



Aanvullende kengetallen koolstofvastlegging bosaanleg en -revitalisatie

Onderzoeksrapport

Erik Roest, Kees Hendriks en Bas Lerink



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Aanvullende kengetallen koolstofvastlegging bosaanleg en -revitalisatie

Onderzoeksrapport

Erik Roest, Kees Hendriks en Bas Lerink

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoeksthema 'Klimaat' (projectnummer BO-43.10-005-005).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, mei 2025

Gereviewd door:
G.J. Nabuurs, hoogleraar (Wageningen Environmental Research)

Akkoord voor publicatie:
E.J.M.M. Arets, teamleider Sustainable Forest Ecosystems

Rapport 3438
ISSN 1566-7197

Roest, E., K. Hendriks en B. Lerink, 2025. *Aanvullende kengetallen koolstofvast-legging bosaanleg en -revitalisatie; Onderzoeksrapport*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3438. 34 blz.; 0 fig.; 14 tab.; 31 ref.

Trefwoorden: bos, CO₂, koolstof, kengetallen, mitigatie, bosaanleg, bosrevitalisatie

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/693514> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2025 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een kwaliteitsmanagementsysteem volgens de ISO 9001. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3438 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Kees Hendriks

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
1 Aanleiding	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Achtergrond	9
1.3 Doel	9
1.4 Werkwijze	9
1.5 Kader	11
2 Vastleggen koolstof door uitbreiding areaal bos	12
2.1 Bronnen	12
2.1.1 NBI en EFISCEN-SPACE	12
2.1.2 Proefvelden-CGN	13
2.1.3 Nationaal Groenfonds	14
2.2 Kengetallen aanplanten nieuw bos	15
2.3 Kengetallen spontaan nieuw bos	15
3 Vastleggen koolstof door revitaliseren bestaand bos	17
3.1 Mogelijke maatregelen	17
3.2 Kengetallen per maatregelcluster	19
3.2.1 Aanplant mengboomsoorten	19
3.2.2 Netwerk Oude Aftakelende Bomen (NOAD)	21
3.2.3 Wildbeheersing	22
3.2.4 Hydrologisch herstel	23
3.2.5 Autonome koolstofvastlegging in bosbodems	24
4 Conclusies en aanbevelingen	25
4.1 Nieuw bos	25
4.2 Revitaliseringsmaatregelen	26
4.3 Kengetallen	27
Literatuur	28
Bijlage 1 Herkomsten CGN	30
Bijlage 2 Menging (overyielding)	31

Verantwoording

Rapport: 3438

Projectnummer: 5200047940

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: hoogleraar/senior onderzoeker

naam: G.J. Nabuurs

datum: 3 april 2025

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: E.J.M.M. Arets

datum: 10 april 2025

Woord vooraf

Bomen en bossen vervullen veel maatschappelijke functies en in relatie tot klimaat is het vastleggen van koolstof relevant. Bosuitbreiding en revitalisering van bos kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de vastlegging van extra koolstof. Inzicht in de snelheid en omvang van vastlegging is gewenst om de bijdrage van nieuw aan te leggen bos en revitaliseringsmaatregelen op koolstofvastlegging te kunnen beoordelen. Om die reden zijn er onder leiding van Wageningen Environmental Research (WENR) de afgelopen jaren al diverse projecten geweest die gericht waren op onderzoek rond deze koolstofvastlegging. Het onderliggende rapport is het product van het project 'Aanvullende kengetallen koolstofvastlegging bosaanleg en bosrevitalisatie' dat in 2023 is gestart. Allereerst gaat onze dank uit naar het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur in de persoon van Zev Starmans, die onze opdrachtgever/financier was. Daarnaast gaat onze dank uit naar alle collega's binnen en buiten WENR die aan eerdere vergelijkbare projecten hebben gewerkt en waar de inhoud van dit rapport sterk op leunt. Wat betreft de data die zijn gebruikt voor het onderliggende onderzoek gaat onze dank uit naar de volgende collega's, die allemaal in meer of mindere mate een bijdrage hebben geleverd aan dit project: Bas Lerink, Diede Tessemaker, Mart-Jan Schelhaas, Paul Copini, Silke Jacobs, Anjo de Jong, Aimy Lankheet, Sven van Baren, Judith van Tol, Inge Verbeek en Gert-Jan Nabuurs.

Ook danken wij Sander Teeuwen en Robin Zwijgers voor hun doorrekening van de Groenfonds- en CGN-data. Onze bijzondere dank gaat ook uit naar Vincent Lokin, Eric Arets en de provinciale bossencoördinatoren die bij de opstart van het project hebben bijgedragen aan het formuleren van de uitvraag richting de provincies en de communicatie met betrekking tot het verzamelen van gegevens die als input hebben gefungeerd voor het vaststellen van de verwachte hoeveelheid te nemen revitaliseringsmaatregelen per provincie. Die hoeveelheden zijn weliswaar niet in het onderliggende rapport uitgewerkt, maar die werkzaamheden maakten wel deel uit van hetzelfde project en deze hoeveelheden zijn de basis geweest voor de doorrekening van de provinciale ambities die uiteindelijk in een rapportage van de Bosgroepen is gepubliceerd (Kuneman, Van Wijhe, Kampherbeek & Roest, 2024). Ten slotte danken wij de Bossenstrategie-werkgroep Revitalisering Bos en in het bijzonder Martijn Boosten (Staatsbosbeheer) voor het meedenken over de revitaliseringsopgave en de opzet van kengetallen.

Kees Hendriks, Bas Lerink en Erik Roest

1 Aanleiding

1.1 Inleiding

Mogelijkheden om klimaatverandering, ontstaan door hoge CO₂-gehalten in de atmosfeer, te beperken en te compenseren (mitigatie), staan hoog op de politieke agenda. Bosuitbreiding en revitalisering van bos kunnen hieraan bijdragen door het vergroten van de koolstofvastlegging in de biomassa van het bos. Inzicht in de snelheid en omvang van vastlegging is gewenst om de bijdrage van nieuw aan te leggen bos en revitaliseringsmaatregelen te kunnen beoordelen.

1.2 Achtergrond

In de bossenstrategie is het voornemen uitgesproken tot uitbreiding van het bosareaal in Nederland en tot verbeteren van de vitaliteit van het bestaande bos. Doel van die strategie is om een kwaliteitsimpuls te geven aan het bos en versterking van de biodiversiteit en klimaatregulatie van het bos. Beoogd wordt om door het toepassen van maatregelen in relatie tot bos onder andere negatieve klimaateffecten te mitigeren door extra koolstof vast te leggen. In het klimaatakkoord is de opgave vastgelegd om in 2030 ten minste 0,4 tot 0,8 Mton CO₂ per jaar additioneel vast te leggen in bomen, bos en natuur (Kabinet der Nederlanden, 2019); dat is de totale ambitie, inclusief natte natuur, landschapselementen en bosaanleg.

Inzicht is gewenst in de snelheid en omvang van die vastlegging. Bij het berekenen van het vermogen van bos om CO₂ vast te leggen, wordt over het algemeen uitgegaan van ruwe schattingen die over het algemeen betrekking hebben op volgroeid bos. Beleidsdoelen voor klimaat liggen op een kortere tijdshorizon (2030) dan de tijd die nieuw bos nodig heeft om tot een volgroeid stadium te komen (60 tot 100 jaar). Specifieke kentallen voor jong bos zijn niet of beperkt voorhanden, terwijl bijvoorbeeld provincies die kengetallen wel nodig hebben om hun op bosuitbreiding en -revitalisering gerichte plannen door te rekenen.

1.3 Doel

Doel van deze rapportage is het opstellen van kengetallen voor koolstofvastlegging in bos, om zo de effecten van bos-gerelateerde maatregelen op de vastlegging van CO₂ te kunnen kwantificeren (mijlpaal 2030). Deze effecten worden berekend door kengetallen voor CO₂-vastlegging te vermenigvuldigen met de arealen waarop verschillende maatregelen zijn beoogd.

Bovendien kunnen deze, waar mogelijk geactualiseerde, kengetallen door Rijk, provincies en wellicht ook door particuliere initiatiefnemers gebruikt worden om hun plannen door te rekenen op het gebied van uitbreiding en revitalisering van bos.

1.4 Werkwijze

Om de additionele vastlegging van CO₂ in 2030 te kunnen bepalen, zijn de kengetallen voor bosaanleg tegen het licht gehouden en als input gebruikt voor kengetallen voor maatregelen waar tot nu toe kengetallen voor ontbraken.

Kengetallen

In 2022 zijn de factsheets Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en natuur met kengetallen voor de vastlegging van koolstof verschenen (Boosten, Lerink, Lokin & Schelhaas, 2022). Deze kengetallen hadden zowel betrekking op uitbreiding als op revitalisering. De factsheets Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en Natuur en de rapportages van Hendriks et al. (2021), Hendriks, Nabuurs, and Arets (2022) en Nabuurs et al. (2022) zijn de basis geweest voor het onderliggende onderzoek, aangezien het onderliggende rapport daar een rechtstreeks vervolg op is.

In ons onderzoek hebben we de volgende stappen doorlopen:

- Basis voor vervolg van het onderzoek waren de kengetallen voor koolstofvastlegging zoals vastgelegd in de factsheets (Boosten et al., 2022).
- De lijst met revitaliseringsmaatregelen is lang (Thomassen, Wijdeven, Boosten, Delforterie, & Nyssen, 2020), terwijl in de factsheets (Boosten et al., 2022) tot nu toe voor een beperkt aantal maatregelen kengetallen zijn opgesteld. Gezien de omvang van het onderzoek is daarom op basis van een inschatting van de CO₂-impact van de revitaliseringsmaatregelen een selectie gemaakt van revitaliseringsmaatregelen waarvoor nieuwe kengetallen zijn opgesteld.
- (Literatuur)onderzoek uitgevoerd naar aanvullingen op de data die als input zijn gebruikt voor Nabuurs et al. (2022) voor zowel uitbreiding als revitalisering. Welke aanvullende bronnen zijn gevonden en gebruikt, is nader uitgewerkt in hoofdstuk 2 en 3.
- Analyseren van datasets met aanvullende gegevens die uit de voorgaande stap naar voren kwamen, zoals de data van het Groenfonds en de proefvelden van het CGN, waarover meer is te vinden in hoofdstuk 2 en 3.
- Bestaande kengetallen voor uitbreiding en revitalisering tegen het licht gehouden en waar mogelijk verbeterd.
- Uitwerken en vaststellen van kengetallen voor een selectie van revitaliseringsmaatregelen waarvoor nog geen kengetallen waren uitgewerkt in de factsheets van Boosten et al. (2022).

De snelheid waarmee koolstof wordt vastgelegd, kan sterk verschillen per locatie. Elke locatie bezit andere kenmerken, zoals het type bodem waarop het bos staat en welke boomsoorten in het bos aanwezig zijn of worden aangeplant. Voor betrouwbare kengetallen is het vanuit het oogpunt van nauwkeurigheid wenselijk om voor elk specifieke kenmerk een eigen kengetal te hanteren. Tegelijkertijd is het praktisch op dit moment niet haalbaar om voor elke boomsoort, grondsoort of andere terreinomstandigheid een apart kengetal op te stellen. Daarom is zo veel mogelijk aangesloten bij de indeling zoals die ook eerder is gehanteerd door Boosten et al. (2022), aangevuld met de restcategorieën 'Onbekend' en 'Overig/ongedefinieerd' namelijk:

- Boomsoortengroepen
 - Loofbos
 - Snelgroeiend loofbos
 - Naaldbos
 - Onbekend (gemiddelde van de andere categorieën)
- Bodemcategorie
 - Arm zand
 - Rijk zand
 - Klei
 - Overig/ongedefinieerd (het gemiddelde van de andere categorieën)

Oorspronkelijk plan was om in het onderliggende rapport zowel het opstellen van de kengetallen als het schatten van de verwachte CO₂-vastlegging op te nemen. De revitaliseringsplannen van de provincies zijn de basis voor de schatting van de verwachte CO₂-vastlegging in 2030. Deze plannen zijn echter nog niet vastgesteld en daarmee ook nog niet openbaar. Bovendien verschillen de doelgroepen en de aard van vertrouwelijkheid tussen deze twee deelopdrachten. De kengetallen zijn bedoeld voor gebruik op lange termijn, terwijl de verwachte CO₂-vastlegging in 2030 aan veel onzekerheden onderhevig is, zoals provinciale ambities, beschikbaarheid van middelen etc. Daarom is in overleg met het Ministerie van LNV en de provincies besloten om twee verschillende rapportages te maken: één ter uitwerking van de kengetallen (het onderliggende rapport) en een andere rapportage voor intern gebruik ter uitwerking van de verwachte

gerealiseerde arealen per revitaliseringsmaatregel en de op basis daarvan geschatte CO₂-vastlegging, opgesteld onder leiding van een project van Bosgroep Midden Nederland ('Werkgroep Revitalisering Bos').¹

1.5 Kader

De kengetallen zijn deels op literatuur en bestaande datasets en deels op expert judgement gebaseerd. Binnen het overkoepelende programma Klimaatlim bosbeheer heeft binnen het project 'Nulmeting pilots klimaatlim bos- en natuurbeheer' weliswaar monitoring van klimaat-slimme maatregelen plaatsgevonden, maar deze pilots zijn nog te jong om bruikbare meetgegevens te genereren. Mogelijkheden om aanvullend te meten in het bos waren financieel/tijd-technisch niet aanwezig. Aanvullend is wel gebruikgemaakt van verbeterde gegevens van bestaande datasets. De kengetallen zijn dus grof en hebben de nodige onzekerheid. Voor een gedetailleerde doorrekening van bovengenoemde effecten zijn kengetallen nodig die zijn gespecificeerd naar vele kenmerkende terreinomstandigheden, zoals bostype, grondsoort, dominante boomsoort, voormalig landgebruik, bosvitaliteit, bosstructuur, dikte strooisellaag, waterhuishouding, bodemzuurgraad en schaal en het exacte oppervlakteaandeel waarop de betreffende maatregel wordt toegepast.

¹ Deze werkgroep stond onder leiding van Bosgroep Midden Nederland en bestond uit de volgende leden: Gijs Kuneman, Loes Kampherbeek, Penelope van Wijhe, Zev Starmans, Martijn Boosten, Mark Brunsveld, Tim Boerrigter, Stefan van der Werff en Erik Roest.

2 Vastleggen koolstof door uitbreiding areaal bos

Een van de maatregelen die benoemd is in de bossenstrategie om extra koolstof vast te leggen, is bosuitbreiding, ofwel door aanleg van nieuw bos of door het spontaan laten ontstaan van bos. Dit gebeurt veelal op voormalige landbouwgronden. De koolstofvoorraad in landbouwgrond is in de regel aanzienlijk lager dan de koolstofvoorraad in een bosbodem (Lesschen et al., 2012). Dit betekent dat de opbouw van de koolstofvoorraad in de bodem van nieuw bos op voormalige landbouwgrond waarschijnlijk in een ander tempo verloopt dan de opbouw van de koolstofvoorraad in de bodem van nieuw bos aangelegd op voormalige bosgrond. Het is daarom nodig om bij kengetallen minimaal onderscheid te maken in het type landgebruik voor bosaanleg. Dit hoofdstuk gaat in op de vastlegging van koolstof in bos op voormalige landbouwgrond.

2.1 Bronnen

Allereerst is algemeen literatuuronderzoek gedaan naar welke verschillende bronnen beschikbaar zijn met betrekking tot de vastlegging van koolstof in bestaand en nieuw bos. Uit dit onderzoek kwamen de volgende bronnen naar voren als het meest relevant:

1. Nederlandse Bosseninventarisatie (NBI) en het Model EFISCEN-SPACE (gebaseerd op alle Europese bosseninventarisaties, waaronder NBI-NL)
2. Proefvelden van het Centrum voor Genetisch Bronnen Nederland (CGN)
3. Nationaal Groenfonds

Behalve onderzoek naar bovenstaande bronnen is ook verkennend onderzoek gedaan in hoeverre de database met gegevens rond de Opbrengsttabellen (Jansen & Oosterbaan, 2018) mogelijk aanvullende informatie kan leveren, maar uit mondelinge bron van Jan de Ouden (Wageningen Universiteit) is vernomen dat de hoeveelheid data in die database die betrekking heeft op de eerste tien levensjaren van een boom zeer beperkt is en dat nader onderzoek daarmee niet zinvol is.

Daarnaast heeft navraag bij John Jansen (Wageningen Research, WR) duidelijk gemaakt dat de datasets die zijn opgebouwd in het kader van Ontwikkeling beheer natuurkwaliteit (o+bn Natuurkennis) ook geen bruikbare informatie bevatten die kunnen helpen bij het realiseren van het doel van deze nota.

Een analyse van beschikbare literatuur en bronnen heeft behalve de al eerder door Nabuurs et al. (2022) genoemde bronnen enkel de data van het Centrum voor Genetische Bronnen (CGN) als nieuwe bron van data opgeleverd. Andere datasets, zoals die verzameld door de studenten Sligter (2023) en Enting (2024) bevatten weliswaar data over bosaanleg op landbouwgronden, maar deze zijn gemeten na ca. 25 jaar, waardoor deze geen betrouwbaar beeld geven van de groei in de eerste 10 jaar na aanleg. In de volgende paragrafen wordt per bron een korte beschrijving gegeven.

2.1.1 NBI en EFISCEN-SPACE

De Nationale Bosseninventarisatie (NBI) is een inventarisatie die periodiek wordt herhaald en die gericht is op het in beeld brengen van de toestand van het Nederlandse bos (Schelhaas, 2022). Deze inventarisatie kan potentieel als input gebruikt worden voor drie typen kengetallen:

- A. Aanplant nieuw bos op landbouwgrond;
- B. Spontaan bos op landbouwgrond;
- C. Aanplant boomsoorten op eerder beboste gronden.

Wat betreft nieuw bos op landbouwgrond is het binnen deze inventarisatie mogelijk om selecties te maken van meetpunten (de zogenaamde plots) die recent zijn ontstaan op landbouwgrond. Deze inventarisatie brengt niet specifiek in beeld of de bomen zijn geplant of spontaan zijn opgekomen en ook niet wat het effect

is van bosaanleg, maar door de gegevens van de 7^e NBI (rapportage 2022) te vergelijken met de inventarisatieresultaten van de 6^e NBI (rapportage 2014), wordt inzicht verkregen in de uitbreiding van het bosareaal, ofwel de locaties waar nieuw bos is aangelegd.

De vergelijking van de 7^e NBI (NBI-7) met de 6^e NBI (NBI-6) laat zien dat er op 170 meetpunten (zogenaamde plots) volgens de inventarisatie sprake was van bos met een geschatte leeftijd van 0 tot 10 jaar. Uit een analyse van het landgebruik van de betreffende locatie ten tijde van de NBI-6, vergeleken met de data van Topotijdreis (Kadaster, n.d.), blijkt dat van die 170 plots slechts 17 daadwerkelijk als nieuw bos geassocieerd konden worden. Bovendien is er veel onzekerheid over het kiemjaar. Het kiemjaar wordt tijdens de NBI-opname namelijk geschat en is daarmee niet heel betrouwbaar. De combinatie van een beperkte steekproef (n=17) met onzekerheid over het kiemjaar maakt deze data niet geschikt om bruikbare kengetallen voor koolstofvastlegging te genereren.

Daarnaast is er nog gekeken of de NBI-gegevens bruikbare aanvullende informatie kunnen leveren op het gebied van bosontwikkeling op bosgrond; bijvoorbeeld na kap of schade. Zoals in de vorige paragraaf gemeld, is het aantal plots dat in aanmerking komt voor analyse vrij klein, namelijk 153 (170-17 plots). De analyse laat zien dat de plots met leeftijd 0 niet altijd overeenkomen met een leeftijd van 0 en dat het meer een restcategorie van plots met onbekende leeftijd is. De plots met een leeftijd van 1 of 2 laten zien dat die, ondanks het weglaten van de categorie 'overstaanders (bomen van een eerdere generatie bos)', vaak toch een abnormaal hoge voorraad hebben en dat andere plots soms extreem grote uitschieters laten zien. Al met al maakt dat deze dataset te onzeker om te gebruiken als input voor kengetallen voor aanplant, resp. spontane opslag, op voorheen beboste grond. Het probleem van het beperkte aantal steekproefpunten had opgelost kunnen worden door inventarisatiegegevens van Staatsbosbeheer (de zogenaamde SYHI-metingen, die op een vergelijkbare manier worden verzameld als de NBI-data) aan de dataset toe te voegen, maar dat zou het probleem van de onzekerheid over de leeftijd van individuele bomen niet hebben opgelost. Bovendien hebben zowel de NBI als SYHI als nadeel dat enkel de diameters van bomen worden verzameld die dikker zijn dan 5 cm, zodat deze dataset geen betrouwbare kengetallen levert voor de groei in de eerste tien jaar na aanleg.

Behalve de NBI zijn er ook nog data van vergelijkbare inventarisaties in andere Europese landen. Het model EFISCEN-SPACE doet voorspellingen op basis van data van zowel de Nederlandse NBI, als ook vergelijkbare datasets van andere landen. Nadeel van de Nederlandse NBI is dat de dataset alleen bomen bevat met een diameter van minimaal 5 cm. Dat is de ondergrens bij het meten. Daarnaast worden, zoals in de paragraaf over de NBI al genoemd, geen gegevens verzameld over het voormalig grondgebruik. Bij inventarisatie wordt vooral naar de onderlinge sociale positie gekeken en niet naar de leeftijd van individuele bomen. Al met al maakt dat dit model ongeschikt om betrouwbare kengetallen te genereren voor de groei van geplante, dan wel spontaan opgekomen bomen gerelateerd aan de leeftijd van de aanplant voor de eerste tien jaar.

2.1.2 Proefvelden-CGN

Het Centrum voor Genetische Bronnen Nederland (CGN) is een instituut dat zich bezighoudt met de genetische diversiteit in onder andere gewassen, landbouwhuisdieren en ook bomen. Hiertoe onderhoudt het CGN genenbanken en ook een groot aantal proefvelden met bomen. In deze proefvelden wordt de groei van specifieke herkomsten van bomen nauwgezet gevolgd en vastgelegd in een database.² In de database van het CGN zijn ook kenmerken opgenomen bij bomen met een diameter van minder dan 5 cm en daarmee is deze set heel geschikt ook inzicht te krijgen in de groei van jonge bomen. Dit zijn bij uitstek de gegevens die van belang zijn als input voor de kengetallen.

De proefvelddata zijn door Zwijgers and Teeuwen (2024) gebruikt om het Groenfonds-model te trainen en de zogenaamde Groenfondsdata opnieuw door te rekenen (voor meer informatie over de Groenfondsdata, zie de volgende paragraaf). Voor deze training is een selectie gemaakt binnen de proefvelddata, waarbij op basis van expert judgement alleen data van herkomsten zijn gebruikt die relatief veel worden toegepast in Nederland en die een gemiddelde groei laten zien. Meer informatie over de gebruikte herkomsten is te vinden in bijlage 1.

² Bron van de proefvelddata is Centrum Genetische Bronnen Nederland (CGN), gegenereerd in het kader van het Cultuur- en Gebruikswaardeonderzoek (CGO) t.b.v. de Rassenlijst Bomen en gefinancierd door de Raad voor plantenrassen.

Van de data van het CGN waren de data die betrekking hadden op de boomsoorten populier, inlandse eik, esdoorn en beuk op het moment van analyseren het geschiktst en het best voorhanden. Van de proefvelden zijn alleen die herkomsten in de analyse meegenomen die algemeen gebruikt worden bij plantprojecten. Weinig gebruikte soorten zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dat mogelijk herkomsten zijn die een minder goede groei hebben of niet representatief zijn.

2.1.3 Nationaal Groenfonds

Tussen 2001 en 2014 heeft het Nationaal Groenfonds (GRF) geld verstrekt om de aanleg van bos op landbouwgrond te ondersteunen (Zwijgers & Teeuwen, 2024). In 2008 heeft hierin een meting plaatsgevonden. De resultaten van deze meting zijn eerder al uitgewerkt in Nabuurs et al. (2022). Ten behoeve van onderliggend onderzoek heeft Probos, vertegenwoordigd door Zwijgers en Teeuwen (2024), op dezelfde dataset de volgende nieuwe analyses uitgevoerd:

“Op basis van de boommetingen is het mogelijk om het volume van een boom te berekenen door middel van volumefuncties en volumeschatters in combinatie met de dbh. Het boomvolume kan worden omgezet naar biomassa droge stof (koolstof), waarna deze wordt gebruikt voor de vastlegging van koolstofdioxide (CO₂). Voor deze notitie is een nieuwe volumefunctie (en bijbehorende schatters) bepaald. Deze volumefunctie is getraind op zowel de proefboommetingen van de Groenfondsdataset als op een dataset van het Centrum voor Genetische Bronnen Nederland (CGN). Met de vernieuwde volumefunctie zijn de volumes per boom voor de Groenfondsdataset berekend waarmee uiteindelijk de CO₂ per hectare per jaar is berekend.” (Zwijgers & Teeuwen, 2024).

Wat betreft de berekeningen hebben Zwijgers and Teeuwen (2024) de volgende stappen doorlopen:

- Stamtallen per plot berekend met onderscheid naald en loof;
- Stamtaalaandeel loof per plot berekend (= stamtal loof/stamtal plot);
- Per plot de biomassa & CO₂/ha & CO₂/ha/jr berekend;
- Per plot de CO₂/ha en CO₂/ha/jr gecorrigeerd door te delen met aandeel loof per plot;
- Totaal CO₂/ha/jr (corr.) gemiddeld over alle plots.

Belangrijkste verschil met de uitwerking in Nabuurs et al. (2022) is dat het volume is gebaseerd op de dbh van individuele bomen, in plaats van op basis van de gemiddelde diameter per proefvlak en dat de data zijn getraind met een andere dataset (CGN-data). Daarnaast is een correctie uitgevoerd voor naaldhout, omdat anders het naaldhout vanwege het geringe aantal niet in de berekeningen kon worden meegenomen. Plots met populier zijn vanwege het te geringe aantal buiten de analyse gehouden.

De uitkomst van het onderzoek van Zwijgers en Teeuwen (2024) is dat in de biomassa van bos van tussen de 1 en 10 jaar oud 5,5 ton CO₂/ha/jr wordt vastgelegd. Dit is een algemeen kengetal dat niet kon worden gespecificeerd naar categorieën boomsoorten (loofbos, snelgroeiend loofbos, naaldbos) of verschillende bodemtypen, want daarvoor was de GRF-dataset helaas te klein (529 proefboom-metingen). De eerdere resultaten van Nabuurs et al. (2022), zoals die ook zijn opgenomen in de factsheet, lieten een CO₂-toename zien die uiteenliep van 4 ton CO₂/ha/jr voor loofbos op arm zand tot 9 ton CO₂/ha/jr snelgroeiend loofbos op kleigrond. De waarde van 5,46 ton CO₂/ha/jr valt binnen de bandbreedte van de bijbehorende waarden van de factsheets. De waarden van de factsheet liggen in dezelfde orde grootte als de nieuw berekende waarden en de factsheet-waarden hebben als voordeel dat deze specifiek zijn voor categorieën boomsoorten en bodemtypen. Op basis van expert judgement is daarom samen met enkele collega's van Wageningen Environmental Research besloten om voorlopig gebruik te blijven maken van de factsheet-waarden uit 2022 (Boosten et al., 2022).

2.2 Kengetallen aanplanten nieuw bos

De oude kengetallen voor aanplant nieuw bos (Boosten et al., 2022) hadden enkel betrekking op de vastlegging van koolstof in de biomassa, en niet op die in de bodem. Wat betreft de ontwikkelingen in de bodemkoolstofvoorraad is daarom gekeken naar de resultaten van het onderzoek van De Jong, Vries, Dijk en Lerink (2024). Dit onderzoek laat zeer interessante waarden zien wat betreft de vastlegging van koolstof in bosbodems. Deze koolstofvastlegging betreft echter gemiddelden van koolstofvastlegging in bossen van tientallen jaren oud, terwijl onderzoek van bijvoorbeeld Paul, Polglase, Nyakuengama en Khanna (2002) laat zien dat de koolstofvastlegging in de bodem door de tijd heen aanzienlijk kan variëren. De resultaten van De Jong et al. (2024) zijn dus niet representatief voor de periode kort na de aanleg van bos en daarom niet opgenomen in de nieuwe kengetallen. In plaats daarvan is gekozen om de waarden uit de factsheet Bodemkoolstof onder nieuw bos (Boosten et al., 2022) op te nemen in het kengetal, zodat een kengetal voor koolstofvastlegging voor zowel biomassa als in de bodem kon worden gerealiseerd. De uitkomst van deze aanpassing is uitgewerkt in tabel 1.

Tabel 1 Kengetallen voor vastlegging in ton CO₂/ha/jaar na aanplant bos op landbouwgrond voor de periode 0 tot 10 jaar na aanplant (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld. Bron Boosten (2022), waarbij voor zandgrond een gemiddelde is genomen van kalkloos en kalkrijk zand en podzolgrond en voor klei een gemiddelde van brikgrond, leemgrond, oude kleigrond, rivierklei en zeeklei).

Alle waarden ton CO ₂ /ha/jaar		Netto	Netto, min.	Netto, max.	Gem.	Netto, min.	Netto, max.	Gem.
Maatregelvariant	Groeiplaats	In biomassa	In bodem (gras naar bos)	In bodem (akker naar bos)	In bodem	In biomassa en bodem	In biomassa en bodem	
Loofbos	Arm zand	4	-1,33	-0,97	-1,15	2,7	3,0	2,9
Naaldbos	Arm zand	3	-1,33	-0,97	-1,15	1,7	2,0	1,9
Gemengd	Arm zand					1,7	3,0	2,4
Snelgr. Loofbos	Rijk zand	13	-1,33	-0,97	-1,15	11,7	12,0	11,9
Loofbos	Rijk zand	7	-1,33	-0,97	-1,15	5,7	6,0	5,9
Naaldbos	Rijk zand	5	-1,33	-0,97	-1,15	3,7	4,0	3,9
Gemengd	Rijk zand					3,7	12,0	7,9
Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	15	0,62	1,28	0,95	15,6	16,3	16,0
Loofbos	Klei/rijk	9	0,62	1,28	0,95	9,6	10,3	10,0
Gemengd	Klei/rijk					9,6	16,3	13,0
Onbekend	Overig.ongedef.					3,7	16,3	10,0

2.3 Kengetallen spontaan nieuw bos

Specifieke kengetallen of databases met informatie over CO₂-vastlegging in spontaan opgekomen bos op landbouwgronden zijn zeer beperkt beschikbaar. Hendriks et al. (2021) hebben dit thema ook onderzocht en kwamen tot de conclusie dat de accumulatie van bovengrondse biomassa in aangelegd bos twee tot drie keer sneller verloopt dan in spontane bossen. Een duidelijke verklaring hiervoor ontbreekt, maar met name de snellere kroonsluiting die optreedt bij aangeplant bos lijkt hiervoor een verklaring te zijn (Nave et al., 2019). Ter aanvulling zijn nog andere bronnen bekeken, zoals publicaties van Anne Oosterbaan en Van Hees (1991) en Van den Berg en Oosterbaan (1997), maar deze bronnen hebben geen bruikbare aanvullende informatie opgeleverd.

Aannames

Op basis van Hendriks et al. (2021) en Nave et al. (2019) lijkt het ons reëel om de CO₂-vastlegging in spontaan bos gelijk te stellen aan 50% van de vastlegging in aangelegd bos. Op basis van die correctie komen we voor spontaan nieuw bos (ontstaan op voormalige landbouwgronden) tot de in tabel 2 genoemde kengetallen. Voor de minimale en maximale vastlegging zijn we uitgegaan van de waarden zoals genoemd door Boosten et al. (2022) in de factsheets.

Tabel 2 Kengetallen voor CO₂-vastlegging in spontaan bos voor de periode 0 tot 10 jaar na aanplant, in biomassa en bodem (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Subvariant	Groeiplaats	Bandbreedte in vastlegging CO ₂ t.o.v. aanpl. (Boosten et al., 2022)	Gem. t.o.v. aanpl. (Hendriks, 2021)	Min (20%) (ton CO ₂ /ha/jr)	Max (100%) (ton CO ₂ /ha/jr)	Gem (50%) (ton CO ₂ /ha/jr)
Loofbos	Arm zand	20%-100%	50%	0,5	3,0	1,4
Naaldbos	Arm zand	20%-100%	50%	0,3	2,0	0,9
Snelgr. Loofbos	Rijk zand	20%-100%	50%	2,3	12,0	5,9
Loofbos	Rijk zand	20%-100%	50%	1,1	6,0	2,9
Naaldbos	Rijk zand	20%-100%	50%	0,7	4,0	1,9
Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	20%-100%	50%	3,1	16,3	8,0
Loofbos	Klei/rijk	20%-100%	50%	1,9	10,3	5,0
Onbekend	Overig/Ongedef.	20%-100%	50%	0,3	16,3	8,3

3 Vastleggen koolstof door revitaliseren bestaand bos

Vitaal bos is een randvoorwaarde om te voldoen aan de doelen en ambities van Rijk en provincies, zoals verwoord in de Bossenstrategie (Ministerie van Landbouw & Gezamenlijke provincies, 2020). In de uitwerking van de Bossenstrategie staat dat vrijwel alle bossen in Nederland een kwaliteitsimpuls nodig hebben en dat diverse problemen de vitaliteit van de Nederlandse bossen bedreigen.

Van Maaren et al. (2024) hanteren de volgende definitie voor een vitaal bos:

“Een vitaal bos is een boscossysteem dat, nu en in de toekomst, verstoringen en milieuveranderingen kan ondervangen en zich hieraan aanpast, waardoor de aan bos gebonden biodiversiteit en diensten zich handhaven en kunnen ontwikkelen.”

Het proces van het verbeteren van de vitaliteit van bossen wordt bosrevitaliseren genoemd.

3.1 Mogelijke maatregelen

Als onderdeel van het hoofddoel ‘bosrevitalisering’ noemen Thomassen et al. (2020) een aantal maatregelen die bij kunnen dragen aan het op gang helpen van natuurlijke processen ten behoeve van bosrevitalisering. Aangevuld met maatregelen genoemd in Hendriks et al. (2022) geeft dat de volgende lijst:

1. Herstellen hydrologie op landschapsschaal
2. Verbeteren oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit
3. Aanpassen detailontwatering
4. Verbeteren schaal, buffering en verbinding bosgebieden
5. Verbeteren nutriëntenpomp, aanplant rijkstrooiselsoorten
6. Nutriëntengift (steenmeel)
7. Introduceren extra bodemorganismen/verhogen humusgehalte bodem
8. Versterken menging
9. Verhogen aandeel dood-hout/aanleg netwerk van oude en aftakelende dode bomen/meer natuurlijke processen
10. Stimuleren verjonging in/onder bos
11. Geassisteerde migratie/boomsoorten van andere herkomst toevoegen
12. Aanplanten droogteresistente soorten
13. Introduceren oud-bosplanten
14. Beschermen tegen wildvraat
15. Aanpassen wildstand
16. Kleinschalig beheer met behoud bosklimaat
17. Versterken bosstructuur
18. Bodembescherming bij exploitatie
19. Beperken terreinvoorbereiding
20. Oogst in balans met nutriëntenvoorraad
21. Verlagen stikstofdepositie
22. Herstelmaatregelen stikstof

Bovenstaande lijst is een selectie, want behalve deze maatregelen zijn ook vele andere maatregelen mogelijk. Vanuit het oogpunt van efficiëntie is het onderzoek dat ten grondslag ligt aan deze nota gericht op die maatregelen die relatief het meeste koolstof vastleggen. Hendriks et al. (2022) hebben daarom op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van het relatieve effect van de verschillende maatregelen op de koolstofvastlegging. Tabel 3 geeft hiervan een samenvatting (geen onderdeel van het rapport, maar wel in het kader van dat rapport opgesteld). Binnen deze tabel zijn de maatregelomschrijvingen die een sterke

overeenkomst lijken te hebben wat hun aard en verwachte CO₂-vastlegging betreft, geclusterd tot zogenaamde maatregelclusters.

Bovenstaande maatregelen kunnen in bepaalde gevallen ruimtelijk gestapeld worden, denk bijvoorbeeld aan de combinatie van hydrologische maatregelen en aanpassen wildstand. In principe kunnen in dat geval de kengetallen per maatregel opgeteld worden, al is nog onvoldoende onderzoek gedaan om uit te sluiten dat er dan mogelijk niet in enige mate sprake kan zijn van dubbeltelling.

Tabel 3 Verwacht relatief effect van revitaliseringsmaatregelen (+ positief, - negatief, +/- positief of negatief, = geen of weinig effect, ? Effect onbekend).

Nr.	Maatregelomschrijving	Maatregelcluster	Effect op groei/koolstof-vastlegging	Groot effect verwacht binnen 5 jaar	Uitwerken in kengetal
1	Herstellen hydrologie op landschapsschaal	Hydrologisch herstel	+/-	nee	ja
2	Verbeteren oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit (KRW)	Hydrologisch herstel	+/-	nee	ja
2	Aanpassen detailontwatering	Hydrologisch herstel	+/-	nee	ja
3	Verbeteren schaal, buffering en verbinding van bosgebieden op landschapsschaal	Aanplant nieuw bos	nieuw bos +, bestaand bos =	ja	ja
5	Verbeteren nutriëntenpomp, aanplant rijkstrooiselsoorten	Aanplant mengboomsoorten	+/-	ja, als hoogproductieve soorten worden vervangen door minder productieve soorten of v.v.	ja
6	Nutriëntengift (steenmeel)	Nutriëntenbalans	+?	nee	nee
7	Introduceren extra bodemorganismen/verhogen humusgehalte bodem	Introductie flora en fauna	+?	nee	ja
8	Versterken menging	Aanplant mengboomsoorten	+/-	ja, als hoogproductieve soorten worden vervangen door minder productieve soorten v.v.	ja
9	Verhogen aandeel dood hout/aanleg netwerk van oude, aftakelende en dode bomen (NOAD)	NOAD	+	beperkt	ja
10	Stimuleren verjonging in/onder bos	Stimuleren verjonging	+/-	ja, in holle bossen kan het tot hogere koolstofvastlegging leiden	ja
11	Geassisteerde migratie	Aanplant mengboomsoorten	+/-	beperkt	ja
12	Aanplanten droogteresistente boomsoorten	Aanplant mengboomsoorten	+/-	beperkt	ja
13	Introductie oud-bosplanten	Introductie flora en fauna	=/+	nee	nee
14	Bescherming tegen wildvraat	Wildbeheersing	+	ja	ja
15	Aanpassen wildstand	Wildbeheersing	+	ja	ja
16	Kleinschalig beheer met behoud bosklimaat	Structuurverbetering	+/-	nee	nee
17	Versterken bosstructuur	Structuurverbetering	+/-	nee (mits geen grootschalige kap)	nee
18	Bodembescherming bij exploitatie	Bodembescherming	=?	nee	nee
19	Beperken terreinvoorbereiding	Bodembescherming	-	nee	nee
20	Oogst in balans met nutriënten - voorraad	Nutriëntenbalans	-	ja	nee
21	Verlagen stikstofdepositie bos	Nutriëntenbalans	?	nee	nee
22	Herstelmaatregelen stikstof	Nutriëntenbalans	+/-	soms	nee

De omvang en deadline van het onderzoek noodzaakten de onderzoekers om te focussen op maatregelen met een groot effect op de koolstofvastlegging in 2030. Het onderzoek is daarom toegespitst op de volgende maatregelclusters, wat grotendeels aansluit op Hendriks et al. (2022):

- A. Aanplant mengboomsoorten (stimuleren verjonging, geassisteerde migratie, aanplant droogteresistente- en rijkstrooiselsoorten);
- B. Netwerk Oude Aftakelende Bomen;
- C. Wildbeheersing (beschermen tegen wildvraat, of aanpassen wildstand);
- D. Hydrologisch herstel. Deze maatregel werd door Hendriks et al. (2022) niet tot de maatregelen gerekend die een grote verwachte invloed op de CO₂-vastlegging hebben. Op advies van Martijn Boosten, die deel uitmaakte van de eerdergenoemde werkgroep die is opgericht voor het opstellen van het rapport van de bosgroep met daarin de geschatte arealen van de revitaliseringsmaatregelen verzamelde, is voor hydrologische maatregelen alsnog een kengetal vastgesteld;
- E. Uitbreiding areaal bos. Deze maatregel is al uitgewerkt in het voorgaande hoofdstuk.

Tabel 3 laat ook de maatregel Herstelmaatregelen stikstof (nr. 22; begrazen en verwijderen ongewenste soorten) en Oogst in balans met nutriëntenvoorraad (nr. 20) zien als maatregelen die (soms) een groot effect kunnen hebben op de koolstofvastlegging. Omdat deze maatregelen sterk locatie-afhankelijk zijn, zowel wat betreft het gevoerde beheer als de groeiplaats, leek het de onderzoekers niet haalbaar hier op korte termijn een algemeen kengetal voor vast te stellen. Daarom zijn deze maatregelen in dit onderzoek niet nader uitgewerkt in een kengetal.

De onderstaande revitaliseringsmaatregelen zijn dermate verschillend dat hiervoor niet zoals in hoofdstuk 2 één aparte paragraaf met bronnen is opgesteld voor alle varianten, maar de gebruikte bronnen zijn apart per variant uitgewerkt.

De autonome toename van de voorraad koolstof in de bodem van bestaand bos is niet gebonden aan een specifieke revitaliseringsmaatregel en is daarmee niet additioneel. Dit is echter wel een aanzienlijke toename en daarmee relevant voor het totaalbeeld van de ontwikkeling van de koolstofvoorraad in het Nederlandse bos. Daarom is dit kengetal ook nader uitgewerkt en aan het overzicht toegevoegd.

3.2 Kengetallen per maatregelcluster

In de onderstaande paragrafen wordt per maatregelcluster uitgelegd hoe het kengetal voor CO₂-vastlegging tot stand is gekomen, welke aannames zijn gedaan en wat de kengetallen voor de verschillende onderdelen zijn. Alle kengetallen hebben betrekking op de zogenaamde netto-oppervlakte. Wanneer in 1 ha bos (bruto 1 ha) bijvoorbeeld op 20% van de oppervlakte groepsgewijs mengboomsoorten worden ingebracht, dan geldt het kengetal voor de 0,2 ha netto aanplant.

3.2.1 Aanplant mengboomsoorten

Dit maatregelcluster is een samenvoeging van de volgende revitaliseringsmaatregelen:

- Aanplant rijkstrooiselsoorten (maatregel 5)
- Versterken menging (maatregel 8)
- Aanplanten nieuwe soorten/'assisted migration' (maatregel 11)
- Aanplanten droogteresistente soorten (maatregel 12)

Bronnen

Vanuit de klimaatenvelop is bij WENR eerder een project gestart, genaamd 'Nulmeting en eerste effectrapportages en analyse pilots klimaatslim bos- en natuurbeheer'. Dit project loopt nog steeds op het moment van schrijven. Dat project begint al enige data op te leveren die op termijn mogelijk input kunnen leveren voor de kengetallen, maar de bomen zijn nog dusdanig klein dat ze eigenlijk nog geen goede data leverden die konden helpen bij het vaststellen van kengetallen voor het bepalen van boven- en ondergrondse biomassa. Daarnaast waren deze pilots redelijk kleinschalig van opzet, wat de data minder statistisch betrouwbaar maakt.

Daarnaast is nog gekeken of de opbrengsttabellen van Jansen and Oosterbaan (2018) aanknopingspunten boden voor het bepalen van kengetallen voor koolstofvastlegging als gevolg van het verhogen van het aandeel mengboomsoorten, maar dat bleek niet goed haalbaar. De opbrengsttabellen zijn gebaseerd op data met heel weinig opnamen die zijn uitgevoerd in de eerste tien jaar na aanleg en bovendien houden de opbrengsttabellen geen rekening met aanplant onder scherm. Vervolgens is gekeken of de resultaten van de NBI-7 (Schelhaas et al., 2022) ook nog bruikbare data boden met betrekking tot deze maatregel, maar de uitkomsten van deze berekeningen lieten een dermate grote spreiding zien en betroffen een dermate klein aantal plots dat deze onvoldoende betrouwbaar waren om als bron ingezet te worden.

Aannames

Bij het vaststellen van het kengetal zijn de volgende aannames gedaan:

1. Voor de CO₂-vastlegging maakt het, in elk geval op de korte termijn, niet zoveel uit welke soorten, of met welk doel deze worden aangeplant worden. Daarom zijn geen aparte kengetallen opgesteld voor de verschillende varianten van 'Verhogen aandeel mengboomsoorten'.
2. Op basis van expert judgement is besloten om de kengetallen voor aanplant op landbouwgrond als basis te gebruiken, met een generieke korting van 50%. Deze korting is toegepast, omdat voormalige landbouwgronden in het algemeen een hoger nutriëntengehalte hebben dan bosgronden en omdat er bij aanplant in op open plekken in het bos en onder scherm meestal meer sprake is van licht-, vocht- en voedselconcurrentie.
3. Dat van de aangeplante bomen de lichtboomsoorten in relatief open bos worden geplant en de schaduwboomsoorten in een meer gesloten bos.
4. Voor de korte termijn (0-10 jaar) gaan wij ervan uit dat het onderplanten/inplanten van groepen geen nadelig effect heeft op het volume en de bijgroei van de huidige opstand. De gestelde grens van tien jaar is daarbij arbitrair en nog niet onderzocht. Bij afwezigheid van kap kan de bijgroei van de nieuw aangeplante bomen als additioneel worden beschouwd t.o.v. de bijgroei van bestaand bos eromheen. Mochten er echter bomen gekapt moeten worden om eerst ruimte te maken in het kronendak, dan heeft deze kap effect op het vrijkomen van koolstof in de vorm van geoogst hout, het verteren van achterblijvende takken en dergelijke. Dit is echter dermate locatieafhankelijk dat dit niet in het kengetal is meegenomen. Voor de lange termijn spelen er allerlei interacties rond verschillende bomen. Denk aan verschillende lichtbehoeften en bewortelingsdiepten en het effect daarvan op de bijgroei. Het langetermijneffect van meer menging, in de wetenschappelijke literatuur vaak gerelateerd aan het thema overyield, is niet meegenomen in tabel 4, maar wel nader toegelicht in bijlage 2.

Bovenstaande gegevens leiden uiteindelijk tot de kengetallen zoals weergegeven in onderstaande tabel (tabel 4).

Tabel 4 Kengetallen voor additionele CO₂-vastlegging aanplant op landbouwgrond voor de periode 0 tot 10 jaar na aanplant, in biomassa en bodem (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld. Bron Boosten (2022), waarbij voor zandgrond een gemiddelde is genomen van kalkloos en kalkrijk zand en podzolgrond en voor klei een gemiddelde van brikgrond, leemgrond, oude kleigrond, rivierklei en zeeklei).

Subvariant	Groeiplaats	Correctiefactor t.o.v. aanplant open veld	Min (ton CO ₂ /ha/jr)	Max (ton CO ₂ /ha/jr)	Gem (ton CO ₂ /ha/jr)
Loofbos	Arm zand	50%	1,3	1,5	1,4
Naaldbos	Arm zand	50%	0,8	1,0	0,9
Snelgr. Loofbos	Rijk zand	50%	5,8	6,0	5,9
Loofbos	Rijk zand	50%	2,8	3,0	2,9
Naaldbos	Rijk zand	50%	1,8	2,0	1,9
Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	50%	7,8	8,1	8,0
Loofbos	Klei/rijk	50%	4,8	5,1	5,0
Onbekend	Overig/Ongedef.	50%	0,8	8,1	4,5

3.2.2 Netwerk Oude Aftakelende Bomen (NOAD)

Uitstel van oogst wordt tegenwoordig vaak vormgegeven door het realiseren van een netwerk van Oude, Aftakelende en Dode bomen, een zogenaamd OAD-netwerk of NOAD (Van Maaren et al., 2024). Dit is een netwerk van percelen, groepen en individuele bomen waar geen oogst meer plaatsvindt en waar bomen de kans krijgen om oud te worden, af te takelen en als dood hout geleidelijk te vergaan. Dit is grotendeels een vorm van nietsdoen-beheer, waar eventueel ter aanvulling ook bomen kunnen worden geringd.

Bronnen

In het rapport van Den Ouden, Schelhaas, Clerkx, de Waal en Lerink (2020) is uitgewerkt hoeveel CO₂ wordt vastgelegd in enkele onbeheerde bossen. Hierbij hebben zij de extra CO₂-vastlegging in de levende biomassa verminderd met het directe effect in producten die vrij zouden komen indien er hout zou worden geoogst. Deze producten-correctie hebben wij ook toegepast in de kengetallen in tabel 5.

De extra CO₂-vastlegging in dood hout en de bosbodem is nog lastig kwantificeerbaar. Den Ouden et al. (2020) nemen aan dat de verschillen in vastlegging in dood hout en de bosbodem het beeld niet doorslaggevend zullen veranderen. Onbeheerde bossen en een NOAD hebben sterke overeenkomsten, namelijk dat het stukken bos betreft waar geen oogst plaatsvindt en waar bomen de kans krijgen om af te takelen en dood te gaan. Het enige verschil is dat er in een NOAD incidenteel ook bomen kunnen worden geringd. Besloten is de koolstofvastlegging in niet-beheerde bossen als bron te gebruiken voor het kengetal voor NOAD.

Den Ouden et al. (2020) hebben enkel de vastlegging berekend voor bossen op zandgrond. Ter aanvulling is daarom voor deze rapportage met het model EFISCEN-SPACE op basis van dezelfde dataset (NBI-6) en volgens de methode 'statisch', een aanvullende doorrekening gedaan voor klei- en leemgronden. Deze aanvulling is toegevoegd aan de gegevens in tabel 5. Binnen de waarden voor klei- en leemgrond kon helaas geen onderscheid worden gemaakt tussen een minimum- en maximumwaarde.

Om tot CO₂-vastleggingskengetallen te komen, moesten vanwege de bovenstaande onzekerheden een aantal aannames gedaan worden.

Aannames

1. Het kwantitatieve effect van een NOAD is niet bekend. Net zomin als hoe vaak bomen in een NOAD worden geringd of wat het exacte effect van het ringen is op de gemiddelde CO₂-vastlegging. Daarom wordt voor de kengetallen voor onbeheerd bos, aanleg NOAD en het verhogen van het aandeel dood hout hetzelfde kengetal aangehouden. De CO₂-vastleggingsgetallen voor biomassa van Den Ouden et al. (2020) worden hierbij aangehouden als basis voor het kengetal voor NOAD.
2. Geoogst hout kan bij toepassing als alternatief voor een andere grondstof, zoals beton, zorgen voor verminderde uitstoot van CO₂. Dit zogenaamde substitutie-effect is ook uitgewerkt in het rapport van Den Ouden et al. (2020). Aangezien in het onderliggende rapport bij alle andere kengetallen geen rekening wordt gehouden met het substitutie-effect, wordt dit effect ook niet meegenomen in de kengetallen voor NOAD.
3. Voor rijk zand lopen de waarden sterk uiteen per boomsoort. Daarom is ervoor gekozen om niet de laagste waarde als minimum en de hoogste waarde als maximum aan te houden, maar om op basis van het oppervlakteaandeel van de verschillende boomsoorten een gewogen gemiddelde te bepalen.
4. Met het model EFISCEN-SPACE is op basis van dezelfde dataset (NBI-6) en volgens de methode 'statisch' een aanvullende doorrekening gedaan voor klei- en leemgronden. Voor kleigronden was geen schatting van de vastlegging in producten beschikbaar zoals in Den Ouden et al. (2020). In Den Ouden et al. (2020) is de vastlegging in producten tussen de 11% en 16% van de toename van de biomassa. Daarom wordt voorzichtigheidshalve voor bos op kleigrond uitgegaan van 16% vastlegging in producten (die waarde wordt op de extra vastlegging in mindering gebracht).
5. Voor onbekende groeiplaatsen (overig/ongedefinieerd; toe passen op gebieden waar geen gegevens bekend zijn van de groeiplaats) wordt als minimum de laagste waarde van de andere kengetallen voor NOAD aangehouden en als maximum de hoogste waarde van de andere kengetallen. Als gemiddelde wordt het rekenkundig gemiddelde van die twee waarden aangehouden.

Bovenstaande gegevens leiden uiteindelijk tot de kengetallen zoals weergegeven in onderstaande tabel (tabel 5).

Tabel 5 Kengetal voor additionele CO₂-vastlegging in levende biomassa als gevolg van uitstel oogst, bron voor zandgronden: Den Ouden et al. (2020) (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Groeiplaats	Min (ton CO ₂ /ha/jr)	Max (ton CO ₂ /ha/jr)	Gem (ton CO ₂ /ha/jr)
Arm zand	3,5	3,5	3,5
Rijk zand	10,9	10,9	10,9
Klei/rijk	7,1	7,1	7,1
Overig/Ongedef.	3,5	10,9	7,2

3.2.3 Wildbeheersing

Dit maatregelcluster is een samenvoeging van de volgende revitaliseringsmaatregelen:

- Bescherming tegen wildvraat (maatregel 14)
- Aanpassen wildstand (maatregel 15)

Bronnen

Relevante bronnen op het gebied van het effect van bescherming tegen wild zijn beperkt voorhanden. In tabel 6 is – op basis van relevante waarden gevonden door Reichgelt et al. (2022) en Ramirez et al. (2021) – uitgewerkt welke effecten per bostype te verwachten zijn.

Tabel 6 Effecten van wildbeschermingsmaatregelen per categorie. De afname betreft het verschil in aantallen verjonging als gevolg van wildvraat t.o.v. de niet-begraasde referentie.

	Regio	Categorie	Afname aantal verjonging
Ramirez (2020), tabel 2	Veluwe	naald + loof	46%
Reichelt (2022), fig 3.5	Veluwe	naald	43%
Reichelt (2022), fig 3.5	Veluwe	loof	67%
Reichelt (2022), fig 3.5	Veluwe	gemengd	53%
Gemiddelde van bronnen			49%

Behalve verkenning van bovenstaande bronnen is ook gekeken naar rapporten van A. Oosterbaan en Van den Berg (2011) en de database van Schelhaas et al. (2022), maar deze bronnen gaven geen bruikbare aanknopingsbronnen. Hendriks et al. (2021) gaan weliswaar in op het thema vraat bij aanleg van bos op landbouwgrond, maar niet op vraat bij bomen in bosverband en is daarmee ook niet goed toepasbaar voor het genereren van CO₂-vastleggingskengetallen voor wildbeschermingsmaatregelen in bosverband. Om tot CO₂-vastleggingskengetallen te komen, moesten daarom een aantal aannames gedaan worden.

Aannames

1. We gaan er op basis van expert judgement in de bovenstaande tabel van uit dat wildbeschermingsmaatregelen de elders waargenomen afname in aantallen verjonging ongedaan kunnen maken en dat als het ware de situatie zal terugkeren naar de situatie voordat de hoge wilddruk tot stand kwam.
2. We gaan er op basis van expert judgement van uit dat na het toepassen van de maatregelen tegen wild er verjonging op gang zal komen in het tempo van spontane verjonging op landbouwgronden, waarbij wel een korting van 20%-punt in rekening wordt gebracht (10%-punt voor het gegeven dat verjonging op bosgrond trager groeit dan verjonging op landbouwgrond en 10%-punt voor de hogere schaduwdruk in bosverband).
3. We gaan er op basis van expert judgement van uit dat het effect van bescherming tegen wild in een gebied met een gemiddelde druk 50% is van die in een gebied met een hoge wilddruk zoals de Veluwe).
4. In bovenstaande tabel zijn we bij het bepalen van het gemiddelde percentage uitgegaan van een verhouding naald-loof van 1:1.

Bovenstaande gegevens leiden uiteindelijk tot de kengetallen zoals weergegeven in tabel 7.

Tabel 7 Kengetallen voor additionele CO₂-vastlegging in biomassa en bodem als gevolg van wildbeheersing (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Variant	Groeiplaats	Basis -/- correctie Min (ton CO ₂ /ha/jr)	Basis -/- correctie Max (ton CO ₂ /ha/jr)	Basis -/- correctie Gem (ton CO ₂ /ha/jr)	Raster- effect	Min (ton CO ₂ /ha/jr)	Max (ton CO ₂ /ha/jr)	Gem (ton CO ₂ /ha/jr)
Hoge druk (Veluwe)	Arm zand	0,3	2,0	0,9	49%	0,2	1,0	0,5
Hoge druk (Veluwe)	Rijk zand	1,1	5,9	2,9	49%	0,6	2,9	1,4
Hypothetisch	Klei/rijk	2,0	10,6	5,2	49%	1,0	5,3	2,6
gem. druk	Arm zand					0,1	0,5	0,2
gem. druk	Rijk zand					0,3	1,5	0,7
gem. druk	Klei/rijk					0,5	2,6	1,3

3.2.4 Hydrologisch herstel

Hydrologische herstelmaatregelen kunnen in veel verschillende vormen voorkomen. Dit maatregelcluster is een samenvoeging van de volgende revitaliseringsmaatregelen:

- Herstellen hydrologie op landschapsschaal (maatregel 1)
- Verbeteren oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit (maatregel 2)
- Aanpassen detailontwatering (maatregel 3)

Vaak zal het gaan om het extra vasthouden van water, maar het kan ook gaan om het tegengaan van wateroverlast. Tegelijkertijd kan het een maatregel zijn met een groot gebied waar maar een enkele watergang wordt aangepakt, of juist een gebied met een grote dichtheid aan watergangen. Ten slotte kan het zowel om oppervlakte- als grondwater gaan. Het effect van hydrologische maatregelen kan echter groot zijn en daarom is op advies van Martijn Boosten, die deel uitmaakte van de werkgroep die de geschatte arealen van de revitaliseringsmaatregelen verzamelde, toch besloten deze maatregel uit te werken in een kengetal.

Bronnen

Bronnen over het effect van hydrologische maatregelen op de CO₂-vastlegging zijn uiterst schaars. Dit is ook logisch, want hydrologische maatregelen zijn met een groot aantal variabelen omgeven. Daarom was het voor het uitwerken van deze maatregel noodzakelijk om een groot aantal aannames te doen.

Aannames en uitgangspunten

1. Staatsbosbeheer (2022) heeft metingen die aangeven wat het effect is van enkele droge zomers op de bijgroei bij verschillende boomsoorten op zandgrond. We gaan er op basis van expert judgement in de onderstaande tabel van uit dat hydrologische maatregelen kunnen leiden tot het omgekeerde effect, qua bijgroei. Een afname van bijvoorbeeld 50% door droogte komt overeen met een toename van 100% bij het wegnemen van deze hydrologische beperking. Staatsbosbeheer kwam tot een gemiddelde afname van de groei van 7,4%, wat omgerekend tot een verbetering van 8,0% kan leiden.
2. Uitgangspunt is dat er nu ook sprake is van verminderde groei bij de bomen, wanneer dat namelijk niet het geval is, valt er ook geen verbetering van de groei te verwachten. Als minimale waarde qua effect wordt daarom de laagste procentuele verslechtering in de notitie van Staatsbosbeheer (2022) aangehouden en als maximale waarde de procentuele verbetering in deze notitie.
3. De percentages zijn vermenigvuldigd met de gemiddelde bijgroei, zoals berekend als gewogen gemiddelde uit Schelhaas et al. (2022).
4. Dit getal is met zoveel onzekerheden omgeven en is gebaseerd op zandgronden, zodat we dit getal algemeen van toepassing verklaren, en het niet omrekenen naar verschillende groeiplaatsen.
5. Bij andere maatregelen is zo veel mogelijk gekeken naar zowel biomassa als koolstof in de bodem (AGB+BGB+soil). Ten opzichte van de bijgroei is de vastlegging in de bodemkoolstof volgens professor Gert-Jan Nabuurs ongeveer 20% (persoonlijke communicatie, oktober 2024). Dat verschil is dermate klein en de vele onzekerheden rond vastlegging in de bodem in relatie tot hydrologische maatregelen dermate groot, dat we de vastlegging in de bodem bij het vaststellen van het kengetal voor deze herstelmaatregelen buiten beschouwing hebben gelaten.
6. Conversiefactor van vers hout naar droge stof: specifieke waarden per boomsoort (IPCC, 2006).

7. Conversiefactor voor droge stof naar koolstof: 0,4935. Deze waarde is als een gewogen gemiddelde bepaald op basis van de waarden van 0,51 voor naalddhout en 0,48 voor loofhout, zoals genoemd door Arets et al. (2023).
8. Conversiefactor voor koolstof naar CO₂: 3,67.

Bovenstaande gegevens leiden uiteindelijk tot de kengetallen zoals weergegeven in tabel 8.

Tabel 8 Kengetallen voor additionele CO₂-vastlegging in biomassa en bodem als gevolg van hydrologische herstelmaatregelen (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Gem. verbetering (m ³ /ha/jr)	Min. toename CO ₂ (ton/ha/jr)	Max. toename CO ₂ (ton/ha/jr)	Gem. toename CO ₂ (ton/ha/jr)
0,53	0,2	1,6	0,5

3.2.5 Autonome koolstofvastlegging in bosbodems

Onderzoek van De Jong et al. (2024) laat zien dat bestaand bos op zandgrond in de periode 1990 tot 2023 een aanzienlijke toename van de koolstof in de bodem laat zien. Daarmee is een aanzienlijke hoeveelheid CO₂ vastgelegd. Dit betreft een autonome vastlegging die niet specifiek aan een revitaliseringsmaatregel kan worden toegekend en die daarmee niet additioneel is. Dit kengetal dient daarom los gezien te worden van de andere kengetallen in deze paragraaf.

Aannames en uitgangspunten

1. De maatregelen Uitbreiding areaal bos en Verhogen aandeel mengboomsoorten en Bescherming tegen wild houden ook allemaal rekening met extra vastlegging van koolstof in de bodem. Bij gebruik van deze kengetallen dient er daarom op gelet te worden dat deze maatregelen een overlap hebben met het kengetal voor generieke additionele CO₂-vastlegging in bosbodems.
2. Conversiefactor voor koolstof naar CO₂: 3,67.

Bovenstaande gegevens leiden uiteindelijk tot de kengetallen zoals weergegeven in tabel 9.

Tabel 9 Kengetallen voor autonome CO₂-vastlegging in de bodem, in ton CO₂/ha/jaar (min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Groeiplaats	Vastlegging Min.	Vastlegging Max.	Vastlegging Gem.
Arm/rijk zand	1,0	2,1	1,6

4 Conclusies en aanbevelingen

Mogelijkheden om klimaatverandering, ontstaan door hogere CO₂-gehalten in de atmosfeer, te beperken staan hoog op de politieke agenda. Bosuitbreiding en revitalisering van bos kunnen hieraan bijdragen door het vergroten van de koolstofvastlegging in de biomassa van het bos. Inzicht in de snelheid en omvang van vastlegging is essentieel om de bijdrage van nieuw aan te leggen bos en revitaliseringsmaatregelen te kunnen beoordelen. In 2022 zijn door Boosten et al. (2022) hiervoor al een aantal kengetallen ontwikkeld, zoals voor de aanplant van bos, het uitstellen van oogst en het revitaliseren van dennenbos en essenbos, maar bijvoorbeeld nog niet voor het groepsgewijs inbrengen van mengbomen, wildbeheersingsmaatregelen of hydrologische maatregelen. Aanvullende kengetallen voor koolstofvastlegging als gevolg van revitaliseringsmaatregelen zijn daarom gewenst.

4.1 Nieuw bos

Voor kengetallen voor de aanleg van nieuw bos is de belangrijkste aanpassing dat niet alleen is gekeken naar de vastlegging in biomassa, maar ook naar de vastlegging van koolstof in de bodem. De kengetallen zoals opgenomen in Boosten et al. (2022) hielden alleen rekening met koolstofvastlegging in de biomassa. Het meenemen van koolstofvastlegging in de bodem in het kengetal heeft geleid tot de kengetallen zoals die zijn te vinden in tabel 1. Het effect van het toevoegen van de koolstofvastlegging in de bodem heeft ertoe geleid dat sommige totaalwaarden lager zijn geworden en sommige hoger. Deze verschillen hangen samen met de verschillen in bodemtypen, aangezien bij bebossing van de meer zandige (landbouw)bodems in het algemeen de eerste jaren na bebossing juist koolstof wordt afgegeven naar de atmosfeer, terwijl de jonge kleiige (landbouw)bodems bij bebossing in het algemeen juist koolstof opnemen uit de atmosfeer.

In het kader van het onderliggende onderzoek is nader onderzoek uitgevoerd door Zwijgers and Teeuwen (2024) naar de bossen die recentelijk zijn aangelegd met hulp van het Groenfonds, aangevuld met data van het Centrum voor Genetische Bronnen. De resultaten van dit onderzoek lagen in dezelfde ordegrootte als de eerdere cijfers van Boosten et al. (2022), maar konden geen nieuwe kengetallen genereren die gespecificeerd waren naar categorieën boomsoorten (loofbos, snelgroeiend loofbos, naaldbos) of verschillende bodemtypen. Hiervoor was de GRF-dataset helaas te klein (529 proefboom-metingen).

Voor kengetallen voor koolstofvastlegging als gevolg van spontane bosontwikkeling is bij gebrek aan nieuwe metingen gekeken naar bronnen in de literatuur. Op basis van Hendriks et al. (2021) en Nave et al. (2019) is besloten om de CO₂-vastlegging in spontaan bos gelijk te stellen aan 50% van de vastlegging in aangelegd bos. De nieuwe kengetallen zijn te vinden in de overzichtstabel (tabel 10).

Wanneer meer gedetailleerde en meer betrouwbare kengetallen gewenst zijn voor nieuw bos, dan zijn aanvullende metingen in geplante en spontaan ontstane jonge bossen gewenst. Daarbij valt onder andere te denken aan nieuwe en aanvullende metingen in de Groenfondsbossen en deze data te verwerken in geactualiseerde kengetallen. Ook maakt het voor de koolstofvastlegging uit of bos is aangelegd op een voormalige akker of op een voormalig weiland. In het ideale geval maken meer gedetailleerde kengetallen daarom ook onderscheid naar het voormalig type landbouwkundig gebruik (dus niet alleen of het voorheen bos of landbouwgrond was).

4.2 Revitaliseringsmaatregelen

Om het bos opnieuw vitaal te maken, zijn er vele mogelijke maatregelen geformuleerd. Het onderliggende onderzoek heeft zich op basis van expert judgement gericht op een selectie van maatregelen die naar verwachting de meeste koolstof vastleggen en waarvoor het op basis van de huidige beschikbare data haalbaar was om kengetallen op te stellen. Kengetallen zijn opgesteld voor de volgende clusters van maatregelen:

- A. Aanplant mengboomsoorten (stimuleren verjonging, geassisteerde migratie, aanplant droogteresistente- en rijkstrooiselsoorten);
- B. Aanleg Netwerk Oude Aftakelende Bomen (NOAD);
- C. Wildbeheersing, stimuleren verjonging (beschermen tegen wildvraat, of aanpassen wildstand);
- D. Hydrologisch herstel;
- E. Autonome koolstofvastlegging in bosbodems.

Bij de toelichting op de uitwerking van de kengetallen in hoofdstuk 3 is aangegeven dat bij het vaststellen van de kengetallen een groot aantal aannames is gedaan. Een deel van deze aannames en onzekerheden kan worden weggenomen door aanvullend, veelal meerjarig, onderzoek.

Voor revitaliseringsmaatregelen zoals het verbeteren van de nutriëntenbalans (bijvoorbeeld in de vorm van het toedienen van steenmeel), herintroduceren van flora en fauna, stimuleren verjonging, structuurverbetering en bodembescherming zijn nog geen kengetallen ontwikkeld. Om een meer nauwkeurig beeld te hebben van het effect van deze maatregelen op de ontwikkeling van de koolstofvoorraad, zijn deze kengetallen echter zeer relevant. Daarom wordt aanbevolen om hier aanvullend onderzoek naar te doen.

Alle bovenstaande maatregelen hebben betrekking op bos. Het is echter belangrijk om ons te realiseren dat niet alleen maatregelen in bos van invloed zijn op de koolstofvastlegging, maar dat maatregelen in kleine landschapselementen (singels, lanen etc.) en agroforestry ook van invloed kan zijn op de koolstofvastlegging. Voor een volledig beeld van koolstofvastlegging zou het zinvol zijn daarvoor aparte kengetallen op te stellen.

4.3 Kengetallen

Tabel 10 Overzichtstabel Kengetallen voor CO₂-vastlegging door realisatie nieuw bos en revitaliseringsmaatregelen in ton CO₂/ha/jr (lb = landbouwgrond, bereik = onderdeel waarvoor CO₂-vastlegging is bepaald, bio = in biomassa, bodem = in bodem, NOAD = Netwerk van Oude, Aftakelende en Dode bomen, ov. = overig, min. = minimaal, max. = maximaal en gem. = gemiddeld).

Maatregelcluster	Variant	Subvariant	Groeiplaats	Bereik	Min.	Max.	Gem.
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Loofbos	Arm zand	bio+bodem	2,7	3,0	2,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Naaldbos	Arm zand	bio+bodem	1,7	2,0	1,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Gemengd	Arm zand	bio+bodem	1,7	3,0	2,4
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Snelgr. Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	11,7	12,0	11,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	5,7	6,0	5,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Naaldbos	Rijk zand	bio+bodem	3,7	4,0	3,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Gemengd	Rijk zand	bio+bodem	3,7	12,0	7,9
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	15,6	16,3	16,0
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	9,6	10,3	10,0
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Gemengd	Klei/rijk	bio+bodem	9,6	16,3	13,0
Uitbreiding areaal bos	aanplant op lb grond	Onbekend	Ov./Ongedef.	bio+bodem	3,7	16,3	10,0
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Loofbos	Arm zand	bio+bodem	0,5	3,0	1,4
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Naaldbos	Arm zand	bio+bodem	0,3	2,0	0,9
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Snelgr. Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	2,3	12,0	5,9
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	1,1	6,0	2,9
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Naaldbos	Rijk zand	bio+bodem	0,7	4,0	1,9
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	3,1	16,3	8,0
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	1,9	10,3	5,0
Uitbreiding areaal bos	spontaan op lb grond	Onbekend	Ov./Ongedef.	bio+bodem	0,3	16,3	8,3
Mengboomsoorten	aanplant	Loofbos	Arm zand	bio+bodem	1,3	1,5	1,4
Mengboomsoorten	aanplant	Naaldbos	Arm zand	bio+bodem	0,8	1,0	0,9
Mengboomsoorten	aanplant	Snelgr. Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	5,8	6,0	5,9
Mengboomsoorten	aanplant	Loofbos	Rijk zand	bio+bodem	2,8	3,0	2,9
Mengboomsoorten	aanplant	Naaldbos	Rijk zand	bio+bodem	1,8	2,0	1,9
Mengboomsoorten	aanplant	Snelgr. Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	7,8	8,1	8,0
Mengboomsoorten	aanplant	Loofbos	Klei/rijk	bio+bodem	4,8	5,1	5,0
Mengboomsoorten	aanplant	Onbekend	Ov./Ongedef.	bio+bodem	0,8	8,1	4,5
NOAD aanleggen	uitstel oogst	n.v.t.	Arm zand	in biomassa	3,5	3,5	3,5
NOAD aanleggen	uitstel oogst	n.v.t.	Rijk zand	in biomassa	10,9	10,9	10,9
NOAD aanleggen	uitstel oogst	n.v.t.	Klei/rijk	in biomassa	7,1	7,1	7,1
NOAD aanleggen	uitstel oogst	n.v.t.	Ov./Ongedef.	in biomassa	3,5	10,9	7,2
Wildbeheersing	hoge druk (Veluwe)	n.v.t.	Arm zand	bio+bodem	0,2	1,0	0,5
Wildbeheersing	hoge druk (Veluwe)	n.v.t.	Rijk zand	bio+bodem	0,6	2,9	1,4
Wildbeheersing	hoge druk	n.v.t.	Klei/rijk	bio+bodem	1,0	5,3	2,6
Wildbeheersing	gem. druk	n.v.t.	Arm zand	bio+bodem	0,1	0,5	0,2
Wildbeheersing	gem. druk	n.v.t.	Rijk zand	bio+bodem	0,3	1,5	0,7
Wildbeheersing	gem. druk	n.v.t.	Klei/rijk	bio+bodem	0,5	2,6	1,3
Hydrologisch herstel	n.v.t.	n.v.t.	Alg.	bio+bodem	0,2	1,6	0,5
Bodemkoolstof	autonome toename	n.v.t.	Zand	in bodem	0,2	1,6	0,5

Literatuur

- Arets, E. J. M. M., Baren, S. A. v., Hendriks, C. M. J., Kramer, H., Lesschen, J. P., & Schelhaas, M. J. (2023). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands: methodological background, update 2023*. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Boosten, M., Lerink, B., Lokin, V., & Schelhaas, M. J. (2022). *Factsheets Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en Natuur: Praktische handreiking voor effectief klimaatslim bos- en natuurbeheer en toepassing van hout: Herziening 2022*. Retrieved from Wageningen: <https://gereedschapskist.vbne.nl/uploads/factsheets-bbn-2022.2982da.pdf>.
- Cicşa, A., Tudoran, G.-M., Cicşa, M., Dobre, A.-C., & Spârchez, G. (2022). Effect of Species Composition on Growth and Yield in Mixed Beech-Coniferous Stands. *13(1651)*, 1651. doi:10.3390/f13101651.
- De Jong, A., Vries, W. d., Dijk, P. G., & Lerink, B. (2024). *Veranderingen van voorraden koolstof, stikstof, fosfor, calcium*. Wageningen: Wageningen University & Research.
- Den Ouden, J., Schelhaas, M.-J., Clerkx, S., de Waal, R., & Lerink, B. (2020). *Kan uitstel van houtoogst bijdragen aan CO2-mitigatie?* (1566-7197). Retrieved from.
- Enting, A. (2024). *Koolstofvastlegging in jong bos op voormalige landbouwgrond* (BSc.). Aeres Hogeschool, Dronten.
- Hendriks, K., Nabuurs, G. J., & Arets, E. (2022). *Notitie Bijdrage van Revitalisering en Bosuitbreiding aan koolstofvastlegging van bos in Nederland* Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Hendriks, K., Teeuwen, S., Vos, M., Copini, P., Van Best, S., Boosten, M., . . . Schelhaas, M. J. (2021). *Kwantificeren koolstofeffecten van beheermaatregelen*. Retrieved from Wageningen:
- IPCC. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. In (pp. 1-21): Published: IGES Japan.
- Jansen, H., & Oosterbaan, A. (2018). *Opbrengsttabellen Nederland 2018* [1 online resource (172 pages): illustrations]. Retrieved from <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-876-6>.
- Kabinet der Nederlanden. (2019). *Klimaataakkoord*. Den Haag.
- Kadaster. (n.d.). *Tijdreis over 200 jaar topografie*. Retrieved June 2, 2019. Retrieved from <https://www.topotijdreis.nl/>.
- Kuneman, G. U., Van Wijhe, P., Kampherbeek, L., & Roest, E. (2024). *Analyse doelbereik provinciale bosrevitaliseringsplannen* (B. M. Nederland Ed.). Ede: Bosgroep Midden Nederland.
- Lesschen, J. P., Heesmans, H., Mol-Dijkstra, J., Doorn, A. v., Verkaik, E., Wyngaert, I. v. d., & Kuikman, P. (2012). *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur* (Alterra, Trans. Alterra Ed. Vol. Alterra-rapport 2396). Wageningen: Alterra.
- Lu, H., Mohren, G. M. J., del Río, M., Schelhaas, M.-J., Bouwman, M., & Sterck, F. J. (2018). *Species mixing effects on forest productivity: A case study at stand-, species- and tree-level in the Netherlands*. Retrieved from WorldCat.org database.
- Ministerie van Landbouw, N. e. V., & Gezamenlijke provincies. (2020). *Bos voor de toekomst: uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 2030* [1 online resource (PDF, 59 pages): illustrations]. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/535307>.
- Nabuurs, G. J., Hendriks, K., Lerink, B., Schelhaas, M. J., Boosten, M., & Oldenburger, J. (2022). *Nota: kengetallen koolstofvastlegging nieuw bos ter ondersteuning van de Bossenstrategie*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Nave, L. E., Walters, B. F., Hofmeister, K. L., Perry, C. H., Mishra, U., Domke, G. M., & Swanston, C. W. (2019). The role of reforestation in carbon sequestration. *New Forests*, *50*(1), 115-137. doi:10.1007/s11056-018-9655-3.
- Oosterbaan, A., & van den Berg, C. A. (2011). *Ontwikkeling van gemengde natuurlijke bosverjonging: soortensamenstelling en kwaliteit op hoge zandgronden*: Alterra.
- Oosterbaan, A., & Van Hees, A. (1991). *Natuurlijke verjonging van beuk: een lichtingsproef op rijke holtpodzolgrond*.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., & Khanna, P. K. (2002). Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, *168*(1), 241-257. doi:10.1016/S0378-1127(01)00740-X.
- Pretzsch, H. (2018). Growth and structure in mixed-species stands compared with monocultures: review and perspectives. *Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests*, 131-183.

-
- Ramirez, J. I., Jansen, P. A., den Ouden, J., Moktan, L., Herdoiza, N., & Poorter, L. (2021). Above- and Below-ground Cascading Effects of Wild Ungulates in Temperate Forests. *Ecosystems*, 24(1), 153-167. doi:10.1007/s10021-020-00509-4.
- Reichgelt, A., Penninkhof, J., De Groot, M., Spliethof, N., Teeuwen, S., Den Ouden, J., & Spek, G.-J. (2022). *Bosverjonging op de Veluwe. Tussenrapportage monitoring 2021*. Retrieved from Wageningen:
- Schelhaas, M. J., Teeuwen, S., Oldenburger, J., Beerkens, G., Velema, G., Kremers, J., . . . Clerkx, A. P. P. M. (2022). *Zevende Nederlandse Bosinventarisatie: methoden en resultaten* [1 online resource (PDF, 127 pages): illustrations]. Retrieved from <https://doi.org/10.18174/571720>.
- Sligter, V. (2023). *The carbon accumulation within post-agricultural oak forests*. MSc. Thesis. (MSc.). Wageningen University & Research, Wageningen.
- Staatsbosbeheer. (2022). *Inschatting groeireductie in relatie tot droogte t.b.v. oogstprognoses* (Unpublished manuscript).
- Thomassen, E., Wijdeven, S., Boosten, M., Delforterie, W., & Nyssen, B. (2020). *Revitalisering Nederlandse bossen*. Retrieved from <https://edepot.wur.nl/530495>.
- van den Berg, C., & Oosterbaan, A. (1997). *Natuurlijke verjonging van grove den (Pinus sylvestris); zaadval en de invloed van grondbewerking, afrosteren en een scherm op de opkomst en ontwikkeling van zaailingen*. IBN-DLO.
- Van Maaren, G. P. B., Jacobs, S. B. M., Velthuis, J., Kampherbeek, L., Thomassen, E. A. H., Van der Vlist, S., . . . Roest, E. (2024). *Vitalisering van het Nederlandse bos: definitie, indicatoren en maatregelen* (unpublished paper). Retrieved from Wageningen, Nederland:
- Zwijgers, R., & Teeuwen, S. (2024). *Koolstofvastlegging in jong bos. Notitie bij de analyse van de Groenfondsdataset*. Wageningen: Stichting Probos.

Bijlage 1 Herkomsten CGN

Overzicht van de herkomsten waarvan de data van het Centrum voor Genetische Bronnen Nederland (CGN) zijn gebruikt voor de doorrekening door Zwijgers and Teeuwen (2024).

Tabel 11 Voor doorrekening gebruikte herkomsten van CGN.

Boomsoort	Herkomst	Groeiplaats	Jaar van aanleg	Leeftijd bij aanleg
Esdoorn	Vaartbos-01	Zd21 Duinvaaggronden	2004	2
Esdoorn	Vaartbos-02	Zd21 Duinvaaggronden	2004	2
Esdoorn	Zeewolde -01	Zd21 Duinvaaggronden	2004	2
Esdoorn	Zetten-01	Zd21 Duinvaaggronden	2004	2
Esdoorn	Geldermalsen-01	Zd21 Duinvaaggronden	2004	2
Populier	'Sanosol'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	10670	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	7939	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	'Polargo'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	'Hees'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	'Ellert'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	'Koster'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Populier	'Robusta'	Mn35A Kalkrijke poldervaaggronden	1998	1
Beuk	Park 't Loo-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Park 't Loo-02	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Park 't Loo-03	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Barneveld-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Renswoude-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Ede-02	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Princenhage-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Princenhage-02	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Princenhage-03	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Princenhage-04	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Apeldoorn-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Ermelo-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Beuk	Nunspeet-01	zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden	2010	3
Eik	Spijk	Mn12Ap Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden	1978	2
Eik	Bergen, 12d	Hd30 Haarpodzolgronden	1979	3
Eik	Bergen, 19a	Hd30 Haarpodzolgronden	1980	3
Eik	Bergen, 24c	pZn30 Gooreerdgronden	1980	3
Eik	Appelscha	Hn21 Veldpodzolgronden	1980	3
Eik	Larserbos	Mn45A Kalkrijke poldervaaggronden	1980	3

Bijlage 2 Menging (overyielding)

Alle kengetallen in het rapport zijn geldig voor een periode 0-10 jaar na realisatie van het bos of na het inbrengen van menging. Voor de lange termijn (>10 jaar) kan er ook nog een ander effect spelen, namelijk dat een gemengd bos vaak harder groeit dan een ongemengd bos, de zogenaamde overyielding (Lu et al. (2018) en Pretzsch (2018)).

Rond de maatregel Inbrengen menging speelt daarnaast mee dat na een aantal jaren de aangeplante mengboomsoorten steeds meer beïnvloed worden door schaduw van de oorspronkelijke opstand en dat de voedsel- en vochtconcurrentie tussen de aangeplante bomen op de oorspronkelijke opstand steeds groter wordt (Lu et al., 2018). Hoe deze factoren op elkaar inwerken, is van zeer veel randfactoren afhankelijk, daarmee erg locatieafhankelijk en dus zeer complex. Om al deze factoren in kengetallen te vatten, is op dit moment niet haalbaar. Daarom lichten we twee factoren hieronder eruit:

- A. De zogenaamde overyielding;
- B. Het vervangen van boomsoorten met een hoge bijgroei door bomen met een minder hoge bijgroei.

Overyielding

De bijgroei in gemengde bossen is in het algemeen groter dan in ongemengde bossen. Zolang de bomen nog vrij de ruimte hebben om zich te ontwikkelen, zonder kroonsluiting, zal er nog weinig sprake zijn van onderlinge concurrentie (Lu et al., 2018). Volgens Cicşa, Tudoran, Cicşa, Dobre en Spârchez (2022) is de overyield ook op een leeftijd van 100 en 140 jaar nog positief.

Literatuur laat zien dat het effect uiteen kan lopen van een positief effect (hogere bijgroei) van tussen de 2 en 43% (zie tabel 12 en 13).

Tabel 12 Overyielding (extra bijgroei); menging vergeleken met monoculture (dg= douglas, bu= beuk, gd= groveden, zei= zomereik, be= berk, fs= fijnspar, aa= Abies alba, we= wintereik, el= Europese lariks, ss= sitkaspar en ei= inlandse eik).

Bron	Gebied	Groei-plaats	Menging	Overyielding
Lu (2018)	Nederland	rijk zand	dg+bu	43%
Lu (2018)	Nederland	arm zand	gd+zei	16%
Lu (2018)	Nederland	arm zand	gd+be	2,6%
Cicsa (2022)	Roemenië	rijk zand	fs+aa+bu	3,1%
Forrester and Bauhus 2016; Liang et al. 2016; Pretzsch et al. 2013b	Duitsland	arm zand	we+gd+bu	43%
Pretzsch (2016)	Wereld	gem.		11-30%
Pretzsch (2018)	Central Europe	rijk zand	fs+bu	21%
Pretzsch (2018)	Central Europe	arm zand	gd+bu	30%
Pretzsch (2018)	Central Europe	rijk zand	we+bu	20%
Pretzsch (2018)	Central Europe	rijk zand	dg+bu	11%
Pretzsch (2018)	Central Europe	arm zand	gd+fs	21%
Pretzsch (2018)	Central Europe	rijk zand	el+fs	25%
Pretzsch (2018)	Central Europe	rijk zand	ss+fs	13%
Pretzsch (2018)	Central Europe	gem.	Gemiddeld	10-20%
Steckel (2019)	Duitsland/Denemarken	arm zand	gd+ei	14%
Pretzsch (2020)		arm zand	gd+ei	4,5%
Pretzsch (2021)	Duitsland	rijk zand	fs+aa+we+div	7-53%
Ruiz (2021)	Centraal-/Noord-Europa	arm zand	gd+fs	2%

In tabel 12 is de procentuele verbetering van de bijgroei aangegeven. Om van een percentage tot een waarde van ton CO₂/ha/jr te komen, was het nodig om een aantal aannames te doen en conversies uit te voeren.

Aannames en uitgangspunten

1. De percentages zijn vermenigvuldigd met de gemiddelde bijgroei, zoals berekend als gewogen gemiddelde uit Schelhaas et al. (2022).
2. Vastlegging in de bodem is bij het vaststellen van dit kengetal buiten beschouwing gelaten.
3. Conversiefactor voor droge stof naar koolstof: 0,4935. Deze waarde is als een gewogen gemiddelde bepaald op basis van de waarden van 0,51 voor naaldhout en 0,48 voor loofhout, zoals genoemd door Arets et al. (2023).
4. Conversiefactor voor koolstof naar CO₂: 3,67.

Dit heeft geleid tot de kengetallen zoals weergegeven in tabel 13.

Tabel 13 Kengetallen voor overyielding (extra bijgroei); menging vergeleken met monoculture; waarde voor extra vastlegging in ton CO₂/ha/jr in biomassa.

Maatregel	Variant	Groeiplaats	Min	Max	Gem (%)	Gem bijgroei (m ³ /ha/jr)	Min (ton CO ₂ /ha/jr)	Max (ton CO ₂ /ha/jr)	Gem (ton CO ₂ /ha/jr)
Menging	overyield-effect	Arm zand	2%	43%	16,7%	6,9	0,1	2,8	1,1
Menging	overyield-effect	Rijk zand	3,1%	53%	20,8%	7,3	0,2	3,6	1,4
Menging	overyield-effect	Klei/rijk	10%	20%	15,0%	7,5	0,7	1,4	1,0

Het vervangen van snelgroeiende bomen door trager groeiende bomen

De waarden zoals genoemd onder Overyielding zullen niet altijd representatief zijn wanneer een productieve boomsoort wordt vervangen door een minder productieve boomsoort. De bijgroei van douglas is bijvoorbeeld aanzienlijk hoger dan de bijgroei van beuk, zodat het omvormen van 1 ha ongemengde douglas naar 1 ha douglas/beuk in een 1:1-verhouding wel degelijk kan zorgen voor een netto afname van de bijgroei.

Uit analyse van de NBI-7-data (Schelhaas et al., 2022) blijkt dat 9,7% van alle plots ongemengd is. Ongemengd wordt daarbij gedefinieerd als een plot waarbij het gezamenlijke grondvlak van de mengboomsoorten maximaal 20% bedraagt (tabel 14).

Tabel 14 Het percentage ongemengde plots als totaal van alle plots (grondvlak gemeten bij bomen met een diameter borsthoogte van minimaal 5 cm) (Lerink, ongepubliceerde analyse, op basis van (Schelhaas et al., 2022)).

Boomsoort	Aantal plots	Aandeel van totale NBI
Douglas	21	0.66%
Japanse Lariks	13	0.41%
Corsicaanse den	12	0.38%
Oostenrijkse den	6	0.19%
Populier	15	0.47%
Andere boomsoorten	242	7.57%
		9.67%

Van de bovenstaande boomsoorten zijn met name douglas, Japanse lariks en populier boomsoorten die sneller dan gemiddeld groeien en die daarmee het grootste negatieve effect op de overyielding kunnen hebben. De monoculturen van deze drie boomsoorten hebben een gezamenlijk aandeel binnen de NBI-7 van ca. 1,5%. De kans dat de vervanging van snelgroeiende boomsoorten door traag groeiende soorten de bijgroei drukt, lijkt daarmee niet groot te zijn. Tegelijkertijd zien we over het gehele bos over de laatste decennia wel een geleidelijke verschuiving van naald- naar loofhout en tevens een geleidelijke verlaging van de bijgroei (Schelhaas et al., 2022). De daling van de bijgroei hangt echter waarschijnlijk niet alleen samen met de soortensamenstelling, maar ook met klimaatverandering, het ouder worden van het bos en een afnemende vitaliteit.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3438
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3438
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
