Signalering

Bossen en bodems in zwaar weer

Hoe toenemende druk op bossen en bodems de klimaatopgave vergroot

WKR.

Inhoud

Inhoud 1
Aanleiding 2
1. Bossen en bodems onder druk 3
1.1. Bossen, bodems en klimaatverandering 3
1.2. Zorgelijke afname van koolstofvastlegging en koolstofvoorraden 5
1.3. Druk van klimaat én van beheer 10
2. Wat zijn de gevolgen? 12
2.1. De klimaatdoelen worden moeilijker te behalen 12
2.2. De beschikbaarheid van duurzame biomassa wordt onzekerder 14
2.3. Klimaatbestendig worden vergt extra inzet 15
3. Hoe beschermen we bossen en bodems? 17
3.1. Bos- en bodemherstel in Nederland kan, met keuzes in ruimtelijke inrichting en landbouw 17
3.2. Nederland kan veel bijdragen aan de bescherming van bossen en bodems wereldwijd 18
3.3. Klimaat- en biodiversiteitsbeleid combineren 21
Verantwoording infographic 23
Literatuur 25
Colofon 37

Aanleiding

Sinds enkele jaren maken veel wetenschappelijke artikelen melding dat bossen en bodems veel minder CO_2 opnemen dan verwacht. De oorzaken zijn onder meer extreme hitte en droogte, verandering in landgebruik, te intensief beheer en verdroging van bodems, en ook veroudering, bosbranden en ziektes in bossen. Hierdoor verliezen bossen en bodems hun weerbaarheid en verslechtert de biodiversiteit.

Wetenschappers betwijfelen of bossen en bodems hun vele diensten kunnen blijven leveren in een snel opwarmend klimaat. Dat geldt niet alleen voor economische diensten zoals houtbouw en voedselproductie, maar vooral ook voor klimaatdiensten zoals het vastleggen van koolstof. Ondanks deze twijfels gaan nationale klimaatplannen uit van een steeds grotere rol van bossen en bodems in het klimaatbeleid. Maar bossen en bodems worden slechts beperkt beschermd. Ondersteunend beleid ontbreekt nog, of is vertraagd.

Het is zaak om bossen en bodems beter te beschermen en te herstellen, en zo de koolstofvastlegging, de weerbaarheid, en de biodiversiteit te bevorderen. Dat zorgt dat klimaatbeleid niet nog verder hoeft aangescherpt en de klimaat- en natuurdoelen haalbaar blijven.

De Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR) zet in deze signalering de feiten op een rij (hoofdstuk 1) bekijkt wat de gevolgen zijn voor het klimaatbeleid (hoofdstuk 2) en schetst wat gedaan kan worden om onze bossen en bodems te beschermen (hoofdstuk 3).

1. Bossen en bodems onder druk

Uit recente wetenschappelijke inzichten blijkt dat systematische en toenemende druk door menselijk handelen en klimaatverandering de vastlegging van koolstof door bossen en bodems en hun weerbaarheid verkleint. In dit hoofdstuk zetten we deze inzichten die de aanleiding vormen voor deze signalering op een rij.

1.1. Bossen, bodems en klimaatverandering

Bossen en bodems hebben een grote invloed op onze leefomgeving. Door verdamping en verkoeling beïnvloeden bossen en bodems het weer[1] en dragen ze bij aan lokale verkoeling[2] en regenval.[3] Aan het aardoppervlak houden ze regen- en rivierwater vast, beperken ze uitspoeling van (vruchtbare) grond, en verkleinen ze de risico's op verdroging en overstromingen.[4] De biodiversiteit die bossen en bodems herbergen helpt bestuiving en voedselproductie in nabij gelegen gebieden.[5] Naast de economische diensten die geleverd worden door bossen en bodems[6] dragen ze ook bij aan onze gezondheid: bossen en bodems geven ruimte voor recreatie, en ze versterken de algehele emotionele en mentale gezondheid van mensen.[7] Bovendien nemen bomen en planten CO_2 op uit de lucht en leggen zij de koolstof vast in biomassa boven en onder de grond.

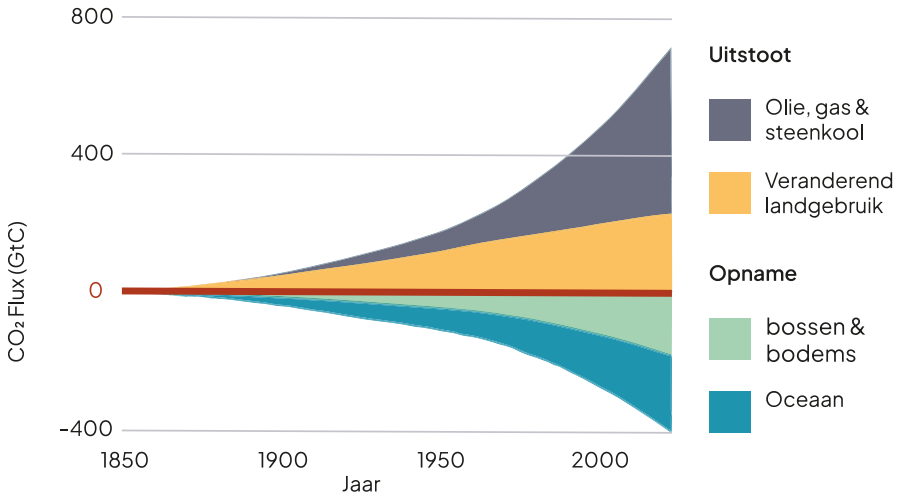
Het vastleggen van koolstof uit de lucht heeft een dempende werking op de temperatuurstijging. Bomen en planten nemen elk jaar ongeveer 30% van de koolstofuitstoot uit de lucht. Daardoor is de koolstofvoorraad in bossen en bodems de laatste 50 jaar toegenomen (zie Figuur 1).[8] Zonder de opname van koolstof in bossen en bodems was de aarde al meer dan 1,5 °C opgewarmd, in plaats van de 1,36 °C opwarming nu.[9]

---

[1] Ellison et al. (2017)
[2] Schwaab et al. (2021)
[3] Meli et al. (2024); Teuling et al. (2017)
[4] Ellison et al. (2017)
[5] Ulyshen et al. (2023)
[6] Ceglar et al. (2025)
[7] Geary et al. (2023); Willis (2024)
[8] Friedlingstein et al. (2024)
[9] Ruehr et al. (2023)

In de afgelopen decennia hebben bossen en bodems veel CO_2 opgenomen, waardoor klimaatverandering is geremd

Cumulatieve CO_2 uitstoot en -opname tussen 1850–2025



Figuur 1. *Bron: aangepast figuur van Friedlingstein et al. (2024)*

Het vasthouden van grote voorraden koolstof is cruciaal om de opwarming te beperken. Door koolstof langdurig vast te leggen komt die niet in de vorm van CO_2 of methaan (CH_4) in de lucht terecht komt en draagt die niet bij aan klimaatverandering. Verlies van koolstof uit bossen en bodems kan optreden bij bijvoorbeeld bosbranden, of het uitdrogen en oxideren van veenweidegrond. Beiden zijn vaak het gevolg van menselijk handelen.[10] Maar verlies kan ook worden veroorzaakt door klimaatverandering, zoals bij het ontdooien van permafrost (permanent bevroren bodems). De fossiele koolstofuitstoot die de afgelopen 50 jaar is vastgelegd in bossen en bodems is ook niet permanent verdwenen; deze kan alsnog in de lucht komen als bossen en bodems koolstof gaan afgeven in plaats van opnemen. Daar zou ze dan als CO_2 of CH_4 alsnog gaan bijdragen aan opwarming.

Vastlegging van koolstof in bossen en bodems gebeurt niet overal ter wereld en niet altijd. Ecosystemen met weinig menselijke invloed laten over het algemeen opname van koolstof zien. De koolstofopname is het grootst op plekken die vroeger te koud waren voor boomgroei maar nu niet meer (de noordelijke boomgrens)[11], en op warmere plekken met voldoende voedingsstoffen. Daar kunnen bossen en bodems profiteren van de hogere CO_2-concentraties in de lucht.[12] In ecosystemen die wél door de mens worden beheerd, vindt opname plaats op plekken waar vroeger ontbost is en nu nieuw bos kan groeien[13], en op plekken waar de houtvoorraad door bosbouw duurzaam wordt beheerd.[14] In gebieden met intensieve bosbouw en landbouw, ontbossing, of drainage van bodems wegen de koolstofverliezen niet op tegen de aanwas.[15] Daar zien we geen opname maar afgifte van

[10] Leal Filho et al. (2023)
[11] Keenan en Riley (2018)
[12] Norby et al. (2024)
[13] Pugh et al. (2019)
[14] Xueyan Li et al. (2025); Robinson et al. (2025);
[15] Qin et al. (2024)

CO_2 aan de lucht. Dit laatste zien we soms ook in specifieke jaren met bijzondere klimaatextremen, zoals een El Niño. Het effect is dan beperkt tot plekken die zwaar worden geraakt door hitte of droogte.[16] Omdat koolstofopname samengaat met gezonde en weerbare ecosystemen, is verlies van opnamecapaciteit meestal een aanwijzing dat ook andere functies van bossen en bodems haperen.

Tot enkele jaren geleden groeide de koolstofopname door bossen en bodems gemiddeld over de wereld, maar modellen voorspellen een omslag voor het eind van de eeuw.[17] Op veel plekken nam ontbossing af[18], werd het jaarlijkse verbrande landoppervlak kleiner[19], en was koolstofverlies uit het snel opwarmende Arctische gebied nog beperkt.[20] Deze trend ging dus in tegen de stijgende menselijke koolstofuitstoot, zoals te zien is in figuur 1. Klimaatmodellen voorspellen dat de trend van groeiende koolstofopname uiteindelijk doorbroken zal worden door voortschrijdende opwarming.[21] Maar of dat nu al gebeurt, of dat dit pas later deze eeuw zal zijn is nog onzeker.[22]

1.2. Zorgelijke afname van koolstofvastlegging en koolstofvoorraden

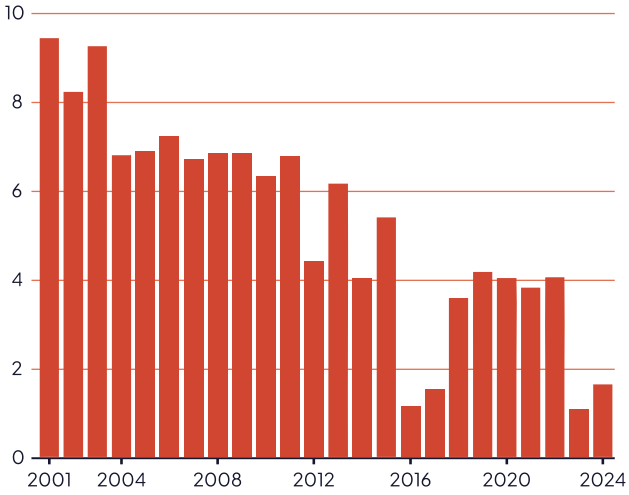
In de afgelopen jaren zien we dat de koolstofopname op veel plekken afneemt en de uitstoot toeneemt. Dit blijkt uit CO_2- en CH_4-metingen in de lucht, uit bos- en bodem-inventarisaties op de grond, en uit computermodellen gevoed door onder andere satellietmetingen. Alledrie de methoden laten zien dat over grote gebieden de vastlegging van CO_2 uit de lucht afneemt, het verlies van CO_2 en CH_4 naar de lucht toeneemt, en de hoeveelheid koolstof in bossen en bodems afneemt ten opzichte van eerdere metingen (zie figuur 2). Vaak is dit bovendien onverwacht en onbegrepen: het gaat om nog niet eerder vertoonde veranderingen of om situaties die onze klimaatmodellen (nog) niet hadden voorzien.[23]

---

[16] Bennett (2023)
[17] Pan et al. (2024) Friedlingstein et al. (2024)
[18] FAO (2020)
[19] Chen et al. (2023)
[20] Hugelius et al. (2024); Lan en Dlugokencky (2024)
[21] Cox et al. (2024); Sharma et al. (2023)
[22] Burton et al. (2024); IPCC (2021, p. 734); Ren et al. (2024); Uribe et al. (2023)
[23] Hansen et al. (2025); Kornhuber et al. (2024); Sinking carbon sinks (2025);

Bossen wereldwijd nemen minder CO_2 op

Netto opname in gigaton CO_2e per jaar



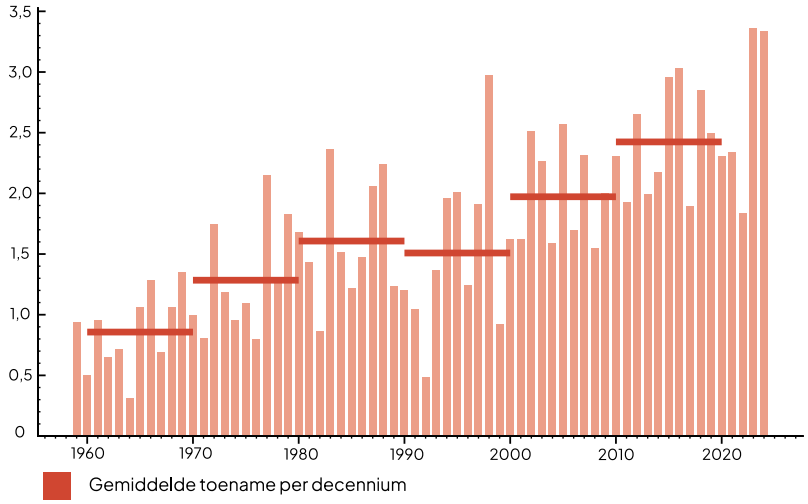
Figuur 2. *Bron: aangepast figuur van World Resources Institute*[24] *met data van* Gibbs et al. (2025)

In 2023 en 2024 vond er gemiddeld over de wereld vrijwel geen koolstofopname meer plaats in bossen en bodems. Dit leidde tot recordtoenames van CO_2 in de lucht, ver boven het gemiddelde van de afgelopen 10 jaar (zie figuur 3). De wereldwijde fossiele uitstoot groeide in 2023 en 2024 slechts een klein beetje. Wetenschappers schrijven de stijging van het CO_2-gehalte toe aan haperende koolstofvastlegging in bossen en bodems, en aan toegenomen bosbranden.[25] Dit zijn bekende gevolgen van het periodieke weerfenomeen El Niño, dat zich ook in 2023 en 2024 voordeed. Ondanks dat deze El Niño relatief zwak was ten opzichte van eerdere El Niños, nam de natuurlijke CO_2-opname enorm sterk af. Ook gebieden die eerder nog weinig reactie vertoonden tijdens El Niño droegen daar aan bij.[26] Daarnaast viel het trage herstel van de natuurlijke CO_2-opname op; die begon zich pas rond de zomer van 2025 af te tekenen.[27] Dit kan erop duiden dat de weerbaarheid van tropische bossen en bodems is afgenomen, en dat ze al eerder dan in veel klimaatmodellen verwacht, hun opnamecapaciteit verliezen.[28]

[24] WRI (2025d)
[25] Ke et al. (2024); Kolden et al. (2025); WRI (2025d)
[26] Barnes et al. (2024)
[27] NOAA (2025)
[28] Forzieri et al. (2022); Liu et al. (2024)

De concentratie van CO_2 in de lucht steeg in 2023 en 2024 sneller dan ooit gemeten

Jaarlijkse toename van de CO_2-concentratie in de lucht in *parts per million (ppm).*



***Figuur 3**. Bron: aangepast figuur van NOAA[29], groeisnelheid gebaseerd op metingen op Mauna Loa, Hawaï.[30]*

Veel koolstofverlies gaat in de vorm van methaan (CH_4) wat een krachtiger broeikasgas is dan CO_2. Na een periode van weinig groei in de wereldwijde methaanuitstoot steeg de concentratie CH_4 in de lucht in de jaren 2020-2022 snel en onverwacht tot recordniveaus.[31] Ook hier kan een stijging in de door de mens veroorzaakte uitstoot de metingen niet verklaren. Er was een sterke invloed van extra methaanuitstoot uit opwarmende en verdrogende moerassen en natte bodems.[32] Omdat CH_4 ook op de korte termijn voor veel opwarming kan zorgen, is dit een zelfversterkend proces in het klimaatsysteem.[33]

In Nederland verliezen bossen en bodems netto koolstof aan de atmosfeer.[34] Hoewel de Nederlandse bossen gemiddeld nog goed groeien, is de opname van koolstof door bodems kleiner dan de uitstoot. Vooral veenbodems, historisch gezien de snelst slinkende koolstofvoorraad in Nederland, staan onder druk. Lage waterstanden zorgen hier voor oxidatie en het vrijkomen van CO_2. In Nederland is het intensieve landgebruik door de landbouw een belangrijke bron van koolstofverlies, verlies van biodiversiteit en bodemverzuring. De hoge stikstofconcentraties in landbouwbodems werkt nieuwe koolstofvastlegging tegen.[35] Het is de verwachting dat Nederland netto koolstof blijft uitstoten tot voorbij 2030, hoewel de opname door bossen licht kan stijgen.[36] Ook is te zien dat recente droogtes in 2018, 2022 en de natte zomer van 2024 de gezondheid van veel Nederlandse bossen hebben aangetast.[37] Vooral naaldbomen op droge gronden en

---

[29] NOAA (2025)
[30] Lan, Tans en Thoning (2025)
[31] Lan et al. (2025)
[32] Michel et al. (2024); Qu et al. (2024)
[33] Deutloff et al. (2025); Lenton (2012); Lenton et al. (2023)
[34] PBL et al. (2025)
[35] Moinet et al. (2023)
[36] PBL et al. (2025)
[37] Staatsbosbeheer (2025); WUR (2022)

oude bossen zijn vatbaar voor ziekten en aantastingen, zoals door de letterzetter, een houtetende kever.[38] Ook is de verwachting dat natuurbranden zoals op de Edese heide (2025) en de Deurnese Peel (2020) steeds vaker zullen voorkomen.[39]

In sterk opwarmende gebieden, zoals het Arctische en Europese grondgebied, vermindert de koolstofvastlegging snel. De koolstofvastlegging door Europese bossen en bodems nam na 2016 snel af met bijna 30%. De bosbranden in Spanje en Frankrijk in 2025 troffen een record aan oppervlak. Dit zal verder oplopen bij meer droogte.[40] Het aantal bosbranden in het noorden van Azië, Europa, en Noord-Amerika is in de periode 2001-2023 verdrievoudigd.[41] Exemplarisch zijn de Canadese bosbranden die in 2023, 2024, en opnieuw in 2025 tot enorm verlies van bosoppervlak leidden.[42] Het jaar 2024 kende recordtemperaturen in zowel de lucht als in permafrostbodems, wat bijdraagt aan hoge emissies van CO_2 en CH_4.[43] Op noordelijke permafrostbodems is de jaarlijkse uitstoot door bosbranden nu net zo groot als de vastlegging van koolstof op delen die niet branden.[44]

Het optreden van kantelpunten in tropische bossen en permafrostbodems is een groot risico.[45] Bij een kantelpunt zouden bossen en bodems een kritieke grens passeren waarna ze versneld en onherroepelijk veranderen in een nieuw landschap.[46] Kantelpunten zijn moeilijk te ontdekken en een kritieke grens kan gepasseerd zijn zonder dat we het hebben gemerkt.[47] Maar voorbij deze grens is het toekomstige verlies van het oude landschap, en de daarbij horende koolstofvoorraden en CO_2-opnamecapaciteit, niet meer te voorkomen.

Kortom: vanuit de hele wereld komen signalen dat bossen en bodems *systematisch* en *steeds zwaarder* onder druk staan. Ondanks de nog forse wereldgemiddelde koolstofopname zijn er wel degelijk grote verschuivingen in koolstofuitwisseling van bossen en bodems. Ze zijn een symptoom van de systematisch toenemende druk met verschillende oorzaken die we bespreken in paragraaf 1.3. Tabel 1 geeft voorbeelden van recente signalen uit wetenschappelijke publicaties. Deze illustreren de terugloop van koolstofopname en -vastlegging en de weerbaarheid van bossen en bodems in verschillende delen van de wereld inclusief Europa, waaronder Nederland.

---

[38] Jaime et al. (2024)
[39] NIPV et al. (2023)
[40] Turco et al. (2018)
[41] M. Jones et al. (2024)
[42] Kolden et al. (2025)
[43] Torn et al. (2025)
[44] Virkkala et al. (2025)
[45] Keating et al. (2025)
[46] Dominik (2023)
[47] Armstrong McKay et al. (2022)

Locatie	Signaal	Bron
Wereldwijd	Afname koolstofvastlegging op land ecosystemen.	Friedlingstein et al. (2024)
	Toename oppervlak bosverlies, afname weerbaarheid.	Forzieri et al. (2024); WRI (2025b); Global Forest Watch (2025)
	Record toename CH_4 in de lucht in 2020-2022, en CO_2 in de lucht in 2023 en 2024.	Ke et al. (2024) , Lan et al., (2025)
Noordelijk halfrond	Verminderde weerbaarheid koolstofopname tegen recente droogtes. Toename intensiteit, frequentie en koolstofverlies bosbranden. Verlies koolstofvoorraden. Afname weerbaarheid.	Xiaoyun et al. (2024); Miao et al. (2025) ; M. Jones et al. (2024); Wigneron et al 2025;
Amazone, Bolivia	Afname bosoppervlak. Hoogste koolstofemissies uit ontbossing in 20 jaar. Kanteling in koolstofvastlegging oostelijk deel regenwoud. Sterke toename branden in onbeheerd regenwoud.	Botía et al. (2025); Gatti et al. (2021) ; Franco et al. (2025); Bourgouin et al, (2025)
Pantanal, Brazilië	Verdroging bos en moerasgronden, versnelling van grootschalige ontbossing en toename bosbranden bij afname bescherming.	Gatti et al. (2023); Barnes et al. (2024)
Arctisch gebied	Emissies uit bosbranden doen CO_2-opname voor groot deel teniet, emissiebron van methaan. Verlies van permafrost-bodems, toename toekomstige methaanemissies uit natte bodems en meren.	Virkkala et al. (2025); Kuhn et al. (2025)
Europa	Snelle terugloop koolstofopname na 2016, afname koolstofvoorraden in bossen, toename CH_4-emissies wetlands/veengebieden, record bosbranden in 2025, toename kwetsbaarheid, toename verstoringen.	Ritter et al. (2025); Xiaojun Li et al. (2025); Forzieri et al. (2021); Patacca et al. (2023); EFFIS (2025); Grünig et al. (2023); Peng et al. (2022)
Oost Europa	Afname koolstofvoorraad in bossen.	Winkler et al. (2023)
Rusland	Record oppervlak aan branden in 2019-2021 en 2023 (Oost Siberië), Snelste toename branden 2023-2024 na Canada.	Potapov et al. (2025); Scholten et al. (2022)
Canada	Bosbranden 2023, 2024, 2025 met record uitstoot.	MacCarthy et al. (2024), Jones et al (2024); Seydi et al. (2025)
Frankrijk	Snelle terugloop koolstofopname na 2016, afname koolstofvoorraden in bossen.	Ciais et al. (2025)
Finland, Zweden	Afname houtvoorraad in bos, toename bodemverlies uit bossen bossen, toename verlies veengronden, zero-emissie doelen uit zicht.	ICOS (2025), Luke (2023), Laudon et al. (2024)
Duitsland	Toename houtkap na schade, toename ziekte, afname koolstofvastlegging.	Knutzen et al. (2025); TMIL (2022)
Nederland	Toename houtoogst na droogtejaren 2018, 2022. Toename ziektes in naaldbossen. Toename omzetting van bos naar agrarisch bouwland.	WUR (2022)

Tabel 1. *Voorbeelden van wereldwijde signalen uit recent onderzoek (2022-2025) die aangeven dat bossen en bodems sterk onder druk staan, waardoor de capaciteit om koolstof vast te leggen afneemt.*

1.3. Druk van klimaat én van beheer

De gesignaleerde daling van de koolstofopname door bossen en bodems gebeurt niet overal op hetzelfde moment. Ze wordt gedreven door lokale omstandigheden in het klimaat en in het beheer van bossen en bodems. Hieronder volgt een kort overzicht van de belangrijkste drukfactoren.

Bij ontbossing en verandering van landgebruik komt vastgelegde koolstof vrij. De hoeveelheid broeikasgassen die elk jaar vrijkomt bij het omzetten van bossen naar landbouw, grasland of bebouwde omgeving is net zo groot als 10% van de wereldwijde fossiele uitstoot.[48] Deze omzetting wordt onder meer gedreven door de wereldwijde vraag naar landbouwproducten[49], waar ook Nederland aan bijdraagt.[50] Het vrijmaken van land voor gewassen zoals palmolie en soja voor veeteelt is verantwoordelijk voor een groot deel van de ontbossing. Het gaat om directe uitstoot door verbranding van verwoeste stukken bos, maar ook om emissies door sterfte van aangrenzend bos, versnippering van het landschap, en verlies van biodiversiteit en weerbaarheid.[51]

Veenweidegebieden en moerassen voelen de gevolgen van verdroging. Veenweidengebieden beslaan 3% van het aardoppervlak maar bevatten grote voorraden koolstof.[52] Op dit moment vormen emissies uit veenweidegebieden en moerassen (wetlands) circa 20% van de Europese broeikasgasemissies uit landgebruik.[53] Sinds 1990 zijn deze emissies met 23% toegenomen. Dat duidt op verslechterende omstandigheden voor koolstofvoorraden in veenweide en andere natte moerasgebieden. Landbouw op veengrond en drainage spelen hierin de grootste rol.

Het Europese bos wordt gemiddeld ouder en daarmee minder productief. Bossen leggen op middelbare leeftijd het snelst koolstof vast, terwijl ze op latere leeftijd minder productief worden en verliezen uit de bodem groter worden.[54] De koolstofvastlegging van de toekomst moet dus komen van aanplant van nieuw bos, en van duurzaam bosbeheer dat de juiste mix van bomen op jonge en middelbare leeftijd in stand houdt.[55] Maar na aanplant van veel Europese bossen in de vorige eeuw, compenseert de huidige aanwas echter onvoldoende voor de oogst en sterfte van bossen van middelbare leeftijd.[56] Niet alle verloren koolstof eindigt overigens direct in de lucht; een flink deel zit in producten van de houtverwerkende industrie of ligt als dood hout op de bosbodem tot het afgebroken wordt.[57]

Toenemende vraag naar hout zet extra druk op productiebossen. In deze bossen wordt de oogst sterk gedreven door de prijs van van hout, en de komende decenna zal de vraag sterk stijgen. Afhankelijk van economische groei kan de vraag naar hout voor materialen en bioenergie oplopen met 49%.[58] Daar tegenover staat een afnemend aanbod: de

---

[48] Friedlingstein et al. (2024)
[49] WRI (2024)
[50] CBS (2024b)
[51] Fischer et al. (2021); Qin et al. (2021)
[52] Page en Baird (2016)
[53] EEA (2025)
[54] Tian et al. (2024)
[55] Huang et al. (2025); Yang et al. (2023)
[56] Nabuurs et al. (2013)
[57] Ritter et al. (2025)
[58] FAO (2024)

beschikbare ruimte voor bosbouw staat onder druk door toegenomen risico's op bosbranden en de uitbreiding van het landbouwareaal.[59] In Nederland speelt dit minder sterk: minder dan 50% van het bos is voor productie.[60] Nederland haalt wel 85% van het benodigde hout uit het buitenland, waar het bijdraagt aan extra vraag, en dus aan de druk op bossen buiten ons land.[61]

Houtoogst neemt ook toe door hogere sterfte van bossen, onder andere door droogte, stormschade, bosbranden en insectenplagen. Het sterftepercentage in Europese bossen is tussen 1984 en 2018 verdubbeld, en blijft stijgen.[62] In 2025 is tot nu toe meer dan 1 miljoen hectare bosgebied getroffen door bosbranden, het hoogste niveau in decennia, grofweg vier keer het gemiddelde van de afgelopen 20 jaar.[63] In Duitsland wordt geschat dat 70-80% van de totale houtopbrengst in 2020-2022 "noodvelling" betrof. Dat is oogst die specifiek bedoeld is om verder economisch verlies te voorkomen na schade aan het bos. Dit is bijna vijfmaal hoger dan in 2010.[64] Na de droogte van 2018 was er ook in Nederland extra houtoogst door noodvelling, mede door bastkevervraat en door essentaksterfte.[65] Schade door insectenplagen is de snelst toenemende oorzaak, vaak in bosarealen met verminderde weerstand door droogte of stormen.[66] Invasieve insectensoorten zoals de Aziatische boktor breiden hun leefgebieden uit.[67]

Bossen en bodems lijken daarnaast gevoeliger voor de opeenstapeling van weersextremen dan eerder gedacht.[68] Samenvallende of herhaaldelijke klimaatextremen verminderen het herstelvermogen, terwijl juist dit soort extremen bij verdere opwarming vaker zullen voorkomen.[69] Voorbeelden zijn de schade aan bossen na opeenvolgende droogtes in Europa, het trage herstel van de Amazone na de laatste El Niño en de terugkerende bosbranden in Canada in 2023, 2024 en 2025.[70]

Vooral de combinatie van drukfactoren maakt de schade aan bossen en bodems structureel en hardnekkig. De druk door klimaatverandering gaat bijna overal samen met druk door menselijke invloeden. Zo veroorzaakt intensief bos- en bodemgebruik versnippering van het landschap, ontbossing, bodemdegradatie en biodiversiteitsverlies. Hierdoor blijft herstel van gezonde en weerbare bossen en bodems uit. De afname van koolstofvastlegging is hier een symptoom van. Het is nu nog te vroeg om te concluderen dat de schade aan bossen en bodems blijvend is. Maar zonder structurele afname van de drukfactoren zullen de recente jaren een betere afspiegeling zijn van de toekomst dan de twee decennia daarvoor. In hoofdstuk 2 beschrijven we de gevolgen daarvan.

---

[59] Bousfield et al. (2024)
[60] WUR (2022)
[61] Probos (2020)
[62] Senf et al. (2018); George et al. (2022)
[63] EFFIS (2025)
[64] DeStatis (2021)
[65] WUR (2022)
[66] Senf et al. (2020); Senf et al. (2018)
[67] Seidl et al. (2018)
[68] Bastos et al. (2021); Reichstein et al. (2013); Sharma et al. (2023); Zscheischler et al. (2018)
[69] Ibisch (2025)
[70] Bastos et al. (2021); M. W. Jones et al. (2024)

Kortom

Bossen en bodems staan systematisch en steeds zwaarder onder druk van klimaat en menselijk handelen waardoor hun koolstofopname en weerbaarheid verslechteren.

2. Wat zijn de gevolgen?

De gesignaleerde druk op bossen en bodems heeft gevolgen voor het beleid op het gebied van klimaat, landbouw, natuur en biodiversiteit.

Bossen en bodems vervullen een sleutelrol in meerdere beleidsterreinen. Voor het behalen van de Europese klimaatdoelen wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een toenemende koolstofopname door natuur op land (paragraaf 2.1). Tegelijkertijd wordt steeds meer verwacht van de levering van duurzame grondstoffen (paragraaf 2.2), zoals hout voor de bouw, bio-energie en bio-plastics. Ook voor het adaptatiebeleid (de wijze waarop we ons aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering) zijn bossen en bodems van belang (paragraaf 2.3), omdat zij bescherming bieden tegen de gevolgen van klimaatverandering maar zelf ook beschermd moeten worden tegen zwaar weer. We lichten de gevolgen voor dit beleid kort toe.

2.1. De klimaatdoelen worden moeilijker te behalen

Bij minder CO_2-opname door bossen en bodems moet de uitstoot ten opzichte van huidige prognoses sneller omlaag om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5 of 2°C. Internationale en Europese afspraken over het beperken van de opwarming rekenen nadrukkelijk op een blijvende en zelfs toenemende opname van CO_2 door bossen en bodems. Op dit moment nemen deze ecosystemen ongeveer een derde van de wereldwijde uitstoot op en daarmee vormen ze een onmisbare steunpilaar voor de mondiale temperatuurdoelen.[71] Het resterende koolstofbudget - de hoeveelheid CO_2 die nog kan worden uitgestoten voordat de grens van 1,5 of 2°C opwarming wordt overschreden - is afhankelijk van (aannames over) de ontwikkeling van deze opname. Bij de huidige uitstoot is het budget om met 83% zekerheid onder de 2°C opwarming te blijven in iets meer dan 16 jaar bereikt.[72] Ecologische processen en de effecten van klimaatverandering kunnen dit budget verder verkleinen. Veel berekeningen gaan bijvoorbeeld uit van het herstel van bossen na droogte of hittegolven, terwijl in werkelijkheid groeivertraging en sterfte optreden.[73] Ook beperkte toegang tot voedingstoffen kan de opname beperken, waardoor het resterende koolstofbudget ruwweg 20–25% lager uit zou kunnen vallen.[74] Ook de versnelde afbraak van organisch

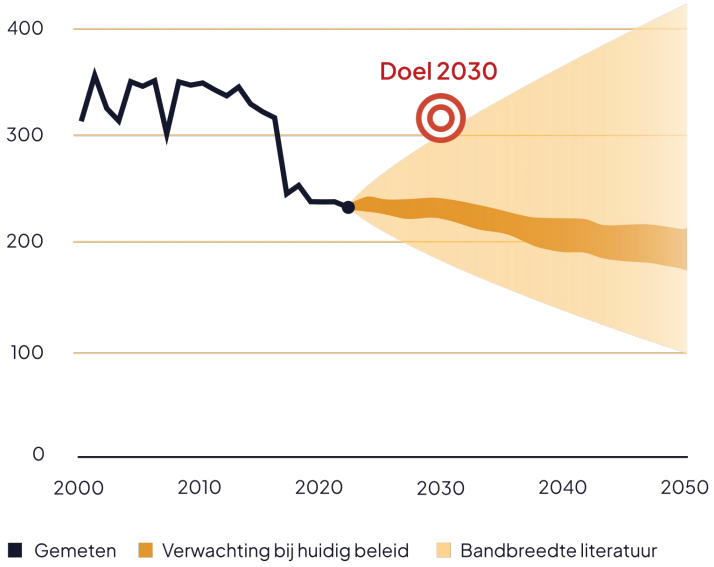
[71] Friedlingstein et al. (2024)
[72] Forster et al. (2025)
[73] Anderegg et al. (2015); Kolus et al. (2019);
[74] De Sisto en MacDougall (2024)

materiaal in veengebieden of het ontdooien van permafrost worden vaak onderschat. Dit kan het resterende budget met nog eens 5-15% verkleinen.[75]

De Europese klimaatdoelen voor de sector landgebruik en bosbouw (LULUCF) raken verder uit zicht. Het doel voor is om in bossen en via slim landgebruik netto 310 megaton CO_2 vast te leggen.[76] Om dit te behalen moet de netto koolstofopname van de LULUCF-sector aanzienlijk worden vergroot. Het omgekeerde is echter het geval: in het afgelopen decennium daalde de koolstofopname juist met een derde (zie figuur 4).[77] De uitstoot van broeikasgassen uit veen- en moerasland, akkerland en grasland nam weinig af terwijl de CO_2-opname door bossen kleiner werd door drukfactoren, zoals beschreven in paragraaf 1.3. Zonder stevigere beleidsinzet is de verwachting dat de opname in de LULUCF-sector nog kleiner wordt (zie figuur 4).[78] De trend in de LULUCF-sector en de structurele druk op Europese bossen en bodems maken duidelijk dat het klimaatbeleid risico loopt de bijdrage van deze sector aan de klimaatdoelen te overschatten.

Het klimaatdoel voor CO_2-opname door Europese bossen en bodems raakt uit zicht

Gemeten en verwachte opname in megaton CO_2e per jaar



Figuur 4. Bron: aangepast figuur op basis van data van EEA (2024c)

Nederland loopt ook een substantieel risico om de LULUCF-doelen niet te behalen. Volgens de Klimaat- en Energieverkenning van 2025 zal de Nederlandse netto LULUCF-uitstoot uitkomen tussen 3,4 en 4,9 Mton CO_2-equivalenten (CO_2e) in 2030.[79] Het bindend Europees doel voor de LULUCF -sector voor 2030 wordt voor elke lidstaat bepaald, samen met uitstoot van eerdere jaren. Voor Nederland komt dit uit op een maximum van

[75] Comyn-Platt et al. (2018); Georgievski et al. (2025)
[76] Verordening (EU) 2018/841
[77] EEA (2024a)
[78] EEA (2024a); EC (2024); Pilli et al. (2022)
[79] PBL et al. (2025)

4,0 Mton CO_2e aan jaarlijkse emissies.[80] Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) schat de kans dat dit doel met nu vastgesteld en voorgenomen beleid wordt behaald op 35%. Daarbij wordt gerekend op licht stijgende koolstofvastlegging in bossen, herstel van bossen na extreme droogtes en langzame uitbreiding van het bosareaal.[81] Ander beleid dat de haalbaarheid van de LULUCF-doelen kan beïnvloeden is het al dan niet handhaven van de nitraatderogatie en het doorgaan van geagendeerde maatregelen uit het voormalige Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG).[82]

2.2. De beschikbaarheid van duurzame biomassa wordt onzekerder

Biomassa is een essentiële bouwsteen voor een klimaatneutrale economie. Voor het realiseren van een klimaatneutrale economie wordt gerekend op grote hoeveelheden biomassa. Hout kan bijdragen aan langdurige koolstofvastlegging en kan gebruikt worden in plaats van staal en beton. Ook worden biogrondstoffen steeds vaker ingezet voor plastics, bio-energie en CO_2-verwijderingstechnieken. Het Nederlandse beleid sluit hierbij aan: in 2030 moet 30% van de nieuwbouwwoningen grotendeels worden gebouwd met biobased materialen.[83] Daarbij moet het aandeel bio-plastics stijgen naar 15%, terwijl dit in 2022 slechts 1% bedroeg.[84] Ook in de Routekaart Koolstofverwijdering wordt uitgegaan van 20–25 Mton CO_2-verwijdering per jaar in 2040–2050; dit is alleen haalbaar met substantiële hoeveelheden biomassa.[85] Nederland produceert zelf weinig biomassa, dus zal het overgrote deel moeten worden geïmporteerd.[86] Volgens een schatting van PBL zou de biomassaconsumptie van Nederland, exclusief voedsel, in 2050 tien keer zo groot kunnen zijn als in 2020.[87]

De vraag naar biomassa zal de komende jaren wereldwijd sterk toenemen, maar de beschikbaarheid in de toekomst is onzeker. Verwacht wordt dat biomassa na 2030 wereldwijd schaars zal zijn, doordat steeds meer landen inzetten op de bio-economie.[88] Het Europees Milieuagentschap (EEA) waarschuwt dat de vraag het aanbod structureel zal overtreffen door beperkt landoppervlakte, concurrentie met natuur en voedsel en verslechterende groeiomstandigheden door klimaatverandering.[89]

De inzet van biomassa kan bijdragen aan herbebossing en koolstofopname, maar er zijn mogelijk negatieve effecten voor andere ecosysteemdiensten. De toename in de vraag naar biomassa zal waarschijnlijk leiden tot een groter bosareaal voor de productie van houtachtige biomassa.[90] Bio-energie in combinatie met bosbehoud en herbebossing kan leiden tot hogere netto koolstofvastlegging, zolang bestaande bossen niet worden aangetast en het beheer extensief plaatsvindt (dus bijvoorbeeld zonder grootschalige

---

[80] Dit betreft het Europese doel dat is gebaseerd op een verplichte verbetering ten opzichte van een historische referentieperiode. Het nationale indicatieve doel is afgeleid van de totale reductieopgave van 55% in 2030 en ligt veel lager (1.8 megaton CO_2e/jaar), en is vrijwel buiten bereik van de volgende KEV van 2025.
[81] PBL et al. (2025)
[82] PBL et al. (2025)
[83] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties et al. (2023)
[84] CE Delft (2022)
[85] Ministerie van Klimaat en Groene Groei (2025)
[86] PBL (2020)
[87] PBL (2020)
[88] PBL (2024b)
[89] EEA (2023)
[90] Favero et al. (2020)

kaalkap).[91] Duurzaam geoogst hout kan bovendien emissiereductie opleveren door meer vervuilende materialen als staal of beton te vervangen.[92] Aan de andere kant kan biomassaproductie als die niet op een duurzame manier wordt uitgevoerd, leiden tot bodemdegradatie en biodiversiteitsverlies. Daardoor worden bodems minder veerkrachtig tegen klimaatverandering.[93] Ook kan het beslag op water en landbouwgrond concurreren met voedselproductie.

Klimaatverandering beperkt de groeisnelheid en voorspelbaarheid van biomassa, waardoor ecologische grenzen bij intensief beheer eerder worden bereikt.[94] Zoals beschreven in paragraaf 1.3 zorgen droogte, hitte en plagen voor een verminderde productiviteit en hogere sterfte van bossen en gewassen, zie figuur 6.[95] In jaren waarin droogte en hitte samenkomen is in Centraal-Europese bossen bijvoorbeeld een groeireductie van meer dan 25% gemeten.[96] Oogstniveaus die in stabiele omstandigheden houdbaar waren, kunnen bij verminderde productiviteit leiden tot uitputting van bodems en bossen. Kortere rotatieperioden en hogere volumes laten bijvoorbeeld minder tijd voor herstel, waardoor bossen kwetsbaarder worden voor droogte, ziekten en stormschade.[97] Intensieve biomassaoogst kan bodemverdichting, verlies van organisch stof en verminderde regeneratie veroorzaken.[98] Deze effecten verkleinen de speelruimte voor duurzame oogst en vergroten de kans dat bij toenemende vraag negatieve effecten op bodemkwaliteit, biodiversiteit en koolstofopslag optreden.

2.3. Klimaatbestendig worden vergt extra inzet

We rekenen op bossen en bodems om klimaatbestendig te worden, maar ze hebben zelf ook bescherming nodig in een warmer klimaat. De Nationale Klimaatadaptatie Strategie (NAS) is erop gericht om Nederland bestendiger te maken tegen klimaatverandering. In deze strategie helpen bossen en bodems ons met de toekomstige waterhuishouding, door water vast te houden, piekafvoeren te vertragen en droogtes te bufferen.[99] Ook willen we bossen inzetten voor het stabiliseren van de bodem[100], het temperen van hittestress door verdamping en schaduw[101], en het verbeteren van luchtkwaliteit.[102] Daarbij moeten koolstofvoorraden beschermd blijven (veenweides) of zelfs toenemen (bossen). Het Nederlandse adaptatiebeleid zet dan ook in op natuurgebaseerde oplossingen en het centraal stellen van water- en bodemeigenschappen bij het maken van ruimtelijke keuzes.[103] Bossen en bodems moeten dit soort adapatiediensten dan wel kunnen blijven leveren, ook in een warmer en grilliger klimaat, en onder de genoemde drukfactoren uit hoofdstuk 1.

---

[91] Favero et al. (2020)
[92] Sathre en O'Connor (2010); Schulte et al. (2023)
[93] Olsson et al. (2022) p373-374;
[94] Ritter et al. (2025)
[95] Patacca et al. (2023)
[96] Marcis et al. (2025)
[97] Zimová et al. (2020)
[98] Olsson et al. (2022), p373-374; Achat et al. (2015); Lewandowski et al. (2019);
[99] Rli (2020a); STOWA (2023);
[100] WRI (2025c)
[101] RIVM (z.d.); Ellison et al. (2017)
[102] Nowak (2023)
[103] WKR (2025a)

Het leveren van adaptatiediensten wordt moeilijker naarmate druk op bossen en bodems toeneemt. Veel van de Nederlandse bossen bestaan uit monoculturen van spar en den die slecht bestand zijn tegen droogte, hitte en plagen. Verzwakte bossen bieden minder schaduw en verdamping, waardoor hittestress in steden en dorpen stijgt.[104] Gedegradeerde bodems verliezen hun sponswerking, waardoor wateroverlast en droogteproblemen toenemen.[105] De stabiliteit van bodems neemt bovendien af: uitdroging en verdichting leiden tot erosie en verzilting, met risico's voor landbouwgronden en funderingen in bebouwd gebied.[106] Deze effecten versterken elkaar waar stikstofdruk en versnippering aanwezig zijn. Als dit soort drukfactoren op bossen en bodems niet afnemen zal adaptatiebeleid minder effectief zijn. Om klimaatbestendig te worden zullen dan vaker kunstmatige alternatieven zoals waterbassins, airconditioning of bodemversterking moeten worden ingezet voor adaptatie, wat de maatschappelijke kosten verhoogt.[107]

Meer druk op bossen en bodem zorgt dat ze minder kunnen meebewegen met een grilliger klimaat.[108] Klimaatbestendig maken van bossen en bodems betekent dat ze beter bestand zijn tegen de gevolgen van droogte, hitte en extreme neerslag, en beter herstellen na schade. In soortenrijke ecosystemen reageren planten en dieren verschillend op verstoringen waardoor processen zoals de nutriëntenkringloop en waterberging door blijven gaan, ook als bepaalde soorten onder druk komen te staan.[109] Herstel na verstoringen wordt bovendien ondersteund door ecologische verbindingen en de uitwisseling van zaden en nutriënten tussen gebieden.[110] Bodemgezondheid speelt hierbij een sleutelrol: bodems die rijk zijn aan koolstof en een divers bodemleven houden meer water vast en leveren voedingsstoffen efficiënter.[111] De Nederlandse beleidsdoelen voor natuurherstel, biodiversiteit en koolstofvastlegging worden op dit moment nog niet gehaald en vergen extra inzet.[112] Onder de toenemende en systematische druk die de WKR hier signaleert, zal de benodigde inzet nog verder toenemen.

Kortom

Het is zaak om bossen en bodems beter te beschermen zodat klimaatbeleid niet nog verder hoeft te worden aangescherpt en de klimaat- en natuurdoelen haalbaar blijven.

---

[104] Alonzo et al. (2025); Li et al. (2024);
[105] Bevacqua et al. (2024); Gharun et al. (2024)
[106] Rli (2020b)
[107] EEA (2024b)
[108] Isbell et al. (2015)
[109] Wang et al. (2021) Craven et al. (2018); (Xu et al., 2021);
[110] IUCN (2020)
[111] Yao et al. (2023)
[112] PBL (2023); PBL et al. (2025)

3. Hoe beschermen we bossen en bodems?

De bossen en bodems moeten worden beschermd, zowel in Nederland als daarbuiten.

Deze signalering laat zien dat bossen en bodems kwetsbaar zijn voor klimaatverandering en menselijk handelen. De druk op bossen en bodems beperkt niet alleen de koolstofvastlegging, maar ondermijnt ook andere vitale ecosysteemdiensten waar klimaatbeleid op leunt. Dit hoofdstuk bespreekt hoe we bossen en bodems in Nederland kunnen beschermen en hoe Nederland via de import van voedsel en biomassa kan bijdragen aan bescherming buiten de landsgrenzen. Tot slot gaat het hoofdstuk in op het belang van de integratie van biodiversiteit en klimaat in beleid omdat een gezonde en biodiverse natuur een randvoorwaarde is voor succesvol klimaatbeleid.

3.1. Bos- en bodemherstel in Nederland kan, met keuzes in ruimtelijke inrichting en landbouw

Hoewel ongeveer een kwart van het landoppervlak en binnenwater formeel beschermd gebied is[113], staat de Nederlandse natuur er slecht voor. Slechts 12% van de beschermde ecosystemen verkeert in een 'gunstige' staat, 35% is 'matig', en 53% is 'ongunstig'.[114] Daarnaast ligt veel natuur buiten de officieel beschermde gebieden, zoals in landelijk gebied. Ook daar is de staat van de natuur vaak slecht[115], wat het herstel en functioneren van de natuur binnen beschermde gebieden onder druk zet. De natuur kan zich pas herstellen als er voldoende ruimte is en de druk afneemt, zoals paragraaf 2.3 beschrijft.

Veel druk op Nederlandse bossen en bodems hangt samen met de omvang en intensiteit van de landbouw. In Nederland is een relatief groot gebied (twee derde van het landoppervlak, exclusief water) ingericht voor landbouwproductie, en veel minder voor natuur (een zesde, exclusief water).[116] De landbouw kenmerkt zich door een hoge mate van intensivering, met relatief veel inzet van kunstmest, krachtvoer en gewasbeschermingsmiddelen. Dit draagt bij aan een hoge opbrengst per hectare, maar heeft ook invloed op de omgevingskwaliteit. Zo is bijvoorbeeld sprake van bodemdaling en broeikasgasuitstoot in veenweidegebieden, veranderende droogterisico's voor natuur en drinkwater[117], en een afname van soortenrijk grasland. Intensieve landbouw is ongunstig voor de voorraden koolstof die al opgeslagen zitten in minerale zand- en kleibodems.[118] Ook zonder klimaatverandering wordt het lastig om de koolstofvoorraden in deze bodems

[113] CLO (2025)
[114] CLO (2021)
[115] Naturalis (2025)
[116] CBS (2024a)
[117] Deltares (2023)
[118] Knotters et al. (2022)

te behouden, laat staan toe te laten nemen.[119] In veenbodems is koolstofvastlegging bij de huidige landbouwmethoden helemaal niet mogelijk.[120]

Keuzes over de landbouw kunnen helpen om Nederlandse bossen en bodems te beschermen. In welke mate wil Nederland voedsel produceren voor de export? En in hoeverre moeten landbouw en natuur worden verweven of gescheiden?[121] Het maken van deze keuzes geeft richting aan de landbouwtransitie, en beïnvloedt in hoge mate wat er op het gebied van natuur mogelijk is in Nederland.[122] Kansen liggen bij extensiever beheer en duurzame landbouw met ondersteunend beleid dat stuurt op verbetering van de kwaliteit van de leefomgeving. Dit kan helpen om natuur te herstellen, koolstofvoorraden te beschermen, en op de langere termijn zelfs kleine hoeveelheden koolstof vast te leggen in Nederlandse bodems. Met zulke structuuraanpassingen kan de sector landgebruik uitkomen op netto-nul koolstofuitstoot in 2050.[123]

Bij ruimtelijke keuzes kan beter rekening worden gehouden met klimaatverandering en de natuurlijke kenmerken van water en bodem.[124] Ontwikkelingen in de landbouw, woningbouw, infrastructuur en industrie leggen vaak direct beslag op ruimte die onmisbaar is voor natuur, water en koolstofvoorraden. Waar waterberging, (natte) natuur of bosontwikkeling ruimte krijgen, ontstaan kansen om koolstof vast te leggen[125], de biodiversiteit te versterken en het landschap klimaatbestendig te maken. Natuurinclusieve oplossingen, zoals Ruimte voor de Rivier of de Zandmotor bij Kijkduin, zijn vaak multifunctioneel: ze dragen bij aan het tegengaan van klimaatverandering, maar ook aan de volksgezondheid, biodiversiteit en leefbaarheid.[126] Door water, bodem en klimaatverandering een centrale plek te geven bij het maken van keuzes kunnen bossen en bodems worden beschermd. Dit vraagt om keuzes die verder reiken dan de korte termijn: herstel- en adaptatiemaatregelen vergen een langdurige beleidsinzet voor maximaal resultaat. Het maken van deze keuzes en het vormgeven van langetermijnbeleid vragen een visie op de landbouw en ruimtelijke inrichting van Nederland.[127]

3.2. Nederland kan veel bijdragen aan de bescherming van bossen en bodems wereldwijd

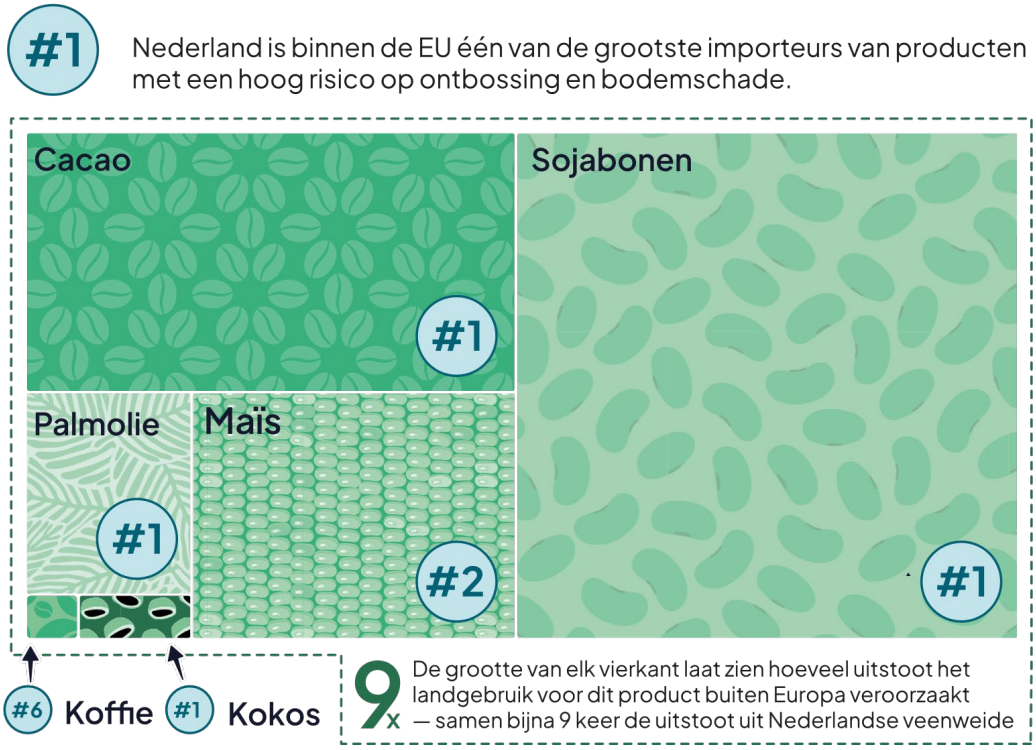
Via internationale handelsketens kan Nederland bijdragen aan het beschermen van bossen en bodems wereldwijd. Als handelsland importeert en verwerkt Nederland grote hoeveelheden biomassa, die het deels weer exporteert (wederuitvoer). In 2023 was de totale landvoetafdruk van Nederlandse importen circa 43 miljoen hectare, ruim dertien keer de oppervlakte van Nederland.[128] Zonder wederuitvoer resteert nog altijd een voetafdruk die bijna vier keer zo groot is als het nationale grondgebied.[129] In 2023 was Nederland bovendien verantwoordelijk voor 42% van de totale EU-import van palmolie en

[119] Riggers et al. (2021)
[120] NOBV (2024)
[121] Bos et al. (2023)
[122] WKR (2024)
[123] PBL (2024a) ; CBS (2025)
[124] Deltares et al. (2021); Rli (2024); WKR (2025a)
[125] Temmink et al. (2022)
[126] Baptist et al. (2019)
[127] WKR (2025b)
[128] CBS (2024b)
[129] CBS (2024b)

19% van de soja-import uit landen buiten de EU.[130] Daarnaast nam de import van hout(producten) sinds 2002 met circa 125% toe.

Met name soja, palmolie en houtachtige biomassa brengen risico's van ontbossing en overexploitatie met zich mee. De landbouwgrond die nodig is om aan de vraag naar deze producten te voldoen zorgt voor grote veranderingen in landgebruik, waarbij ook veel koolstof verloren gaat, zie figuur 5.[131] Soja wordt vooral geïmporteerd als veevoer en draagt bij aan het verdwijnen van tropische en subtropische bossen en savannes in Zuid-Amerika. Internationale afspraken hebben de ontbossing verminderd, maar binnenlandse weglek (verplaatsing van de ontbossing naar een ander gebied) kan dit effect tenietdoen. Onderzoek naar de Braziliaanse sojaproductie becijferde dit effect op 43-50%.[132] Palmolieproductie blijft een belangrijke aanjager van ontbossing en veenoxidatie in Zuidoost-Azië; na jaren van daling nam de ontbossing gelinkt aan palmolie in 2022-2023 opnieuw toe[133], vaak op koolstofrijke veenbodems.[134] Zoals in paragraaf 2.2 besproken, kunnen de risico's voor bossen en bodems bij intensieve biomassaproductie toenemen door klimaatverandering.

Via internationale handelsketens kan Nederland bijdragen aan het beschermen van bossen en bodems wereldwijd



Figuur 5. Zes producten met grote bijdrage aan ontbossing en landdegradatie door Nederlandse import.
Bron: CBS (2023) en WNF (2022)

---

[130] CBS (2023)
[131] WWF (2022)
[132] Villoria et al. (2022)
[133] SEI (2024)
[134] Miettinen et al. (2013)

Het verduurzamen van de productie en het stellen van eisen aan de toepassing van biomassa kan de risico's voor bossen en bodems beperken. Via verschillende regelingen wordt ingezet op het beschermen van bossen en bodems tegen ontbossing en intensief beheer. De Europese ontbossingsverordening (EUDR) beoogt bijvoorbeeld dat soja, palmolie, cacao, hout, koffie, rundvlees en rubber ontbossingsvrij de EU-markt bereiken. Recent is echter besloten om de EUDR opnieuw uit te stellen en de regels te versoepelen.[135] Dit maakt risico's op weglek naar landen buiten de EU groter.[136] Ook de herziene Renewable Energy Directive (RED III) vermindert de risico's voor ecosystemen door duurzaamheidseisen voor bio-energie aan te scherpen. Deze wetgeving leunt echter op certificeringssystemen die mogelijk niet waterdicht zijn.[137] Verder verplicht de Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD) bedrijven ketenrisico's rond ontbossing en bodemdegradatie in kaart te brengen. Deze regels gelden echter alleen voor grote bedrijven. Deze instrumenten zijn noodzakelijk, maar sturen vooral op hoe biomassa wordt geproduceerd; ze begrenzen niet de totale consumptie.

Ook bij meer bescherming en duurzamere productie van biomassa geldt: niet alle consumptie past binnen de ecologische grenzen. Zelfs bij strikte certificering en *due diligence* (waarbij risico's in beeld worden gebracht) kan een hoge vraag blijven leiden tot druk op bossen en bodems. Duurzame certificering kan ontbossing weliswaar verminderen, maar de winst kan deels verloren gaat door intensivering of verplaatsing naar andere regio's.[138] Zoals in paragraaf 2.2 is besproken kan klimaatverandering de groeisnelheden van productiebossen en landbouwproducten bovendien verkleinen, waardoor ecologische grenzen eerder worden overschreden bij dezelfde of toenemende vraag naar producten. Het verminderen van de vraag, en daarbinnen het prioriteren van hoogwaardige toepassingen van biomassa, is de meest zekere manier om de druk op bossen en bodems te verminderen.

Door de totale Nederlandse vraag naar en duurzame beschikbaarheid van biomassa in kaart te brengen kunnen knelpunten tussen de consumptie en ecologische grenzen worden opgelost. Op dit moment bestaan wel sectorale strategieën (voor houtbouw, bioplastics of bio-energie), maar ontbreekt een overkoepelende analyse die de samenhang en de effecten op bossen en bodems meeneemt. Ook het EEA heeft benadrukt dat integrale analyses noodzakelijk zijn. Dit omdat vaak meerdere sectoren dezelfde biomassa-stromen claimen, terwijl de beschikbare voorraden beperkt zijn.[139] Door de integrale langetermijnbehoefte van Nederland aan biomassa in kaart te brengen, kan duidelijk worden waar knelpunten ontstaan en hoe keuzes in één sector de ruimte voor andere sectoren beperken. Hierbij moet rekening worden gehouden met de interacties tussen de vraagsectoren.

---

[135] WRI (2025a)
[136] Verordening (EU) 2023/1115; Ségur-Cabanac et al. (2025)
[137] Delacote et al. (2025)
[138] Lambin en Furumo (2023); Villoria et al. (2022)
[139] EEA (2023)

3.3. Klimaat- en biodiversiteitsbeleid combineren

De klimaat- en biodiversiteitscrises zijn sterk verweven, zowel qua oorzaken als qua oplossingen.[140] Klimaatverandering zet de weerbaarheid van ecosystemen onder druk, en daarmee de dieren, planten en andere organismen die onderdeel zijn van het ecosysteem. Omgekeerd zorgt het verlies van soortenrijkdom en gezonde ecosystemen ervoor dat CO_2 eerder vrijkomt [141] Voor de impact van klimaatverandering op biodiversiteit geldt dat elke tiende graad telt. Een verdere opwarming van 1,5 naar 2°C betekent al een verdriedubbeling van het verlies van insecten en een verdubbeling van het verlies van planten en gewervelden.[142] De drukfactoren genoemd in hoofdstuk 1 veroorzaken zowel klimaatverandering als biodiversiteitsverlies.[143] Deze worden op hun beurt voornamelijk gedreven door de wereldwijde vraag naar landbouwproducten.[144]

De meeste maatregelen die biodiversiteit beschermen zijn ook gunstig voor het tegengaan van klimaatverandering. Herstel van ecosystemen, natuurinclusieve landbouw, bescherming en uitbreiding van bos en wetlands en het tegengaan van landdegradatie kunnen bijdragen aan zowel klimaatmitigatie als -adaptatie.[145] Daarnaast presteert gemengde bosaanplant beter dan een monocultuur op het gebied van langdurige koolstofopslag, weerbaarheid tegen en veerkracht bij verstoringen van het bos en ondersteuning van biodiversiteit.[146] Diversificatie van bosaanplantingen is dan ook een van de belangrijkste aanbevelingen in het gezamenlijke IPBES-IPCC-rapport over biodiversiteit en klimaatverandering.[147] De positieve terugkoppeling tussen natuurlijke vegetatie en biodiversiteit versnelt ook het herstel van wetlands, waarmee een groot potentieel aan koolstofopslag benut kan worden.[148] Negatieve effecten van biodiversiteitsmaatregelen op koolstofopname komen slechts in beperkte mate voor. Een voorbeeld hiervan is het kappen van bomen om bijvoorbeeld heide te herstellen. Andersom zijn er ook veel klimaatmitigatiemaatregelen die positief doorwerken op de biodiversiteit [Figuur 6]. Voor sommige klimaatmaatregelen geldt dit niet, bijvoorbeeld bij de aanplant van monoculturen voor bio-energie of CO_2-compensatie, waarbij bestaande ecosystemen kunnen worden verdrongen [Figuur 6]. Dit onderstreept het belang van een stevig en integraal duurzaamheidskader voor de gebruikte biomassa, dat bijdraagt aan een beperkte en strategische inzet ervan.[149]

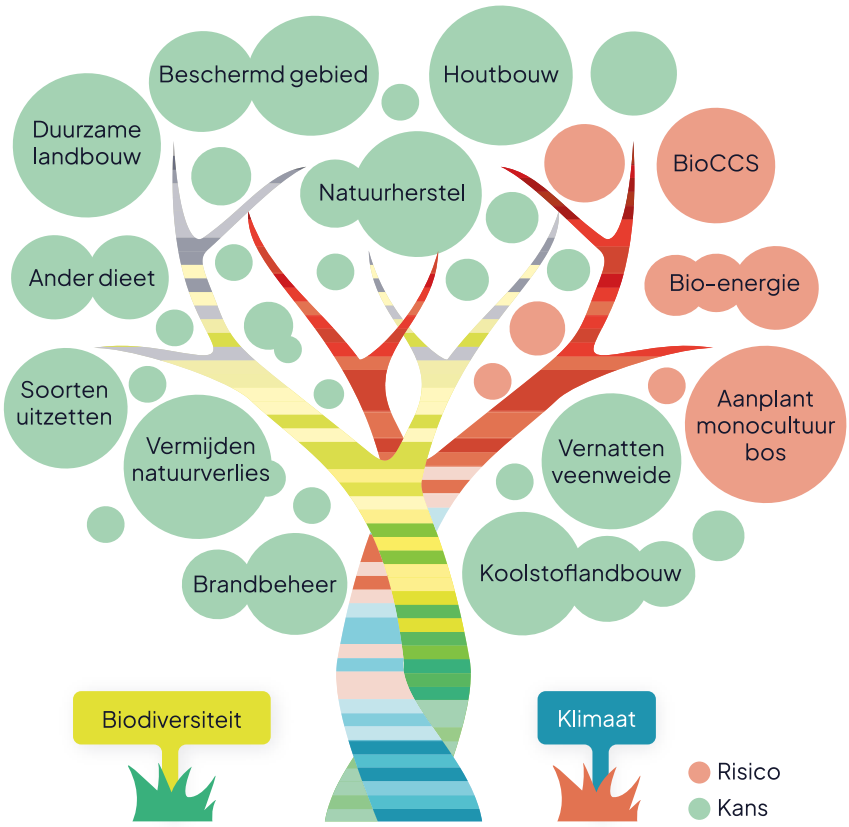
Het integreren van klimaat- en biodiversiteitsbeleid biedt kansen voor bos, bodem en klimaat. Ondanks de sterke samenhang worden klimaatverandering en biodiversiteitsverlies in beleid vaak behandeld als gescheiden opgaven.[150] Dit komt onder meer doordat ze worden geregeld binnen verschillende internationale conventies en ministeries, en doordat de beleidsdoelen en indicatoren verschillen. Deze gescheiden behandeling kan leiden tot niet-optimale of zelfs conflicterende beleidsmaatregelen

---

[140] Pörtner et al. (2023)
[141] Weiskopf et al. (2024); IPBES (2024, p. 5)
[142] IPBES & IPCC (2021, p. 30); Nunez et al. (2019); IPBES & IPCC (2021, p. 30); Muluneh (2021)
[143] IPBES & IPCC (2021, p. 28)
[144] IPBES & IPCC (2021, p. 29)
[145] Temmink et al. (2022)
[146] Warner et al. (2023);
[147] IPBES & IPCC (2021)
[148] Temmink et al. (2022)
[149] Hanssen et al. (2022)
[150] Shin et al. (2022)

Strategieën gericht op zowel biodiversiteit als klimaat dragen meer bij aan bijvoorbeeld de Sustainable Development Goals (duurzame ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties), dan een aanpak die alleen focust op de klimaatbijdrage.[151] De interacties tussen klimaat- en biodiversiteit vragen dan ook om beleidsinstrumenten die zowel uitstootreductie als ecosysteemherstel bevorderen, en om bestuursstructuren die samenwerking tussen beleidsvelden mogelijk maken. Alleen zo is recht te doen aan de onderlinge verwevenheid van de klimaat- en biodiversiteitscrises – en aan de noodzaak om ze gezamenlijk aan te pakken.[152]

Het combineren van beleid voor klimaat en biodiversiteit kan helpen om bossen en bodems beter te beschermen



Figuur 6. *Kansen en risico's op basis van Figuur 7.2 uit IPBES & IPCC (2021)*

Kortom

Nederland kan veel bijdragen aan bescherming van bossen en bodems in Nederland en daarbuiten door slimme keuzes in landgebruik en landbouw, en door beleid voor biodiversiteit en klimaat te verbinden.

---

[151] IPBES (2024, pp. 19-20)
[152] Pörtner et al. (2023)

Verantwoording infographic

Wat is er aan de hand?

Bossen wereldwijd nemen minder CO_2 op.

Gibbs, D. A., Rose, M., Grassi, G., Melo, J., Rossi, S., Heinrich, V. & Harris, N. L. (2025). Revised and updated geospatial monitoring of 21st century forest carbon fluxes. *Earth System Science Data*, *17*(3), 1217-1243. https://doi.org/10.5194/essd-17-1217-2025

WRI. (2025d). *World's Forest Carbon Sink Shrank to its Lowest Point in at Least 2 Decades, Due to Fires and Persistent Deforestation*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 23 september van https://www.wri.org/insights/forest-carbon-sink-shrinking-fires-deforestation

In Europa zijn steeds meer bosbranden

EFFIS. (2025). *Statistics Portal - Weekly Burnt Areas*. Geraadpleegd op 3 oktober van https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/effis.statistics/seasonaltrend/EU/2025/CO2

European Court of Auditors. (2025). *Special report 16/2025: EU funding to tackle forest fires – More preventive measures, but insufficient evidence of results and their long-term sustainability*.https://www.eca.europa.eu/en/publications?ref=SR-2025-16

Bossen en bodems staan in heel Europa onder druk

Literatuur gerefereerd in tabel 1

Wat betekent dit voor klimaatbeleid?

Het klimaatdoel voor CO_2-opname door Europese bossen en bodems raakt uit zicht

EEA. (2024c). *Greenhouse gas emissions from land use, land use change and forestry in Europe*. Geraadpleegd op 2 juli 2025 van https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-land?activeAccordion=309c5ef9-de09-4759-bc02-802370dfa366

Wat kunnen we doen om bossen en bodems te beschermen?

Via internationale handelsketens kan Nederland bijdragen aan het beschermen van bossen en bodems wereldwijd.

CBS. (2023). *Nederland grootste importeur van soja, palmolie en cacao van de EU*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/39/nederland-grootste-importeur-van-soja-palmolie-en-cacao-van-de-eu

WWF. (2022). *The impact of Dutch imports on nature loss worldwide*. Zeist: Wereld Natuur Fonds.https://www.wwf.nl/globalassets/pdf/rapporten/wwf-nl-report-risky-business.pdf

Bos- en bodemherstel in Nederland kan, met keuzes in het ruimtegebruik en de landbouw

Bos, A., Breman, B., De Wolf, P., Van Meijl, J., Geerling-Eiff, F., Jellema, A., De Jonge, E., Dekker, J., Fuchs, L. & Puente-Rodríguez, D. (2023). *WUR-perspectieven op landbouw, voedsel en natuur*. Wageningen University & Research.https://research.wur.nl/en/publications/wur-perspectieven-op-landbouw-voedsel-en-natuur

PBL. (2025). *Keuzes voor de Leefomgeving 2025: Twaalf opgaven voor het nieuwe kabinet*. Den Haag.https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-09/pbl-2025-keuzes-voor-de-leefomgeving-2025-5954.pdf

Rli. (2024). *Ruimtelijke ordening in een veranderend klimaat*. Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.https://www.rli.nl/publicaties/2024/advies/ruimtelijke-ordening-in-een-veranderend-klimaat

WKR. (2025a). *Meeveranderen met het klimaat. Ruimtelijke en maatschappelijke keuzes voor klimaatadaptatie* (004). Den Haag: Wetenschappelijke Klimaatraad.https://www.wkr.nl/documenten/2025/06/19/advies-meeveranderen-met-het-klimaat

Beleid voor klimaat en biodiversiteit combineren

IPBES & IPCC. (2021). *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services & Intergovernmental Panel on Climate Change.https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf

Literatuur

Achat, D. L., Fortin, M., Landmann, G., Ringeval, B. & Augusto, L. (2015). Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. *Scientific reports*, *5*(1), 15991. https://doi.org/10.1038/srep15991

Alonzo, M., Ibsen, P. C. & Locke, D. H. (2025). Urban Trees and Cooling: A Review of the Recent Literature (2018 to 2024). *Arboriculture & Urban Forestry*, *51*. https://doi.org/10.48044/jauf.2025.023

Anderegg, W. R., Schwalm, C., Biondi, F., Camarero, J. J., Koch, G., Litvak, M., Ogle, K., Shaw, J. D., Shevliakova, E. & Williams, A. (2015). Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models. *Science*, *349*(6247), 528-532. https://doi.org/10.1126/science.aab1833

Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. E., Rockström, J. & Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, *377*(6611), eabn7950. https://doi.org/org/10.1126/science.abn7950

Baptist, M., van Hattum, T., Reinhard, S., van Buuren, M. I., de Rooij, B., Hu, X., van Rooij, S., Polman, N., van den Burg, S. & Piet, G. (2019). *A nature-based future for the Netherlands in 2120*.https://research.wur.nl/en/publications/a-nature-based-future-for-the-netherlands-in-2120

Barnes, C., Santos, F. L. M., Libonati, R., Keeping, T., Rodrigues, R., Alves, L. M. A., Sinavu, S., Vahlbergh, M., Acayna, T. & Otto, F. (2024). Hot, dry and windy conditions that drove devastating Pantanal wildfires 40% more intense due to climate change. https://doi.org/10.25561/113726

Bastos, A., Orth, R., Reichstein, M., Ciais, P., Viovy, N., Zaehle, S., Anthoni, P., Arneth, A., Gentine, P. & Joetzjer, E. (2021). Vulnerability of European ecosystems to two compound dry and hot summers in 2018 and 2019. *Earth system dynamics*, *12*(4), 1015-1035. https://doi.org/10.5194/esd-12-1015-2021

Bennett, A. C. (2023). Impact of the 2015-2016 El Niño on the carbon dynamics of South American tropical forests. *Nature Climate Change*, *13*, 905-906. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01777-3

Bevacqua, E., Rakovec, O., Schumacher, D. L., Kumar, R., Thober, S., Samaniego, L., Seneviratne, S. I. & Zscheischler, J. (2024). Direct and lagged climate change effects intensified the 2022 European drought. *Nature Geoscience*, *17*(11), 1100-1107. https://doi.org/10.1038/s41561-024-01559-2

Bos, A., Breman, B., De Wolf, P., Van Meijl, J., Geerling-Eiff, F., Jellema, A., De Jonge, E., Dekker, J., Fuchs, L. & Puente-Rodríguez, D. (2023). *WUR-perspectieven op landbouw, voedsel en natuur*. Wageningen University & Research.https://research.wur.nl/en/publications/wur-perspectieven-op-landbouw-voedsel-en-natuur

Botía, S., Munassar, S., Koch, T., Custodio, D., Basso, L. S., Komiya, S., Lavric, J. V., Walter, D., Gloor, M. & Martins, G. (2025). Combined CO2 measurement record indicates Amazon forest carbon uptake is offset by savanna carbon release. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *25*(12), 6219-6255. https://doi.org/10.5194/acp-25-6219-2025

Bousfield, C. G., Morton, O. & Edwards, D. P. (2024). Climate change will exacerbate land conflict between agriculture and timber production. *Nature Climate Change*, *14*(10), 1071-1077. https://doi.org/10.1038/s41558-024-02113-z

Burton, C. A., Kelley, D. I., Burke, E., Mathison, C., Jones, C. D., Betts, R. A., Robertson, E., Teixeira, J. C., Cardoso, M. & Anderson, L. O. (2024). Fire weakens land carbon sinks before 1.5 C. *Nature Geoscience*, *17*(11), 1108-1114. https://doi.org/10.1038/s41561-024-01554-7

CBS. (2023). *Nederland grootste importeur van soja, palmolie en cacao van de EU*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.cbs.nl/nl-

nl/nieuws/2023/39/nederland-grootste-importeur-van-soja-palmolie-en-cacao-van-de-eu
CBS. (2024a). *Minder natuur- en bosgebied*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 4 augustus 2025 van https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/18/minder-natuur-en-bosgebied-in-nederland
CBS. (2024b). *Voetafdruk van de invoer*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 3 oktober van https://longreads.cbs.nl/nederland-handelsland-2024/voetafdruk-van-de-invoer/
CBS. (2025). *Feiten en cijfers over de landbouw*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 4 augustus van https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2025/14/feiten-en-cijfers-over-de-landbouw
CE Delft. (2022). *Verplicht aandeel recyclaat of biobased in plastic*. Delft: CE Delft.https://ce.nl/publicaties/verplicht-aandeel-recyclaat-of-biobased-in-plastic/
Ceglar, A., Marques, A., Boldrini, S., Lelli, C., Toreti, A., Parisi, L. & Heemskerk, I. (2025). European banks face significant vulnerability to ecosystem degradation and climate change. *Communications Earth & Environment*, *6*(1), 750. https://doi.org/10.1038/s43247-025-02543-3
Chen, Y., Hall, J., Van Wees, D., Andela, N., Hantson, S., Giglio, L., Van Der Werf, G. R., Morton, D. C. & Randerson, J. T. (2023). Multi-decadal trends and variability in burned area from the 5th version of the Global Fire Emissions Database (GFED5). *Earth System Science Data Discussions*, *2023*, 1-52. https://doi.org/10.5194/essd-15-5227-2023
Ciais, P., Zhou, C., Schneider, P., Schwartz, M., Besic, N., Vega, C. & Bontemps, J.-D. (2025). An outlook on the Rapid Decline of Carbon Sequestration in French Forests and associated reporting needs. *arXiv preprint*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.11512
CLO. (2021). *Staat van instandhouding en trends soorten en habitattypen Vogel- en Habitatrichtlijn, 2013-2018*. Centraal Bureau voor de Statistiek. Geraadpleegd op 8 oktober van https://www.clo.nl/indicatoren/nl148306-staat-van-instandhouding-en-trends-soorten-en-habitattypen-vogel-en-habitatrichtlijn-2013-2018
CLO. (2025). *Aandeel beschermde natuurgebieden in Nederland, 2024*. Compendium voor de Leefomgeving. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.clo.nl/indicatoren/nl142506-aandeel-beschermde-natuurgebieden-in-nederland-2024
Comyn-Platt, E., Hayman, G., Huntingford, C., Chadburn, S. E., Burke, E. J., Harper, A. B., Collins, W. J., Webber, C. P., Powell, T. & Cox, P. M. (2018). Carbon budgets for 1.5 and 2 C targets lowered by natural wetland and permafrost feedbacks. *Nature Geoscience*, *11*(8), 568-573. https://doi.org/10.1038/s41561-018-0174-9
Cox, P. M., Williamson, M. S., Friedlingstein, P., Jones, C. D., Raoult, N., Rogelj, J. & Varney, R. M. (2024). Emergent constraints on carbon budgets as a function of global warming. *Nature Communications*, *15*(1), 1885. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46137-7
Craven, D., Eisenhauer, N., Pearse, W. D., Hautier, Y., Isbell, F., Roscher, C., Bahn, M., Beierkuhnlein, C., Bönisch, G. & Buchmann, N. (2018). Multiple facets of biodiversity drive the diversity–stability relationship. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(10), 1579-1587.
De Sisto, M. L. & MacDougall, A. H. (2024). Effect of terrestrial nutrient limitation on the estimation of the remaining carbon budget. *Biogeosciences*, *21*(21), 4853-4873. https://doi.org/10.5194/bg-21-4853-2024
Delacote, P., Chabé-Ferret, S., Creti, A., Duffy, K., Elias, M., Guizar-Coutiño, A., Filewod, B., Groom, B., Kontoleon, A. & Levelly, G. (2025). Restoring credibility in carbon offsets through systematic ex post evaluation. *Nature Sustainability*, *8*, 733-740. https://doi.org/10.1038/s41893-025-01589-7
Deltares. (2023). *De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen, Achtergrondrapport*. Delft: Deltares.https://www.deltares.nl/expertise/publicaties/droogte-van-2022-een-brede-analyse-van-de-ernst-en-maatschappelijke-gevolgen-achtergrondrapport
Deltares, BoschSlabbers & Sweco. (2021). *Op Waterbasis. Grenzen aan de maakbaarheid van ons water- en bodemsysteem*. Delft:

Deltares.https://www.deltares.nl/expertise/publicaties/op-waterbasis-grenzen-aan-de-maakbaarheid-van-ons-water-en-bodemsysteem
DeStatis. (2021). *Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years*. Statistisches Bundesamt. Geraadpleegd op 30 september van https://www.destatis.de/EN/Press/2021/08/PE21_N050_41.html
Deutloff, J., Held, H. & Lenton, T. M. (2025). High probability of triggering climate tipping points under current policies modestly amplified by Amazon dieback and permafrost thaw. *Earth system dynamics*, *16*(2), 565-583. https://doi.org/10.5194/esd-16-565-2025
Dominik, T. (2023). Natural disturbances as drivers of tipping points in forest ecosystems under climate change-implications for adaptive management. *Forestry*, *96*(3), 305-315. https://doi.org/10.1093/forestry/cpad011
EC. (2024). *Impact assessment report. Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society*. Brussel: Europese Commissie.https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52024DC0063
EEA. (2023). *The European Biomass Puzzle: Challenges, opportunities and trade-offs around biomass production and use in the EU*. Kopenhagen, Denemarken. European Environment Agency.https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-european-biomass-puzzle#:~:text=This%20report%20looks%20at%20how,in%20agriculture%20and%20forest%20sectors.
EEA. (2024a). *Enhancing Europe's land carbon sink: status and prospects*. Kopenhagen: European Environment Agency.https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/enhancing-europes-land-carbon-sink/land-carbon-sink.pdf/
EEA. (2024b). *European Climate Risk Assessment*. Kopenhagen: European Environment Agency.https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/europe-is-not-prepared-for
EEA. (2024c). *Greenhouse gas emissions from land use, land use change and forestry in Europe*. Geraadpleegd op 2 juli 2025 van https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-land?activeAccordion=309c5ef9-de09-4759-bc02-802370dfa366
EEA. (2025). *Total GHG emissions and removals in the EU*. Kopenhagen: European Environment Agency.https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/3b7fe76c-524a-439a-bfd2-a6e4046302a2
EFFIS. (2025). *Statistics Portal - Weekly Burnt Areas*. Geraadpleegd op 3 oktober van https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/effis.statistics/seasonaltrend/EU/2025/CO2
Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Van Noordwijk, M., Creed, I. F. & Pokorny, J. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, *43*, 51-61. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002
FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. Rome: Food and Agriculture Organization of the Unition Nations.https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca9825en
FAO. (2024). *Projections to 2050 indicate significant increases in wood demand, albeit in a wide band*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Geraadpleegd op 06-10-2025 van https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/768ba59e-c692-47c3-9a13-3c3c10993396/content/src/html/projections-increases-wood-demand.html#gsc.tab=0
Favero, A., Daigneault, A. & Sohngen, B. (2020). Forests: Carbon sequestration, biomass energy, or both? *Science advances*, *6*(13), eaay6792. https://doi.org/10.1126/sciadv.aay6792
Fischer, R., Taubert, F., Müller, M. S., Groeneveld, J., Lehmann, S., Wiegand, T. & Huth, A. (2021). Accelerated forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. *Science advances*, *7*(37), eabg7012. https://doi.org/10.1126/sciadv.abg7012
Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Cassou, C., Hauser, M., Hausfather, Z., Lee, J.-Y. & Palmer, M. D. (2025). Indicators of Global Climate Change 2024: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data Discussions*, *2025*, 1-72. https://doi.org/10.5194/essd-17-2641-2025

Forzieri, G., Dakos, V., McDowell, N. G., Ramdane, A. & Cescatti, A. (2022). Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature*, *608*(7923), 534-539. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9

Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., Beck, P. S., Camps-Valls, G., Chirici, G. & Mauri, A. (2021). Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications*, *12*(1), 1081. https://doi.org/10.1038/s41467-021-21399-7

Forzieri, G., Jactel, H., Bianchi, A., Spinoni, J., Somasundaram, D., Feyen, L. & Cescatti, A. (2024). Ecosystem heterogeneity is key to limiting the increasing climate-driven risks to European forests. *One Earth*, *7*(12), 2149-2164. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.005

Franco, M. A., Rizzo, L. V., Teixeira, M. J., Artaxo, P., Azevedo, T., Lelieveld, J., Nobre, C. A., Pöhlker, C., Pöschl, U. & Shimbo, J. (2025). How climate change and deforestation interact in the transformation of the Amazon rainforest. *Nature Communications*, *16*(1), 7944. https://doi.org/10.1038/s41467-025-63156-0

Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Li, H., Luijkx, I. T. & Olsen, A. (2024). Global carbon budget 2024. *Earth System Science Data Discussions*, *2024*, 1-133. https://doi.org/10.5194/essd-17-965-2025

Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L., Tejada, G., Aragão, L. E., Nobre, C. & Peters, W. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, *595*(7867), 388-393. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6

Gatti, L. V., Cunha, C. L., Marani, L., Cassol, H. L., Messias, C. G., Arai, E., Denning, A. S., Soler, L. S., Almeida, C. & Setzer, A. (2023). Increased Amazon carbon emissions mainly from decline in law enforcement. *Nature*, *621*(7978), 318-323. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06390-0

Geary, R. S., Thompson, D., Mizen, A., Akbari, A., Garrett, J. K., Rowney, F. M., Watkins, A., Lyons, R. A., Stratton, G. & Lovell, R. (2023). Ambient greenness, access to local green spaces, and subsequent mental health: a 10-year longitudinal dynamic panel study of 2· 3 million adults in Wales. *The Lancet planetary health*, *7*(10), e809-e818. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00212-7

George, J. P., Bürkner, P. C., Sanders, T., Neumann, M., Cammalleri, C., Vogt, J. & Lang, M. (2022). Long-term forest monitoring reveals constant mortality rise in European forests. *Plant Biology*, *24*(7), 1108-1119. https://doi.org/10.1111/plb.13469

Georgievski, G., Kleinen, T., de Vrese, P., Brovkin, V., Silvy, Y. & Frölicher, T. L. (2025). Permafrost Thaw Impact on Remaining Carbon Budgets and Emissions Pathways in 2 C and 3 C Global Warming Scenarios. *Earth's Future*, *13*(7), e2024EF005153. https://doi.org/10.1029/2024EF005153

Gharun, M., Shekhar, A., Xiao, J., Li, X. & Buchmann, N. (2024). Effect of the 2022 summer drought across forest types in Europe. *Biogeosciences*, *21*(23), 5481-5494. https://doi.org/10.5194/bg-21-5481-2024

Gibbs, D. A., Rose, M., Grassi, G., Melo, J., Rossi, S., Heinrich, V. & Harris, N. L. (2025). Revised and updated geospatial monitoring of 21st century forest carbon fluxes. *Earth System Science Data*, *17*(3), 1217-1243. https://doi.org/10.5194/essd-17-1217-2025

Global Forest Watch. (2025). *Dashboard Forest Loss*. Geraadpleegd op 6 oktober van https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/

Grünig, M., Seidl, R. & Senf, C. (2023). Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Global Change Biology*, *29*(6), 1648-1659.

Hansen, J. E., Kharecha, P., Sato, M., Tselioudis, G., Kelly, J., Bauer, S. E., Ruedy, R., Jeong, E., Jin, Q. & Rignot, E. (2025). Global warming has accelerated: are the United Nations and the public well-informed? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, *67*(1), 6-44. https://doi.org/10.1080/00139157.2025.2434494

Hanssen, S. V., Steinmann, Z. J., Daioglou, V., Čengić, M., Van Vuuren, D. P. & Huijbregts, M. A. (2022). Global implications of crop-based bioenergy with carbon capture and storage for terrestrial vertebrate biodiversity. *GCB Bioenergy*, *14*(3), 307-321. https://doi.org/10.1111/gcbb.12911

Huang, N., Wang, L., Pei, J., Zhu, L., Liu, S., Niu, Z. & Nath, B. (2025). New evidence for age-related decline in carbon sinks in intact boreal forests. *Ecological Indicators*, *179*, 114231. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114231

Hugelius, G., Ramage, J., Burke, E., Chatterjee, A., Smallman, T. L., Aalto, T., Bastos, A., Biasi, C., Canadell, J. G. & Chandra, N. (2024). Permafrost region greenhouse gas budgets suggest a weak CO2 sink and CH4 and N2O sources, but magnitudes differ between top-down and bottom-up methods. *Global Biogeochemical Cycles*, *38*(10), e2023GB007969. https://doi.org/10.1029/2023GB007969

Ibisch, P. L. (2025). Compounding Effects of Heat, Drought, and Fire Increasingly Threaten Post-Calamity Recovery and Restoration of Forests in Biomes Worldwide. In *Progress in Botany*. Springer. https://doi.org/10.1007/124_2025_92

ICOS. (2025). *Finland's forests have become a source of carbon*. Integrated Carbon Observation System. Geraadpleegd op 5 februari van https://www.icos-cp.eu/news-and-events/news/finlands-forests-have-become-source-carbon

IPBES. (2024). *Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.https://ipbes.canto.de/v/IPBES11Media/album/MGKB5

IPBES & IPCC. (2021). *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services & Intergovernmental Panel on Climate Change.https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf

IPCC. (2021). Chapter 5: Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896.007

Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Bezemer, T. M., Bonin, C., Bruelheide, H. & De Luca, E. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, *526*(7574), 574-577. https://doi.org/10.1038/nature15374

IUCN. (2020). *Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors*. Gland, Zwitserland: International Union for Conservation of Nature. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.en

Jaime, L., Batllori, E. & Lloret, F. (2024). Bark beetle outbreaks in coniferous forests: a review of climate change effects. *European Journal of Forest Research*, *143*(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s10342-023-01623-3

Jones, M., Veraverbeke, S., Andela, N., Doerr, S. H., Kolden, C., Mataveli, G., Pettinari, M. L., Le Quéré, C., Rosan, T. M. & van der Werf, G. R. (2024). Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. *Science*, *386*(6719), eadl5889. https://doi.org/10.1126/science.adl5889

Jones, M. W., Kelley, D. I., Burton, C. A., Di Giuseppe, F., Barbosa, M. L. F., Brambleby, E., Hartley, A. J., Lombardi, A., Mataveli, G. & McNorton, J. R. (2024). State of wildfires 2023-2024. *Earth System Science Data*, *16*(8), 3601-3685. https://doi.org/10.5194/essd-16-3601-2024

Ke, P., Ciais, P., Sitch, S., Li, W., Bastos, A., Liu, Z., Xu, Y., Gui, X., Bian, J., Goll, D., Xi, Y., Li, W., O'Sullivan, M., De Souza, J., Friedlinstein, P. & Chevallier, F. (2024). Low latency global carbon budget reveals a continuous decline of the land carbon sink during the 2023/24 El Nino event. https://doi.org/10.48550/arxiv.2504.09189

Keenan, T. & Riley, W. (2018). Greening of the land surface in the world's cold regions consistent with recent warming. *Nature Climate Change*, *8*(9), 825-828. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0258-y

Knotters, M., Teuling, K., Reijneveld, A., Lesschen, J. P. & Kuikman, P. (2022). Changes in organic matter contents and carbon stocks in Dutch soils, 1998-2018. *Geoderma*, *414*, 115751. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115751

Knutzen, F., Averbeck, P., Barrasso, C., Bouwer, L. M., Gardiner, B., Grünzweig, J. M., Hänel, S., Haustein, K., Johannessen, M. R. & Kollet, S. (2025). Impacts on and damage to European forests from the 2018-2022 heat and drought events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *25*(1), 77-117. https://doi.org/0.5194/nhess-25-77-2025

Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Jones, M. W. & Jain, P. (2025). Wildfires in 2024. *Nature Reviews Earth & Environment*, *6*(4), 237-239. https://doi.org/10.1038/s43017-025-00663-0

Kolus, H. R., Huntzinger, D. N., Schwalm, C. R., Fisher, J. B., McKay, N., Fang, Y., Michalak, A. M., Schaefer, K., Wei, Y. & Poulter, B. (2019). Land carbon models underestimate the severity and duration of drought's impact on plant productivity. *Scientific reports*, *9*(1), 2758. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39373-1

Kornhuber, K., Bartusek, S., Seager, R., Schellnhuber, H. J. & Ting, M. (2024). Global emergence of regional heatwave hotspots outpaces climate model simulations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *121*(49), e2411258121. https://doi.org/10.1073/pnas.2411258121

Kuhn, M., Olefeldt, D., Arndt, K. A., Bastviken, D., Bruhwiler, L., Crill, P., DelSontro, T., Fluet-Chouinard, E., Grosse, G. & Hovemyr, M. (2025). Current and future methane emissions from boreal-Arctic wetlands and lakes. *Nature Climate Change*, 1-6. https://doi.org/10.1038/s41558-025-02413-y

Lambin, E. F. & Furumo, P. R. (2023). Deforestation-free commodity supply chains: myth or reality? *Annual review of environment and resources*, *48*(1), 237-261. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-121436

Lan, X. & Dlugokencky, E. J. (2024). Atmospheric constraints on changing Arctic CH4 emissions. *Frontiers in Environmental Science*, *12*, 1382621. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1382621

Lan, X., Thoning, K. W. & Dlugokencky, E. J. (2025). *Trends in globally-averaged CH4, N2O, and SF6 determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2025-09*. Geraadpleegd op 8 oktober van https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_doi.html

Laudon, H., Mensah, A. A., Fridman, J., Näsholm, T. & Jämtgård, S. (2024). Perspectives: Swedish forest growth decline: A consequence of climate warming? *Forest Ecology and Management*, *565*, 122052. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122052

Leal Filho, W., Dinis, M. A. P., Nagy, G. J. & Fracassi, U. (2023). On the (melting) rocks: Climate change and the global issue of permafrost depletion. *Science of the Total Environment*, *903*, 166615. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166615

Lenton, T. M. (2012). Arctic climate tipping points. *Ambio*, *41*(1), 10-22. https://doi.org/10.1007/s13280-011-0221-x

Lenton, T. M., Armstrong McKay, D. I., Loriani, S., Abrams, J. F., Lade, S. J., Donges, J. F., Milkoreit, M., Powell, T., Smith, S. R., Zimm, C., Buxton, J. E., Bailey, E., Laybourn, L., Ghadiali, A. & Dyke, J. G. (2023). *The Global Tipping Points Report 2023*. Exeter, UK: University of Exeter.https://report-2023.global-tipping-points.org/

Lewandowski, T. E., Forrester, J. A., Mladenoff, D. J., Marin-Spiotta, E., D'Amato, A. W., Palik, B. J. & Kolka, R. K. (2019). Long term effects of intensive biomass harvesting and compaction on the forest soil ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, *137*, 107572. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107572

Li, H., Zhao, Y., Wang, C., Ürge-Vorsatz, D., Carmeliet, J. & Bardhan, R. (2024). Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment*, *5*(1), 754. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01908-4

Li, X., Bi, C., Wu, J., Zhang, C., Yan, W., Xiao, Z., Wang, Y.-P., Ren, J. & Su, Y. (2025). Maximum carbon uptake potential through progressive management of plantation forests in Guangdong Province, China. *Communications Earth & Environment*, *6*(1), 9. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01977-5

Li, X., Ciais, P., Fensholt, R., Chave, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Brandt, M., Fan, L., Xiao, X. & Tao, S. (2025). Large live biomass carbon losses from droughts in the northern temperate

ecosystems during 2016-2022. *Nature Communications*, *16*(1), 4980. https://doi.org/10.1038/s41467-025-59999-2

Liu, J., Bowman, K., Palmer, P. I., Joiner, J., Levine, P., Bloom, A. A., Feng, L., Saatchi, S., Keller, M. & Longo, M. (2024). Enhanced carbon flux response to atmospheric aridity and water storage deficit during the 2015-2016 El Niño compromised carbon balance recovery in tropical South America. *AGU Advances*, *5*(4), e2024AV001187. https://doi.org/10.1029/2024AV001187

Luke. (2023). *Preliminary greenhouse gas inventory results for 2023: Forest land has turned into an emission source because the carbon sink of trees no longer cover emissions from forest soil*. Natural Resources Institute Finland (Luke). Geraadpleegd op 4 september van https://www.luke.fi/en/news/preliminary-greenhouse-gas-inventory-results-for-2023-forest-land-has-turned-into-an-emission-source-because-the-carbon-sink-of-trees-no-longer-cover-emissions-from-forest-soil

MacCarthy, J., Tyukavina, A., Weisse, M. J., Harris, N. & Glen, E. (2024). Extreme wildfires in Canada and their contribution to global loss in tree cover and carbon emissions in 2023. *Global Change Biology*, *30*(6), e17392. https://doi.org/10.1111/gcb.17392

Marcis, P., Vido, J., Kurjak, D., Lestianska, A., Poltak, D., Rybar, J. & Bosela, M. (2025). A combined effect of heat and drought limits the growth of Central European silver fir. *Agricultural and Forest Meteorology*, *371*, 110610. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110610

Meli, P., Ellison, D., Ferraz, S. F. d. B., Filoso, S. & Brancalion, P. H. (2024). On the unique value of forests for water: Hydrologic impacts of forest disturbances, conversion, and restoration. *Global Change Biology*, *30*(2), e17162. https://doi.org/10.1111/gcb.17162

Miao, Z., Xing, Y., Zhenzhong, Z., Ming, P., Peili, W., Jingfeng, X. & Keenan, T. (2025). A pronounced decline in northern vegetation resistance to flash droughts from 2001 to 2022. *Nature Communications*. https://doi.org/10.1038/s41467-025-58253-z

Michel, S. E., Lan, X., Miller, J., Tans, P., Clark, J. R., Schaefer, H., Sperlich, P., Brailsford, G., Morimoto, S. & Moossen, H. (2024). Rapid shift in methane carbon isotopes suggests microbial emissions drove record high atmospheric methane growth in 2020–2022. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *121*(44), e2411212121. https://doi.org/10.1073/pnas.2411212121

Miettinen, J., Wang, J., Hooijer, A. & Liew, S. (2013). Peatland conversion and degradation processes in insular Southeast Asia: a case study in Jambi, Indonesia. *Land Degradation & Development*, *24*(4), 334-341. https://doi.org/10.1002/ldr.1130

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2023). *Nationale Aanpak Biobased Bouwen*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/11/08/nationale-aanpak-biobased-bouwen

Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025). *Routekaart Koolstofverwijdering*. Den Haag: Ministerie van Klimaat en Groene Groei.https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/03/14/bijlage-1-minvkgg-routekaart-koolstofverwijdering

Moinet, G., Hijbeek, R., van Vuuren, D. & Giller, K. (2023). Carbon for soils, not soils for carbon. *Global Change Biology*, *29*(9), 2384-2398. https://doi.org/10.1111/gcb.16570

Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective–a review article. *Agriculture & Food Security*, *10*(1), 1-25. https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5

Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P. J., Gunia, K., Deda, P., Michalak, R. & Grassi, G. (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change*, *3*(9), 792-796. https://doi.org/10.1038/nclimate1853

Naturalis. (2025). *Statusrapport Nederlandse Biodiversiteit 2025*. Leiden: Naturalis.https://www.naturalis.nl/over-ons/biodiversiteit/statusrapport

NIPV, KNMI, WUR, VU & Deltares. (2023). *Natuurbrandsignaal '23: meer onbeheersbare natuurbranden met grotere impact op samenleving*. Arnhem: Nederlands Instituut Publieke

Veiligheid.https://nipv.nl/wp-content/uploads/2023/09/20230914-NIPV-Infographic-Natuurbrandsignaal-23.pdf
NOAA. (2025). *Trends in CO2, CH4, N2O, SF6*. Geraadpleegd op 2 oktober van https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gr.html
NOBV. (2024). *Eindrapportage eerste fase NOBV: integratierapport broeikasgassen & kernvragen*. Wageningen.https://www.nobveenweiden.nl/wp-content/uploads/2024/12/NOBV-Rapportage-2024-Broeikasgassen-Integratierapport.pdf
Norby, R. J., Loader, N. J., Mayoral, C., Ullah, S., Curioni, G., Smith, A. R., Reay, M. K., Van Wijngaarden, K., Amjad, M. S. & Brettle, D. (2024). Enhanced woody biomass production in a mature temperate forest under elevated CO2. *Nature Climate Change*, *14*(9), 983-988. https://doi.org/10.1038/s41558-024-02090-3
Nowak, D. J. (2023). Improved air quality and other services from urban trees and forests. In *Engineering and ecosystems: seeking synergies toward a nature-positive world* (pp. 215-245). Springer.Improved air quality and other services from urban trees and forests.
Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C. & Leemans, R. (2019). Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2 C enough? *Climatic Change*, *154*(3), 351-365. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02420-x
Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., Delusca, K., Flores-Renteria, D., Hermans, K., Jobbagy, E., Kurz, W. & Li, D. (2022). Land degradation. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 345-436). Cambridge University Press.https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2022/11/SRCCL_Chapter_4.pdf
Page, S. E. & Baird, A. (2016). Peatlands and global change: response and resilience. *Annual review of environment and resources*, *41*(1), 35-57. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085520
Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., Houghton, R. A., Fang, J., Kauppi, P. E., Keith, H., Kurz, W. A., Ito, A. & Lewis, S. L. (2024). The enduring world forest carbon sink. *Nature*, *631*(8021), 563-569. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07602-x
Patacca, M., Lindner, M., Lucas-Borja, M. E., Cordonnier, T., Fidej, G., Gardiner, B., Hauf, Y., Jasinevičius, G., Labonne, S. & Linkevičius, E. (2023). Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*, *29*(5), 1359-1376. https://doi.org/10.1111/gcb.16531
PBL. (2020). *Beschikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van duurzame biomassa*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.https://www.pbl.nl/publicaties/beschikbaarheid-en-toepassingsmogelijkheden-van-duurzame-biomassa
PBL. (2023). *Balans van de Leefomgeving: Toekomstbestendig kiezen, rechtvaardig verdelen*. Den Haag: Planbureau van de Leefomgeving.https://www.pbl.nl/publicaties/balans-van-de-leefomgeving-2023
PBL. (2024a). *Trajecten naar een 'klimaatneutrale' landbouw, landgebruik en glastuinbouw in 2050*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.https://www.pbl.nl/publicaties/trajecten-naar-een-klimaatneutrale-landbouw-landgebruik-en-glastuinbouw-in-2050
PBL. (2024b). *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.https://www.pbl.nl/publicaties/trajectverkenning-klimaatneutraal-2050
PBL, TNO, CBS & RIVM. (2025). *Klimaat- en Energieverkenning 2025*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2025
Peng, S., Lin, X., Thompson, R. L., Xi, Y., Liu, G., Hauglustaine, D., Lan, X., Poulter, B., Ramonet, M. & Saunois, M. (2022). Wetland emission and atmospheric sink changes explain methane growth in 2020. *Nature*, *612*(7940), 477-482. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05447-w
Pilli, R., Alkama, R., Cescatti, A., Kurz, W. A. & Grassi, G. (2022). The European forest carbon budget under future climate conditions and current management practices. *Biogeosciences Discussions*, *2022*, 1-33. https://doi.org/10.5194/bg-19-3263-2022

Pörtner, H.-O., Scholes, R., Arneth, A., Barnes, D., Burrows, M. T., Diamond, S., Duarte, C. M., Kiessling, W., Leadley, P. & Managi, S. (2023). Overcoming the coupled climate and biodiversity crises and their societal impacts. *Science*, *380*(6642), eabl4881. https://doi.org/10.1126/science.abl4881

Potapov, P., Tyukavina, A., Turubanova, S., Hansen, M. C., Giglio, L., Hernandez-Serna, A., Lima, A., Harris, N. & Stolle, F. (2025). Unprecedentedly high global forest disturbance due to fire in 2023 and 2024. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *122*(30), e2505418122. https://doi.org/10.1073/pnas.2505418122

Probos. (2020). *Bos, hout en de houtketen in Nederland*. Wageningen: Stichting Probos.https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/200925-probos_rapport_nederlandse_bos-_en_houtketen_def.pdf

Pugh, T. A., Lindeskog, M., Smith, B., Poulter, B., Arneth, A., Haverd, V. & Calle, L. (2019). Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(10), 4382-4387. https://doi.org/10.1073/pnas.1810512116

Qin, Y., Xiao, X., Wigneron, J.-P., Ciais, P., Brandt, M., Fan, L., Li, X., Crowell, S., Wu, X. & Doughty, R. (2021). Carbon loss from forest degradation exceeds that from deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Climate Change*, *11*(5), 442-448. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5

Qin, Z., Zhu, Y., Canadell, J. G., Chen, M., Li, T., Mishra, U. & Yuan, W. (2024). Global spatially explicit carbon emissions from land-use change over the past six decades (1961-2020). *One Earth*, *7*(5), 835-847. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.04.002

Qu, Z., Jacob, D. J., Bloom, A. A., Worden, J. R., Parker, R. J. & Boesch, H. (2024). Inverse modeling of 2010-2022 satellite observations shows that inundation of the wet tropics drove the 2020-2022 methane surge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *121*(40), e2402730121. https://doi.org/10.1073/pnas.2402730121

Reichstein, M., Bahn, M., Ciais, P., Frank, D., Mahecha, M. D., Seneviratne, S. I., Zscheischler, J., Beer, C., Buchmann, N. & Frank, D. C. (2013). Climate extremes and the carbon cycle. *Nature*, *500*(7462), 287-295. https://doi.org/10.1038/nature12350

Ren, S., Wang, T., Guenet, B., Liu, D., Cao, Y., Ding, J., Smith, P. & Piao, S. (2024). Projected soil carbon loss with warming in constrained Earth system models. *Nature Communications*, *15*(1), 102. https://doi.org/10.1038/s41467-023-44433-2

Riggers, C., Poeplau, C., Don, A., Frühauf, C. & Dechow, R. (2021). How much carbon input is required to preserve or increase projected soil organic carbon stocks in German croplands under climate change? *Plant and Soil*, *460*(1), 417-433. https://doi.org/10.1007/s11104-020-04806-8

Ritter, F., Ciais, P., Senf, C., Santoro, M., Xu, Y., Pelissier-Tanon, A., Schwartz, M., Fayad, I., Carvalhais, N. & Brandt, M. (2025). Alarming decline in the carbon sink of European forests driven by disturbances. *Preprint Under Review at Nature Portfolio*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3671432/v1

RIVM. (z.d.). *Groene Adaptatie*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 27 mei van https://www.rivm.nl/klimaat-en-gezondheid/klimaatadaptatie/groene-adaptatie

Rli. (2020a). *De Bodem bereikt?!* Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.https://www.rli.nl/publicaties/2020/advies/de-bodem-bereikt

Rli. (2020b). *Goed Gefundeerd*. Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.https://www.rli.nl/publicaties/2024/advies/goed-gefundeerd

Rli. (2024). *Ruimtelijke ordening in een veranderend klimaat*. Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.https://www.rli.nl/publicaties/2024/advies/ruimtelijke-ordening-in-een-veranderend-klimaat

Robinson, N., Drever, C. R., Gibbs, D. A., Lister, K., Esquivel-Muelbert, A., Heinrich, V., Ciais, P., Silva-Junior, C. H., Liu, Z. & Pugh, T. A. (2025). Protect young secondary forests for optimum carbon removal. *Nature Climate Change*, 1-8. https://doi.org/10.1038/s41558-025-02355-5

Ruehr, S., Keenan, T. F., Williams, C., Zhou, Y., Lu, X., Bastos, A., Canadell, J. G., Prentice, I. C., Sitch, S. & Terrer, C. (2023). Evidence and attribution of the enhanced land carbon sink. *Nature*

Reviews Earth & Environment, *4*(8), 518-534. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00456-3
Sathre, R. & O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, *13*(2), 104-114. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005
Scholten, R. C., Coumou, D., Luo, F. & Veraverbeke, S. (2022). Early snowmelt and polar jet dynamics co-influence recent extreme Siberian fire seasons. *Science*, *378*(6623), 1005-1009. https://doi.org/10.1126/science.abn4419
Schulte, M., Jonsson, R., Eggers, J., Hammar, T., Stendahl, J. & Hansson, P.-A. (2023). Demand-driven climate change mitigation and trade-offs from wood product substitution: The case of Swedish multi-family housing construction. *Journal of Cleaner Production*, *421*, 138487. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138487
Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C. & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, *12*(1), 6763. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w
Ségur-Cabanac, E.-M., Stuart, G. & Galdino Glaeser, G. (2025). *European Union: Commission considering delaying EUDR application for another year*. Global Compliance News. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.globalcompliancenews.com/2025/10/02/https-insightplus-bakermckenzie-com-bm-consumer-goods-retail_1-european-union-commission-considering-delaying-eudr-application-for-another-year_09242025/
SEI. (2024). *Trase: Indonesian palm oil exports and deforestation*. Stockholm Environment Institute. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.sei.org/features/indonesian-palm-oil-exports-and-deforestation/
Seidl, R., Klonner, G., Rammer, W., Essl, F., Moreno, A., Neumann, M. & Dullinger, S. (2018). Invasive alien pests threaten the carbon stored in Europe's forests. *Nature Communications*, *9*(1), 1626. https://doi.org/10.1038/s41467-018-04096-w
Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A. & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, *11*(1), 6200. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1
Senf, C., Pflugmacher, D., Zhiqiang, Y., Sebald, J., Knorn, J., Neumann, M., Hostert, P. & Seidl, R. (2018). Canopy mortality has doubled in Europe's temperate forests over the last three decades. *Nature Communications*, *9*(1), 4978. https://doi.org/10.1038/s41467-018-07539-6
Seydi, S. T., Abatzoglou, J. T., AghaKouchak, A., Madani, K., Matin, M. & Sadegh, M. (2025). *The May-June 2025 Central Canada Fires: National Challenges of a Warming Climate and Cascading International Impacts*. Hamilton, Canada: United Nations University - Institute for Water, Environment and Health.https://unu.edu/inweh/collection/may-june-2025-central-canada-fires-national-challenges-warming-climate-and
Sharma, B., Kumar, J., Ganguly, A. R. & Hoffman, F. M. (2023). Carbon cycle extremes accelerate weakening of the land carbon sink in the late 21st century. *Biogeosciences*, *20*(10), 1829-1841. https://doi.org/10.5194/bg-20-1829-2023
Shin, Y. J., Midgley, G. F., Archer, E. R., Arneth, A., Barnes, D. K., Chan, L., Hashimoto, S., Hoegh-Guldberg, O., Insarov, G. & Leadley, P. (2022). Actions to halt biodiversity loss generally benefit the climate. *Global Change Biology*, *28*(9), 2846-2874. https://doi.org/10.1111/gcb.16109
Sinking carbon sinks. (2025). *Nature Climate Change*, *15*(9), 905-905. https://doi.org/10.1038/s41558-025-02440-9
Staatsbosbeheer. (2025). *Bossen op zandgronden: kwetsbaar door droogte en stikstof*. Geraadpleegd op 23 september van https://www.staatsbosbeheer.nl/wat-we-doen/nieuws/2025/08/bossen-op-zandgronden-kwetsbaar-door-droogte-en-stikstof
STOWA. (2023). *Water vasthouden en bergen in natuurgebieden*. Geraadpleegd op 3 oktober van https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/aanpassen-aan-klimaatverandering/water-vasthouden-en-bergen

Temmink, R. J., Lamers, L. P., Angelini, C., Bouma, T. J., Fritz, C., van de Koppel, J., Lexmond, R., Rietkerk, M., Silliman, B. R. & Joosten, H. (2022). Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. *Science*, *376*(6593), eabn1479. https://doi.org/10.1126/science.abn147

Teuling, A. J., Taylor, C. M., Meirink, J. F., Melsen, L. A., Miralles, D. G., Van Heerwaarden, C. C., Vautard, R., Stegehuis, A. I., Nabuurs, G.-J. & de Arellano, J. V.-G. (2017). Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature Communications*, *8*(1), 14065. https://doi.org/0.1038/ncomms14065

Tian, L., Tao, Y., Joanna, S., Mäkelä, A. & Li, M. (2024). How forest age impacts on net primary productivity: Insights from future multi-scenarios. *Forest Ecosystems*, *11*, 100228. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100228

TMIL. (2022). *Waldzustandsbericht 2022*. Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft.https://digitales-infrastruktur.thueringen.de/fileadmin/Forst_und_Jagd_Fischerei/Forstwirtschaft/2022_Waldzustandsbericht_barrierefrei.pdf

Torn, M. S., Abramoff, R. Z., Vaughn, L. J., Chafe, O. E., Curtis, J. B. & Zhu, B. (2025). Large emissions of CO2 and CH4 due to active-layer warming in Arctic tundra. *Nature Communications*, *16*(1), 124. https://doi.org/10.1038/s41467-024-54990-9

Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C. & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications*, *9*(1), 3821. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z

Ulyshen, M., Urban-Mead, K. R., Dorey, J. B. & Rivers, J. W. (2023). Forests are critically important to global pollinator diversity and enhance pollination in adjacent crops. *Biological Reviews*, *98*(4), 1118-1141. https://doi.org/10.1111/brv.12947

Uribe, M. d. R., Coe, M. T., Castanho, A. D., Macedo, M. N., Valle, D. & Brando, P. M. (2023). Net loss of biomass predicted for tropical biomes in a changing climate. *Nature Climate Change*, *13*(3), 274-281. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01600-z

Villoria, N., Garrett, R., Gollnow, F. & Carlson, K. (2022). Leakage does not fully offset soy supply-chain efforts to reduce deforestation in Brazil. *Nature Communications*, *13*(1), 5476.

Virkkala, A.-M., Rogers, B. M., Watts, J. D., Arndt, K. A., Potter, S., Wargowsky, I., Schuur, E. A., See, C. R., Mauritz, M. & Boike, J. (2025). Wildfires offset the increasing but spatially heterogeneous Arctic–boreal CO2 uptake. *Nature Climate Change*, *15*(2), 188-195. https://doi.org/10.1038/s41558-024-02234-5

Wang, S., Isbell, F., Deng, W., Hong, P., Dee, L. E., Thompson, P. & Loreau, M. (2021). How complementarity and selection affect the relationship between ecosystem functioning and stability. *Ecology*, *102*(6), e03347. https://doi.org/10.1002/ecy.3347

Warner, E., Cook-Patton, S. C., Lewis, O. T., Brown, N., Koricheva, J., Eisenhauer, N., Ferlian, O., Gravel, D., Hall, J. S. & Jactel, H. (2023). Young mixed planted forests store more carbon than monocultures–a meta-analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*, *6*, 1226514. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1226514

Weiskopf, S. R., Isbell, F., Arce-Plata, M. I., Di Marco, M., Harfoot, M., Johnson, J., Lerman, S. B., Miller, B. W., Morelli, T. L. & Mori, A. S. (2024). Biodiversity loss reduces global terrestrial carbon storage. *Nature Communications*, *15*(1), 4354. https://doi.org/10.1038/s41467-024-47872-7

Willis, K. (2024). *Good Nature: Why Seeing, Smelling, Hearing and Touching Plants is Good for Our Health*. Simon and Schuster.

Winkler, K., Yang, H., Ganzenmüller, R., Fuchs, R., Ceccherini, G., Duveiller, G., Grassi, G., Pongratz, J., Bastos, A. & Shvidenko, A. (2023). Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe's terrestrial carbon sink. *Communications Earth & Environment*, *4*(1), 237. https://doi.org/10.1038/s43247-023-00893-4

WKR. (2024). *Boeren in een veranderend klimaat. Briefadvies over klimaat en landbouw* (003). Den Haag: Wetenschappelijke

Klimaatraad.https://www.wkr.nl/documenten/2024/12/11/briefadvies-boeren-in-een-veranderend-klimaat
WKR. (2025a). *Meeveranderen met het klimaat. Ruimtelijke en maatschappelijke keuzes voor klimaatadaptatie* (004). Den Haag: Wetenschappelijke Klimaatraad.https://www.wkr.nl/documenten/2025/06/19/advies-meeveranderen-met-het-klimaat
WKR. (2025b). *Vaart maken met Visie* (005). Den Haag: Wetenschappelijke Klimaatraad.https://www.wkr.nl/documenten/rapporten/2025/07/15/advies-vaart-maken-met-visie
WRI. (2024). *Deforestation Linked to Agriculture*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 30 september van https://gfr.wri.org/forest-extent-indicators/deforestation-agriculture
WRI. (2025a). *Critical EU Deforestation Regulation Faces Another Delay*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 8 oktober van https://www.wri.org/insights/explain-eu-deforestation-regulation
WRI. (2025b). *New Data Shows What's Driving Forest Loss Around the World*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 6 augustus van https://www.wri.org/insights/forest-loss-drivers-data-trends
WRI. (2025c). *Soil Stability and Water Regulation*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 3 oktober van https://gfr.wri.org/biodiversity-ecological-services-indicators/soil-stability-water-regulation
WRI. (2025d). *World ' s Forest Carbon Sink Shrank to its Lowest Point in at Least 2 Decades, Due to Fires and Persistent Deforestation*. World Resources Institute. Geraadpleegd op 23 september van https://www.wri.org/insights/forest-carbon-sink-shrinking-fires-deforestation
WUR. (2022). *Zevende Nederlandse Bosinventarisatie*. Wageningen: Wageningen University & Research.https://edepot.wur.nl/575334
WWF. (2022). *The impact of Dutch imports on nature loss worldwide*. Zeist: Wereld Natuur Fonds.https://www.wwf.nl/globalassets/pdf/rapporten/wwf-nl-report-risky-business.pdf
Xiaoyun, W., Hang, X., Jianzhuang, P. & Zhiqiang, Z. (2024). Declining resilience of forest carbon sinks linked to increased atmospheric water deficit during droughts in the Northern Hemisphere. *Environmental Research Letters*. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ada170
Xu, Q., Yang, X., Yan, Y., Wang, S., Loreau, M. & Jiang, L. (2021). Consistently positive effect of species diversity on ecosystem, but not population, temporal stability. *Ecology Letters*, *24*(10), 2256-2266. https://doi.org/10.1111/ele.13777
Yang, H., Ciais, P., Frappart, F., Li, X., Brandt, M., Fensholt, R., Fan, L., Saatchi, S., Besnard, S. & Deng, Z. (2023). Global increase in biomass carbon stock dominated by growth of northern young forests over past decade. *Nature Geoscience*, *16*(10), 886-892. https://doi.org/10.1038/s41561-023-01274-4
Yao, Y., Liu, Y., Zhou, S., Song, J. & Fu, B. (2023). Soil moisture determines the recovery time of ecosystems from drought. *Global Change Biology*, *29*(13), 3562-3574. https://doi.org/10.1111/gcb.16620
Zimová, S., Dobor, L., Hlásny, T., Rammer, W. & Seidl, R. (2020). Reducing rotation age to address increasing disturbances in Central Europe: Potential and limitations. *Forest Ecology and Management*, *475*, 118408. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118408
Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M. & Wahl, T. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, *8*(6), 469-477. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3

Colofon

Totstandkoming signalering

Bossen en bodems in zwaar weer is een signalering van de Wetenschappelijke Klimaatraad.

WKR-signalering 001

De Wetenschappelijke Klimaatraad is ingesteld in november 2022. De WKR adviseert regering en parlement over de ontwikkeling van een klimaatneutrale en klimaatbestendige samenleving, op basis van brede wetenschappelijke inzichten en met oog voor andere maatschappelijke opgaven.

Een signalering is een publicatie waarin de WKR trends en ontwikkelingen uitdiept die gevolgen kunnen hebben voor het klimaatbeleid. Anders dan een advies bevat een signalering geen aanbevelingen.

De Raad is als volgt samengesteld: prof. dr. ing.J.W. Erisman (voorzitter), prof. dr. H.C. de Coninck (plaatsvervangend voorzitter), dr. S. Akerboom, prof. dr. K. Blok, prof. dr. M. Haasnoot, prof. dr. H.L.F de Groot, prof. dr. W. Peters, dr. W.D. Pot, prof. dr. E.M. Steg, prof. dr. ir. B. Taebi. Dr. R.W. van den Brink is secretaris-directeur van de WKR.

Verantwoordelijk voor de totstandkoming van deze signalering zijn:

Vanuit de raad: prof. dr. W. (Wouter) Peters (voorzitter commissie)
Vanuit de staf: D.M. (Dorien) van den Bergh MSc (projectleider) en D.M. (Daan) van Herpen MSc

Voor deze signalering is gesproken met beleidsmakers van de ministeries van Klimaat en Groene Groei en Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuurbeheer. Met dank aan Liesje Mommer (WUR), Gabriel Moinet (WUR) voor commentaar en Erik Arets (WENR) en Mark Huijbregts (RU Nijmegen) voor het reviewen van de tekst. De signalering weerspiegelt niet noodzakelijkerwijs hun standpunten.

© Wetenschappelijke Klimaatraad, Den Haag 2025.

De inhoud van deze publicatie mag (gedeeltelijk) worden gebruikt en overgenomen voor niet-commerciële doeleinden. De inhoud mag daarbij niet veranderen. Citaten moeten altijd aangegeven zijn, bij voorkeur als: Wetenschappelijke Klimaatraad (2025). Bossen en bodems in zwaar weer. WKR-signalering 001. Den Haag: WKR.

Uitgave
14 oktober 2025

Opmaak
WKR

Ontwerp
OSAGE

Tekstredactie
Leene Communicatie

Beeld omslag
Renée Swart-van Herwaarden

Signalering

WKR.