

Klimaatcijfers voor natuur

Cijfers voor koolstofopslag en -vastlegging in Nederlandse natuur

Wageningen
Environmental
Research

DATUM
24 april 2018

AUTEUR
Dr Eric Arets
eric.aretswur.nl

STATUS
Definitief



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Koolstofvastlegging in vegetatie en bodem	5
1.2	LULUCF	6
2	Verificatie van aannames en cijfers door de VBNE	9
2.1	Inbreng door de VBNE	9
2.2	Verificatie van gebruikte waarden en aannamen	10
2.2.1	Koolstofopslag - koolstofvoorraden	10
2.2.2	Koolstofvastlegging – (netto) primaire productie	12
2.2.3	Van biomassa naar koolstof	13
2.2.4	Broeikasgasrapportage, default waarden en buurlanden	13
2.2.5	Bodemkoolstof per landgebruik	15
3	Voorstel voor aangepaste cijfers	16
3.1	Vervolg onderzoek	18
4	Referenties	19

1 Inleiding

Deze notitie is het antwoord op een kennisvraag gesteld door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit over koolstofopslag en -vastlegging in verschillende natuurtypen in Nederland. De vraag komt voort uit de Energie- en klimaatagenda, meer specifiek uit het transitie-pad Voedsel en Natuur. In het kader van deze agenda worden beleidsopties uitgewerkt voor het minimaliseren van broeikasgas-uitstoot en het maximaliseren van koolstofvastlegging. Het klimaatbeleid krijgt veel aandacht in het nieuwe regeerakkoord, ook als het gaat om emissiereductie middels 'slimmer landgebruik'. Inrichting en beheer van natuurgebieden maakt daar integraal onderdeel van uit.

De kennisvraag komt voort uit een spontane inbreng van bos- en natuurterreineigenaren verenigd in de vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE), waarin zij aangeven wat ze kunnen doen om broeikasgasuitstoot te reduceren en koolstofvastlegging te stimuleren. In deze notitie worden de gebruikte cijfers gecontroleerd en waar nodig onderbouwde voorstellen gedaan voor aanpassing van de cijfers.

Aanpak

- Inzichtelijk maken van de aannames en data die ten grondslag liggen aan de koolstofopslag (ton C/ha) en koolstofvastlegging (ton C/ha/jr) voor de verschillende natuurtypen zoals die in de tabel van de inbreng bos- en natuurterreineigenaren voor het behalen van klimaatdoelen worden gegeven.
- Verificatie van de aannames en cijfers door vergelijking met andere studies, en met de methoden en default waarden zoals die in de IPCC richtlijnen worden gegeven voor de rapportages van broeikasgassen uit de LULUCF sector (IPCC 2006).
- Vergelijking en afstemming met de kentallen zoals die in andere trajecten, zoals de LULUCF broeikasgasrapportages, het Actieplan Bos en Hout en door het PBL worden gebruikt.
- Overzicht maken van ontbrekende of onzekere informatie en op basis daarvan aanvullingen op, of bijstelling van de aanbevelingen voor verder onderzoek zoals in de inbreng bos- en natuurterreineigenaren wordt gegeven.

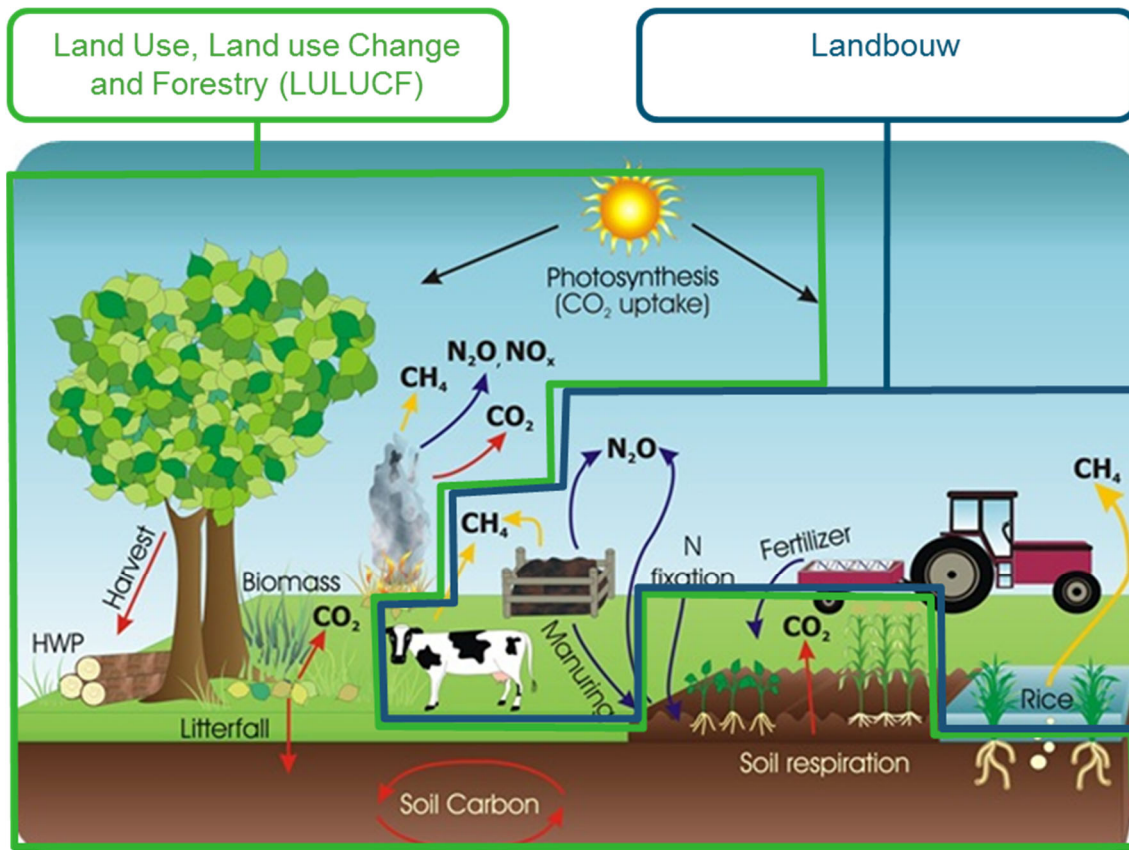
Er heeft geen extra review plaatsgevonden van de bevindingen in deze notitie, maar op onderdelen zijn de bevindingen gebaseerd op en besproken met andere LULUCF experts uit de werkgroep die de jaarlijkse inventarisatie van de Nederlandse broeikasgasemissies uit LULUCF (Arets et al. 2017; Coenen et al. 2017) opstelt.

1.1 Koolstofvastlegging in vegetatie en bodem

Vegetatie en bodem hebben de potentie om koolstof uit de atmosfeer voor langere tijd vast te leggen. Vegetatie neemt CO₂ op uit de atmosfeer en legt de koolstof daaruit voor een deel vast in biomassa (zie Figuur 1), de primaire productie. Daarin blijft die koolstof vastgelegd tot de biomassa afsterft of geoogst wordt. Een deel van de koolstof in de dode biomassa en strooisel komt snel weer vrij als CO₂, en een deel komt in de bodem terecht waar het de bodemkoolstofvoorraad aanvult. Als gevolg van decompositie en respiratie processen in de bodem komt vervolgens ook een deel van de koolstof in de bodem weer vrij als CO₂ vrij. Na verloop van tijd zal zonder verstoring in een ecosysteem min of meer een evenwicht in de koolstofbalans in de (minerale) bodem ontstaan (er komt dan ieder jaar net zoveel koolstof in de bodem als er vrij komt). Bij veenbodems die gekenmerkt worden door een grote dichtheid aan koolstof in de bodem speelt daarnaast ook de grondwaterstand een belangrijke rol. Bij verlaging van de grondwaterstand zal de koolstof oxideren en als CO₂ vrijkomen.

In bosbiomassa en bodems wordt het koolstof voor langere tijd vastgelegd. In eenjarige vegetaties wordt wel elk jaar opnieuw koolstof vastgelegd, maar aan het einde van het groeiseizoen komt een groot deel

daarvan weer vrij. In andere meerjarige houtige vegetatie wordt ook koolstof voor langere tijd vastgelegd, maar hoeveelheden en tijdsduur zijn over het algemeen kleiner en korter dan in bos. Bij heide neemt de biomassa (en dus koolstof) in eerste 20-30 jaar na plaggen geleidelijk toe, om vervolgens weer af te nemen. Er wordt dan geen extra koolstof in het ecosysteem meer vastgelegd. Bij Landgebruiksveranderingen, kunnen er wel grote veranderingen optreden in koolstofvoorraden in biomassa en bodem (zie ook Hoofdstuk 1.2)



Figuur 1. Overzicht van emissies en verwijderingen van broeikasgassen in de landgebruik- (LULUCF) en landbouw sectoren.

De voorraden koolstof in biomassa en bodem en de veranderingen daarin door vastlegging of emissies kunnen ook worden uitgedrukt in termen van CO₂. Voor de koolstof die al ligt vastgelegd in biomassa en bodem is dat echter niet gebruikelijk omdat er daarbij geen directe link is met emissies of verwijdering van CO₂. In deze notitie zullen voorraden dus niet worden uitgedrukt in hoeveelheden CO₂. Mocht er toch behoefte zijn om die hoeveelheden koolstof uit te drukken in termen van CO₂ dan kan de door de hoeveelheid C met 44/12 (of 3.667) te vermenigvuldigen¹.

1.2 LULUCF

De nationale broeikasgasemissies en -verwijderingen (a.g.v. vastlegging van C in vegetatie en bodem) uit landgebruik, landgebruiksverandering en bosbouw worden jaarlijks bepaald en als een van de sectoren naast bijvoorbeeld landbouw, energy en industrie gerapporteerd aan de VN klimaatconventie in het zogenaamde 'National Inventory Report' (NIR), zie Tabel 1 voor de gerapporteerde emissies in 2015 uit de NIR 2017 (Coenen et al. 2017). De methoden worden in meer detail gegeven in Arets et al. (2017). Netto is de LULUCF sector een bron van emissies van 6,6 Mton CO₂. De belangrijkste bronnen van emissies zijn emissies uit veenbodems onder agrarisch gebruik (o.a. veenweide) waar als gevolg van

¹ bijvoorbeeld in een context die beschrijft dat voor die voorraad in het verleden x ton CO₂ is vastgelegd, of dat het vasthouden van die voorraad een emissie van x ton CO₂ vermijdt.

verlaging van de grondwaterstand koolstof uit het veen oxideert en als CO₂ in de atmosfeer terecht komt. Deze emissies tellen vooral mee onder de Cropland en Grassland categorieën in Tabel 1. Een andere belangrijke bron van emissies in Nederland is de relatief hoge mate van ontbossing. Die emissies komen terug in de subcategorieën 'land converted to' onder Cropland, Grassland, Wetlands, Settlements en Other land. Voor meer informatie over ontbossing zie Schelhaas et al. (2017). Belangrijke oorzaken voor het netto verlies aan bos in de periode 2013-2017 bleek het weer in landbouwgebruik nemen van tijdelijke bossen in Noord Nederland en omvorming naar andere Natuur waarbij een vrijstelling van de herplantplicht gegeven kan worden (Schelhaas et al. 2017).

Tabel 1. Netto CO₂ (kton) emissies uit de LULUCF landgebruikscategorieën Bos (Forest land), Bouwland (Cropland), Grasland (Grassland), Wetlands, Stedelijk gebied (Settlements), Ander land (Other land) en Geogoste houtproducten (Harvested Wood Products, HWP) in Nederland in 2015. Negatieve waarden betekenen dat er netto CO₂ uit de atmosfeer wordt verwijderd.

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	Net CO ₂
	emissions/removals ^{(1), (2)} (kt)
4. Total LULUCF	6580.96
A. Forest land	-2433.81
1. Forest land remaining forest land	-1705.75
2. Land converted to forest land	-728.06
B. Cropland	2666.52
1. Cropland remaining cropland	793.90
2. Land converted to cropland	1872.61
C. Grassland	4420.05
1. Grassland remaining grassland	3960.55
2. Land converted to grassland	459.51
D. Wetlands⁽³⁾	64.03
1. Wetlands remaining wetlands	-0.35
2. Land converted to wetlands	64.38
E. Settlements	1649.59
1. Settlements remaining settlements	399.31
2. Land converted to settlements	1250.28
F. Other land⁽⁴⁾	126.20
1. Other land remaining other land	
2. Land converted to other land	126.20
G. Harvested wood products⁽⁵⁾	88.38

In de boscategorieën wordt netto koolstof vastgelegd in de vegetatie. Onder forest land remaining forest land wordt land dat al ten minst 20 jaar bos is gerapporteerd. Voor de berekeningen van de vastlegging van koolstof wordt gebruik gemaakt van informatie uit de bosinventarisaties. Voor dit bos wordt de dynamiek in bodemkoolstof in evenwicht geacht. Onder de categorie 'land converted to forest land' wordt land gerapporteerd dat minder dan 20 jaar geleden is bebost. In het jaar van omvorming zal bij cropland en grasland een verlies van biomassa (gewas, of gras) optreden en vervolgens koolstof als gevolg van de groei van bomen worden vastgelegd. De verandering in landgebruik zal ervoor zorgen dat de koolstofvoorraad onder minerale bodems in de 20 jaar transitieperiode zal veranderen van de voorraad onder de uitgangssituatie naar de stabiele voorraad onder het nieuwe landgebruik, dat mede afhankelijk is van bodemtype.

In de rekensystematiek wordt alle bos in Nederland bij elkaar genomen en gebruik gemaakt van gemiddelde koolstofvoorraden en bijgroei voor alle bos (op basis van data uit de bosinventarisaties) zonder expliciet onderscheidt te maken tussen verschillende bostype. Natuurgraslanden en heide worden

onder grasland meegenomen en krijgen daar voor biomassa dezelfde koolstofvoorraad als al het grasland (6,4 ton C per ha). Bij veranderingen in bodemkoolstof in minerale bodems wordt nog geen onderscheid gemaakt tussen natuurgrasland en productiegraslanden. In natuurgrasland worden geen emissies uit veenbodems meegenomen.

Tabel 2. Gemiddelde verandering van koolstofvoorraad per bodemtype en landgebruiksverandering (ton C per ha per jaar). Voor meer achtergrond, zie Arets et al. (2017).

Soil type	Grassland to forest	Cropland to forest	Settlements to forest	Wetlands to forest	Other land to forest	Forest to grassland	Forest to cropland	Forest to settlements	Forest to wetlands	Forest to other land
Brick soil	0.2	0.3	0.4	0.0	4.1	-0.2	-0.3	-0.4	0.0	-4.1
Earth soil	0.6	1.4	0.5	0.0	5.0	-0.6	-1.4	-0.5	0.0	-5.0
Sandy soil with lime	-1.3	-1.1	0.2	0.0	1.6	1.3	1.1	-0.2	0.0	-1.6
Sandy soil without lime	-1.5	-1.0	0.3	0.0	2.9	1.5	1.0	-0.3	0.0	-2.9
Loamy soil	1.2	1.5	0.6	0.0	5.6	-1.2	-1.5	-0.6	0.0	-5.6
Old clay soil	-1.0	-1.1	0.3	0.0	3.1	1.0	1.1	-0.3	0.0	-3.1
Podzol soil	-1.2	-0.8	0.5	0.0	4.6	1.2	0.8	-0.5	0.0	-4.6
River clay soil	1.4	2.8	0.7	0.0	7.0	-1.4	-2.8	-0.7	0.0	-7.0
Marine clay soil	1.3	2.9	0.7	0.0	7.0	-1.3	-2.9	-0.7	0.0	-7.0
Not determined	-0.9	0.3	0.4	0.0	4.4	0.9	-0.3	-0.4	0.0	-4.4

2 Verificatie van aannames en cijfers door de VBNE

2.1 Inbreng door de VBNE

Uitgangspunt voor de gekwantificeerde koolstofopslag voor de natuurtypen in het VBNE stuk (zie Tabel 3) is het rapport door Lesschen et al. (2012) waarin voor vergelijkbare natuurtypen de koolstofvoorraden in boven- en ondergrondse biomassa, strooisel, dood hout en bodem zijn bepaald. Alleen getijdenlandschap kwam in Lesschen et al. (2012) niet voor en is gebaseerd op een expertschatting. De totale koolstof opslag voor dit type zijn daarbij iets hoger gekozen dan voor schorren en kwelders. Voor duinlandschap is de waarde voor open duin gebruikt. Binnen Lesschen et al. (2012) is de koolstofvoorraad in biomassa voor bos bepaald op basis van de gegevens uit de Meetnet Functievervulling Bos (MFV) database² en die in biomassa in andere natuurtypen op basis van gegevens uit een beperkt aantal literatuurbronnen. De informatie voor koolstofvoorraden in bodem zijn gebaseerd op basis van een bodemdatabase waarin voor 560 locaties in natuur in Nederland koolstofvoorraden bekend zijn, verder aangevuld met weer een beperkt aantal andere literatuurbronnen.

Tabel 3. Cijfers over koolstofopslag en koolstofvastlegging zoals ingebracht door de VBNE. Voor voorstel van aanpassingen van de tabel en cijfers zie Tabel 7. Bron voor oppervlakte en koolstofopslag is op basis van Lesschen et al. (2012) met expert schattingen door Gert Jan van den Born (PBL, 1 september 2017) als aanvulling voor getijdlandschap en onderliggende subtypen. De cijfers voor koolstofvastlegging zijn gebaseerd op Spijker et al. (2007).

Natuurtype	Oppervlakte (ha)	Koolstof opslag (ton C/ha)	Koolstof vastlegging (ton C/ha/jaar)
<i>Bos</i>			
Vochtige bossen	26.837	239	2,3
Droge bossen (loof)	65.663	201	2,3
Droge bossen (naald)		176,5	2,3
Multifunctionele bossen	164.717	206	2,3
Culturbossen	3.843	117,7	2,3
<i>Moeras</i>			
Rietmoeras	29.391	212,5	4,5
Venen	24.627	127,5	??
Vochtige heide	100	105,5	??
<i>Korte vegetaties</i>			
Droge heide	28.948	105,5	1,1
Zandverstuiving	2.717	93	??
Duinlandschap	31.261	26,5	??
Vochtig schraalgras	38.578	194,5	2,6
Droog schraalgras	15.642	119	2,6
Rijk grasland	78.765	147,8	2,6
Vogelgrasland	66.823	147,8	2,6
<i>Kwelder & water</i>			
Getijdenlandschap	23.598	75	??
Schorren en kwelders	10.000	70,5	??

De koolstofvastlegging zoals die in de tabel is opgenomen is bepaald op basis van cijfers in het rapport door Spijker et al. (2007) waarin in twee samenvattende tabellen de verwachte arealen per begroeiingstype in 2020 en de verwachte jaarlijkse bijgroei gegeven worden. Door deze op elkaar te delen is de verwachte bijgroei van biomassa per ha voor de begroeiingstypen bos, productierietland, grasland en heide verkregen. De eenheid voor biomassa is ton droge stof die onder de aanname dat 50%

² Ook soms aangeduid met 5e bosinventarisatie.

van de droge stof uit koolstof bestaat kan worden omgerekend naar koolstof. Dit is een veelgebruikte aanname waarover hieronder iets meer wordt uitgeweid (zie 2.2.3).

2.2 Verificatie van gebruikte waarden en aannamen

Voor de verificatie is alleen gekeken naar koolstofopslag en -vastlegging. De oppervlaktes zijn niet in de verificatie meegenomen.

2.2.1 Koolstofopslag - koolstofvoorraden

De tabel in de VBNE inbreng (zie Tabel 3) gebruikt de termen koolstofopslag (ton C/ha) en koolstofvastlegging (ton C/ha/jaar). Deze kunnen echter op verschillende manieren geïnterpreteerd worden. Beter is het om in plaats van koolstofopslag de term koolstofvoorraad (ton C/ha) te gebruiken. Die geeft de voorraad C die in het systeem aanwezig is.

Bos

Zoals in 2.1 aangegeven zijn de koolstofvoorraden zoals die in de NVBE inbreng worden gegeven gebaseerd op informatie uit de MFV. Deze bosinventarisatie is uitgevoerd tussen 2001 en 2005. Inmiddels is er ook een nieuwe bosinventarisatie uitgevoerd, de 6^e Nederlandse Bosinventarisatie (NBI6, Schelhaas et al. 2014). Op basis van de analyses voor de Nationale broeikasgasrapportage (Arets et al. 2017; Coenen et al. 2017) blijkt dat in de tijd tussen de MFV en NBI6 de gemiddelde koolstofvoorraad in biomassa in Nederlands bos is toegenomen van 83,2 ton C/ha (in 2003) naar 94,6 ton C/ha (in 2012), een netto toename van 1,3 ton C/ha/jaar. Dat is de gemiddelde verandering die wordt veroorzaakt door de gemiddelde bruto bijgroei in biomassa, min sterfte en gemiddelde houtoogst in de tussenliggende jaren. In stukken bos zonder houtoogst zal de toename in koolstofvoorraden hoger zijn en in geogste stukken bos zal die lager zijn.

Op basis van de houtbalans tussen de MFV en de NBI6 (Tabel 4) kan een schatting gemaakt worden van de verwachte veranderingen in de bos-natuurtypen zoals in Tabel 3 worden gegeven.

Tabel 4. houtbalans tussen MFV (2001-2005) en NBI6 (2012-2013). De basis voor de balans is de analyse van bijgroei, sterft en houtoogst in termen van m³ stamhout per ha per jaar. Met behulp van biomassa conversie en expansie factoren (BCEF, zie Arets et al. 2017) wordt dit omgerekend naar ton C/ha/jaar in totale boven- en ondergrondse biomassa (m³ x BCEF (ton droge stof per m³) x 1,18 (om ondergronds mee te nemen) x CF (ton C per ton droge stof). Op basis van NBI6 gewogen gemiddelde BCEF voor loof is 1,02; voor naald is het 0,51; en overall 0,764 en de CF is 0,48 voor loof en 0,51 voor naald, voor gemengd is 0,5 aangenomen (zie ook hoofdstuk 4.2 in Arets et al. 2017 voor methode van omrekenen).

Type	Bruto bijgroei		Sterfte		Oogst		Voorraad verandering	
	m ³	ton C	m ³	ton C	m ³	ton C	m ³	ton C
/ha/jr								
Natuur Gemengd	7,3	3,3	1,6	0,7	2,6	1,2	3,1	1,4
Natuur Loof	7,1	4,1	1,6	0,9	2,6	1,5	2,9	1,7
Natuur Naald	7,1	2,2	1,0	0,3	3,5	1,1	2,6	0,8
Productie Gemengd	8,4	3,8	1,1	0,5	5,0	2,2	2,4	1,1
Productie Loof	8,7	5,1	0,8	0,5	4,9	2,8	3,0	1,8
Productie Naald	8,3	2,5	1,0	0,3	5,6	1,7	1,7	0,5
Totaal	8,0	3,6	1,2	0,5	4,3	1,9	2,5	1,1

In de NBI6 worden niet de bostypes zoals in Tabel 3 staan onderscheiden, maar als er informatie is over het voorkomen van die types kan de informatie uit de NBI6 in principe op een zelfde manier gestratificeerd en berekend worden.

De gegevens over koolstof in dood hout in bos zoals die in Lesschen et al. (2012) worden gegeven lijken niet correct. Voor de verschillende bostypen variëren die tussen 11 en 21 ton C per ha. In de nationale

broeikasgasinventarisatie (Arets et al. 2017; Coenen et al. 2017) wordt die voor 2003 op 1,41 ton C/ha berekend. In 2012 is die met 0,4 ton C/ha toegenomen tot 1,87 ton C/ha. Dat is dus een factor 10 lager dan gegeven in Lesschen et al. (2012). Ook in vergelijking met buurlanden lijkt een koolstofvoorraad van 1,87 ton C/ha realistischer dan 11-21 ton C/ha. Duitsland rapporteert in zijn Nationale broeikasgasinventarisatie³ 1,82-1,99 ton C/ha voor dood hout.

De koolstofvoorraad in strooisel wordt voor LULUCF in de nationale broeikasgasinventarisatie (Arets et al. 2017; Coenen et al. 2017) op basis van de MFV en aanvullende informatie (zie hoofdstuk 4.2 in Arets et al. 2017) geschat op 36 ton C/ha. Dit is in dezelfde orde van grootte als de berekeningen in Lesschen et al. (2012), maar dan niet naar bostype gedifferentieerd. Ook in de NBI6 zijn opnames van strooisel gemaakt. Die gegevens zijn echter nog niet geanalyseerd waardoor het nog niet mogelijk is om de veranderingen in de koolstofvoorraad in strooisel in bos te bepalen. In 2018 staat die analyse ten behoeve van de nationale broeikasgasinventarisatie in de planning.

De informatie voor bosbodems kan niet goed direct gecontroleerd worden, maar zijn grotendeels gebaseerd op metingen voor verschillende natuurtypen en lijken realistisch. De waarden zijn vergelijkbaar met de informatie voor naburige landen (zie 2.2.4 verderop)

Cultuurbossen

De categorie cultuurbossen zou vooral bestaan uit hakhout, middenbos en griend. De aanname is nu dat die 2/3 minder vegetatie hebben, maar wel vergelijkbare bodemkoolstofvoorraden. De berekening is nu 2/3 van naaldbos op arme gronden. Die redentatie is erg kort door de bocht. In hakhout bos kan relatief veel biomassa staan. Verder is 2/3 van het geheel genomen, terwijl de aanname uitging van gelijke bodemkoolstofvoorraad. Verder zijn de waardes voor naaldbos gebruikt, maar cultuurbossen (middenbos, hakhout en griend) zijn voornamelijk loofbos.

Moeras

De koolstofvoorraden in de moeras natuurtypen wordt voornamelijk bepaald door de voorraden in de bodem. Zowel de voorraden voor biomassa als bodem zijn voor venen en rietmoeras in Lesschen et al. (2012) bepaald op basis van informatie uit een aantal literatuurbronnen (Bakker et al. 1997; Verhoeven et al. 1996; Vermeer and Berendse 1983; Wolf 1990). De ranges die daarin gegeven worden hebben een grote spreiding. Het lijkt erop dat het middelpunt uit die ranges is gebruikt. Dit hoeft dus niet representatief te zijn voor de gemiddelde rietmoerassen of venen.

Voor de inbreng van de VBNE in Tabel 3 is voor de koolstofvoorraad in biomassa in voedselarme venen gebruik gemaakt van de middelwaarde voor de range voor heide. Lesschen et al. (2012) geeft echter ook de koolstofvoorraad in biomassa voor voedselarme venen op basis van Vermeer and Joosten (1992) en Verhoeven et al. (1996). Op basis van die getallen zou je op 1,6 ton C/ha uitkomen.

Heide

Voor vochtige heide zijn in Lesschen et al. (2012) in de afleidende tabellen geen waarde opgenomen voor de koolstofvoorraden in de biomassa. In het samenvattende overzicht is daarvoor dezelfde waarde gebruikt als voor droge heide (5 ton C/ha in bovengrondse biomassa en 7,5 ton C/ha in ondergrondse). Dat lijkt een verdedigbare keuze. Voor vochtige heide wordt in Lesschen et al. (2012) vervolgens wel de koolstofvoorraad in bodems afzonderlijk afgeleid voor droge en vochtige heide, maar worden in het samenvattende overzicht voor beide het gemiddelde voor droge en natte heide genomen. Hier zou ervoor gekozen kunnen worden om die op basis van de cijfers die afzonderlijk voor vochtige en droge heide worden gegeven te bepalen. Als de geschatte bodemkoolstofvoorraden uit Wolf (1990) niet worden meegenomen (lijkt nu ook niet meegenomen in het gemiddelde uit Lesschen et al. (2012)) dan wordt de bodemkoolstofvoorraad voor vochtige heide 108 ton C/ha (nu 93 ton C/ha) en voor droge heide 83 ton C/ha (nu ook 93 ton C/ha). Deze getallen zijn nu opgenomen in Tabel 7. Worden de schattingen uit Wolf

³http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu-2017-nir-13apr17.zip

(1990) wel meegenomen dan wordt de bodemkoolstofvoorraad in vochtige heide 138 ton C/ha en in droge heide 68 ton C/ha . Ook hier geldt weer dat het rekenkundige gemiddelden zijn op basis van een aantal gepubliceerde bevindingen en beschikbare datapunten in de bodemdatabase en niet op basis van een a-selecte steekproef. Daarom geven ook deze cijfers alleen een indruk en hoeven dus niet representatief te zijn voor de gemiddelde heide in Nederland.

Een studie van Berendse (1990) laat op basis van plots in verschillende stadia van successie na plaggen zien dat bovengrondse en ondergrondse biomassa in heideterreinen piekt rond 25 jaar na plaggen met ca. 6,5 ton C bovengronds en ca 4 ton C in ondergrondse biomassa. Heide die gedomineerd wordt door *Molinia* heeft een veel lagere koolstofvoorraad in biomassa (ca 2 ton C bovengronds en 2.5 ton ondergronds). Vergelijkbare resultaten blijken ook uit andere studies (Littlewood et al. 2014; Quin et al. 2015).

Schorren en Kwelder

Voor schorren en kwelders zijn in Lesschen et al. (2012) de resultaten van één studie door Kiehl et al. (2001) gebruikt. Deze studie is gedaan in twee gebieden in het Duitse deel van de Waddenzee. De studie heeft twee verschillende door mensen aangelegde kwelders onder verschillende intensiteiten van begrazing door schapen vergeleken. Een van de gebieden was een door *Puccinellia maritima* (gewoon kweldergras) gedomineerde lage schor en het andere een door *Festuca rubra* (rood zwenkgras) gedomineerde hoge schor. Omrekening van de gemiddelde bovengrondse en ondergrondse biomassa die in Kiehl et al. (2001) wordt gegeven geeft andere cijfers dan in Lesschen et al. (2012) gebruikt. De bovengrondse biomassa zoals gerapporteerd varieert afhankelijk van de lage of hoge schor en van begrazingsintensiteit. De lage schor heeft een hogere biomassa en in beide gevallen neemt boven- en ondergrondse biomassa af met begrazingsintensiteit. De gemiddelde koolstofvoorraad in bovengrondse biomassa is maar 2,25 ton C/ha (in tegenstelling tot 15 gerapporteerd in Lesschen et al. (2012)). De gemiddelde koolstofvoorraad in bovengrondse biomassa is maar 12,3 ton C/ha (in tegenstelling tot 22,5 gerapporteerd in Lesschen et al. (2012)). Het lijkt erop dat onder bovengrondse biomassa het totaal is gegeven, maar het is dan onduidelijk waar het cijfer voor ondergrondse biomassa op is gebaseerd. Dit wordt ondersteund door informatie uit Tamis and Foekema (2015), die een review naar hoeveelheden "blue carbon" in Nederland hebben gedaan.

Tegelijkertijd lijken de omrekeningen in Lesschen et al. (2012) van de bodemgegevens in Kiehl et al. (2001) naar bodemkoolstofvoorraden ongeveer een factor 10 te klein. Ook dat wordt ondersteund door de informatie in de review door Tamis and Foekema (2015). Een van de bronnen daarin geeft voor de koolstofvoorraad in de top meter 327 ton C/ha.

2.2.2 Koolstofvastlegging – (netto) primaire productie

Het begrip koolstofvastlegging kan ook verschillend geïnterpreteerd worden. De cijfers die gegeven worden geven in het geval van eenjarige vegetatie de tijdelijke vastlegging van koolstof in biomassa gedurende het groeiseizoen. Daarna zal het grootste deel weer afsterven en als gevolg van afbraak weer als CO₂ in de atmosfeer terecht komen. De koolstof wordt daarbij dus niet duurzaam, langdurig in het systeem vastgelegd. In systemen die in evenwicht zijn (binnen de IPCC richtlijnen wordt daarvoor 20 jaar na verandering van landgebruik gebruikt) zal ook geen of nauwelijks nog netto vastlegging in de bodem plaatsvinden. Specifieke beheermaatregelen kunnen die capaciteit wel verhogen waardoor tijdelijk koolstof in de bodem wordt vastgelegd, tot een nieuw evenwicht wordt bereikt.

Door nuttig gebruik van de biomassa voor substitutie van andere meer energie intensieve grondstoffen is het mogelijk de emissies van die andere grondstoffen te verminderen en daarmee klimaatwinst te boeken. Bij het nuttig gebruik van de jaarlijks geproduceerde biomassa in eenjarige vegetatie moet er wel rekening mee worden gehouden dat de oogst ook een effect zal hebben op de beschikbaarheid van nutriënten. Als de biomassa in het systeem gelaten wordt, dan zullen tijdens het afbraakproces ook de in die biomassa opgeslagen nutriënten weer deels in de bodem beschikbaar komen. Afvoer zal dus in de

meeste gevallen een verschromend effect hebben en mogelijk de toekomstige productiviteit verminderen waardoor minder koolstof vastgelegd zal worden.

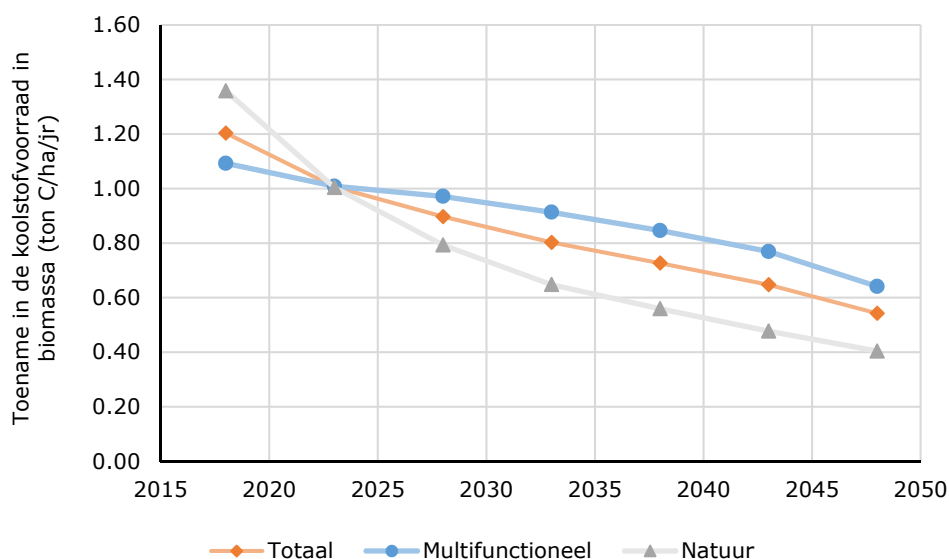
In bomen en andere meerjarige houtige vegetatie wordt wel netto jaarlijks koolstof in biomassa vastgelegd. Hoewel bossen ook op een gegeven moment een verzadigingspunt bereiken waarbij er een evenwicht ontstaat, maar dat duurt lange tijd. Op dit moment legt het Nederlands bos nog steeds netto koolstof vast, zelfs als rekening wordt gehouden met huidige houtoogstniveau.

Het zou daarom waarschijnlijk beter zijn om de gebruikte cijfers voor koolstofvastlegging onder een kop netto primaire productie te nemen en een nieuwe kolom netto koolstofvastlegging op te nemen waarin aangenomen wordt dat de niet-bos natuurtypen in evenwicht zijn en dus geen netto koolstofvastlegging realiseren en voor de bos-systemen een schatting op te nemen van die jaarlijkse vastlegging.

Bos

Voor de controle van cijfers voor bos zie ook het stuk onder koolstofvoorraden en Tabel 4. De beste bepaling voor koolstofvastlegging voor de langere termijn is door te kijken naar de veranderingen in koolstofvoorraden. De bruto bijgroei voor bos in Nederland is gemiddeld 3,6 ton C per ha per jaar deze waarde kan gebruikt worden voor netto primaire productie. Als vervolgens rekening wordt gehouden met sterfte, dan wordt er jaarlijks netto gemiddeld ca 3 ton C per ha bos vastgelegd. Een deel daarvan wordt weer geoogst voor hout, waardoor de netto verandering in de koolstofvoorraden in Nederlands bos lager uitkomt (zie Tabel 4).

Doordat het bos in Nederland gemiddeld steeds ouder wordt....



2.2.3 Van biomassa naar koolstof

Een veelgebruikte aanname voor de vertaling van biomassa in termen van gewicht droge stof naar gewicht koolstof is dat 50% van de droge stof uit koolstof bestaat. In principe is dit een prima schatter. De IPCC guidelines (IPCC 2006) geven 0,51 ton C per ton droge stof voor naaldbomen, 0,48 ton C per ton droge stof voor loofbomen en 0.47 ton C per ton droge stof voor kruidvegetatie. In het laatste geval komen de schattingen voor koolstofvoorraden 4% lager uit dan bij gebruik van de factor 0,5. Gezien de onzekerheid en variatie die ook al in de schattingen voor droge stof zitten lijkt dit geen groot probleem.

2.2.4 Broeikasgasrapportage, default waarden en buurlanden

Er is gezocht op relevante emissiefactoren (waaronder ook de koolstofvoorraad en -vastlegging valt) voor biomassa en bodemkoolstof in natuurtypen in de IPCC richtlijnen voor broeikasgasrapportages voor

LULUCF (hoofdstukken 6 en 7 in IPCC 2006) en de rapportages van de naburige landen België, Denemarken, Duitsland, en Verenigd Koninkrijk⁴.

De IPCC richtlijnen voor broeikasgasrapportages geven voor de LULUCF sector voor verschillende landgebruikscategorieën zogenaamde default waarden voor koolstofvoorraden en -vastlegging die door landen gebruikt kunnen worden als er geen land specifieke informatie beschikbaar is (IPCC 2006). Deze kunnen gebruikt worden in het geval dat het te verwachten is dat het betreffende koolstofreservoir (bijvoorbeeld grasland biomassa) geen significante bron of sink van CO₂ is. Voor grasland worden default waarden voor de koolstofvoorraad in biomassa gegeven, gedifferentieerd naar klimaatzone, maar er worden geen verschillen voor verschillende typen graslanden gegeven. De default waarde voor cold-temperate-wet is 13,6 ton droge stof per ha, omgerekend (factor 0.47) levert dat een koolstofvoorraad van 6,4 ton C/ha.

België

Onder akkerland (Cropland) en grasland gebruikt België alleen een emissiefactor voor biomassa voor boomgaarden. De koolstofvoorraden en veranderingen daarin voor biomassa in eenjarige vegetatie worden helemaal niet meegenomen. Voor de gemiddelde koolstofvoorraden in bodem gebruikt België de cijfers in Tabel 5. De waarden voor bos zijn in dezelfde orde van grootte als in Lesschen et al. (2012), die voor grasland zijn lager dan in Lesschen et al. (2012), mogelijk doordat in de Nederlandse situatie ook veel grasland op veenbodem is meegenomen.

Tabel 5. Gemiddelde koolstofvoorraad in bodem (t C/ha, 0-30 cm) in 2000 in België⁵.

Carbon stocks in soil (t C/ha)	Wallonia & Brussels	Flanders
A. Forest Land	110	89,5
B. Cropland	49	54
C. Grassland	89	74
D. Wetland	100	100
E. Settlements	48	48
F. Other land	48	48

Duitsland

Onder de categorie grasland geeft Duitsland een gemiddelde koolstofvoorraad voor verschillende soorten grasland van 6,8 ton C/ha, dicht bij de default waarde (zie hierboven). De gemiddelde koolstofvoorraden in minerale bodems staan in Tabel 6. Deze zijn lager dan voor Nederland zoals in Lesschen et al. (2012) worden gegeven, maar daar zitten voor een deel ook de hogere koolstofvoorraden in de organische veenbodems bij inbegrepen.

Tabel 6. Gemiddelde koolstofvoorraad in minerale bodem (ton C/ha) in 2015 in Duitsland⁶

Land categorie	ton C/ha
Forest land	65.49
Cropland	60.3
Grassland (strict sense)	77.43
Woody grassland	73.18

⁴ http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/10116.php

⁵ België's 2017 National Inventory Report (1990-2015) submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change

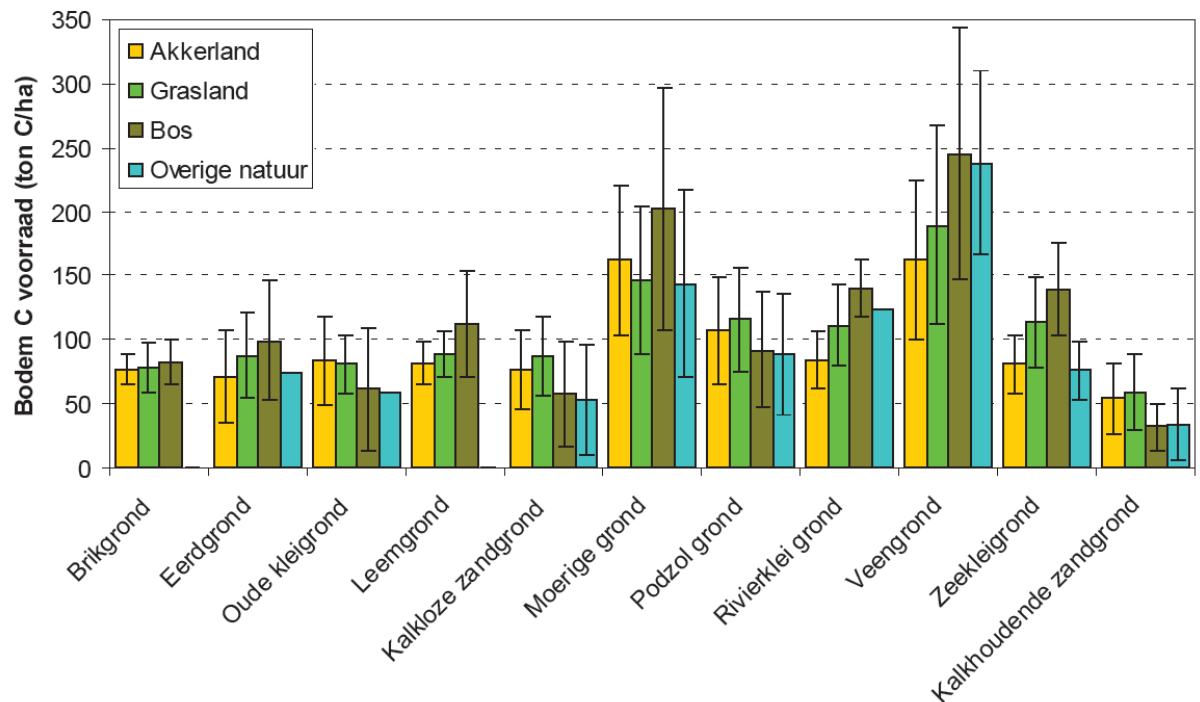
⁶ Duitslands 2017 National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2015

Terrestrial wetlands	74
Waters	
Settlements	58.67
Other land	55.6

2.2.5 Bodemkoolstof per landgebruik

De cijfers genoemd in 2.2.1 zijn gebaseerd op een aantal incidentele studies waarbij zoveel mogelijk naar verschillende natuurtypen is uitgesplitst. De hoeveelheid koolstof in de bodem wordt echter voor een belangrijk deel ook bepaald door het bodemtype. Lesschen et al. (2012) geven bodemkoolstofvoorraden voor de bovenste 30 cm per landgebruik (grasland, akkerland, bos en overige natuur). Daarbij is niet gekeken naar de relatieve belangrijkheid van voorkomen van die combinaties, maar de vergelijking laat zien dat voor de meeste bodems de koolstofvoorraad onder bos het grootste is (Figuur 2). Uitzondering zijn de arme zandgronden, waar de koolstofvoorraden onder bos en andere natuur lager zijn dan voor landbouw grasland en akkerland. Dat wordt verklaard door grote aanvoer van dierlijke mest op de landbouwgronden, waardoor het koolstofgehalte in de bodem over de tijd verhoogd is.

Omdat veel bos in Nederland zich op arme zandgronden bevindt, vertalen de hogere bodemkoolstofvoorraden onder bos op de andere bodemtypes niet direct tot hogere waarden voor de verschillende bostypen (zoals in de eerdere Tabel 3 en Tabel 7 verderop).



Figuur 2. Gemiddelde bodemkoolstofvoorraden per landgebruik (agrarisch grasland, akkerland, bos en overige natuur) in combinatie met bodemtype. De foutmarges geven de standaard deviaties weer. Arme zandgronden zijn kalkloze zandgrond, kalkhoudende zandgrond en podzolgrond. Bron en beschrijving van onderliggende data: Lesschen et al. 2012.

3 Voorstel voor aangepaste cijfers

Om de verschillen in de verdeling van de koolstofvoorraden in de verschillende natuurtypes duidelijker zichtbaar te maken zou onderscheid gemaakt kunnen worden tussen biomassa (boven- en ondergronds), dood organisch materiaal (strooisel en dood hout) en bodem (zie Tabel 7).

Zoals in 2.2.2 ook aangegeven kan de term koolstofvastlegging op verschillende manieren uitgelegd worden. Vaak wordt er echter de vastlegging over langere tijd mee bedoeld. Daarom maken we hier onderscheid tussen Netto Primaire Productie (NPP), of bijgroei en netto vastlegging. NPP refereert aan de koolstof die jaarlijks in biomassa wordt vastgelegd als gevolg van fotosynthese. De netto jaarlijkse vastlegging is dan vervolgens de hoeveelheid koolstof die over langere termijn wordt vastgelegd in het ecosysteem. Dat is de NPP min sterfte. Bij eenjarige vegetatie is die sterft over het algemeen gelijk aan de NPP in dat jaar. Uitgangspunt is verder dat bodems in evenwicht zijn en netto geen additioneel C vastleggen. Bij net omgezette systemen of bepaalde beheertypen kan dat wel het geval zijn, maar kunnen ze ook bronnen van emissies zijn.

Bos

Voor de aangepaste cijfers voor de bostypen zijn de data uit Lesschen et al. (2012) als uitgangspunt gebruikt. Om een meer actuele koolstofvoorraad te krijgen zijn de cijfers voor biomassa bijgewerkt met verschil tussen MFV en NBI6 (zie ook sectie 2.2.1). Die vertaling gaat niet één op één, maar geeft naar verwachting wel een redelijke schatting. Tijdsverschil tussen MFV (peiljaar 2003) en NBI6 (peiljaar 2012) is 9 jaar. Voor vochtige bossen is daarvoor bij de waarde voor koolstofvoorraad in biomassa uit de MFV, negen keer de jaarlijkse voorraadverandering voor natuur gemengd uit Tabel 4 toegevoegd, met het resultaat in Tabel 7 onder C-voorraad biomassa. De NPP en netto vastlegging voor vochtige bossen zijn gebaseerd op bruto bijgroei (NPP) en bruto groei min sterfte (netto vastlegging) voor natuur gemengd in Tabel 4. Voor de andere bostypen (behalve cultuurbos) zijn C-voorraad, NPP en Netto vastlegging op dezelfde manier bijgewerkt waarbij voor droge bossen (loof), de cijfers voor natuur loof uit Tabel 4 zijn gebruikt, en voor droge bossen (naald) die voor natuur naald, en voor multifunctionele bossen die voor productie gemengd uit Tabel 4.

Voor strooisel in de bossen zijn de data zoals die in Lesschen et al. (2012) op basis van de MFV waren bepaald gehandhaafd. Voor dood hout is gebruik gemaakt van de informatie uit de LULUCF rapportages (zie ook 2.2.1). Omdat alleen het gemiddelde voor bos in NL beschikbaar is 1,82 (in 2012) is die waarde toegepast op alle bostypen. Strooisel en dood hout worden in Tabel 7 gezamenlijk onder dood organisch materiaal (DOM) gegeven.

Aannames voor cultuurbossen zijn nu kort door de bocht. Daar is meer informatie voor nodig om die goed te bepalen. Als toch van de aanname gebruik gemaakt wordt dat biomassa $\frac{2}{3}$ van biomassa van bos op arme gronden is en wordt gecorrigeerd voor loof- ipv naaldbos en bodem gelijk aan bos op arme gronden, dan worden de resultaten zoals in Tabel 7.

Voor bossen lijkt er bij de totale koolstofvoorraden nauwelijks verschil te zijn met Tabel 3. Dat komt doordat de correctie van de voorraad in dood hout (onder DOM) en de bijgroei voor biomassa op basis van het verschil tussen MFV en NBI elkaar min of meer opheffen. De basis voor Tabel 7 is beter dan in Tabel 3, maar het eindresultaat is toevallig vergelijkbaar.

Schorren en Kwelder

Voor schorren en kwelders lijken de cijfers voor koolstofvoorraden in boven- en ondergrondse biomassa op basis van Kiehl et al. (2001) zoals die in Lesschen et al. (2012) worden gegeven niet correct. In Tabel 7 worden gecorrigeerde cijfers gebruikt op basis van Kiehl et al. (2001) voor biomassa en Sifleet et al. (2011) voor bodem en Tamis and Foekema (2015) voor geschatte jaarlijkse vastlegging.

Tabel 7. Voorstel voor aangepaste cijfers voor verschillende natuurtypen. Vetgedrukt zijn de aangepaste cijfers ten opzichte van Tabel 3. Netto Primaire Productie (NPP) refereert aan de koolstof die jaarlijks in biomassa wordt vastgelegd als gevolg van fotosynthese. De netto jaarlijkse vastlegging is dan de hoeveelheid koolstof die over langere termijn wordt vastgelegd in het systeem. Dat is de NPP min sterfte. Bij eenjarige vegetatie is die sterfte over het algemeen gelijk aan de NPP in dat jaar. Uitgangspunt is verder dat bodems in evenwicht zijn en netto geen additioneel C vastleggen. Bij net omgezette systemen of bepaalde beheertypen kan dat wel het geval zijn, maar kunnen ze ook bronnen van emissies zijn. Bij netto vastlegging in bos staat tussen haakjes de vastlegging zoals die gerealiseerd wordt als ook rekening wordt gehouden met de actuele houtoogst (zie ook Tabel 4).

Natuurtype	C-voorraad (ton C/ha)				NPP (ton C/ha/jaar)	Netto vastlegging (ton C/ha/jaar)
	Biomassa	DOM	Bodem	Totaal		
Bos						
Vochtige bossen	91	14	128	233	3.3	2,6 (1,4)
Droge bossen (loof)	106	47	47	200	4.1	3,2 (1,7)
Droge bossen (naald)	62	37	75	174	2.2	1,9 (0,8)
Multifunctionele bossen	88	36	83	207	3.8	3,3 (1,1)
Cultuurbossen	71	31	47	149	?	?
Moeras						
Rietmoeras	13	200		213	4.5	? ¹⁾
Venen	1,6	125		127	?	? ¹⁾
Vochtige heide	13	108		121	1.1	Beperkt
Korte vegetaties						
Droge heide	13	83		96	1.1	Beperkt
Zandverstuiving	~0	?			?	~0
Duinlandschap	2.5	24		27	?	~0
Vochtig schraalgras	7.5	187		195	2.6	~0
Droog schraalgras	5	114		119	2.6	~0
Rijk grasland	9	139		148	2.6	~0
Vogelgrasland	9	139		148	2.6	~0
Kwelder & water						
Getijdenlandschap					?	?
Schorren en kwelders	15	327		342	?	1,5

1) Onbekend op basis van de hier beschikbare informatie. Is in potentie hoog, maar in de praktijk zal deze door verdroging niet gehaald worden.

Natuurontwikkeling en landgebruiksverandering

De informatie over de koolstofvoorraden kan ook inzicht bieden in de effecten van landgebruiksverandering en natuurontwikkeling. Met de huidige informatie kan dat alleen als een grove schatting gedaan worden. Bestaande koolstofvoorraden onder het huidige landgebruik/natuur zullen dan eerst verdwijnen en voor een emissie van CO₂ zorgen, waarna vervolgens er weer koolstof in het nieuwe type wordt opgeslagen, tot ook daar weer een evenwicht bereikt is. Als het nieuwe type hoger koolstofvoorraden heeft of langer CO₂ vastlegt zal er een netto klimaatwinst geboekt worden.

Het overzicht in Hoofdstuk 1.2 liet al zien dat de binnen de LULUCF sector in Nederland emissies uit veenbodems onder agrarisch gebruik de belangrijkste bron van emissies is. Als gevolg van verlaging van de grondwaterstand oxideert het koolstof uit het veen en komt als CO₂ in de atmosfeer terecht. Deze emissies tellen vooral mee onder de Cropland en Grassland categorieën in Tabel 1. De bodemkoolstofvoorraden bij de combinaties van landgebruik en bodemtype (Figuur 2) lieten zien dat organische bodems onder bos (moerige grond en veengrond) en andere natuur (veenbodems) hogere koolstofvoorraden hebben dan onder agrarisch gebruik. Dat heeft met name te maken met de hogere

mate van ontwatering onder landbouwgrond. Natuurontwikkeling met minder ontwatering zal in deze gebieden niet direct tot hogere koolstofvoorraden leiden (tenzij succesvolle hoogveenvorming), maar zal de afname in belangrijke mate kunnen afremmen.

Een andere belangrijke bron van emissies in Nederland is de relatief hoge mate van ontbossing. De koolstof die in de biomassa opgeslagen zit wordt onder de LULUCF systematiek (IPCC 2006, 2014) gezien als een instantane emissie van CO₂. Hoewel de ontbossingscijfers in bepaalde mate onzeker zijn, laat de analyse door Schelhaas et al. (2017) zien dat omvorming naar andere natuur, zoals heidecorridors en zandverstuivingen de belangrijkste onderliggende oorzaak is van ontbossing. Op bijna 7.800 ha (38 procent) waar tussen 2013 en 2017 volgens de landgebruikskaarten bos verdwenen was, is het nieuwe landgebruik heide, natuurgrasland, moeras of water. Voor de omvormingen naar andere natuur dan bos hebben provincies waarschijnlijk grotendeels vrijstelling van de herplantplicht verleend, waardoor het verdwenen bos niet elders is gecompenseerd. Vanuit het oogpunt van natuurbescherming is dit wellicht gerechtvaardigd, maar vanuit het klimaatperspectief is meer aandacht voor de gevolgen van ontbossing als een integraal onderdeel van natuurbeleid en -beheer noodzakelijk.

3.1 Vervolg onderzoek

De cijfers in de Tabellen 3 en 7 zijn gebaseerd op een relatief beperkt aantal studies en gelden waarschijnlijk voor een beperkt gebied. Meer inzicht is nodig in hoe representatief die cijfers zijn. Vervolgonderzoek zou zich ook meer kunnen richten op de klimaateffecten van beheersmaatregelen, eventueel gericht op een aantal kansrijk geachte maatregelen. De inbreng van de VBNE geeft al een aantal zeer relevante aanbevelingen voor onderzoek.

Er is waarschijnlijk wel ook nog veel verstopte informatie in onderzoeksresultaten uit het verleden. Hoewel dat onderzoek niet specifiek gericht was op koolstof en klimaat kan die vertaling wel vaak gemaakt worden, getuige ook de databronnen die hier gebruikt zijn. Een uitgebreider verkennend onderzoek zou nuttig zijn om daar meer inzicht in te geven. Dat zou bijvoorbeeld in de vorm van een systematische review kunnen zijn waarbij niet op koolstof en CO₂ wordt gevestigd, maar op andere parameters die in het verleden wel gemeten zijn (zoals biomassa) die vervolgens omgezet kunnen worden in termen van koolstofvoorraden en koolstofvastlegging.

4 Referenties

- Arets, E. J. M. M., J. W. H. van der Kolk, G. M. Hengeveld, J. P. Lesschen, H. Kramer, P. J. Kuikman and M. J. Schelhaas. (2017). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2017*. WOt Technical report 95. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen UR, Wageningen, The Netherlands. <http://edepot.wur.nl/418559>.
- Bakker, S. A., C. Jasperse and J. T. A. Verhoeven*. (1997). *Accumulation rates of organic matter associated with different successional stages from open water to carr forest in former turbaries*. *Plant Ecology* 129:113-120.
- Berendse, F. (1990). *Organic Matter Accumulation and Nitrogen Mineralization During Secondary Succession in Heathland Ecosystems*. *Journal of Ecology* 78:413-427.
- Coenen, P. W. H. G., C. W. M. Maas, P. J. Zijlema, E. J. M. M. Arets, K. Baas, A. C. W. M. van den Berghe, E. P. van Huis, G. Geilenkirchen, M. Hoogsteen, J. Spijker, R. te Molder, R. Dröge, J. A. Montfoort, C. J. Peek, J. Vonk, S. Oude Voshaar and S. Dellaert. (2017). *Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-2015. National Inventory Report 2017*. RIVM; National Institute for Public Health and Environment, Bilthoven, The Netherlands. <http://dx.doi.org/10.21945/RIVM-2017-0033>.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.
- IPCC. (2014). *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol*. in T. Hiraishi, Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G., editor. IPCC, Switzerland.
- Kiehl, K., P. Esselink, S. Gettner and J. P. Bakker. (2001). *The Impact of Sheep Grazing on Net Nitrogen Mineralization Rate in Two Temperate Salt Marshes*. *Plant Biology* 3:553-560.
- Lesschen, J. P., H. I. M. Heesman, J. P. Mol-Dijkstra, A. M. van Doorn, E. Verkaik, I. J. J. van den Wyngaert and P. J. Kuikman. (2012). *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur*. Alterra-rapport 2396. Alterra Wageningen UR, Wageningen, The Netherlands <http://edepot.wur.nl/247683>.
- Littlewood, N. A., S. Greenwood, S. L. O. Quin, R. J. Pakeman and S. J. Woodin. (2014). *Long-term trends in restored moorland vegetation assemblages*. *Community Ecology* 15:104-112.
- Quin, S. L. O., R. R. E. Artz, A. M. Coupar and S. J. Woodin. (2015). *Calluna vulgaris-dominated upland heathland sequesters more CO₂ annually than grass-dominated upland heathland*. *Science of The Total Environment* 505:740-747.
- Schelhaas, M., E. Arets and H. Kramer. (2017). *Het Nederlandse bos als bron van CO₂*. *Vakblad Natuur Bos Landschap* September 2017:6-9.
- Schelhaas, M., A. P. P. M. Clerkx, W. P. Daamen, J. F. Oldenburger, G. Velema, P. Schnitger, H. Schoonderwoerd and H. Kramer. (2014). *Zesde Nederlandse bosinventarisatie : methoden en basisresultaten*. Alterra-rapport 2545. Alterra Wageningen UR, Wageningen, The Netherlands. <http://edepot.wur.nl/307709>.
- Sifleet, S., L. Pendleton and B. C. Murray. (2011). *State of the Science on Coastal Blue Carbon. A Summary for Policy Makers*. Report NI R 11-06. Duke University, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Durham, USA. <https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/state-of-science-coastal-blue-carbon-paper.pdf>.
- Spijker, J. H., H. W. Elbersen, J. J. d. Jong, C. A. v. d. Berg and C. M. Niemeijer. (2007). *Biomassa voor energie uit de Nederlandse natuur : een inventarisatie van hoeveelheden, potenties en knelpunten*. Alterra, Wageningen. <http://edepot.wur.nl/42477>.
- Tamis, J. E. and E. M. Foekema. (2015). *A review of blue carbon in the Netherlands*. IMARES, Den Helder. <http://edepot.wur.nl/362935>.
- Verhoeven, J. T. A., B. Beltman and H. De Caluwe. (1996). *Changes in plant biomass in fens in the vechtplassen area, as related to nutrient enrichment*. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30:227-237.
- Vermeer, J. G. and F. Berendse. (1983). *The relationship between nutrient availability, shoot biomass and species richness in grassland and wetland communities*. *Vegetatio* 53:121-126.
- Vermeer, J. G. and J. H. J. Joosten. (1992). *Conservation and management of bog and fen reserves in the Netherlands*. Pages 433-478 in J. T. A. Verhoeven, editor. *Fens and Bogs in the Netherlands: Vegetation, History, Nutrient Dynamics and Conservation*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Wolf, J. (1990). *Inventarisatie van niet-fossiele koolstofstromen en -voorraden in terrestrische systemen in Nederland*. Rapport. Vakgroep Theoretische Productie Ecologie, Lanbouwniversiteit Wageningen, Wageningen.