Applied Ecology*, 2018;55:267-278.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke & B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413(6856): 591-596.
- Schelhaas, M.J., A.P.P.M. Clercx, W.P. Daamen, J. Oldenburger, G. Velema, P. Schnitger, H. Schoonderwoerd, H. Kramer, 2014. *Zesde Nederlandse Bosinventarisatie: Methodes en basisresultaten.* Wageningen, Alterra Wageningen UR
- Scherer Lorenzen, M., J. Luis Bonilla & C. Potvin, 2007. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. *Oikos* 116(12): 2108-2124.
- Schilthuizen, M., L.P.S. Pimenta, Y. Lammers, P.J. Steenbergen, M. Flohil, N.G. Beveridge, P.T. van Duijn, M.M. Meulblok, N. Sosef & R. van de Ven, 2016. Incorporation of an invasive plant into a native insect herbivore food web. *PeerJ* 4: e1954.
- Schoonderwoerd, H., & Dolstra, F., 2009. *Over de schaal van bosbeheer en het niveau van planning* (2009/122; Rapport DKI, p. 86). Silve & Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Schrijver, A., P. Frenne, J. Staelens, G. Verstraeten, B. Muys, L. Vesterdal, K. Wuyts, L. Nevel, S. Schelfhout & S. Neve, 2012. Tree species traits cause divergence in soil acidification during four decades of postagricultural forest development. *Global Change Biology* 18(3): 1127-1140.
- Schulze, E.D., 2018. Effects of forest management on biodiversity in temperate deciduous forests: An overview based on Central European beech forests. *Journal for Nature Conservation* 43 (2018) 213-226

- Siitonen, J., 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological bulletins*: 11-41.
- Silvis, H.J., M.J. Voskuilen, 2019. Bedrijfsuitkomsten in de Nederlandse particuliere bosbouw over 2017. Rapport 2019-048. Wageningen, Wageningen Economic Research.
- Spek, T., 2004. Het Drentse esdorpenlandschap. Een historisch-geografische studie (Village and open field landscapes of the Dutch province of Drenthe. A historical-geographical study), Thesis University of Wageningen, Stichting Matrijs, Utrecht.
- Staatsbosbeheer, 2020. Feiten en cijfers. Geraadpleegd 8 mei 2020 via <https://www.staatsbosbeheer.nl/over-staatsbosbeheer/feiten-en-cijfers>.
- Stokland, J. N., 2012. The saproxylic food web. In J. N. Stokland, J. Siitonen, & B. G. Jonsson (Eds.), *Biodiversity in Dead Wood* (pp. 29–57). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025843.004>
- Stokland, J.N., J. Siitonen & B.G. Jonsson, 2012. *Biodiversity in dead wood*. Cambridge university press.
- Stortelder, A.H., P. Hommel, R. De Waal, K. Van Dort, J. Vrielink & R. Wolf, 1998. Broekbossen. Boscossystemen van Nederland 1. KNNV.
- Sutherland, W., 2002. Openness in management. *Nature* 418, 834–835 (2002)
- Svenning, C., 2002. A review of natural vegetation openness in north-western Europe. *Biological Conservation*, Volume 104, Issue 2, April 2002, Pages 133-148.
- Tucker, M. A., Böhning-Gaese, K., Fagan, W. F., Fryxell, J. M., Van Moorter, B., Alberts, S. C., ... & Bartlam-Brooks, H., 2018. Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science*, 359(6374), 466-469.
- Uhlig, P.W., 2003. Old growth forest definitions for Ontario. The Ministry.
- Ulrich, B. & M.E. Sumner, 2012. *Soil acidity*, Springer Science & Business Media.
- Van den Berg, L., 2020. Koolstof in de bosbodem. Ongepubliceerd.
- Van den Burg, A., 2017. Rammelende eieren en brekebenen bij de koolmees: Verzuring terug bij af? *Vakblad natuur bos landschap*.
- Van der Aa, B., L. Vriens, A. Van Kerckvoorde, P. De Becker, P. Roskams, L. De Bruyn, L. Denys, J. Mergeay, M. Raman, E. Van den Bergh, J. Wouters & M. Hoffmann, 2015. Effecten van klimaatverandering op bos en natuur. Brussel, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.
- 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.
- Van der Mijnsbrugge, K. V., Broek, A. van den, Aa, B. V. der, & Cuyper, B. D., 2017. Advies over genetische variatie bij aanplantingen van bosplantsoen. INBO.
- Van Miegroet, M., 1982. De bosfunktionalisering Gent, RUG, Laboratorium voor bosbouw. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Bestuur van waters en bossen.
- Van Nevel, L., J. Mertens, A. De Schrijver, S. De Neve & K. Verheyen, 2014. Can shrub species with higher litter quality mitigate soil acidification in pine and oak forests on poor sandy soils? *Forest ecology and management* 330: 38-45.



- Vandekerkhove, K., 2019a. *Boomgericht bosbeheer en biodiversiteit: Meer winners dan losers?* Vakblad natuur bos landschap, 1.
- Vandekerkhove, K., 2019b. *Status and development of old-growth elements and biodiversity during secondary succession of unmanaged temperate forests*. Research Institute Nature and Forest. <https://doi.org/10.21436/inbot.16854921>
- Vandekerkhove, K., L. De Keersmaecker, N. Menke, P. Meyer & P. Verschelde, 2009. *When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe*. *Forest ecology and management* 258(4): 425-435.
- Vera, F. W. M., 2000. *Grazing Ecology and Forest History*. CABI, Wallingford.
- Verheyen, K., Veken, S. van der, & Hermy, M., 2004. *Trage planten in een snel landschap; herstel van bosplantenpopulaties in jonge bossen*. *De Levende Natuur*, 105(3), 93-97.
- Vitousek, P.M. & O.A. Chadwick, 2013. *Pedogenic thresholds and soil process domains in basalt-derived soils*. *Ecosystems* 16(8): 1379-1395.
- Von Carlowitz, H. C., 1713. *Sylvicultura Oeconomica*. Hausswirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht, Leipzig, Johann Friedrich Braun.
- Vries, W. de, Weijters, M., Jong, A. de, Delft, B. van, Bloem, J., Burg, A. van den, Duinen, G.-J. van, Verbaarschot, E., & Bobbink, R., 2019. *Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening (2019/OBN229-DZ)*. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE).
- Wamelink, G.W.W., M. van Adrichem, K. Kurvers, S. Hennekes, 2020. *Veertig procent van de Nederlandse plantensoorten komt onder druk door opwarming*. *Vakblad Natuur Bos Landschap*. 17 (161), 12-15.
- Weeda, E., J. Schaminée & L. van Duuren, 2005. *Atlas van de Plantengemeenschappen in Nederland*. Deel 4. Bossen en struwelen, KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Wells, R.W., K.P. Lertzman & S.C. Saunders, 1998. *Old-growth definitions for the forests of British Columbia, Canada*. *Natural Areas Journal* 18(4): 279-292.
- Wijdeven, S., 2020. *Niet alleen inzetten op uitkap*. *Vakblad natuur bos landschap*.
- Wille, H., 2017. *Persoonlijke communicatie, Bezoek Colbitzer Lindenwald, september 2017*.
- Willemse, N.W., 2020. *Beschermde maar kwetsbaar. Fysieke bedreigingen van archeologische rijksmonumenten en maatregelen om ze te behouden*. *Nederlandse Archeologische Rapporten* 67. Amersfoort, Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
- Wirth, C., C. Messier, Y. Bergeron, D. Frank & A. Fankhänel, 2009. *Old-growth forest definitions: a pragmatic view*. *Old-growth forests*, Springer 11-33.
- Wolf, R., A. Stortelder, R. de Waal, K. van Dort, S. Hennekens, P. Hommel, J. Schaminée & J. Vrieling, 2001. *Bosecosystemen van Nederland*. Deel 2 Ooibossen.
- Wolf, R.J.A.M., W.J. Dimmers, P.W.F.M. Hommel, G.A.J. Jagers op Akkerhuis, J.G. Vrieling & R.W. de Waal, 2006. *Bekalking en toevoegen van nutriënten: Evaluatie van de effecten op het bosecosysteem - Een veldonderzoek naar vegetatie, humus en bodemfauna*. 42
- Wolters, H., J. Hunink, J. Delsman, G. de Lange, F. Schasfoort, R. van der Mark, G.J. van den Born, E. Dammers, B. Rijken, S. Reinhard, 2018. *Deltascenario's voor de 21^e eeuw*.

Actualisering 2017. Achtergrondrapport over gebruiksfuncties en sectoren. Utrecht, Deltares.

- Zagwijn, W., 1994. Reconstruction of climate change during the Holocene in western and central Europe based on pollen records of indicator species. *Vegetation History and Archaeobotany* 3(2): 65-88.
- Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., ... Coomes, D., 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science*, 368(6492), 772-775. <https://doi.org/10.1126/science.aba6880>
- Zerbe, S., A. Brande & B. Kähler, 2004. Vegetationsökologische Untersuchungen als Grundlage für die zukünftige Entwicklung anthropogener Laubholzbestände - Das Beispiel des Colbitzer Lindenwaldes (Sachsen-Anhalt). *Naturschutz und Landschaftsplanung* 36(12): 357-362.
- Ziaco, E., A. Di Filippo, A. Alessandrini, M. Baliva, E. D'andrea & G. Piovesan, 2012. Old-growth attributes in a network of Apennines (Italy) beech forests: disentangling the role of past human interferences and biogeoclimate. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 146(1): 153-166.
- Zohner, C.M., L. Mo, S.S. Renner, J.C. Svenning, Y. Vitasse, B.M. Benito, A. Ordonez, F. Baumgarten, J.F. Bastin, V. Sebal, P.B. Reich, J. Liang, G.J. Nabuurs, S. de-Miguel, G. Alberti, C. Antón-Fernández, R. Balazy, U.B. Brändli, H.Y.H. Chen, C. Chisholm, E. Cienciala, S. Dayanandan, T.M. Fayle, L. Frizzera, D. Gianelle, A.M. Jagodzinski, B. Jaroszewicz, T. Jucker, S. Kepfer-Rojas, M. Latif Khan, H. Seok Kim, H. Korjus, V. Kvist, Johannsen, D. Laarmann, M. Lang, T. Zawila-Niedzwiecki, P.A. Niklaus, A. Paquette, H. Pretzsch, P. Saikia, P. Schall, V. Šebeň, M. Svoboda, E. Tikhonova, H. Viana, C. Zhang, X. Zhao & T.W. Crowther, 2020. Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. *PNAS*. 117; 22, 12192-12200.

Annex 1 Overzicht Nederlandse bostypen

Tabel I Overzicht van de Nederlandse bostypen ingedeeld naar groeiplaats. Per bostype is aangegeven welk aandeel het type inneemt in het totale oppervlak. Daarnaast is in de 4^e kolom aangegeven wat het aandeel is dat onder SNL valt, het aandeel met SNL beheertypen natuur (5^e kolom) en het aandeel met SNL beheertypen met

	Opp (ha)	GRPL%	Aandeel per groeiplaats						
			%SNL (N,L,A)	%N1,14,15,17	%N16	%N2000	Bos<1900	Bosrsrvt	Aloc
1 kalkrijke zandgronden (duinen)	6.916	2%	93%	77%	3%	44%	8%	1%	0%
2 kalkarme zandgronden (duinen; rijk/arm egengevoed, kwelgevoed, veen)	6.746	2%	90%	77%	2%	30%	27%	3%	9%
3 buitendijkse zeekleigronden	2.221	1%	97%	94%	2%	76%	48%	4%	16%
4 binnendijkse zeekleigronden (licht, zwaar)	20.644	5%	71%	23%	33%	0%	1%	1%	0%
5 laagveen en klei op veen	10.011	3%	74%	51%	11%	10%	3%	1%	2%
6 buitendijkse riviergronden	1.228	0%	80%	59%	6%	18%	10%	0%	4%
7 binnendijkse rivierkleigronden (licht, zwaar)	8.914	2%	68%	39%	24%	2%	21%	0%	1%
8 stagnerende leem- en kleigronden	9.827	3%	87%	54%	27%	5%	35%	1%	2%
9 droge leemgronden	4.038	1%	71%	52%	13%	19%	37%	1%	8%
10 rijke, regenwatergevoede zandgronden	82.408	21%	86%	32%	50%	6%	41%	0%	1%
11 arme regenwatergevoede zandgronden (droog, vochtig, nat)	177.090	45%	93%	34%	56%	2%	27%	1%	1%
12 kleiarm (hoog)veen	4.629	1%	91%	56%	15%	2%	8%	1%	2%
13 beekdalgronden	9.960	3%	88%	52%	27%	7%	19%	0%	4%
14 kwelgevoede zandgronden (buiten beekdalen)	12.147	3%	79%	38%	31%	2%	24%	1%	1%
15 hellinggronden op ondiepe kalk	1.080	0%	93%	84%	3%	57%	57%	2%	29%
16 gronden op vuursteeneluvium	686	0%	98%	61%	36%	67%	92%	3%	34%
overig	32.964	8%	34%	18%	10%	2%	49%	3%	3%
Totaal	391.508	100%	83%	36%	42%	5%	29%	1%	2%
		veel							
		redelijk							
		zeldzaam							
		zeer zeldzaam							



productiefunctie (6^e kolom). In de 7^e kolom is per bostype aangegeven wat het aandeel is dat binnen een Natura 2000 habitattype valt. De 8^e, 9^e en 10^e kolom geven aan wat respectievelijk het aandeel bos aangelegd voor 1900, het aandeel bosreservaat en het aandeel A-locatie bos is.

Opmerkingen bij deze tabel:

- *Oppervlakten en percentages in deze tabel worden nog vervangen door oppervlakten en percentages uit tabel 1.1*
- *er wordt nog gewerkt aan een verdeling naar provincie)*

Annex 2 Mate van onder/overschrijding van KDW van Ntot depositie

Tabel 1. *Mate van onder/overschrijding van KDW (op basis van meest kritische en minst kritische waarde) van Ntot depositie. Per groeiplaatstype is de KDW van de minst en meest kritische depositewaarde van de daarin voorkomende N2000 boshabitatypen bepaald. Vervolgens is de RIVM depositiekaart Ntotaal samengebracht met de Nederlandse bosgroeiplaatsenkaart, resulterend in een landelijk kaartbeeld en een kwantificering van de mate van onder- of overschrijding van de KDW per bosgroeiplaatstype.*



ONDER- EN OVERSCHRIJDING (GEREDUCEERDE) STIKSTOFDEPOSITIE BOS IN NEDERLAND:

HET GAAT HIER OM EEN ROBUUSTE BENADERING EN BEDOELD VOOR INSCHATTINGEN OP LANDSSCHAAL.

WERKWIJZE

- Deze versie omvat alle bossen en landschapselementen in Nederland op basis van top-10 vector. **Gelegen in en buiten NNN**
- Aangegeven: oppervlakte (ha) onder- en overschrijding N-x depositie in 2017 t.o.v. x-KDW. **Gehanteerde formule: $N-x \text{ (mol/ha/2017)} / x\text{-KDW (mol/ha/jr} \times 100 = n\% \text{ t.o.v. x-KDW}$** , vervolgens ingedeeld in 10% klassen (1= bv 10-20%).
- **N-x depositie** is uitgewerkt voor **Ntotaal** en daarbinnen afzonderlijk **NHx** en **NOx**. Bron: <https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten>
- x-KDW is **per Alterra-groeiplateatype bepaald**: een inschatting van de meest karaktersieke danwel best passende HT-bostypen, daarbij is zo nodig onderscheid gemaakt in meest (laagste) en minst kritische (hoogste KDW-waarde)
- Voor lokaties met **qualificerende HT-bostypen en begrensde zoekgebieden HT-bostypen** is uitgegaan van de specifieke KDW's van deze typen. Bron: Landelijke Habitattypenkaart Aeries (2019-08)

RESULTAAT

Ntotaal, meest kritische KDW										% per groeiplaatstype									
GRPLTS	KDWmees	KDW mins	Ha tot	<-10	-10-0	0-10	10-50	>50	tot	GRPLTS	KDWmees	KDW mins	Ha tot	<-10	-10-0	0-10	10-50	>50	tot
1 kalkrijke	1071	1786	6.972	2.109	775	936	3.031	119	6.972	1 kalkrijke	1071	1786	6.972	30%	11%	13%	43%	2%	100%
2 kalkarme	1071	1786	6.829	1.226	938	878	3.418	369	6.829	2 kalkarme	1071	1786	6.829	18%	14%	13%	50%	5%	100%
3 buitend	2429	2429	2.222	0	0	0	0	0	2.222	3 buitend	2429	2429	2.222	100%	0%	0%	0%	0%	100%
4 binnend	2000	2429	21.113	19.422	1.513	173	5	1	21.113	4 binnend	2000	2429	21.113	92%	7%	1%	0%	0%	100%
5 laagveen	1786	1786	10.319	8.977	697	485	160	0	10.319	5 laagveen	1786	1786	10.319	87%	7%	5%	2%	0%	100%
6 buitend	2000	2429	1.234	1.151	52	21	9	0	1.234	6 buitend	2000	2429	1.234	93%	4%	2%	1%	0%	100%
7 binnend	2000	2429	9.016	7.187	715	489	624	1	9.016	7 binnend	2000	2429	9.016	80%	8%	5%	7%	0%	100%
8 stagner	1429	1429	9.835	484	684	1.701	6.282	685	9.835	8 stagner	1429	1429	9.835	5%	7%	17%	64%	7%	100%
9 droge l	1429	1429	4.072	1.387	763	548	1.257	117	4.072	9 droge l	1429	1429	4.072	34%	19%	13%	31%	3%	100%
10 rijke, r	1429	1429	82.435	4.489	7.659	9.157	48.380	12.751	82.435	10 rijke, r	1429	1429	82.435	5%	9%	11%	59%	15%	100%
11 arme, r	1071	1786	177.104	323	297	637	36.502	139.344	177.104	11 arme, r	1071	1786	177.104	0%	0%	0%	21%	79%	100%
12 kleiar	1786	1857	4.631	2.874	856	391	505	5	4.631	12 kleiar	1786	1857	4.631	62%	18%	8%	11%	0%	100%
13 beekd	1429	1857	9.975	975	1.401	1.640	5.332	627	9.975	13 beekd	1429	1857	9.975	10%	14%	16%	53%	6%	100%
14 kwel	1429	1857	12.163	744	1.221	1.919	6.964	1.316	12.163	14 kwel	1429	1857	12.163	6%	10%	16%	57%	11%	100%
15 helling	1429	1429	1.089	772	245	67	5	0	1.089	15 helling	1429	1429	1.089	71%	22%	6%	0%	0%	100%
16 gronde	1429	1429	687	150	216	210	112	0	687	16 gronde	1429	1429	687	22%	31%	31%	16%	0%	100%
overig			33.012	641	32.276	27	57	11	33.012	overig			33.012	2%	98%	0%	0%	0%	100%
			392.708	55.133	50.306	19.278	112.644	155.347	392.708										
			359.696	54.492	18.030	19.251	112.587	155.336	359.696					15%	5%	5%	31%	43%	100%
Ntotaal, minst kritische KDW										% per groeiplaatstype									
GRPLTS	KDWmees	KDW mins	Ha tot	<-10	-10-0	0-10	10-50	>50	tot	GRPLTS	KDWmees	KDW mins	Ha tot	<-10	-10-0	0-10	10-50	>50	tot
1 kalkrijke	1071	1786	6.972	5.541	283	205	911	31	6.972	1 kalkrijke	1071	1786	6.972	79%	4%	3%	13%	0%	100%
2 kalkarme	1071	1786	6.829	5.361	404	192	871	2	6.829	2 kalkarme	1071	1786	6.829	79%	6%	3%	13%	0%	100%
3 buitend	2429	2429	2.222	2.222	0	0	0	0	2.222	3 buitend	2429	2429	2.222	100%	0%	0%	0%	0%	100%
4 binnend	2000	2429	21.113	21.104	6	2	1	0	21.113	4 binnend	2000	2429	21.113	100%	0%	0%	0%	0%	100%
5 laagveen	1786	1786	10.319	8.977	697	485	160	0	10.319	5 laagveen	1786	1786	10.319	87%	7%	5%	2%	0%	100%
6 buitend	2000	2429	1.234	1.218	7	7	2	0	1.234	6 buitend	2000	2429	1.234	99%	1%	1%	0%	0%	100%
7 binnend	2000	2429	9.016	8.454	441	108	12	0	9.016	7 binnend	2000	2429	9.016	94%	5%	1%	0%	0%	100%
8 stagner	1429	1429	9.835	484	684	1.701	6.282	685	9.835	8 stagner	1429	1429	9.835	5%	7%	17%	64%	7%	100%
9 droge l	1429	1429	4.072	1.387	763	548	1.257	117	4.072	9 droge l	1429	1429	4.072	34%	19%	13%	31%	3%	100%
10 rijke, r	1429	1429	82.435	4.489	7.659	9.157	48.380	12.751	82.435	10 rijke, r	1429	1429	82.435	5%	9%	11%	59%	15%	100%
11 arme, r	1071	1786	177.104	5.035	12.177	19.499	117.055	23.338	177.104	11 arme, r	1071	1786	177.104	3%	7%	11%	66%	13%	100%
12 kleiar	1786	1857	4.631	3.275	681	303	371	1	4.631	12 kleiar	1786	1857	4.631	71%	15%	7%	8%	0%	100%
13 beekd	1429	1857	9.975	5.713	2.214	1.095	920	33	9.975	13 beekd	1429	1857	9.975	57%	22%	11%	9%	0%	100%
14 kwel	1429	1857	12.163	6.377	2.748	1.420	1.534	85	12.163	14 kwel	1429	1857	12.163	52%	23%	12%	13%	1%	100%
15 helling	1429	1429	1.089	772	245	67	5	0	1.089	15 helling	1429	1429	1.089	71%	22%	6%	0%	0%	100%
16 gronde	1429	1429	687	150	216	210	112	0	687	16 gronde	1429	1429	687	22%	31%	31%	16%	0%	100%
overig			33.012	641	32.276	27	57	11	33.012	overig			33.012	2%	98%	0%	0%	0%	100%
			392.708	81.199	61.500	35.025	177.929	37.055	392.708										
			359.696	80.558	29.224	34.998	177.872	37.044	359.696					22%	8%	10%	49%	10%	100%



Unie van Bosgroepen i.s.m. Staatsbosbeheer en Stichting Probos

