



ALTEERRA

WAGENINGEN UR



# Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur

Alterra-rapport 2396  
ISSN 1566-7197

Jan Peter Lesschen, Hanneke Heesmans, Janet Mol-Dijkstra, Anne van Doorn, Eric Verkaik, Isabel van den Wyngaert en Peter Kuikman



---

Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de  
Nederlandse landbouw en natuur

---

---

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het BO project 'Mogelijkheden voor koolstof-sinks in landgebruik'  
Projectcode BO-11-002.03-002

---

---

# Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur

Jan Peter Lesschen, Hanneke Heesmans, Janet Mol-Dijkstra, Anne van Doorn, Eric Verkaik,  
Isabel van den Wyngaert en Peter Kuikman

**Alterra-rapport 2396**

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, 2012

---

## Referaat

Jan Peter Lesschen, Hanneke Heesmans, Janet Mol-Dijkstra, Anne van Doorn, Eric Verkaik, Isabel van den Wyngaert, Peter Kuikman, 2012. *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2396. 62 blz.; 7 fig.; 19 tab.; 57 ref.

Het doel van dit rapport is om meer inzicht en kwantificering te krijgen van potentiële veranderingen in koolstofvoorraden in Nederlandse bodems. Gebaseerd op een nieuwe stratificatie van de Landelijke Steekproef Kartering (LSK) data zijn bodemkoolstofvoorraden voor de voornaamste landgebruikstypen en bodemtypen bepaald. Het resultaat voor de belangrijkste landgebruikveranderingen laat zien dat bodem C emissies elkaar veelal compenseren. Met het MITERRA-model is de potentie voor koolstofvastlegging berekend. Niet-kerende grondbewerking en verbeterde gewasrotaties hebben de grootste potentie voor koolstofvastlegging. De totale realistische koolstofvastlegging in de landbouw wordt geschat op maximaal 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. De voorgestelde verplichte maatregelen voor het vergroenen van de landbouwsubsidies kunnen zorgen voor additionele koolstofvastlegging. Daarnaast laat deze studie zien dat ook andere natuurtypen dan bos grote koolstofvoorraden kunnen vastleggen.

Trefwoorden: koolstofvastlegging, landgebruik, bodem, maatregelen, broeikasgasemissies, koolstofvoorraden.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.rapportbestellen.nl](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

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

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

**Alterra-rapport 2396**

Wageningen, januari 2013

# Inhoud

Samenvatting	7
Summary	9
1	11
1.1	11
1.2	12
1.3	12
2	13
2.1	13
2.2	17
3	19
3.1	19
3.2	19
3.3	22
4	27
4.1	27
4.2	27
4.2.1	27
4.2.2	28
4.3	29
4.4	32
4.5	35
5	37
5.1	37
5.2	37
5.2.1	38
5.2.2	39
5.2.3	41
5.3	42
6	47
6.1	47
6.2	48
6.3	48
6.4	49
6.4.1	49
6.4.2	50
6.5	50

7	Conclusies	53
	Referenties	55
	Appendix	59



# Samenvatting

In het Kyoto Protocol is aangegeven dat CO<sub>2</sub> ook kan worden vastgelegd door andere vormen van landgebruik dan alleen bos. Met voortgaande klimaatonderhandelingen en toenemende mitigatiedoelstellingen wordt koolstofvastlegging in landgebruik ook voor Nederland belangrijker en misschien zelfs verplicht. Daarnaast speelt koolstofvastlegging ook een belangrijke rol in de vergroening van het gemeenschappelijke landbouwbeleid (GLB). Het is daarom van belang inzicht te hebben in de potentiële koolstofvastlegging en koolstofverliezen als gevolg van landgebruik en landgebruik-veranderingen en de potentiële koolstofvastlegging door specifieke maatregelen in landbouw.

De specifieke doelstellingen van dit rapport zijn:

- het bepalen van de potentiële koolstofvastlegging en verliezen voor de belangrijkste landgebruikveranderingen in Nederland,
- het bepalen van de potentiële koolstofvastlegging voor relevante maatregelen in de Nederlandse landbouw,
- het bepalen van de koolstofvoorraden voor natuurtypen in Nederland,
- het analyseren van de huidige institutionele kaders in relatie tot koolstofvastlegging door landgebruik, waarbij zowel nationaal als Europees beleid en wetgeving wordt meegenomen.

Uit de literatuurstudie blijkt dat niet één maatregel maar een mix van maatregelen het meest effectief is om bodemkoolstofopslag te verbeteren. 'Best practices' zijn: weinig omploegen, terugbrengen van gewasresten in de bodem, dierlijke mest injecteren, geschikte rotaties en bodemleven stimuleren. Volgens een theoretische benadering zou er in principe zou 5 Mton CO<sub>2</sub> additioneel via maatregelen in de landbouw gerealiseerd kunnen worden. Dit bestaat gedeeltelijk uit het vermijden van verliezen (o.a. tegengaan scheuren grasland, waterbeheer op veengronden) en gedeeltelijk uit vastlegging van koolstof in landbouwbodems door maatregelen (o.a. betere rotaties, minder ploegen en aanvoer van extra koolstof naar de bodem).

Voor het bepalen van de potentiële koolstofvastlegging voor de belangrijkste landgebruikveranderingen is eerst een goed overzicht nodig van de huidige koolstofvoorraden in de bodem (bovenste 30 cm) voor de belangrijkste landgebruikstypen. In deze studie is een nieuwe stratificatie van de Landelijke Steekproef Kartering (LSK) data gebruikt voor het bepalen van de bestaande koolstofvoorraden in de bodem voor de voornaamste landgebruikstypen (akkerland, grasland, bos en overige natuur) en de meest voorkomende bodemtypen. De LSK database bevat gekwantificeerde bodemeigenschappen, inclusief organische stof, van ongeveer 1400 verschillende locaties en is op vijf verschillende diepten gemeten. De koolstofvoorraden zijn ook ruimtelijk expliciet gepresenteerd en de voorraden zijn gekwantificeerd en gealloceerd naar arealen en bodemtypen voor Nederland. Gebaseerd op deze data is de totale bodem C voorraad in Nederland geschat op 357 Mton C.

De bodemkoolstofvoorraden zijn niet gelijk verdeeld over landgebruik en bodemtype. Op basis van de LSK data blijkt dat op zandgronden de koolstofvoorraad hoger is onder grasland vergeleken met bos en natuur, terwijl op veengronden en de meeste kleigronden juist onder bos en natuur de hoogste koolstofvoorraad ligt. Gebaseerd op de landgebruikveranderingen tussen 1990 en 2004 en de rekenregels van de IPCC 2006 richtlijnen, blijkt dat de omzetting van grasland naar akkerland leidt tot een jaarlijkse emissie van 35,1 kton CO<sub>2</sub>, terwijl de omzetting van akkerland naar grasland leidt tot een jaarlijkse vastlegging van 34,7 kton CO<sub>2</sub>. Een andere belangrijke landgebruiksverandering is urbanisatie. Hiervoor leidt de omzetting van akkerland naar bebouwing tot een netto vastlegging van 9.6 kton CO<sub>2</sub> per jaar en de omzetting van grasland naar bebouwing

tot een netto emissie van 9.1 kton CO<sub>2</sub> per jaar. Hoewel de verandering in bodemkoolstofvoorraad niet voor alle landgebruikveranderingen is berekend, laat het resultaat voor de belangrijkste landgebruikveranderingen zien dat emissies elkaar veelal compenseren. De totale netto CO<sub>2</sub>-emissie uit minerale bodems zal dan ook rond de nul liggen, zoals Nederland nu ook naar de UNFCCC rapporteert. Veengronden hebben echter wel een hoge emissie, maar deze zijn niet verder in onze studie meegenomen.

Op basis van de literatuurstudie zijn in overleg met het ministerie van EZ zeven maatregelen gekozen die in meer detail zijn uitgewerkt, namelijk niet-kerende grondbewerking, geen grondbewerking, vanggewas/groenbemester, gewasrotatie verbeteren, gewasresten achterlaten, akkerrandenbeheer en het niet scheuren van grasland. Voor het kwantificeren van de koolstofvastlegging door mitigatie-opties in landbouw is gebruik gemaakt van de rekenregels die zijn ontwikkeld voor het MITERRA-NL rekenmodel. Dit model beoordeelt de effecten en interacties van beleid en maatregelen in de landbouw op o.a. broeikasgasemissies op regionale schaal. Het model is uitgebreid om ook de verandering van koolstofvoorraden in de bodem en biomassa te berekenen gebaseerd op de IPCC 2006 guidelines. Het MITERRA-NL model rekent op postcode 4-niveau, waardoor ruimtelijk expliciet de effecten van veranderend landgebruik en maatregelen kunnen worden geanalyseerd.

De potentie voor koolstofvastlegging in de bodem is regio-specifiek en hangt af van het gewas en bodemtype. Niet-kerende grondbewerking en verbeterde gewasrotaties hebben de grootste potentie voor koolstofvastlegging. Echter kosten en agronomische beperkingen zorgen ervoor dat het realistische mitigatie potentieel veel lager is. De totale realistische koolstofvastlegging in de landbouw wordt geschat op 0.8 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Samen met enkele niet doorgerekende maatregelen zal de maximaal haalbare koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw ongeveer 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar zijn. Dit is ongeveer 5,5% van de huidige emissies uit de sector landbouw. Dit lijkt niet veel, maar het is wel even veel als 40% van de huidige koolstofopslag in bossen. Koolstofvastlegging in de bodem kan dus zeker helpen om emissies uit de landbouw te verminderen.

In het voorstel voor het toekomstig gemeenschappelijk landbouwbeleid na 2013 is het vergroenen van de directe betalingen aan boeren via een aantal verplichte maatregelen een belangrijk onderdeel. De voorgestelde verplichte activiteiten zijn gewasdiversificatie, permanent grasland bescherming en het toekennen van ecological focus areas. Deze drie maatregelen kunnen zorgen voor additionele koolstofvastlegging en dragen daarmee bij aan klimaat- en milieudoelstellingen.

Tenslotte kan CO<sub>2</sub> ook in natuur worden vastgelegd. CO<sub>2</sub>-compensatie vindt nu vooral plaats door aanplant van bossen, maar onze studie laat zien dat ook andere natuurtypen grote koolstofvoorraden kunnen vastleggen. In deze studie hebben we een inschatting gemaakt van de koolstofvoorraad in de veertien belangrijkste natuurtypen, gebaseerd op de index Natuur en Landschap, die samen het grootste deel van het areaal aan Nederlandse natuur beslaan. Vochtige bossen hebben de grootste koolstofvoorraad per hectare, maar de grootste bodemkoolstofvoorraad ligt onder natuurlijke schraalgraslanden en rietmoeras. Voor de meeste natuurtypen is de koolstofvoorraad ondergronds vele malen hoger dan de voorraad bovengronds. De bossen vormen hierop de uitzondering.

# Summary

The Kyoto Protocol indicates that CO<sub>2</sub> can also be sequestered through other forms of land use than forest. With ongoing climate negotiations and increasing mitigation targets, carbon sequestration in land use is also important for the Netherlands and might become even mandatory. In addition, carbon sequestration plays an important role in the greening of the Common Agricultural Policy (CAP). It is therefore important to have a good understanding of the potential carbon sequestration and carbon losses from land use and land use changes and the potential carbon sequestration by specific measures in agriculture.

The specific objectives of this report are:

- To determine the potential carbon sequestration and losses for the major land use changes in the Netherlands.
- To determine the potential for carbon sequestration for relevant measures in Dutch agriculture.
- To determine the carbon stocks for nature types in the Netherlands.
- To analyse the current institutional frameworks in relation to carbon sequestration through land use, including both national and European policies and legislation.

The literature review shows that not a single measure but a mix of measures is most effective to enhance soil carbon storage. Best practices are: reduced tillage, return of crop residues to the soil, manure injection, suitable rotations and encouraging soil fauna. According to a theoretical approach, about five Mton CO<sub>2</sub> could be sequestered through additional measures in agriculture. This comprises both avoiding losses (e.g. reducing grassland renovation and improving water management on organic soils) and additional carbon sequestration in agricultural soils through measures (e.g. improved rotations, reduced tillage and supply of additional carbon to the soil).

A good overview of the current carbon stocks in soils (top 30 cm) for the main land use types is required to determine the potential carbon sequestration for the major land use changes. In this study, a new stratification of the LSK data is used to determine the existing carbon stocks in soils for the main land use types (cropland, grassland, forest and other nature) and the most common soil types. The national soil survey (LSK) database contains quantified soil properties, including soil organic matter, from about 1400 different locations measured at five different depths. The soil carbon stocks are quantified and allocated to areas and soil types for the Netherlands and presented spatially explicit. Based on these data, the total soil C stock in the Netherlands is estimated at 357 Mton C.

The soil carbon stocks are not evenly distributed over land use and soil type. The results show that in sandy soils carbon stocks are higher under grassland compared to forest and nature, while peat and most clay soils have the highest carbon stocks under forest and nature. Based on the land use changes between 1990 and 2004 and the calculation rules of the IPCC 2006 guidelines, it appears that the conversion of grassland to cropland leads to an annual emission of 35.1 kton CO<sub>2</sub>, while the conversion of cropland to pasture leads to an annual sequestration of 34.7 kton CO<sub>2</sub>. Another important land use change is urbanization, the conversion of cropland to settlement leads to a net sequestration of 9.6 kton of CO<sub>2</sub> per year, while the conversion of grassland to settlement results in a net emission of 9.1 kton of CO<sub>2</sub> per year. Although the change in soil carbon stocks has not been assessed for all land use changes, the result shows that that emissions for the main land use changes are mostly offset by other land use changes. The net CO<sub>2</sub> emission from mineral soils is therefore about zero, which the Netherlands also reports to the UNFCCC. However, organic soils have a high emission, but these are not further considered in our study.

Based on the literature review and in consultation with the Ministry of EZ seven measures were selected to be quantified in more detail, i.e. reduced tillage, zero tillage, catch crops / green manure, improved crop rotations, return crop residues, managed field margins and reduction of grassland renovation. We used the calculation rules as included in the MITERRA-NL-model for quantification of the carbon sequestration potential of the mitigation measures. The MITERRA-NL-model assesses the environmental effects and interactions, including greenhouse gas emissions, of policies and measures in agriculture on a regional scale. The model was extended to assess changes in carbon stock in soils and biomass, according to the IPCC 2006 guidelines. The MITERRA-NL model calculates at four digit postal code level, which allows for spatially explicit analysis of the effects of changing land use and mitigation measures.

The potential for soil carbon sequestration is region-specific and depends on the crop and soil type. Reduced tillage and improved crop rotations have the highest potential for carbon sequestration. However, costs and agronomic constraints make that the realistic mitigation potential is much lower. The total realistic carbon sequestration in agriculture is estimated at 0.8 Mton CO<sub>2</sub> per year. Together with some other measures that were not assessed the maximum achievable carbon sequestration in Dutch agriculture is about 1 Mton CO<sub>2</sub> per year. This is about 5.5% of the current GHG emissions from the agricultural sector. This may not seem much, but it is nevertheless 40% of the current carbon sequestration in forests. Carbon sequestration in soils can certainly help to reduce emissions from agriculture.

In the proposal for the future Common Agricultural Policy after 2013 greening of the direct payments to farmers through a number of compulsory measures is an important component. The proposed activities are mandatory crop diversification, permanent grassland protection and assignment of ecological focus areas. All three measures can provide additional carbon sequestration and thus contribute to climate and environmental goals.

Finally, CO<sub>2</sub> can also be sequestered in nature. Currently most CO<sub>2</sub> compensation occurs by planting new forests, but our study shows that also other types of nature can sequester large amounts of carbon. In this study we made an estimate of the carbon stocks in the fourteen most important nature types, based on the index Nature and Landscape, which together cover most of the Dutch nature area. Moist forests have the largest carbon stock per hectare, but the largest soil carbon stock is below natural herbaceous grasslands and reed swamps. For most nature types the belowground carbon stock is much higher compared to the aboveground stock, except for forests.

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

In december 2011 vond in Durban, Zuid-Afrika, de 'United Nations Climate Change Conference' plaats, met de 17e 'Conference of Parties' (COP). Ook al is er in Durban nog geen volledig nieuw klimaatverdrag afgesloten, wel zijn er een aantal afspraken gemaakt voor nieuwe KP regels voor de sector LULUCF (land use, land use change and forestry), waarmee er nu duidelijkheid is voor de komende 'commitment periode' 2013-2020. Daarnaast zijn ook afspraken gemaakt over o.a. een verbetering in de beslissingen voor de transparantie van de verschillende landen, een toenemende steun aan ontwikkelingslanden en een bindend advies voor de lange termijn doelen van de verschillende partijen in een op te stellen duidelijke declaratie.

Het nieuwe klimaatverdrag dat het huidige Kyoto Protocol moet opvolgen, zal na 2012 in werking moeten treden en bevat dan concrete doelen voor emissiebeperking van broeikasgassen voor 2020. Het nieuwe klimaatverdrag moet de atmosferische concentratie broeikasgassen fors beperken om daarmee, volgens het IPCC, een 50% kans te behouden op een temperatuurstijging tot maximaal 2 graden. In dat scenario zal echter nog steeds aanzienlijke schade optreden door klimaatverandering. De belangrijkste succesvoorwaarden voor het nieuwe klimaatverdrag zijn daarom zowel gericht op mitigatie en beperking van klimaatverandering als adaptatie en beperking van risico's en schade en daarnaast op verbeterde internationale samenwerking. Daarvoor zouden alle geïndustrialiseerde landen een doelstelling van 25 tot 40 procent emissiereductie tussen 1990 en 2020 moeten aanvaarden. Een belangrijk onderwerp hierbij is de emissie als gevolg van ontbossing en landgebruik en de beperking van die emissies. Een krachtig financieringsmechanisme is hiervoor een belangrijke voorwaarde.

In het Kyoto Protocol is aangegeven dat CO<sub>2</sub> mogelijk ook kan worden vastgelegd door andere vormen van landgebruik. Artikel 3.4 regelt welke emissiereducties door landbeheer wel en welke niet mee mogen tellen. Dit omvat niet alleen bebossing, maar ook andere activiteiten zoals het beheer van grasland en akkerland, hervegetatie en bosbeheer. Nederland heeft, net als vele andere landen, aangegeven nog geen gebruik te maken van Artikel 3.4 voor de huidige periode van 2008-2012. Om terugdringen van emissies uit landgebruik, vooral op het gebied van landbouw en natuurbeheer, aantrekkelijk te maken zou een nieuw verdrag daar meer handvatten voor kunnen aanreiken, onder meer door regels voor *accounting* te veranderen, passende 'incentives' te bieden en aanbevelingen te doen over monitoring en opname van effecten in nationale rapportages. De onderhandelingen over een nieuw klimaatakkoord voor de periode 2013-2020 bevestigen dat de nadruk voor deelnemende landen ligt op aandacht van de invulling van definities, modaliteiten, regels en richtlijnen voor wat betreft landgebruik, landgebruikveranderingen en bosbeheer.

Het is daarom van belang inzicht te hebben in de potentiële koolstofvastlegging en koolstofverliezen als gevolg van landgebruik en landgebruikveranderingen, en de potentiële koolstofvastlegging door specifieke maatregelen in landbouw en natuur. Internationale en Nederlandse studies hebben aangetoond dat land management een belangrijke sink (opslag) van koolstof kan zijn. Niet alleen door de aanplant van bossen, maar ook door specifieke aanpassingen in landmanagement gericht op i) verhoogde en versnelde koolstofvastlegging in bodems, ii) het vermijden van verliezen van organische stof uit de bodem, en iii) het bewaren van aanwezige voorraden, zoals vermijden van omzetting van permanente graslanden naar akkerland. Daarbij is het van groot belang te waken voor acties en maatregelen met averechtse effecten zoals veendrainage, verlies aan bodemkoolstof door bosaanplant of ingrijpend beheer van natuur met afvoer en

verlies van aanwezige (bodem)koolstof. De lange termijn netto reductie van emissies naar de atmosfeer zou maatgevend moeten zijn voor de wenselijkheid van strategie, aanpak en maatregelen.

## 1.2 Doelstelling

Het algemene doel van dit rapport is een beter inzicht en kwantificering te krijgen van de potentiële veranderingen van koolstofvoorraden in Nederlandse bodems. De specifieke doelstellingen zijn:

- het bepalen van de potentiële koolstofvastlegging en verliezen voor de belangrijkste landgebruikveranderingen in Nederland,
- het bepalen van de potentiële koolstofvastlegging voor relevante maatregelen in de Nederlandse landbouw,
- het bepalen van de koolstofvoorraden voor natuurtypen in Nederland,
- het analyseren van de huidige institutionele kaders in relatie tot koolstofvastlegging door landgebruik, waarbij zowel nationaal als Europees beleid en wetgeving wordt meegenomen.

## 1.3 Opzet rapport

Eerst wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van de huidige literatuur over potentiële koolstofvastlegging in de bodem. De belangrijkste onderzoeken worden in een tabel gepresenteerd en er wordt een overzicht gegeven van de (berekende) hoeveelheid uitstoot die gepaard gaan met de verschillende landgebruikveranderingen. Daarnaast presenteren we in dit hoofdstuk ook een theoretische schatting van de potentiële koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur.

In hoofdstuk 3 wordt de bodemkoolstof voorraad per landgebruik en landgebruikverandering bepaald. Op basis van een nieuwe classificatie van de oorspronkelijke LSK data zijn bodemkoolstofvoorraden per landgebruik-bodemtype combinatie berekend. Op basis van deze data worden de veranderingen in bodemkoolstofvoorraad voor de belangrijkste landgebruikveranderingen bepaald, gebaseerd op de gerapporteerde landgebruikveranderingen tussen 1990 en 2004.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de potentiële koolstofvastlegging voor geselecteerde maatregelen in de landbouw bepaald. Voor het kwantificeren van de koolstofvastlegging door mitigatie opties is gebruik gemaakt van het MITERRA-NL model dat rekenregels gebruikt die gebaseerd zijn op de methodologie van het IPCC. Hiermee kunnen de effecten van mitigatie maatregelen op veranderingen in de bodemkoolstofvoorraad ruimtelijk expliciet worden weergegeven.

Naast de vastlegging van koolstof in de Nederlandse landbouwbodems is ook gekeken naar de koolstofvoorraden in verschillende natuurtypen. Op basis van literatuuronderzoek en beschikbare data sets is een schatting gemaakt van de koolstofvoorraden in zowel de bodem als in de boven en ondergrondse biomassa. Dit is beschreven in hoofdstuk 5.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 een beknopt overzicht gegeven van beleidsopties, op zowel Europees als nationaal niveau, voor het stimuleren van vastleggen van bodemkoolstof. Ook worden er een aantal aanbevelingen gegeven voor verdere versterking van beleid gericht op vastlegging van koolstof in de Nederlandse bodem.

## 2 Literatuuroverzicht potentieel voor koolstofvastlegging

### 2.1 Literatuuroverzicht koolstofvastlegging

Voor een literatuuroverzicht van de huidige potentiële koolstofvastlegging in de Nederlandse bodem is gekeken naar rapporten en artikelen die uitspraken deden over de potentiële opslag van koolstof in de bodem en de gevolgen van maatregelen die genomen kunnen worden door landgebruikveranderingen. In tabel 1 wordt het overzicht van de beschikbare studies gepresenteerd. Emissies van CO<sub>2</sub> zijn uitgedrukt met een negatief teken. De waarden die gegeven worden voor landgebruikverandering betreffen een berekening voor de hoeveelheid CO<sub>2</sub> uitstoot over een jaar.

Conclusies van deze literatuur review zijn:

#### *Landbouw*

- Er zijn relatief weinig studies met gekwantificeerde verandering in C-voorraad voor Nederland.
- Er is niet één maatregel maar een mix van maatregelen die het meest effectief zijn om bodem C- opslag te verbeteren.
- 'Best practices' zijn:
  - weinig omploegen
  - terugbrengen van gewasresten in de bodem
  - dierlijke mest injecteren
  - geschikte rotaties
  - bodemleven stimuleren
- Rotaties: permanente maïs op zandgronden geeft tot 130 kg C/ha/jaar verlies, terwijl onder grasland tot 130 kg C/ha/jaar vastlegging voorkomt, volgens Blgg-gegevens.
- De hoogste koolstofvastlegging wordt toegeschreven aan kleigronden met permanent grasland.
- Het telen van tweede generatie bio-energie gewassen (meerjarige gras en houtige gewassen, zoals miscanthus en wilg) wordt nog niet als rendabel gezien. vooral door hoge startkosten

#### *Veen*

- Bij venen is potentieel de meeste koolstofvastlegging te bereiken, maar er zijn ook grote risico's voor hoge uitstoot van N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>.
- Hoge emissies van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O komen uit droge venen en hoge CH<sub>4</sub>emissie uit natte venen. De laagste uitstoot van broeikasgassen in veen is onder erg natte condities (broekbos).
- Het moderne veenweidegebied met een peil van -60 cm geeft de meeste CO<sub>2</sub>-emissie (5.2 ton C/ha/jaar).
- Een peil van 0 tot 20 cm onder maaiveld reduceert emissies sterk, maar geeft weinig vastleggingsmogelijkheden voor C (-10 tot 100 kg C/ha/jaar).

#### **Bossen**

- Bossen geven goede mogelijkheden voor C-vastlegging.
- Nadeel is de lange tijd (20-30 jaar) tot maximale C-vastlegging wordt bereikt.
- Populier en grove den zijn de voornaamste bomen voor C-vastlegging.

**Tabel 1***Literatuur-overzicht van potentiële koolstofvastlegging in Nederland*

Maatregel groep	Naam maatregel	Detail	Beperkingen	Potentiële vastlegging	Totaal potentieel NL	Indicatie kosten	Landgebruik	Literatuur
				kg C/ ha/ jaar	kton C/ jaar		akkerland, grasland, bos/natuur	
Landmanagement	'no-tillage'		Alleen over de bouwvoor	200 - 520			Akkerbouw	Westerhof et al. (2010)
Landmanagement	Beperken scheuren gras 'reduced tillage'		Scheuren in het voorjaar geeft lage kwaliteit grasmat, scheuren in het najaar zorgt voor meer uitspoeling -> N <sub>2</sub> O aanmaak	(-1788) - 0			Grasland	Dolfing et al. 2004)
Landmanagement	Bewerken gewasresten		effect niet direct meetbaar, Afhankelijk van type gewas					Westerhof et al. (2010)
Landmanagement	Bewerken met composteren en dan onderwerken		Effect niet direct meetbaar			compost: € 100,- per hectare		Westerhof et al. (2010)
Landmanagement	Rotaties van gewassen		Simulatie Blgg bodemmonsters, monsterdiepte 5 cm, zandbodems, 1984-2004, aanname grasland op zand 335000 ha	127	43		Grasland	Hanegraaf et al. (2009)



Maatregel groep	Naam maatregel	Detail	Beperkingen	Potentiële vastlegging	Totaal potentieel NL	Indicatie kosten	Landgebruik	Literatuur
				kg C/ ha/ jaar	kton C/ jaar		akkerland, grasland, bos/natuur	
Landmanagement	Rotaties van gewassen		Simulatie met Blgg bodemmonsters, monsterdiepte 5 cm gras, 25 cm maïs. Zandbodems 1984-2004	-129			Grasland-akkerbouw (gras-maïs)	Hanegraaf et al. (2009)
Landmanagement	Rotaties van gewassen		Simulatie, Blgg monsters, monsterdiepte 25 cm. Zandbodems 1984-2004	-131			Landbouw (maïsrotatie)	Hanegraaf et al. (2009)
Landmanagement	Besparen herbicide							Westerhof et al. (2010)
Landmanagement	Teelt bioenergie gewassen		Hoge teeltkosten in eerste jaar				Grasland (olifantsgras)	Muys et al. (2002)
Landmanagement	Organisch boeren t.o.v. traditioneel boeren		Gemiddelde toename netto C, modelberekeningen	300 - 450			Akkerbouw (BIOM) en Telen met Toekomst (vollegroonds groenteteelt)	Bos, J. et al. (2007)
Landmanagement	Omzetting akkerbouw naar grasland			300			Grasland-akkerbouw	Westerhof et al. (2010)
Landmanagement	Omzetting grasland naar akkerbouw			(-500) - (-300)			Grasland-akkerbouw	Westerhof et al. (2010)
<b>Optimalisering bemesting</b>								
Landmanagement	Organische mest toepassen	Na 20 jaar 20-30% meer OS dan met kunstmest, klei of zand					Akkerbouw	Rutgers et al. (2005)
<b>Veengebieden</b>								

<b>Maatregel groep</b>	<b>Naam maatregel</b>	<b>Detail</b>	<b>Beperkingen</b>	<b>Potentiële vastlegging</b>	<b>Totaal potentieel NL</b>	<b>Indicatie kosten</b>	<b>Landgebruik</b>	<b>Literatuur</b>
				kg C/ ha/ jaar	kton C/ jaar		akkerland, grasland, bos/natuur	
Waterbeheer	Waterpeil aanpassen	Peil veranderen	Gesimuleerd	-627			Grasland	Jansen et al. (2009)
Waterbeheer	Onderwaterdrainage toepassen	Drainage 10 cm onder slootpeil	Bij drooglegging tot 30 cm	545		Aanleg kost 1500 tot 2000 euro / ha	Grasland	Jansen et al. (2009)
Waterbeheer	Veen	Veen algemeen		10 - 100				Schelhaas et al. (2002)
Waterbeheer	Veen	Modern veenweidegebied	Peil op 60 cm	(-1400) - 0				Franken en Van den Born (2006)
Waterbeheer	Veen	Eindresultaat broekbos	peil 0-20 cm	300 - 3000				Franken en Van den Born (2006)
Waterbeheer	Veen							Jacobs et al. (2004)

## 2.2 Factsheet koolstofvastlegging

In onderstaande factsheet is een schatting gemaakt van de totale emissies en sinks van koolstof in landgebruik in Nederland. Op basis van deze data is ook een theoretische inschatting gemaakt van de minimaal en maximaal haalbare koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur.

### Droge stof (Mton)

Biomassa plus residuen <sup>1</sup>	<b>30</b>	(1) primaire (oogstbare) terrestrische productie in Nederland ±30 Mton droge stof op drie miljoen hectare landbouwgrond, natuur en infrastructuur (gemiddeld 10 ton per ha) waarvan ruim 90% in de landbouw.
Wortels	<b>10</b>	(2) Primaire (niet oogstbare) terrestrische productie in Nederland 10 Mton droge stof op drie miljoen hectare landbouw en natuur grond (2) (33% van (1))
Totaal	<b>40</b>	(3) Totale primaire productie (1) plus (2) ±40 Mton droge stof. Dit omvat dan ook alle netto vastlegging in bos (bos sink) = 2.5 Mton CO <sub>2</sub> = 1.4 Mton droge stof zoals nu gerapporteerd.

### Mton CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub>	<b>150</b>	(30 Mton oogstbare droge stof + 10 Mton niet-oogstbare droge stof) x 2 (netto naar bruto ecosysteem opname CO <sub>2</sub> ) = 80 Mton droge stof x 0.5 (fractie C) = 40 Mton C = 40 x 3.67 (omrekening van C naar CO <sub>2</sub> ) = 150 Mton CO <sub>2</sub> .  Deze 150 Mton CO <sub>2</sub> is ongeveer gelijk aan de totale jaarlijkse CO <sub>2</sub> emissie van fossiele brandstoffen in Nederland en is een flux van CO <sub>2</sub> die elk jaar de (bodem) ecosystemen in Nederland passeert.  Deze 150 Mton CO <sub>2</sub> wordt vrijwel geheel verademt (50% plantrespiratie, 50% bodemrespiratie) minus eventuele vastlegging (aangroei bos/hout, toename organische stof in de bodem).
-----------------	------------	---

### Mton CO<sub>2</sub> in sinks (+) en emissies (-)

Emissie veengronden	<b>-4.5</b>	4.24 Mton CO <sub>2</sub> emissie uit oxidatie van veen door drainage (wordt gerapporteerd als emissies uit grasland naar de UNFCCC).
Bos sink	<b>+2.5</b>	2.5 Mton CO <sub>2</sub> sink in bossen/hout (gerapporteerd als bos sink naar de UNFCCC)
Import biomassa <sup>1</sup>	<b>-18.5</b>	30 (bruto import) - 20 (export) = 10 Mton droge stof netto import van biomassa = 5 Mton C = 18.5 Mton CO <sub>2</sub> emissie in Nederland als gevolg van toepassing biomassa van elders in Nederland (conservatieve schatting) maar mogelijk ook deels een sink (wordt nu niet gerapporteerd)
Sink/Import	<b>+2</b>	10% van de geïmporteerde biomassa blijft achter in bodems, bijvoorbeeld door toepassing van dierlijke mest en is daarmee een sink/vastlegging in landbouwbodems (conservatieve schatting) van 2 Mton CO <sub>2</sub> per jaar.
Minimaal haalbare landbouw sink per jaar	<b>+1</b>	Minimale vastlegging in landbouw via technische maatregelen (1% van jaarlijkse bruto CO <sub>2</sub> flux in Nederland) (conservatieve schatting) is 1% van 150 of 1 Mton CO <sub>2</sub> per jaar
Maximaal haalbare landbouw sink per jaar	<b>+10</b>	Maximale vastlegging in landbouw via technische maatregelen (7% van de jaarlijkse bruto CO <sub>2</sub> flux in Nederland) (maximaal geschat potentieel met alle maatregelen effectief in alle gevallen! = theoretisch potentieel = 5% van alle Nederlandse CO <sub>2</sub> emissies)
Totale sink/emissie	<b>+5</b>	5 Mton sink in landbouw plus natuur is haalbaar; in principe worden emissies uit veengronden (-4.5 Mton) dan gecompenseerd via vastlegging in bos (+2.5) en de import van biomassa (+2); deze laatste post wordt niet expliciet meegerekend in de NIR en draagt bij aan de landbouw als <i>not a sink</i> . In principe zou additioneel +5 Mton CO <sub>2</sub> via extra maatregelen in de landbouw gerealiseerd <i>kunnen</i> worden; gedeeltelijk via vermijden van verliezen (graslandscheuren, waterbeheer op veengronden) en gedeeltelijk door vastlegging van koolstof in landbouwbodems (betere rotaties, water, energie en biochar).

<sup>1</sup> De import en export is gebaseerd op de schatting van 32.8 en 21.5 Mton droge stof per jaar (zie Rabou, L.P.L.M., E.P. Deurwaarder, H.W. Elbersen en E.L. Scott, : Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. <http://www.groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Ontwikkeling%20biomassahuishouding.pdf>



# 3 Bodem C-voorraden in relatie tot landgebruik en landgebruikveranderingen

## 3.1 Introductie

Voor de UNFCCC-conventie rapporteert Nederland dat de minerale bodems in Nederland hoogst waarschijnlijk een 'sink' (accumulatie en vastlegging) van koolstof is, maar gezien de bijbehorende onzekerheden is de grote van deze sink op nul gezet (Van den Wyngaert et al., 2009). Deze aanname is gebaseerd op studies van Reijneveld et al. (2009) en Hanegraaf et al. (2009) die beide een analyse van veranderingen in bodemkoolstof gemaakt hebben op basis bodemmonsters van het Blgg voor de periode 1984-2004. Beide studies vinden een toename van bodemkoolstof onder grasland en een kleine afname onder permanente maïsteelt. Daarnaast worden de emissies uit organische bodems apart gerapporteerd in de categorie grasland. Deze emissies zijn berekend volgens de methodologie zoals beschreven in Kuikman et al. (2005). Voor Nederland is dit met een jaarlijkse emissie van 4,25 Mton CO<sub>2</sub> een belangrijke bron van broeikasgassen. Door deze emissie is Nederland een van de weinige landen in Europa met een netto emissie in de sector LULUCF.

Voor het Kyoto Protocol (KP), waarvoor vanaf 2008 apart wordt gerapporteerd, moet de verandering in koolstofvoorraad afzonderlijk per pool en per activiteit (bijvoorbeeld ontbossing en bebossing) worden gerapporteerd. Hiervoor voldoet dus niet meer de aanname dat de Nederlandse minerale bodem een netto sink is, aangezien nu per gerapporteerde hectare ontbossing en herbebossing moet worden aangegeven hoe groot de emissie of vastlegging van koolstof is. Hiervoor is dus een andere methode nodig om rapportage mogelijk te maken onder het KP. In dit hoofdstuk wordt deze nieuwe methodologie beschreven en is een eerste analyse gemaakt van de huidige koolstofvoorraden per landgebruik en de veranderingen in koolstofvoorraden voor de belangrijkste landgebruikveranderingen.

## 3.2 Methode

De verbeterde methode voor koolstofvoorraden in minerale gronden is gebaseerd op de vorige methode zoals beschreven in de Groot et al. (2005). In die studie is een koolstofvoorraad kaart gepresenteerd op basis van de data uit de Landelijke Steekproef Kartering (LSK). De LSK is een gestratificeerde nationale steekproef, die is uitgevoerd in de periode 1990-2000. Op ongeveer 1400 locaties zijn bodemmonsters genomen op vijf verschillende diepten (Finke et al., 2001). De LSK is gestratificeerd naar grondwatertrap en bodemtype, maar landgebruik is niet meegenomen als afzonderlijke variabele, wel is het landgebruik voor het punt van de bodemprofielopname bekend. Hierdoor is de bestaande dataset niet direct geschikt voor het kwantificeren van koolstofvoorraden in de bodem onder specifiek landgebruik, wat wel noodzakelijk is voor de rapportage voor het Kyoto Protocol.

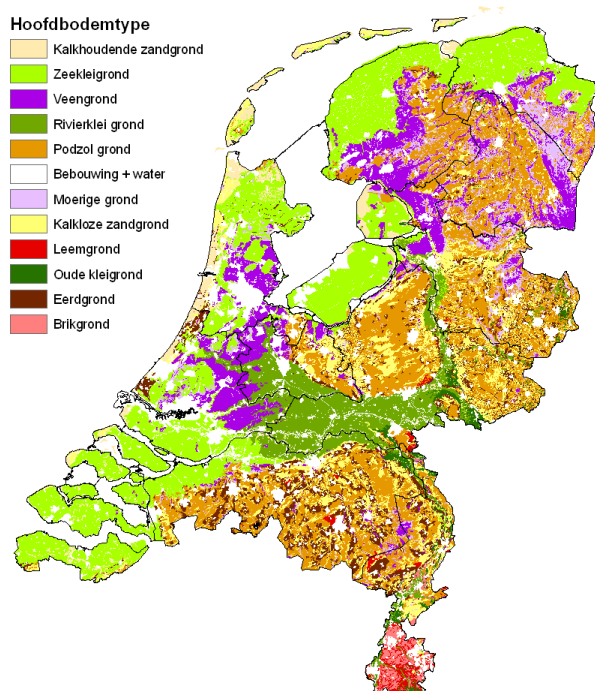
De LSK database bevat voor alle bodemmonsters gekwantificeerde bodem eigenschappen, waaronder organische stof. Gebaseerd op deze waarnemingen is de koolstofvoorraad voor de bovenste 30 cm bepaald (De Groot et al., 2005). Hiervoor is aan genomen dat het koolstofgehalte in organische stof 50% is (Kuikman et al., 2003), en de dichtheid van de bodem is vastgesteld door pedo-transfer functies voor de hoofdbodemtypen zand, klei en veen.

Voor de huidige studie zijn dezelfde data gebruikt uit de LSK database, maar geassocieerd naar nieuwe bodem-landgebruik combinaties. Voor alle individuele monsterlocaties was het landgebruik zoals deze plaatsvond tijdens de monsternamen bekend. Het landgebruik is geaggregeerd naar grasland, akkerland, bos en overige natuur. De bodemtypen voor elke bemonstering zijn geassocieerd tot de elf belangrijkste bodemtypen (figuur 2 en tabel 2). Deze bodemtypen representeren de belangrijkste variatie van organische stof in de Nederlandse bodem. Het aantal observaties voor elk bodemtype is nog steeds voldoende om representatief gemiddelde organische stof voorraden voor de belangrijkste landgebruiktypen te berekenen.

**Tabel 2**

*Belangrijke bodemtypen in Nederland en aantal observaties in de LSK database.*

Bodemtype	Oppervlakte (km <sup>2</sup> )	Aantal observaties
Brikgrond	272	32
Eerdgrond	2084	58
Oude kleigrond	387	19
Leemgrond	258	26
Kalkloze zandgrond	3793	249
Moerige grond	1914	61
Podzol grond	7393	246
Rivierklei grond	2652	111
Veengrond	3369	208
Zeekleigrond	7751	299
Kalkhoudende zandgrond	958	75
Totaal	30831	1384



**Figuur 1**

*Distributie van de belangrijkste bodemtypen in Nederland.*

De LSK dataset bevat alleen gegevens over de bodemkoolstofvoorraad voor de landgebruiken grasland, akkerland, bos en overige natuur. Voor de overig landgebruiken (moeras, bebouwing en overig land) is geen data beschikbaar in de LSK database of uit andere studies; voor deze landgebruiken zijn schattingen gemaakt, zoals hieronder is toegelicht. Vooral voor bebouwd gebied is het belangrijk om koolstofvoorraden te bepalen, aangezien dit volgens de landgebruikkaart uit 2004 bijna 17% van het totale landareaal omvat. Daarnaast is de omzetting naar bebouwd gebied één van de belangrijkste landgebruikveranderingen in Nederland (Kramer et al., 2009).

In de IPCC 2006 richtlijnen is enige sturing gegeven voor de berekeningen van de bodemkoolstofvoorraad onder bebouwing. De gemiddelde bodemkoolstofvoorraad onder bebouwing is 0,9 keer de referentie koolstofvoorraad (de hoeveelheid koolstof onder natuurlijke omstandigheden) voor een bepaald bodemtype. Dit is gebaseerd op de volgende aannamen:

- (i) Door de hoge resolutie van de landgebruikkaart in Nederland (25 x 25 meter grid) mag aangenomen worden dat een groot deel van een gridcel daadwerkelijk bedekt is met bestrating of bebouwing. Daarom wordt aangenomen dat 50% van het gebied dat geclassificeerd is als bebouwing daadwerkelijk bestraat of bebouwd is. Hiervoor geldt een koolstofvoorraad die 0,8 keer de koolstofvoorraad van het vorige landgebruik is.
- (ii) De andere 50% van het gebied bestaat grotendeels uit grasland en bos waarvoor de referentie bodemkoolstofvoorraad wordt verondersteld.

Voor de IPCC landgebruiktypen moeras (*wetland*) en bomen buiten het bos (*trees outside forest*) is dezelfde koolstofvoorraad in minerale bodems aangenomen als onder bos. Voor de IPCC landgebruikcategorie overig land (*other land*) wordt een koolstofvoorraad van 0 aangenomen. Dit is een conservatieve aanname, maar in veel gevallen realistisch, want deze categorie omvat zandverstuivingen en duinen. In bijvoorbeeld het geval van het weghalen van bos voor het creëren van stuifzandgebieden voor natuur, wordt in de praktijk de bovenste laag van de bodem weggehaald, waarbij de koolstofvoorraad verdwijnt. Tenslotte is voor een deel van de bodemkaart geen bodemtype bekend. Dit geldt vooral voor gebieden onder bebouwing. Echter voor een volledige schatting van de koolstofvoorraden moet ook voor deze gebieden een koolstofvoorraad worden toegekend. Daarom is voor het bodemtype 'onbepaald' het gewogen gemiddelde van de bodemkoolstofvoorraad van alle LSK waarnemingen voor het betreffende landgebruik toegekend.

De berekende jaarlijks koolstof flux die geassocieerd wordt met landgebruikverandering is berekend door het verschil tussen landgebruikklassen te delen door 20 jaar (IPCC-standaard).

$$E_{\min} = \frac{C_{t=20} - C_{t=0}}{t} * A_{\min\_x,t=20}$$

waarbij:

$C_{t=20}$  = de koolstofvoorraad na 20 jaar van het nieuwe landgebruik

$C_{t=0}$  = de initiële koolstofvoorraad van het vorige landgebruik

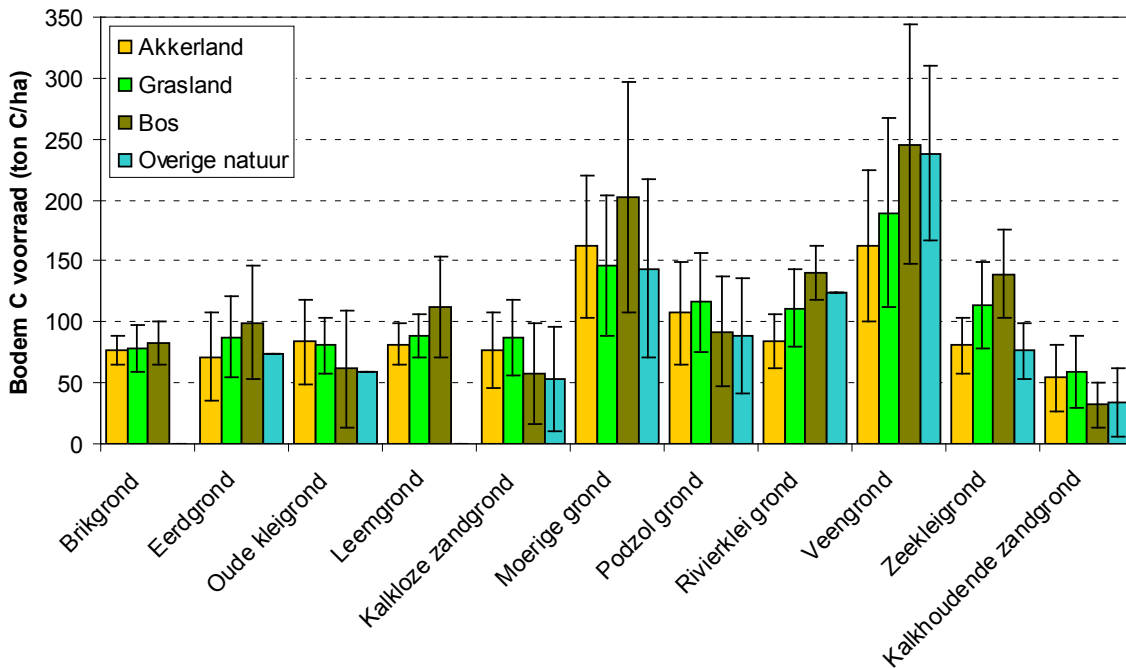
$t$  = 20 jaar

$A_{\min\_x,t=20}$  = het oppervlak minerale gronden met een bepaald landgebruik na 20 jaar

De IPCC periode van 20 jaar wordt beschouwt als een gemiddelde tijd waarbinnen zich een nieuw evenwicht in bodemkoolstofvoorraad kan instellen. In de praktijk duurt het in Nederland echter veel langer voordat een nieuw evenwicht is bereikt (Schulp en Veldkamp, 2008), aangezien het klimaat door een lagere temperatuur leidt tot lagere decompositiesnelheden.

### 3.3 Resultaat

Gebaseerd op de nieuwe bodem-landgebruik combinaties is de gemiddelde bodemkoolstofvoorraad in de bovenste 30 cm berekend voor grasland, akkerland, bos en overige natuur (figuur 2). De bodemkoolstofvoorraden zijn niet gelijk verdeeld over landgebruik en bodemtype. Onder veengronden en moerige gronden bevinden zich uiteraard de grootste koolstofvoorraden. Daarnaast is de koolstofvoorraad voor kleigronden gemiddeld hoger dan die voor zandgronden. Voor de meeste bodems is de koolstofvoorraad onder bos het grootst, echter voor de arme zandgronden (kalkloze en kalkhoudende zandgrond en podzolgrond) is de koolstofvoorraad onder bos en natuur echter lager. Dit is te verklaren door grote aanvoer van dierlijke mest op de landbouwgronden, waardoor het koolstofgehalte in de bodem met de tijd verhoogd is.

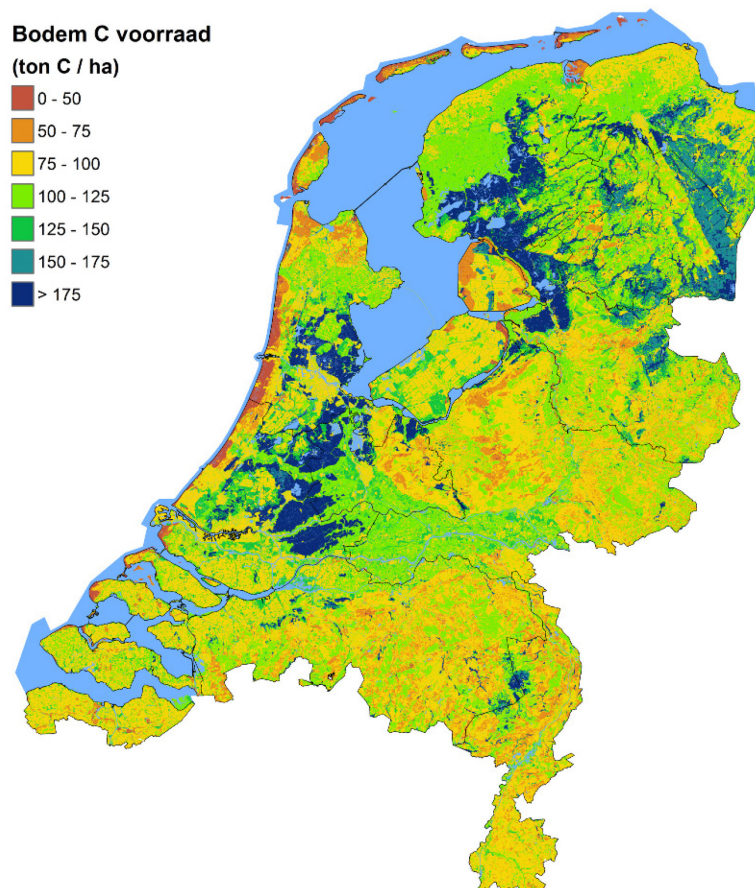


**Figuur 2**

Gemiddelde bodemkoolstofvoorraden per landgebruik (akkerland, grasland, bos en overige natuur) in combinatie met bodemtype. De foutmarges geven de standaard deviaties weer.

Figuur 3 laat de nieuwe bodemkoolstof kaart van Nederland zien, gebaseerd op het landgebruik van 2004 en de koolstofvoorraden per bodemtype-landgebruik combinatie uit de LSK database. De grootste voorraden komen voor in de veengebieden (Friesland en West-Nederland), terwijl de bodems in duingebieden en op de zandgronden op de Veluwe weinig koolstof hebben. In tabel 2 staan de totale bodemkoolstofvoorraden per landgebruik. De grootste voorraad ligt onder grasland (171 Mton C) gevolgd door akkerland (88 Mton C). Gemiddeld voor Nederland is de bodem C-voorraad onder grasland 28 ton C per hectare groter dan onder akkerland. De grootste hoeveelheid C per hectare ligt echter onder moeras (153 ton C/ha) aangezien het overgrote deel hiervan veengronden zijn.





**Figuur 3**

*Kaart van de bodemkoolstofvoorraad van de bovenste 30 cm. Deze is gebaseerd op de overlay van de landgebruikkaart van 2004 en de gemiddelde bodemkoolstofvoorraad per bodemtype-landgebruik combinatie uit de LSK database.*

De totale bodem C-voorraad is met 357 Mton C iets hoger dan de schatting van De Groot et al. (2005), die gebaseerd op de IPCC Tier 1 methodologie kwamen op een totale C voorraad van 336 Mton in de bovenste 30 cm, gebaseerd op landgebruik uit 2000. In Kuikman et al. (2003) was de totale C-voorraad in de bovenste 30 cm van de bodem geschat op 286 Mton C. Deze schatting was ook gebaseerd op de data van de LSK, maar in deze studie was het areaal waarvoor de bodemkaart geen data heeft, het bebouwd gebied, niet meegenomen.

**Tabel 3**

Totale bodemkoolstofvoorraad per landgebruik.

Landgebruik	Areaal 1000 ha	Totale bodem C voorraad Mton C	Gemiddelde bodem C voorraad ton C/ha
Grasland	1408	171	122
Akkerland	940	88	94
Bos	392	38	96
Moeras	27	4	153
Bebouwing	566	55	97
Overig	37	0	0
Totaal	3370	357	106

Voor de rapportage van broeikasgasemissies voor het Kyoto Protocol zijn voor de minerale gronden alleen de koolstofvastlegging en emissies door ontbossing en (her)bebouwing van belang. In Van den Wyngaert et al. (2011) staat de berekening van deze emissies beschreven, die is gebaseerd op dit huidige rapport. Voor de nationale broeikasgasemissie-rapportage voor de UNFCCC, die alle landgebruikveranderingen omvat, wordt nog geen gebruik gemaakt van de nieuwe methodologie. Voor dit rapport hebben we echter al wel de netto koolstofemissie en -vastlegging uitgerekend voor de belangrijkste landgebruikveranderingen in Nederland. In tabel 4 staat de landgebruiksmatrix voor de periode 1990-2004. Gebaseerd op deze tabel zijn de qua areaal belangrijkste landgebruiksveranderingen geselecteerd, waarvoor de verandering in bodemkoolstofvoorraad is berekend (tabel 5).

**Tabel 4**

Landgebruikverandering matrix (in ha/jaar) gebaseerd op de periode 1990-2004 (Kramer et al., 2009).

2004	1990						Totaal
	Bos	Akkerland	Grasland	Moeras	Bebouwing	Overig	
Bos		1040	1610	87	181	46	2964
Akkerland	115		14042	43	116	1	14316
Grasland	1279	12628		649	785	182	15523
Moeras	130	487	1332		99	184	2233
Bebouwing	716	5842	5590	203		45	12395
Overig	58	14	65	199	9		345
Totaal	2297	20012	22639	1181	1189	459	47776

De omzetting van grasland naar akkerland en van akkerland naar grasland is qua areaal de belangrijkste landgebruikverandering en leidt tot de grootste veranderingen in bodemkoolstofvoorraden. Echter de netto CO<sub>2</sub>-emissie is bijna nul, aangezien de omzetting van grasland naar akkerland leidt tot een jaarlijkse emissie van 35,1 kton CO<sub>2</sub>, terwijl de omzetting van akkerland naar grasland leidt tot een jaarlijkse vastlegging van 34,7 kton CO<sub>2</sub>. Een andere belangrijke landgebruiksverandering is urbanisatie, hiervoor leidt de omzetting van akkerland naar bebouwing tot een netto vastlegging van 9.6 kton CO<sub>2</sub> per jaar en de omzetting van grasland naar bebouwing tot een netto emissie van 9.1 kton CO<sub>2</sub> per jaar. Zowel voor (her)bebouwing als ontbossing is er een netto vastlegging van koolstof in de bodem. Dit kan worden verklaard doordat ontbossing vooral plaatsvindt op de armere zandgronden waar de koolstofvoorraden onder grasland en akkerland hoger zijn,

terwijl (her)bebossing relatief meer plaatsvindt op kleigronden (bijvoorbeeld in de Flevopolders), waar de koolstofvoorraad onder bos hoger is, zie ook van den Wyngaert et al. (2011).

**Tabel 5**

*Verandering in bodemkoolstofvoorraad (ton C/jaar) en CO<sub>2</sub> emissie (negatieve emissie is vastlegging) voor de belangrijkste landgebruikveranderingen gebaseerd op de periode 1990-2004.*

	Akkerland naar bebouwing	Grasland naar akkerland	Grasland naar bebouwing	Akkerland naar grasland	Bos naar grasland	Bos naar bebouwing	Grasland naar bos	Akkerland naar bos
Brikgrond	-9	-14	-10	14	-1	-1	1	2
Eerdgrond	631	-1000	46	942	-20	-14	26	47
Kalkhoudende zandgrond	-135	-69	-82	48	27	-1	-55	-11
Kalkloze zandgrond	-609	-1017	-997	764	258	-23	-333	-77
Leemgrond	40	-43	24	44	-21	-4	25	13
Moerige grond	261	779	488	-715	-111	-10	165	209
Oude kleigrond	-105	35	-83	-28	10	-1	-16	-9
Podzol grond	-1257	-1668	-1865	1345	386	-68	-470	-192
Rivierklei grond	840	-2056	532	1329	-72	-17	165	68
Zeekleigrond	3135	-4410	519	5334	-168	-28	167	670
Onbepaald	-164	-104	-1046	385	143	-59	-98	10
Totaal	2630	-9566	-2473	9464	430	-226	-422	731
Emissie (kton CO <sub>2</sub> /jaar)	-9,6	35,1	9,1	-34,7	-1,6	0,8	1,5	-2,7

Alle voorgaande resultaten gelden echter alleen voor de minerale bodems, waarbij veenbodems niet zijn meegenomen. Op de veengronden treden echter broeikasgasemissies op door oxidatie van het veen, waardoor deze bodems een netto broeikasgasemissie hebben, zie Kuikman et al. (2005) en Van den Wyngaert et al. (2011). Hoewel de verandering in bodemkoolstofvoorraad niet voor alle landgebruikveranderingen is berekend, laat het resultaat voor de belangrijkste landgebruikveranderingen (tabel 5) wel zien dat de netto CO<sub>2</sub>-emissie voor bepaalde landgebruikveranderingen gecompenseerd wordt door netto CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem voor andere landgebruikveranderingen. De totale netto CO<sub>2</sub>-emissie uit minerale bodems zal dan ook rond de nul liggen, zoals Nederland nu ook naar de UNFCCC rapporteert.



# 4 Potentieel voor koolstofvastlegging in de bodem door maatregelen

## 4.1 Introductie

Het literatuuroverzicht van hoofdstuk 2 laat zien dat er veel verschillende maatregelen zijn om koolstofvastlegging in de bodem te bevorderen. In Kuikman et al. (2004) is een overzicht gegeven van potentiële maatregelen die in Nederland toegepast kunnen worden met de prioriteit voor het Kyoto Protocol artikel 3.4. Westerhof et al. (2010) geven ook een overzicht en beschrijving van maatregelen die onder andere het verlies aan organische stof in de bodem tegengaan. Dat rapport richt zich op maatregelen die binnen en buiten het bodembeleidsveld genomen kunnen worden in de transitie naar een duurzaam bodembeheer, waaronder het herstellen en tegengaan van verlies van organische stof.

Op Europees niveau is binnen het PICCMAT-project<sup>1</sup> voor een selectie van maatregelen doorgerekend wat het mitigatie potentieel is, zowel voor koolstofvastlegging als het tegengaan van lachgasemissies (Lesschen et al., 2008a). Gebaseerd op deze Europese studie en de voorgenoemde overzichten van mogelijk maatregelen binnen Nederland, is een selectie gemaakt van zeven maatregelen die toegepast kunnen worden in de Nederlandse landbouw. De volgende maatregelen zijn geselecteerd: niet-kerende grondbewerking, geen grondbewerking, vanggewas/groenbemester, gewasrotatie verbeteren, gewasresten achterlaten, akkerrandenbeheer en het niet scheuren van grasland. Deze selectie is gebaseerd op de potentie voor koolstofvastlegging in de bodem en de mogelijkheid om de maatregel te parameteriseren in het MITERRA-NL-model. De geselecteerde maatregelen zijn in hoofdstuk 4.3 verder beschreven. Voor de definitie van niet-kerende grondbewerking en geen grondbewerking is uitgegaan van Van der Weide et al. (2008).

## 4.2 Methode

### 4.2.1 Beschrijving MITERRA-NL

De berekening voor het potentieel voor koolstofvastlegging in de bodem door maatregelen is uitgevoerd met het MITERRA-NL rekenmodel. Dit model is gebaseerd op het MITERRA-Europe model, waarmee stikstof- en fosfaatoverschotten, emissies van stikstof naar water, ammoniak- en broeikasgasemissies uit de landbouw en bodemkoolstofvoorraden berekend kunnen worden (Velthof et al., 2009; Lesschen et al., 2011). Het model rekent op regionale schaal (NUTS-2; provincieniveau) voor de EU-27 landen. Voor MITERRA-NL is de rekenmethodiek verbeterd en verfijnd en wordt meer gedetailleerde en Nederland specifieke data gebruikt (Lesschen et al., 2009; Van der Hilst et al., 2012). MITERRA-NL rekent op 4-cijferig postcodeniveau en gebruikt gedetailleerde statistische gegevens en de digitale kaarten van landgebruik, grondsoorten en grondwatertrappen in Nederland. MITERRA-NL volgt de methodologie volgens de IPPC 2006-richtlijnen voor de berekening van broeikasgasemissies en veranderingen in bodemkoolstofvoorraad.

---

<sup>1</sup> <http://www.climatechangeintelligence.baastel.be/piccmat/index.php>

De belangrijkste invoergegevens zijn gewasarealen uit de Basis Registratie Percelen (BRP) van 2007 en dieraantallen uit het Geografisch Informatie Agrarische Bedrijven (GIAB) bestand van 2006. Beide data bronnen zijn geaggregeerd naar viercijferig postcodeniveau. In totaal worden in MITERRA-NL 35 diercategorieën en 38 gewascategorieën (waaronder drie typen grasland) onderscheiden. Gewasopbrengsten zijn afgeleid uit de oogstraming statistiek van het CBS op provincieniveau.

#### 4.2.2 Berekening bodemkoolstofvoorraad

MITERRA-NL heeft een module om veranderingen in bodem C als gevolg van landgebruikveranderingen of maatregelen te berekenen. De methode is gebaseerd op de Tier 2-benadering zoals beschreven is in de IPCC 2006 richtlijnen (IPCC, 2006). Hierbij wordt een bodem C-voorraad berekend afhankelijk van de referentie hoeveelheid C in de bodem en een aantal factoren die het landgebruik, de grondbewerking en de aanvoer van organische C naar de bodem bepalen. De hoeveelheid bodem organische koolstof (SOC) wordt als volgt berekend:

$$SOC = SOC_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I \quad (1)$$

waarin

- $SOC_{REF}$  = referentie bodem C-voorraad (ton C ha<sup>-1</sup>)
- $F_{LU}$  = factor voor landgebruik
- $F_{MG}$  = factor voor grondbewerking
- $F_I$  = factor voor organische C-aanvoer

$SOC_{REF}$  is de referentie C-voorraad van de bovenste 30 cm, die de hoeveelheid C in een bodem onder natuurlijke omstandigheden is voor een bepaald bodemtype en klimaatzone. Hiervoor is per bodemtype het gewogen gemiddelde van de LSK-data onder bos en overige natuur berekend (zie hoofdstuk 3). Daarna is per viercijferig postcodegebied de areaal gewogen gemiddelde  $SOC_{REF}$  van de voorkomende bodemtypen (exclusief veengronden) berekend.

In tabel 6 staan de waarden van de verschillende bodem C-veranderingsfactoren zoals deze in MITERRA-NL zijn gebruikt. Deze factoren zijn gebaseerd op de IPCC 2006-richtlijnen voor gematigde klimaatzones en zijn afgeleid uit een wereldwijde database van langdurende veldexperimenten. Voor elk van de 38 gewascategorieën is daarna bepaald welke waarde voor  $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  en  $F_I$  van toepassing is op het huidige meest voorkomende beheer.

Voor het berekenen van het effect van de maatregelen op de bodem C-voorraad zijn de bodem C-veranderingsfactoren aangepast voor elke maatregel. Met de nieuwe factoren is de bijbehorende bodem C-voorraad berekend. Het verschil is daarna gedeeld door 20 jaar, de standaard periode die IPCC hanteert voor het instellen van een nieuw evenwicht in bodem C-voorraad, en vermenigvuldigd met de factor 44/12 om de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-vastlegging te berekenen.

**Tabel 6**

Relatieve bodem C-veranderingsfactoren voor akkerland en grasland in MITERRA.

Landgebruik en beheer	Landgebruik (F <sub>LU</sub> )	Grondbewerking (F <sub>MG</sub> )	C aanvoer (F <sub>i</sub> )
Grasland			
Intensief beheerd grasland	1.00	1.14	1.11
Extensief beheerd grasland	1.00	1.14	1.00
Natuurlijk grasland	1.00	1.00	1.00
Landgebruik			
Eenjarige gewassen	0.69		
Meerjarige gewassen	1.00		
Braak land	0.82		
Grondbewerking			
Volledig grondbewerking		1.00	
Niet-kerende grondbewerking		1.08	
Geen grondbewerking		1.15	
Koolstof aanvoer			
Lage aanvoer			0.92
Gemiddelde aanvoer			1.00
Hoge aanvoer zonder dierlijke mest			1.11
Hoge aanvoer met dierlijke mest			1.44

### 4.3 Beschrijving en parameterisatie van maatregelen

#### *Niet-kerende grondbewerking*

Bij niet-kerende grondbewerking wordt de bodem met schijven, tanden of woelers oppervlakkig gescheurd en verkruid, waardoor de bovengrond los en kruimelig wordt, en er een groot aandeel van gewasresten aan de oppervlakte blijft. Dit wordt ook wel minimale grondbewerking, 'reduced tillage' of 'conservation tillage' genoemd. De maatregel zorgt voor gezondere bodemfauna, betere bodemstructuur en minder verdichting. Over het algemeen stimuleert ploegen de afbraak van organische stof door beluchting van de bodem, de fysieke afbraak van gewasresten en de verstoring van bodemleven. Niet-kerende grondbewerking vermindert dus de afbraak van organische stof en verbetert het bodemleven en de bodemstructuur. Verminderde grondbewerking brengt echter ook risico's met zich mee, omdat gewasresten op het land blijven liggen en dat kan leiden tot een verhoogd risico op bovengrondse pathogenen. Zie voor verdere beschrijving ook Van der Weide et al. (2008).

Niet-kerende grondbewerking kan niet voor alle akkerbouw gewassen worden toegepast, bijvoorbeeld voor knolgewassen en bieten is dit niet mogelijk. Voor de volgende gewassen is aangenomen dat niet-kerende grondbewerking in principe wel mogelijk zou moeten zijn: tarwe, gerst, maïs (incl. snijmaïs), rogge, haver, triticale, overige granen, bonen, luzerne en koolzaad. Voor deze gewassen verandert voor deze maatregel de F<sub>MG</sub> factor van 1.00 naar 1.08.

#### *Geen grondbewerking*

Bij 'geen grondbewerking' wordt met speciale machines rechtstreeks gezaaid in de stoppels, door smalle sleuven te snijden waar het zaad in valt, dit wordt ook wel 'zero tillage' of 'no-till' genoemd. Door vooruitgang in technieken voor onkruidbestrijding is het nu mogelijk om gewassen te verbouwen zonder ploegen. Vaak moeten hiervoor ook andere onderdelen van het teeltsysteem worden aangepast. Over het algemeen

stimuleert ploegen de afbraak van organische stof door beluchting van de bodem, de fysieke afbraak van gewasresten en de verstoring van bodemleven. Geen grondbewerking vermindert dus de afbraak van organische stof en verbetert het bodemleven en de bodemstructuur. Zie voor verdere beschrijving ook Van der Weide et al. (2008).

Voor 'geen grondbewerking' is aangenomen dat dit voor dezelfde gewassen mogelijk is als voor niet-kerende grondbewerking. In dit geval verandert voor deze gewassen de  $F_{MG}$  factor van 1.00 naar 1.15. Echter in de praktijk zal 'geen grondbewerking' minder makkelijk toepasbaar zijn, vanwege benodigde nieuwe apparatuur, het niet passen binnen een gewasrotatie en onkruiddruk. Voor de inschatting van een realistische implementatiegraad is hiermee rekening gehouden.

### ***Vanggewas / groenbemester***

De teelt van vanggewassen / groenbemesters na of tussen het hoofdgewas heeft verschillende voordelen: het organisch stofgehalte in de bodem neemt toe, er spoelen minder nutriënten uit, nutriënten komen geleidelijk beschikbaar, minder (kunst)mest nodig, toename van het bodemleven, tegengaan van erosie en verbetering bodemstructuur. Volgens het besluit gebruik meststoffen zijn boeren op zand- en lössgronden na de teelt van maïs verplicht direct gebruik te maken van groenbemesters als vanggewas in de winter. Het gebruik van groenbemesters na granen valt onder de goede landbouwpraktijken. Het inzaaien van stikstofvanggewassen is bedoeld om het overschot aan N in de bodem in de bouwvoor vast te houden en N-uitspoeling te voorkomen. Hierdoor is minder kunstmest nodig wat leidt tot vermindering van de  $N_2O$  emissie. Echter bij onderploegen komt ook weer  $N_2O$  vrij dat de winst gedeeltelijk teniet kan doen. Vaak worden de vanggewassen echter laat ingezaaid, waardoor de N-opname relatief laag is.

Een vanggewas / groenbemester kan niet altijd worden toegepast, bijvoorbeeld voor gewassen die laat in het seizoen geoogst worden zoals suikerbieten. Voor de volgende gewassen is aangenomen dat er in principe een vanggewas / groenbemester gebruikt zou kunnen worden: zomertarwe, zomergerst, snijmaïs, maïs, triticale, rogge, haver, overige granen, aardappelen, uien en bloembollen. Echter in de praktijk zal het in veel gevallen toch niet mogelijk zijn om een vanggewas toe te passen door logistieke problemen of weersomstandigheden. Daarom is aangenomen dat op 50% van het areaal van de voorgenoemde gewassen ook daadwerkelijk een vanggewas / groenbemester mogelijk is. In die gevallen verandert de  $F_1$ -factor van laag naar gemiddeld (0.92 naar 1.00) of van gemiddeld naar hoog (1.00 naar 1.11), waarmee de extra aanvoer van organische C wordt gesimuleerd.

### ***Gewasrotaties verbeteren***

Deze maatregel omvat het inbrengen van verschillende gewassen in een rotatie (bouwplan). Een ruime(re) vruchtwisseling en het opnemen van (meer) gewassen in het bouwplan die economisch minder goed renderen kan het organische stofgehalte verbeteren. Hierbij kan gedacht worden aan het minder frequent telen van rooigewassen, het (tijdelijk) braakleggen van land (inzaaien met gras) of de teelt van meerjarige gewassen (bijvoorbeeld luzerne). Een minder intensief bouwplan betekent dat in de bodem een natuurlijker evenwicht ontstaat, dat goed is voor het organisch stofgehalte. Daarnaast kan het ook het bodemleven verbeteren en erosie en verdichting tegengaan. Deze maatregel wordt ook gesimuleerd door een verhoging van de organische C-aanvoer te modelleren door de  $F_1$  factor te veranderen van laag naar gemiddeld (0.92 naar 1.00) of van gemiddeld naar hoog (1.00 naar 1.11).

### ***Gewasresten achterlaten***

Vaak worden gewasresten, vooral van granen, van het land verwijderd om te worden gebruikt als strooisel in stallen, veevoer of energiebron. Over het algemeen zal het achterlaten van gewasresten een positieve invloed hebben op het organische stofgehalte, maar dit is afhankelijk van het soort gewas en de grondsoort. De bedekking van de bodem met gewasresten in de winter vermindert ook het risico op erosie en gaat verdichting van de bodem tegen. Door het inwerken van gewasresten is er wel een hoger risico op lachgasemissies. De



effectiviteit van de maatregel voor organische stof hangt af van het type gewas. Over het algemeen worden gewasresten met een hogere CN-ratio minder makkelijk afgebroken, bietenloof wordt bijvoorbeeld sneller afgebroken dan stro.

Deze maatregel is alleen doorgerekend voor gewassen waarvan een groot deel van de gewasresten achtergelaten kunnen worden. Snijmaïs is dus bijvoorbeeld niet meegenomen, omdat hier nauwelijks gewasresten overblijven. Ook deze maatregel wordt gesimuleerd door een verhoging van de organische C aanvoer te modelleren door de  $F_I$  factor te veranderen van laag naar gemiddeld (0.92 naar 1.00) of van gemiddeld naar hoog (1.00 naar 1.11).

### ***Akkerrandenbeheer***

Akkerrandenbeheer heeft diverse positieve effecten, waaronder toename van organische stof, aangezien deze randen niet meer worden geploegd. Daarnaast is er minder afspoeling van nutriënten en pesticiden naar het oppervlaktewater, aangezien de akkerrand niet bemest en bespoten wordt. Ook verhogen de akkerranden de biodiversiteit, door zowel planten als insecten die worden aangetrokken en kunnen op die manier ook zorgen voor een natuurlijke plaagbestrijding.

De gemiddelde grootte van landbouwpercelen in Nederland is ongeveer 2,5 hectare. In Flevoland, Groningen en Zeeland, de provincies met veel akkerbouw, zijn er veel percelen die groter zijn dan 5 hectare (Rienks et al., 2009). Aangezien deze maatregel betrekking heeft op de akkerbouw gaan we uit van een gemiddelde perceelgrootte van 5 hectare met aan twee zijden een akkerrand van 3 meter breed. Dit leidt dan tot een gemiddelde oppervlakte van de akkerrand van 3% van het perceelareaal, afhankelijk van de lengte en breedte. In de huidige GLB-discussie wordt echter voorgesteld om zogenaamde 'ecological focus areas' in te stellen die 7% van het areaal zouden moeten beslaan, dus het mitigatiepotentieel van deze maatregel zou groter kunnen zijn dan wat is doorgerekend. Voor deze akkerrand nemen we aan dat hier geen bemesting plaats vindt en dat deze niet geploegd wordt. De bijbehorende koolstofvoorraad voor dit areaal is dan gelijk aan die van natuurlijk grasland (dus zowel  $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  en  $F_I$  hebben de waarde 1.00).

### ***Niet scheuren grasland***

Graslandvernieuwing vindt vooral plaats om de kwaliteit en productie van het gras te verhogen. Daarnaast is er ook behoefte aan 'vers land' bij akkerbouwbedrijven, vooral voor aardappels, om te voldoen aan een goede rotatie. Echter het scheuren van grasland of rotaties met akkerbouwgewassen leidt tot een verlies aan bodemkoolstof. Daarnaast komt ook veel stikstof in de bodem vrij, waardoor het risico op nitraatuitspoeling en  $N_2O$  emissie toeneemt. Maatregelen die worden genomen om de hoge  $N_2O$ -emissie na het scheuren van grasland te beperken zijn minder kunstmest toedienen (is al de praktijk), scheuren in het voorjaar (is al verplicht op zandgrond) of niet meer scheuren of uitstellen van scheuren.

Vanaf de 1970 is graslandvernieuwing sterk toegenomen en bedraagt nu ongeveer 100 duizend hectare per jaar (ongeveer 10% van het totale grasland areaal). De verschillen tussen de jaren zijn echter groot door verschillen in weersomstandigheden (Velthof, 2005). Uit berekeningen van Aarts et al. (2002) volgt dat op zand-, klei- en veengrond gemiddeld respectievelijk om de 5, 10 en 30 jaar grasland wordt vernieuwd. Doorzaai (dus zonder grondbewerking) gebeurt in 10% van de graslandvernieuwingen, terwijl herinzaai en inzaaien na een ander gewas beide ongeveer in 45% van de graslandvernieuwingen vormen.

Voor het berekenen van het effect op de bodem C-voorraad door de maatregel niet scheuren van grasland is een versimpeling aangenomen, waarbij we er vanuit zijn gegaan dat al het tijdelijk grasland permanent grasland wordt. Dit betekent dat de C-veranderingsfactoren worden aangepast van  $F_{LU} = 0.69$ ,  $F_{MG} = 1.08$  en  $F_I = 1.44$  voor tijdelijk grasland naar  $F_{LU} = 1.00$ ,  $F_{MG} = 1.14$  en  $F_I = 1.11$  voor permanent grasland. Dit komt uiteindelijk overeen met een toename in bodem C van 18% over de 20 jaar evenwichtsperiode .

## 4.4 Resultaat potentieel voor koolstofvastlegging

Voor alle zeven maatregelen is het effect van volledige implementatie, dus voor zover technisch haalbaar, op de bodem C-voorraad doorgerekend voor alle postcodegebieden. In tabel 7 is in de tweede kolom deze maximale potentiële CO<sub>2</sub>-vastlegging weergegeven. Geen grondbewerking en verbeteren gewasrotaties hebben de hoogste potentie voor koolstofvastlegging met bijna 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Op hectare basis is echter het niet scheuren van grasland het meest effectief, met een potentiële vastlegging van 3,6 ton CO<sub>2</sub> per hectare per jaar. Het totale potentieel voor CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem voor deze zeven maatregelen is 2,3 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Dit is minder dan de som van de individuele maatregelen, aangezien niet alle maatregelen tegelijkertijd kunnen worden toegepast.

Echter dit maximale potentieel is vaak niet haalbaar. Aan de ene kant zullen maatregelen door te hoge kosten of door agronomische en logistieke beperkingen niet worden gebruikt. Geen grondbewerking zal bijvoorbeeld slechts door een deel van de boeren worden toegepast, en vanwege gewasrotaties met aardappelen en suikerbieten kan dit ook niet overal. Aan de andere kant wordt een deel van de maatregelen nu al toegepast, bijvoorbeeld gewasrotaties zullen in veel gevallen al optimaal zijn en ook vanggewassen zijn nu al verplicht bij snijmaïs. Daarom is voor elke maatregel ingeschat in hoeverre de maatregel nog realistisch geïmplementeerd kan worden (zie derde kolom in tabel 7). Dit leidt tot een veel lager potentieel voor CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem van 0,8 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Samen met enkele niet doorgerekende maatregelen zal de maximaal realistisch haalbare CO<sub>2</sub>-vastlegging in de Nederlandse landbouw ongeveer 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar zijn. Dit is ongeveer 5,5% van de huidige emissies uit de sector landbouw. Dit lijkt niet veel, maar het is echter wel 40% van de huidige koolstofvastlegging in bossen. Koolstofvastlegging in de bodem kan dus zeker helpen om emissies uit de landbouw te verminderen.

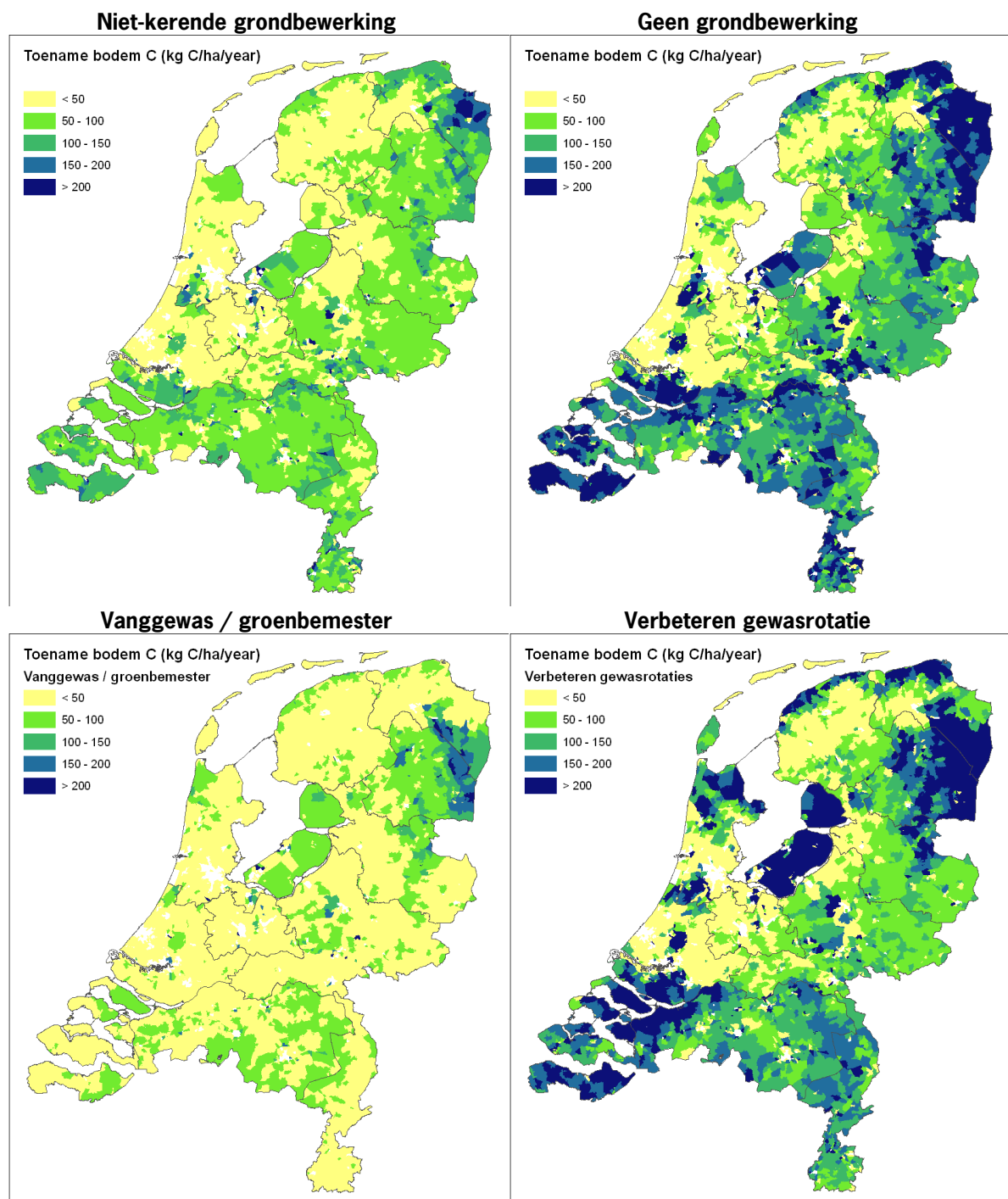
**Tabel 7**

*Berekende potentieel voor CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem voor de zeven geselecteerde maatregelen.*

Maatregel	Max. potentieel kton CO <sub>2</sub> / jaar	Implementatie %	Realistisch kton CO <sub>2</sub> / jaar	Max. per ha kg CO <sub>2</sub> / ha / jaar
Niet-kerende grondbewerking	475	50	238	608
Geen grondbewerking	912	20	182	1167
Vanggewas / groenbemester	311	50	156	398
Verbeteren gewasrotaties	942	20	188	1205
Gewasresten achterlaten	628	20	126	803
Akkerrandenbeheer	145	40	58	186
Niet scheuren grasland	710	30	213	3586
Totaal realistische combinaties	2270		790	2316

De potentie voor koolstofvastlegging in de bodem is regio-specifiek en hangt af van het gewas en bodemtype. Figuur 4 en figuur 5 geven voor de afzonderlijke maatregelen weer hoe groot de maximale potentie voor C-vastlegging in de bodem is. Alle kaarten hebben dezelfde legenda en zijn daardoor direct te vergelijken. Over het algemeen is bij de meeste maatregelen de potentiële C-vastlegging het hoogst in de gebieden met kleigronden (Flevoland en Zeeland) en in de Veenkoloniën. Dit komt enerzijds doordat het aandeel akkerbouw in deze gebieden groter is, maar ook is de potentiële C-vastlegging op kleigronden hoger dan op zandgronden.

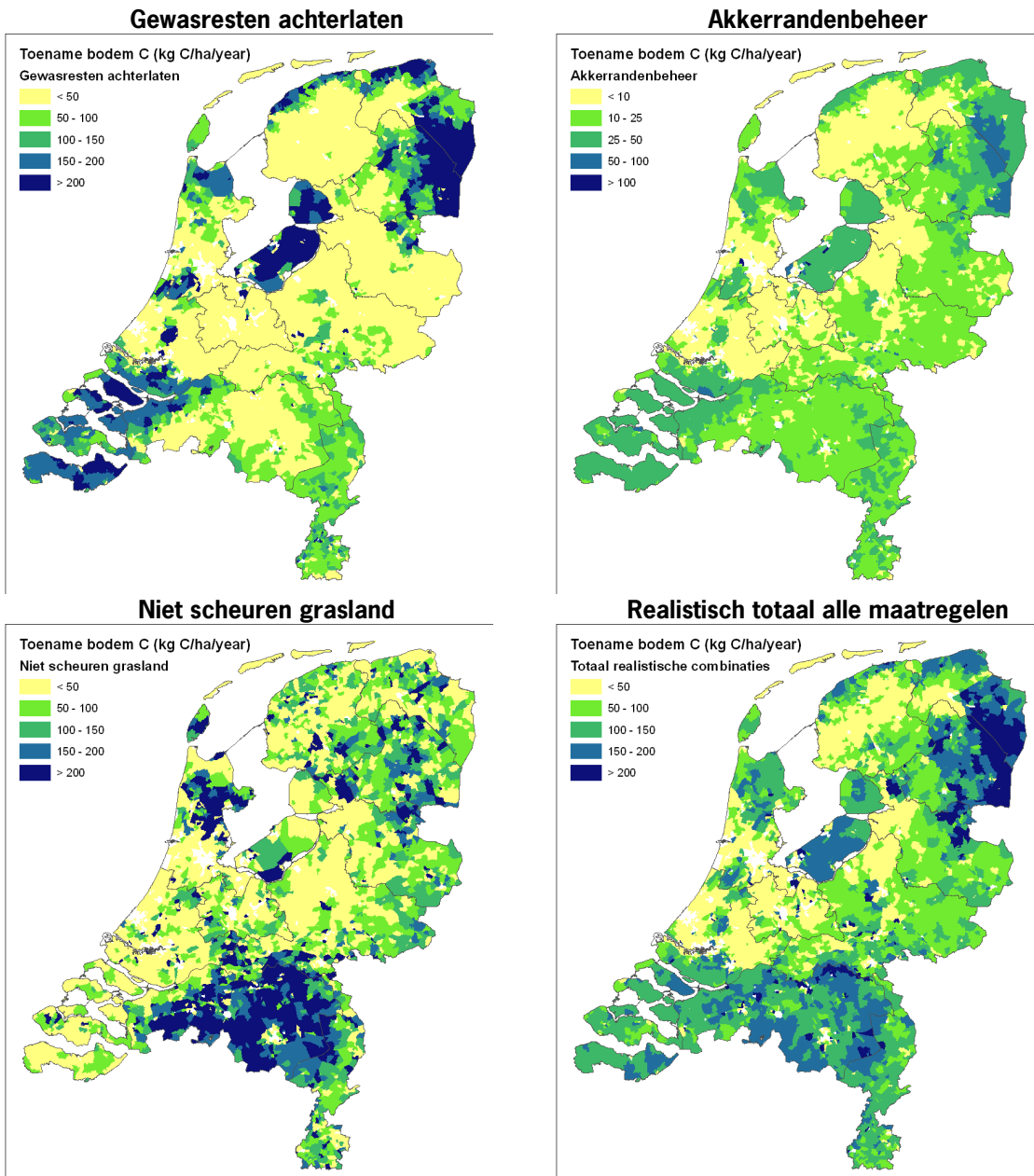
Voor het niet scheuren van grasland is juist vooral in Noord-Brabant de potentiële C-vastlegging het hoogst, aangezien daar veel tijdelijk grasland voorkomt.



**Figuur 4**

Distributie van de potentie voor bodem C-vastlegging voor niet-kerende grondbewerking, geen grondbewerking, vanggewas/groenbemester en verbeteren gewasrotatie.

De laatste kaart in figuur 5 laat zien hoe het geschatte realistische potentieel voor C-vastlegging in landbouwbodems over Nederland verdeeld is. De hoogste potentie ligt dan in de Veenkoloniën, aangezien daar veel landbouw is en de referentie C-voorraad hoog is. Het blijft echter wel de vraag of in deze voormalige hoogveengronden daadwerkelijk deze C-vastlegging kan worden behaald, aangezien de natuurlijke omstandigheden waaronder deze bodems destijds zijn ontstaan niet meer zijn te realiseren. Verder valt op dat in Noord-Brabant een behoorlijke C-vastlegging in de bodem mogelijk moet zijn, vooral door het niet scheuren van grasland.



**Figuur 5**  
Distributie van de potentie voor bodem C-vastlegging voor gewasresten achterlaten, akkerrandenbeheer en niet scheuren grasland en het realistische totaal van alle zeven maatregelen samen.

## 4.5 Afwentelingseffecten

Voor het promoten en toepassen van de maatregelen is het ook van belang om inzicht te hebben in de eventuele afwentelingseffecten op het milieu en de biodiversiteit. In Lesschen et al. (2008b) zijn voor een reeks van klimaatregelen in de landbouw, vooral gericht op beperking van N<sub>2</sub>O- en CH<sub>4</sub>-emissies, de afwentelingseffecten beoordeeld. Voor de koolstofmaatregelen van de huidige studie is een soortgelijke analyse uitgevoerd, waarbij de volgende afwentelingseffecten zijn meegenomen: lachgas (N<sub>2</sub>O)-emissie, methaan (CH<sub>4</sub>)-emissie, nitraat (NO<sub>3</sub>)-uitspoeling, ammoniak (NH<sub>3</sub>)-emissie, bodemkwaliteit, biodiversiteit en indirecte landgebruikveranderingen (ILUC). Hieronder staan per maatregel deze afwentelingseffecten kort beschreven en in tabel 8 zijn deze samengevat en gekleurd naar mate van effect.

**Tabel 8**

*Afwentelingseffecten van de geselecteerde maatregelen (rood negatief effect, oranje mogelijk negatief effect, grijs geen effect en groen positief effect).*

	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	Bodem kwaliteit	Biodiversiteit	ILUC
Niet-kerende grondbewerking							
Geen grondbewerking							
Vanggewas / groenbemester							
Verbeteren gewasrotaties							
Gewasresten achterlaten							
Akkerrandenbeheer							
Niet scheuren grasland							

Niet-kerende grondbewerking heeft geen effect op emissies naar het milieu. De maatregel heeft wel een positief effect op bodemkwaliteit en biodiversiteit door de toename aan koolstof in de bodem. Een hoger koolstofgehalte verbetert de fysische en chemische eigenschappen van de bodem, waaronder de bodemstructuur, het watervasthoudend vermogen en de kationenuitwisselingscapaciteit. Ook de bodembiodiversiteit verbetert door een hogere aanvoer van organische stof. Alle maatregelen die tot extra koolstof in de bodem leiden hebben dan ook een positief effect op bodemkwaliteit en biodiversiteit.

Bij 'geen grondbewerking' is er een risico op verhoogde lachgasemissie, omdat er in de toplaag van de bodem een grotere kans op anaerobe condities is. Echter verschillende studies laten geen eenduidig resultaat zien. Daarnaast kan de gewasopbrengst bij omschakeling naar 'geen grondbewerking' tijdens de eerste jaren ook wat lager zijn. Aangezien de vraag naar voedsel gelijk blijft moet ergens anders dus extra voedsel geteeld worden. Deze indirecte landgebruikveranderingen kunnen daardoor leiden tot extra broeikasgasemissies, bijvoorbeeld omzetting van grasland naar akkerland, of het kappen van bos in ontwikkelingslanden voor extra landbouwgrond.

Ook bij een vanggewas / groenbemester is er een extra risico op N<sub>2</sub>O-emissies, omdat tijdens het onderwerken van de groenbemester N<sub>2</sub>O kan ontstaan doordat zowel extra C als N-beschikbaar komen. Echter het vanggewas / groenbemester levert ook stikstof aan het volggewas, waardoor er meer stikstof beschikbaar is en minder kunstmest nodig is en daarmee een lagere N<sub>2</sub>O- en NH<sub>3</sub>-emissie. Het belangrijkste effect is uiteraard de verlaging van de nitraatuitspoeling. Doordat het gewas in het najaar stikstof opneemt wordt nitraatuitspoeling en het risico op oppervlakkige afspoeling van stikstof naar oppervlaktewater beperkt. Dit leidt ook tot minder indirecte N<sub>2</sub>O-emissie.

Het verbeteren van gewasrotaties heeft veel positieve afwentelingseffecten, met lagere N<sub>2</sub>O- en NH<sub>3</sub>-emissie en NO<sub>3</sub>-uitspoeling door efficiënter kunstmestgebruik. Ook verbetert de bodemkwaliteit en het bodemleven door een hoger organisch stof-aanvoer en zijn er minder ziekten en plagen door de verbeterde rotatie. Er is echter een klein risico op negatieve effecten door indirecte landgebruikveranderingen door de kans op lagere gewasopbrengsten. Bijvoorbeeld het introduceren van peulvruchten in een rotatie heeft een positief effect op de stikstofvoorziening en bodemkwaliteit, maar deze gewassen hebben vaak wel een lagere opbrengst vergeleken met granen, aardappels en suikerbieten.

Het achterlaten van gewasresten leidt echter wel tot groter risico op lachgasemissie, aangezien bij de afbraak van deze gewasresten extra stikstof vrijkomt. Aan de andere kant kan door het hogere organisch stofgehalte weer meer stikstof worden gebonden, waardoor de nitraatuitspoeling afneemt. Tot slot is er een mogelijk negatief effect door ILUC, omdat een deel van de gewasresten gebruikt worden voor veevoer of de productie van biobrandstoffen.

Bij akkerrandenbeheer speelt dit laatste aspect een belangrijke rol. Doordat een deel van de landbouwgrond voor akkerranden uit productie genomen worden leidt dit mogelijk tot indirecte landverschuivingseffecten. Hoewel deze maatregel lokaal leidt tot een directe mitigatie van broeikasgassen door C-vastlegging kan het elders (vaak buiten Europa) juist leiden tot het in gebruik nemen van meer landbouwgrond waardoor dat daar tot extra broeikasgasemissie leidt. Op de overige afwentelingseffecten heeft de maatregel een positief effect, waarbij vooral voor biodiversiteit positieve effecten zijn te verwachten (meer soorten en betere verbindingzones).

Tenslotte heeft de maatregel 'niet scheuren van grasland' louter positieve effecten, met lagere lachgasemissie en nitraatuitspoeling en verbeterde bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit. Mocht scheuren toch nodig zijn dan zijn er methoden, bijvoorbeeld in het voorjaar scheuren of minder frequent scheuren, waarbij de negatieve effecten beperkt worden. Methoden die leiden tot lagere N<sub>2</sub>O-emissies leiden meestal ook tot een lagere N-uitspoeling, en door efficiënt om te gaan met de stikstof die vrijkomt uit de gescheurde graszode kan het kunstmestgebruik verlaagd worden.

# 5 Koolstofvoorraden in natuurgebieden

## 5.1 Introductie

Naast koolstofvastlegging in landbouwbodems kan ook koolstof worden vastgelegd in de natuur. CO<sub>2</sub>-vastlegging door bossen is daarvan het meest bekend. Echter naast vastlegging in bossen kan ook koolstof worden vastgelegd of geconserveerd in veen- en moerasgebieden. Een optie kan zijn het vernatten van veengronden naar moerassen met rietteelt en daarmee de huidige CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O-emissies stoppen en additioneel koolstof vast leggen. Het vastleggen van koolstof is een natuurlijk fenomeen, en valt als zodanig onder de regulerende ecosystemendiensten.

Het vastleggen van koolstof door bossen en andere begroeiing is nu een ecosystemedienst die ervoor zorgt dat de netto-uitstoot van broeikasgassen vermindert. Ook het voorkomen van het kappen van bossen, zodat vastgelegd koolstof niet vrijkomt, behoort tot deze ecosystemedienst. Nieuwe en bestaande bossen, maar ook vernatte veengebieden houden grote hoeveelheden koolstof vast. Voor het inzetten van beplanting voor CO<sub>2</sub>-vastlegging en het behoud van C-voorraden kan van de gebruikende partij een financiële vergoeding gevraagd worden (Melman en Van der Heide, 2011).

Op dit moment is er echter slechts beperkte kennis en data over de koolstofvoorraden in de natuur. Het doel van dit hoofdstuk is dan ook het bepalen van de koolstofvoorraden voor de Nederlandse natuur. Hiervoor wordt op basis van meting en literatuur een inschatting gemaakt van de C-voorraden voor de belangrijkste natuurtypen in Nederland.

## 5.2 Methode en databronnen

Er is voor gekozen om een inschatting te maken van de koolstofvoorraad in die tien tot vijftien natuurtypen die het grootste deel van het areaal aan Nederlandse natuur beslaan. Vervolgens is er gezocht naar informatie over de koolstofvoorraden in deze natuurtypen. Een belangrijke informatiebron was een database met meetgegevens uit onder andere het UN-ECE/EU monitoring netwerk het 'Nationale Meetnet Bosvitaliteit' uit de jaren 1984 tot en met 1994 en het vervolg daarvan het 'Meetnet vitaliteit en verdroging in bossen'. Ook metingen die in het kader van projecten in de Drentse Aa en de Zuid-Hollandse duinen zijn uitgevoerd zijn hierin opgenomen. De meetgegevens bevatten naast bosvitaliteitsgegevens ook bodemchemische gegevens en zijn beschreven in De Vries et al., 1995; De Vries, 1993, De Vries en Leeters, 2001; Klap et al., 1999a; Klap et al., 1999b en Leeters en De Vries, 1999. In deze notitie wordt deze database de 'bodemdatabse' genoemd. Een tweede belangrijke bron vormde het Meetnet Functievervulling Bos. Dit leverde informatie over de koolstofvoorraad in de verschillende bostypen. Tenslotte is de aanwezige literatuur geraadpleegd.

Voor een aantal natuurtypen, waarvoor geen informatie over de koolstofvoorraad aanwezig was in de bodemdatabse of uit het Meetnet Functievervulling is naar literatuur gezocht met informatie over biomassa of koolstofvoorraad. Hierbij is in eerste instantie literatuur geraadpleegd die al aanwezig was bij de auteurs. In veel van de genoemde literatuur wordt niet de hoeveelheid koolstof gerapporteerd die aanwezig is, maar wordt de hoeveelheid organische stof of biomassa genoemd. Er is vanuit gegaan dat organische stof voor 50% uit koolstof bestaat.

### 5.2.1 Keuze natuurtypen

Als uitgangspunt bij de keuze van de natuurtypen is de Index Natuur en Landschap gebruikt (Anonymous 2008). Er is voor gekozen om in eerste instantie een inschatting te maken van de koolstofvoorraad in die tien tot vijftien natuurtypen die het grootste deel van het areaal aan Nederlandse natuur beslaan. Hierbij zijn aquatische natuurtypen, zoals rivieren en stilstaande wateren buiten beschouwing gelaten. Het areaal van de natuurtypen die worden onderscheiden in de Index Natuur en Landschap is bepaald door de doeloppervlakten van de natuurdoeltypen, afkomstig van de natuurdoelenkaart (uit Bijlage 1 Anonymous (2007)) te vertalen naar de Index Natuur en Landschap (zie tabel 9). Bij de Index zelf is een vertaaltabel opgenomen waarin staat aangegeven hoe de natuurtypen van de Index Natuur en Landschap zich verhouden tot de natuurdoeltypen.

**Tabel 9**

*Geschatte oppervlakte van de natuurtypen uit de Index Natuur en Landschap, gebaseerd op de natuurdoeltypen.*

Natuurtype volgens Index Natuur en Landschap	Natuurdoeltype	Oppervlakte (ha)	Geschatte oppervlakte natuurtype index (ha)
grootschalige dynamische natuur	getijdenlandschap	23598	120312
	duinlandschap	31261	
	veen- en zeekleilandschap/ moerasboslandschap	13588	
	rivierenlandschap	5628	
	beek en zandboslandschap	46237	
	rivieren		
beken en bronnen	beek	1810	1810
stilstaande wateren	brak water	2017	78660
	overig stromend en stilstaand water	76643	
moerassen	moeras	29391	29391
voedselarme venen en vochtige heiden	natte heide en hoogveen	20936	24627
	ven en duinplas	3691	
droge heide en zandverstuiving	droge heide	28948	31665
	zandverstuiving	2717	
open duinen			
schorren of kwelders			
vochtige schraalgraslanden	nat schraalgrasland	38578	38578
droge schraalgraslanden	droog schraalgrasland	14807	15642
	kalkgrasland	835	
	rijke graslanden en akkers	reservaatakker	
	ziltgrasland	6028	
	bloemrijkgrasland	49561	
	nat, matig voedselrijk grasland	20104	
vogelgraslanden	wintergastengrasland		66823
	multifunctionele graslanden	66823	
vochtige bossen	bos van laagveen en klei	20879	26837



Natuurtype volgens Index Natuur en Landschap	Natuurdoeltype	Opper- vlakte (ha)	Geschat oppervlakte natuurtype index (ha)
	bos van bron en beek	5958	
droge bossen	bos van arme gronden	65663	65663
bossen met productiefunctie	multifunctioneel bos	164717	164717
cultuurhistorische bossen	middenbos, hakhout en griend	3843	3843
<b>Totaal</b>		<b>747333</b>	<b>747333</b>

Het natuurtype 'vogelgrasland' beslaat een groot areaal maar is uiteindelijk niet meegenomen omdat de graslandtypen 'rijke graslanden' en 'vochtige schraalgraslanden' al worden meegenomen. Van het natuurtype 'akkers en rijke graslanden' zijn de akkers niet meegenomen omdat die binnen dat natuurtype maar een klein oppervlakte beslaan. Het type 'grootschalige, dynamische natuur' is niet meegenomen omdat de onderliggende soorten natuur al meegenomen worden bij andere natuurtypen.

**Tabel 10**

*De dertien natuurtypen uit de Index Natuur en Landschap waarvoor een inschatting wordt gemaakt koolstofvoorraad.*

Type nummer index natuur, landschap	Omschrijving
16	bossen met productiefunctie
14	vochtige bossen
15	droge bossen
9	schorren of kwelders
12	rijke graslanden
10	vochtige schraalgraslanden
11	droge schraalgraslanden
7	droge heide
6	vochtige heide
8	open duin
7	zandverstuiving
5	rietmoeras
6	voedselarme venen

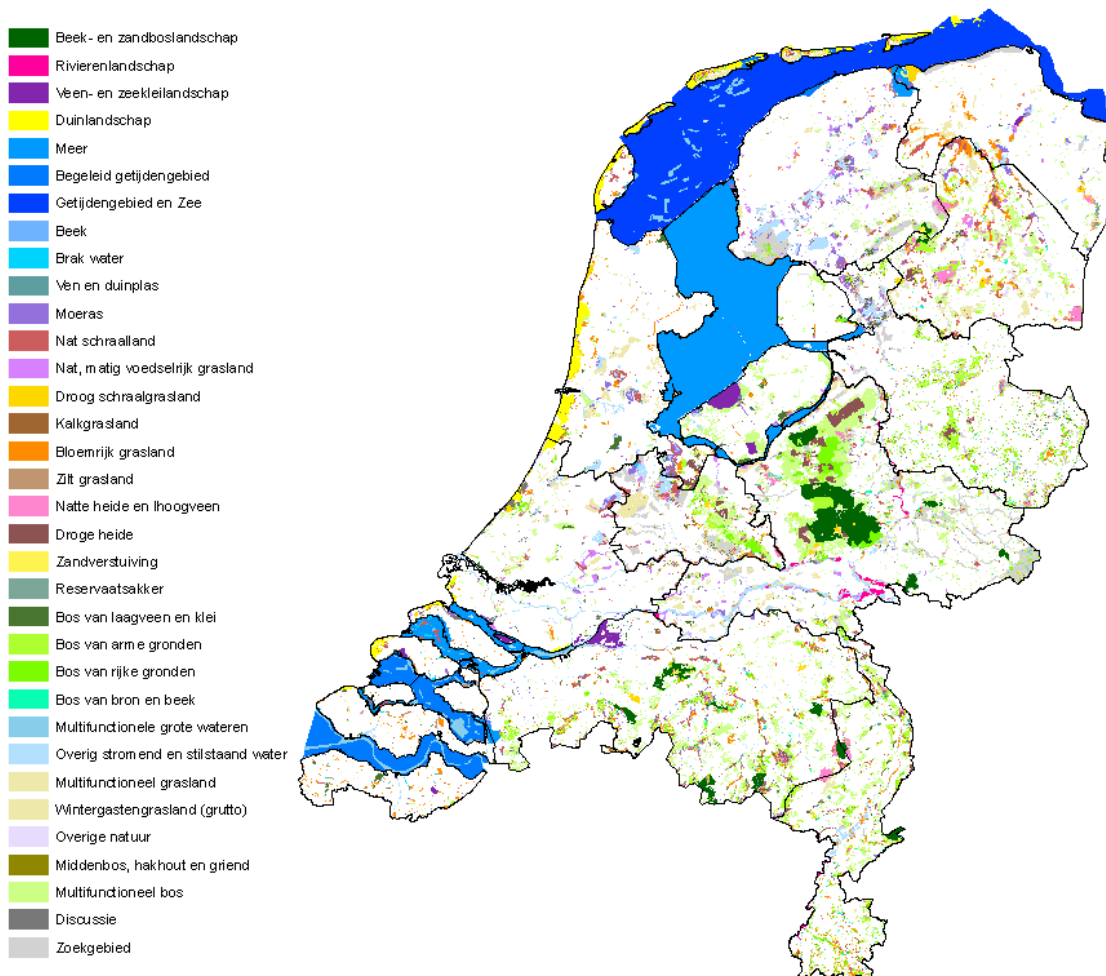
## 5.2.2 Bodemdatabase

Op basis van bodemmonsters van 560 locaties in de natuur in Nederland, de zgn. 'bodemdatabase', zijn schattingen gedaan voor de koolstofvoorraad per natuurtype. Appendix 1 geeft een overzicht van alle metingen per combinatie van bodemtype (tabel 11), vegetatietype (tabel 12) en vochttoestand. Bij de vochttoestand is uitgegaan van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). Wanneer de GHG kleiner (minder diep) is dan 40 cm –mv, is de vochttoestand als 'nat' aangemerkt en in de overige gevallen als 'droog'. Per natuurtype nummer uit de index Natuur en Landschap is gekeken welke vegetatietypen en bodemtypen uit de database kunnen voorkomen. Die vertaling is weergegeven in tabel 13. Vervolgens is voor die combinaties de gemiddelde koolstofvoorraad berekend.

**Tabel 11**

*Bodemtypen in database.*

Nummer	Code	Bodemtype
1	SP	Sand Poor
2	SR	Sand Rich
3	SC	Sand Calcareous
4	CN	Clay Non-calcareous
5	CC	Clay Calcareous
6	LN	Loess Non-calcareous
7	PN	Peat Non-calcareous



**Figuur 6**

*Landelijke natuurdoelen kaart voor Nederland. Deze kaart geeft een voorlopig inzicht (december 2003) in de door het Rijk nagestreefde natuurdoelen voor het jaar 2018, binnen en buiten de Ecologische Hoofdstructuur.*

**Tabel 12***Vegetatietypen in database.*

Nummer	Code	Vegetatietype
1	DEC	Loofbomen (Deciduous)
2	SPR	Spar (Spruce)
3	PIN	Dennenboom (Pine)
4	HEA	Heide (Heather)
5	GRP	Voedselarm gras (Grass (nutrient) Poor)

**Tabel 13***Toekenning bodem- en vegetatietypen aan natuurtypen (waar niets is ingevuld, zijn alle typen mogelijk).*

Type nr. Index natuur en landschap	Omschrijving	Vocht	Bodem	Vegetatie	Opmerkingen
16	bossen met productiefunctie				
14	vochtige bossen		SR(nat), CN, CC, LN, PN	DEC	
15	droge bossen, naald		SP, SR (droog) SC	PIN, SPR	
15	droge bossen, loof		SP, SR (droog) SC	DEC	
9	schorren of kwelders				
12	rijke graslanden			GRP	N-rijk en cultuur grasland
10	vochtige schraalgraslanden	nat	SR, PN	GRP	Alleen arm grasland
11	droge schraalgraslanden	droog			Alleen arm grasland
7	droge heide	droog		HEA	
6	vochtige heide	nat	SP, PN	HEA	
8	open duin			Duin vegetatie	
5	rietmoeras				
6	voedselarme venen				

### 5.2.3 Meetnet Functievervulling Bos

Het Meetnet Functie Vervulling Bos (MFV) is opgezet om de toestand van het Nederlandse bos te monitoren. Het meetnet een zogenaamd systematic unaligned sampling design met een gridgrootte van 1 km<sup>2</sup>. In totaal 3622 plots vielen in bos. Hier zijn tussen 2001 en 2005 (met uitzondering van 2003, toen mond- en klauwzeer heerste) opnamen gemaakt van karakteristieken van levende en dode biomassa, en is het bodemtype opgetekend. In 2004 en 2005 is van plots op zandige bodem ook de dikte van de strooisellaag gemeten. De plotkarakteristieken zijn omgezet in C-voorraden met een simpel boekhoudmodel voor levende en dode biomassa (Van den Wyngaert et al., 2009) en met data verzameld door Schulp (2009) voor strooisel.

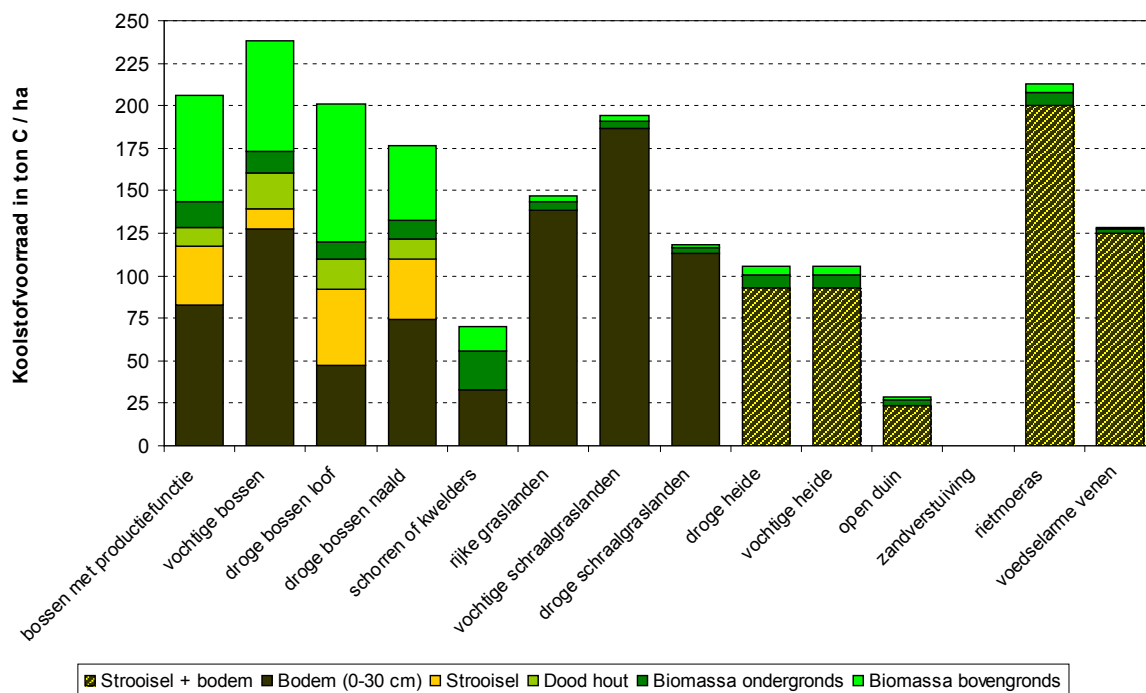
### 5.3 Resultaat en discussie

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 7 en tabel 14.

Ter vergelijking met de geproduceerde MFV-data en de data uit de bodemdatabase nog enkele literatuurwaarden.

- De MFV-data over de koolstof in de strooisellaag zijn mede gebaseerd op onderzoek van Schulp (2009). Zij geeft de voorraden koolstof in de bodems onder verschillende boomsoorten van een bos op de Veluwe en noemt voorraden van 5,0 - 50 ton C/ha in de F- en H-laag en zo'n 50-100 ton C/ha in de minerale bodem (0 - 20 cm).
- Leeters en De Vries (2001) rapporteren over chemische samenstelling van de bosbodem. Die data liggen mede ten grondslag aan de hier gebruikte data uit de bodemdatabase. Zij noemen voorraden in de bosbodem van gemiddeld zo'n 28 ton C/ha voor de humuslaag, 34 ton C/ha voor de minerale bodemlaag van 0 - 10 cm en 50 ton C/ha voor de minerale bodemlaag van 10 - 30 cm.

Voor de meeste natuurtypen is de voorraad koolstof ondergronds vele malen hoger dan de voorraad bovengronds (vergelijk tabel 15 en tabel 16). De bossen vormen hierop de uitzondering. Daar zijn bovengronds per hectare meer tonnen koolstof aanwezig.



**Figuur 7**  
Koolstofvoorraden in vegetatie en bodem van verschillende typen natuurterreinen.

**Tabel 14**

Gemiddelde waarden voor verschillende koolstofvoorraden in natuurlijke ecosystemen (ton C/ha). Voor bronnen zie tabel 15 en tabel 16.

Natuurtype	Biomassa bovengronds	Biomassa ondergronds	Strooisel	Dood hout	Bodem (0-30 cm)	Strooisel + bodem
bossen met productiefunctie	62	16	34	11	83	
vochtige bossen	65	13	12	21	128	
droge bossen loof	81	10	45	18	47	
droge bossen naald	44	11	35	12	74,5	
schorren of kwelders	15	22,5			33	
rijke graslanden	3,5	5,3			139	
vochtige schraalgraslanden	3,0	4,5			187	
droge schraalgraslanden	2,0	3,0			114	
droge heide	5,0	7,5				93
vochtige heide						93
open duin						24
zandverstuiving						
rietmoeras	5,0	7,5				20

**Tabel 15**

Koolstofvoorraad (ton C/ha) per natuurtype, bovengronds.

Natuurtype	Koolstofvoorraad (ton C/ha)	Standaardfout (ton C/ha)	Toelichting	Bron
bossen met productiefunctie	62	3,0		MFV-data
vochtige bossen	62	2,0		MFV-data
droge bossen loof	81	2,0		MFV-data
droge bossen naald	44	1,0		MFV-data
schorren of kwelders	12			Kiehl et al., 2001
rijke graslanden	1,0 – 6,0			Koolstra et al., 2008
vochtige schraalgraslanden	3,0 – 5,0			Fliervoet, 1987
	1,0 – 6,0			Fliervoet, 1984
	1,0 – 4,0			Fliervoet, 1987
	0,5 – 4,5			Vermeer en Berendse, 1983
droge schraalgraslanden	1,0 – 3,0			Fliervoet, 1984
	1,0 – 3,0			Fliervoet, 1987
	2,0			Vermeer en Berendse, 1983
droge heide	8,0			Nabuurs et al., 2005
	0 – 7,5		Heide vegetatie, 0-50 jaar na plaggen	Berendse, 1990
	0 – 5,0		Molinia gedomineerd, 0-50 jaar na plaggen	Berendse, 1990

Natuurtype	Koolstofvoorraad (ton C/ha)	Standaardfout (ton C/ha)	Toelichting	Bron
vochtige heide open duin zandverstuiving rietmoeras	5,0			Vermeer en Berendse, 1983
	2,0 – 7,5		Mesotrofe tot eutrofe fens gemaaid in de zomer	Koerselman en Verhoeven, 1992
voedselarme venen	0,9 – 2,5		Floating peat	Vermeer en Berendse, 1983
	1,0 – 2,0		Jaarlijks gemaaid	Verhoeven et al., 1996

**Tabel 16**

*Koolstofvoorraad (ton C/ha) per natuurtype, ondergronds.*

Natuurtype	C-voorraad ondergronds	Standaardfout	Standaard afwijking	Toelichting	Bron
bossen met productiefunctie	34	1,0		F+H laag	MFV-data
	16	1,0		Biomassa	MFV-data
vochtige bossen	127	7,0	65	0-30 cm-mv, mineraal	Bodemdatabase
	15	2,0	15	Strooisel	Bodemdatabase
	12	3,0		F+H laag	MFV-data
	13	1,0		Biomassa	MFV-data
droge bossen, naald	74	2,0	35	0-30 cm-mv, mineraal	Bodemdatabase
	18	1,0	19	Strooisel	Bodemdatabase
	45	1,0		F+H laag	MFV-data
	10	0,3		Biomassa	MFV-data
droge bossen, loof	94	4,0	41	0-30 cm-mv, mineraal	Bodemdatabase
	16	2,0	17	Strooisel	Bodemdatabase
	35	1,0		F+H laag	MFV-data
	11	0,4		Biomassa	MFV-data
schorren of kwelders	26 – 40			0-10cm	Kiehl et al., 2001
rijke graslanden	138	10	39	0-30 cm-mv, incl strooisel	Bodemdatabase
vochtige schraalgraslanden	187	17	34	0-30 cm-mv, incl strooisel	Bodemdatabase
droge schraalgraslanden	114	-	-	0-30 cm-mv, incl strooisel	Bodemdatabase
droge heide	109	13	27	0-30 cm-mv, incl strooisel	Bodemdatabase
	77			Strooisel, Oh-laag en minerale bodem Calluna, Edese heide	Van Vuuren et al., 1992
	69			Strooisel, Oh-laag en	Van Vuuren et al.,

Natuurtype	C-voorraad ondergronds	Standaardfout	Standaard afwijking	Toelichting	Bron
				minerale bodem Molinia, Edese heide	1992
	77			Strooisel, Oh-laag en minerale bodem	Van Vuuren et al., 1992
	8,0			Deschampsia, Edese heide	
				Geschat, strooisel en bodem, regelmatig geplagd	Wolf, 1990
vochtige heide	197	18	44	0-30 cm-mv, incl. strooisel	Bodemdatabase
	68,7			Strooisel, Oh-laag en minerale bodem Erica tetralix, Uddeler Buurtveld	Van Vuuren et al., 1992
	58			Strooisel, Oh-laag en minerale bodem Molinia, Uddeler Buurtveld	Van Vuuren et al., 1992
	230			Geschat, strooisel en bodem	Wolf, 1990
open duin	24	2,0	13	0-30 cm-mv, incl. strooisel	Bodemdatabase
zandverstuiving rietmoeras	150 – 250			Floating mat, oud veen niet meegenomen	Bakker et al., 1997
	330			Geschat, bodem en strooisel	Wolf, 1990
voedselarme venen	75 – 175			Floating mat, oud veen niet meegenomen	Bakker et al., 1997

**Tabel 17***Geschatte areaal en totale koolstofvoorraad per natuur type.*

<b>Natuurtype</b>	<b>Areaal</b> (1000 ha)	<b>Koolstofvoorraad</b> (Mton C)
bossen met productiefunctie	164,7	33,9
vochtige bossen	26,8	6,4
droge bossen	65,7	12,4
schorren of kwelders	29,2	2,1
rijke graslanden	78,8	11,6
vochtige schraalgraslanden	38,6	7,5
droge schraalgraslanden	15,6	1,9
droge heide	28,9	3,0
vochtige heide	12,3	1,3
open duin	15,6	0,5
zandverstuiving	2,7	0,0
rietmoeras	29,4	6,2
voedselarme venen	12,3	1,6



# 6 Beleidsopties voor het stimuleren van koolstofvastlegging

## 6.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de beleidsopties voor het stimuleren van vastleggen van bodemkoolstof verkend. In Frelüh-Larssen et al. (2008) worden een aantal prioriteiten voor het Europese en nationale overheidsbeleid voor het mitigeren van klimaatverandering door de landbouw onderscheiden. Op hoofdlijnen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Het stimuleren van mitigatie van klimaatverandering door landbouwactiviteiten zou een integraal onderdeel moeten worden bij het streven naar duurzame landbouw, waarbij vermeden moet worden dat mitigatie van klimaatverandering botst met andere beleidsdoelen.
- Een klimaat-check van het Gemeenschappelijk landbouwbeleid zou moeten uitwijzen of de instrumenten mitigatie van klimaatverandering nu stimuleren of juist in de weg staan.
- Bescherming van bestaande koolstof sinks, zoals wetlands, veen, natte graslanden.
- Het handhaven van al bestaand beleid en het aanscherpen van beschermingsregimes. Verscheidene EU-beleidsinstrumenten gericht op het beperken van de milieubelasting van de landbouw, zoals de Nitraatrichtlijn, hebben als gunstig neveneffect dat ze bijdragen aan de mitigatie van klimaatverandering. Met deze bestaande beleidsinstrumenten moet rekening gehouden worden als nieuwe strategieën worden ontwikkeld.
- Binnen de richtlijnen voor Goede Landbouw en Milieu Conditie van het GLB moeten doelstellingen voor mitigatie worden opgenomen.
- Binnen het plattelandontwikkelingsprogramma moeten meer middelen ingezet worden voor mitigatie. Ook zouden maatregelen binnen het plattelandontwikkelingsprogramma gescreend moeten worden op effect op mitigatie van klimaatverandering.
- Het toekomstige GLB zal mogelijkheden bieden om meer gericht in te zetten op het stimuleren van vastleggen van bodemkoolstof en het behoud van bestaande koolstof sinks.

Hoewel deze aanbevelingen van toepassing zijn op algemene mitigatiemaatregelen, noemen we ook een aantal specifiek het vastleggen van bodemkoolstof. De belangrijkste beleidskaders die bij deze aanbevelingen van toepassing zijn, zijn de Europese milieuriichtlijnen en Het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid van de Europese Unie. In dit hoofdstuk worden eerst een aantal Europese milieuriichtlijnen besproken, vervolgens richten we ons op het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (GLB), het belangrijkste beleidsinstrument dat van invloed is op het Nederlandse agrarisch landgebruik. Er is een korte algemene inleiding over het GLB, waarna de mogelijkheden binnen het huidige beleid worden verkend. Tenslotte worden, in het licht van de aankomende hervorming van het GLB, toekomstige opties voor het stimuleren van het vastleggen van bodemkoolstof verkend. Het laatste gedeelte van het hoofdstuk bespreekt de mogelijkheden via de Europese milieuriichtlijnen.

Kort samengevat bevat het huidige GLB een aantal maatregelen die gunstig zijn voor koolstofvastlegging, maar dit is nooit een primair beleidsdoel geweest. De zeer recent gepubliceerde mededeling van de Europese Commissie noemt mitigatie van klimaatverandering wel als één van de beleidsdoelen van het toekomstige GLB. Dit biedt dus interessante mogelijkheden om via het landbouwbeleid het vastleggen van bodemkoolstof te stimuleren. Dit kan binnen de 1<sup>e</sup> pijler gerealiseerd worden door 'best practices' voor koolstofvastlegging te vertalen naar randvoorwaarden voor betaling van inkomensondersteuning en binnen de 2<sup>e</sup> pijler door het

formuleren van maatregelen voor het extra stimuleren van behoud van grasland, peilverhoging in veenweidegebieden of bebossing van landbouwgrond.

## **6.2 Europese milieuriichtlijnen**

Er bestaan verschillende Europese milieuriichtlijnen welke gericht zijn op het verminderen van de milieubelasting van diverse sectoren, waaronder de landbouw. In een aantal gevallen hebben ze als positief bij-effect dat ze bijdragen aan de mitigatie van klimaatverandering. Met name de vogel- en habitatrichtlijn en de Nitraatrichtlijn zijn dan van belang voor het landelijk gebied.

De vogel- en habitat richtlijn zijn belangrijke beleidsinstrumenten om bestaande koolstofsinks te beschermen. Zoals in elke Europese lidstaat zijn in Nederland via deze richtlijnen Natura 2000-gebieden aangewezen. Natura 2000-gebieden moeten zodanig worden beschermd dat een gunstige staat van instandhouding wordt bereikt. Een aantal van de habitats zoals vennen, halfnatuurlijke graslanden, en hoogvenen zijn belangrijke sinks voor het vastleggen van koolstof. Het Natura 2000-beleid zou ook gericht moeten zijn op de bescherming van deze koolstofsinks tegen verdroging en verdere degradatie.

De Nitraatrichtlijn is de richtlijn die ook gunstig is voor het bijdragen aan de mitigatie van klimaatverandering doordat de richtlijn er voor zorgt dat agrarische bedrijven minder broeikasgassen uitstoten. Hoewel het voldoen aan de Nitraatrichtlijn een gunstig invloed heeft op mitigatie is het niet te verwachten dat deze ook een directe gunstige invloed op het vastleggen van bodemkoolstof zal hebben.

## **6.3 Gemeenschappelijk Landbouw Beleid**

Van oudsher is het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (GLB) opgezet voor het zeker stellen van de voedselveiligheid, voor een constant inkomensniveau voor boeren en een stabiele landbouwmarkt. Dit gebeurt door het toekenning van financiële ondersteuning die gekoppeld is aan het productievolume

Via diverse hervormingen van het GLB zijn de laatste decennia zaken als innovatie, plattelandsontwikkeling, natuur en milieu opgenomen als doelstelling. Sinds tien jaar zijn er twee pijlers binnen het GLB te onderscheiden. De directe inkomenssteun voor boeren en de marktmaatregelen vormen de eerste pijler, in Nederland verantwoordelijk voor 90% van het totale budget van circa 1 miljard euro. De laatste decennia is binnen de 1<sup>e</sup> pijler de landbouwsteun van een aan productie gekoppelde steun verschoven naar steun die gekoppeld is aan de productieomstandigheden. Een belangrijke verandering is de invoering van de directe inkomensondersteuning. Deze inkomensondersteuning is ontkoppeld van de productie, maar gekoppeld aan cross compliance randvoorwaarden. Door uitbetaling van inkomenssteun te koppelen aan randvoorwaarden, voorziet het GLB in een (striktere) naleving van 1) vigerende wet- en regelgeving op het gebied van voedselveiligheid, milieu en dierenwelzijn (de zgn. beheerseisen), 2) de normen om de landbouwgrond in goede landbouw- en milieueconditie te houden (GLMC) en 3) instandhouding van het areaal permanent grasland.

Het plattelandsontwikkelingsbeleid vormt de 2<sup>e</sup> pijler. Dit beleid, dat 10% van het totale GLB-budget inneemt, is gericht op innovatie, agrarisch natuurbeheer en de bredere plattelandseconomie.

## 6.4 Beleidsopties voor koolstofvastlegging binnen huidige GLB

### 6.4.1 Eerste pijler

Frelih-Larssen (2008) gaf al aan dat het GLB onderworpen zou moeten worden aan een klimaat check en dat binnen de richtlijnen voor Goede Landbouw en Milieu Conditie doelstellingen voor mitigatie moeten worden opgenomen. Mitigatie van klimaatverandering is niet opgenomen als primair doel van het Cross Compliance beleid, maar sommige maatregelen hebben wel gunstige neveneffecten.

In deze paragraaf gaan we na welke huidige randvoorwaarden die in Nederland gelden gunstig zijn voor het vastleggen van bodemkoolstof. In tabel 8 zijn deze randvoorwaarden opgenomen. De beheerseisen, het onderdeel van Cross Compliance waarbij boeren zich dienen te houden aan Europese richtlijnen voor milieu en dierenwelzijn, is al besproken in de paragraaf *Europese milieurichtlijnen*. Voor de normen om de landbouwgrond in goede landbouw- en milieueconditie te houden zijn er wel een paar maatregelen die een gunstig effect hebben op koolstofvastlegging. Boeren die inkomenssteun ontvangen zijn bijvoorbeeld verplicht de stoppelresten van een gewas te laten staan (of onder te werken) en mogen dit niet verbranden. Deze maatregel is geformuleerd voor het op peil houden van het organisch materiaal in de bodem en heeft daarmee een gunstig effect op het vastleggen van bodemkoolstof.

Het in stand houden van het areaal permanent grasland is een onderdeel van cross compliance dat potentieel zeer gunstig zou kunnen zijn voor het vastleggen van bodemkoolstof. Echter het areaal permanent grasland dat gelijk moet blijven wordt op nationaal niveau geëvalueerd. Op bedrijfsniveau mag grasland in principe dus omgeploegd worden. Het is daarom onduidelijk of deze randvoorwaarde zoals deze nu geformuleerd is een positief effect zal hebben op koolstofvastlegging.

**Tabel 18**

*Cross Compliance randvoorwaarden die gunstig zijn voor koolstofvastlegging.*

	<b>Randvoorwaarden</b>	<b>Verplichting (potentieel gunstig voor koolstofvastlegging)</b>
1. Beheerseisen	Voldoen aan EU-richtlijnen voor milieu, dierenwelzijn etc.	
2. GLMC	Bodem organisch materiaal: gewasrotatie	Verplichte winterbedekking
	Bodem organisch materiaal: stoppelbeheer	Laten staan stoppelresten, verbod op verbranding
3. Permanent grasland	Op nationaal niveau gelijk blijvend areaal van permanent grasland.	

Kortom, alleen een paar normen om de landbouwgrond in goede landbouw- en milieueconditie te houden zijn direct te relateren aan een gunstig effect op de vastlegging van bodemkoolstof.

## 6.4.2 Tweede pijler

Frelüh-Larssen (2008) noemt het EU plattelandsbeleid het belangrijkste beleidsinstrument voor het stimuleren van landbouwactiviteiten die bijdragen aan het mitigeren van klimaatverandering, zoals het vastleggen van bodemkoolstof. Voor het huidige Nederlandse plattelandsontwikkelingsbeleid zijn er een aantal maatregelen die ten gunste zijn voor het vastleggen van bodemkoolstof. Echter, ook hiervoor geldt weer dat deze maatregelen primair andere beleidsdoelen dienen dan het vastleggen van bodemkoolstof. In het plattelandsontwikkelingsplan 2007-2013 staat zelfs expliciet dat er binnen de subsidieregeling agrarisch natuurbeheer geen pakketten zijn opgenomen met als hoofddoel het tegengaan van klimaatverandering. Toch zijn er dus wel een aantal maatregelen gunstig voor het vastleggen van bodem C, deze zijn weer gegeven in tabel 19.

**Tabel 19**

*Maatregelen binnen de 2<sup>e</sup> pijler die gunstig zijn voor vastlegging van koolstof.*

Maatregel	% bestede budget in 2009
Subsidieregeling agrarisch natuurbeheer (pakketten: plas-dras voor weidevogels, botanisch waardevol grasland) en stimuleren biologische landbouw	56
Eerste bebossing landbouwgrond	1

Binnen de subsidieregeling agrarisch natuurbeheer (tegenwoordig Subsidieregeling Natuur en Landschap) zijn een aantal pakketten gericht op het behoud van botanisch waardevol grasland. Met de extra financiële steun vanuit deze regeling zijn boeren sneller geneigd het grasland in stand te houden, dat gunstig zal zijn voor koolstofvastlegging.

Daarnaast zijn er ook de zogenaamde plas-dras-beheerspakketten gericht op het in stand houden van weidevogelpopulaties. Deze maatregelen verplicht boeren hun land, veelal veenweidegebied, voor een bepaalde periode te inunderen. Dit is gunstig voor weidevogelpopulaties maar heeft ook als gunstig bijeffect dat het sterk de emissie van CO<sub>2</sub> reduceert.

Ondersteuning van (het omschakelen naar) biologische landbouw heeft ook een gunstige invloed om het vastleggen van bodemkoolstof. Door het gebruik van onder andere groenbemesting, dierlijke mest, bepaalde gewas rotaties biedt de biologische landbouw een geïntegreerd pakket van maatregelen die, zeker wanneer gecombineerd gebruikt, een gunstig effect hebben op het vastleggen van bodemkoolstof.

Tenslotte is bebossing van landbouwgrond is een maatregel die een effectieve manier om koolstof vast te leggen stimuleert. Echter gezien het percentage van het bestede budget is dit niet een maatregel die frequent wordt toegepast.

## 6.5 Beleidsopties binnen het toekomstige GLB

In november 2010 is de mededeling van de Europese Commissie 'The CAP towards 2020: meeting the food, natural resource, and territorial challenges of the future' gepubliceerd. Hierin beschrijft de EC de doelstellingen van het toekomstige GLB. De tweede doelstelling wordt omschreven als Duurzaam beheer van natuurlijke

hulpbronnen en klimaatmaatregelen. Onder deze maatregel wordt specifiek de rol van de landbouw in het mitigeren van klimaatverandering genoemd:

*to pursue climate change mitigation and adaptation actions thus enabling agriculture to respond to climate change. Because agriculture is particularly vulnerable to the impact of climate change, enabling the sector to better adapt to the effects of extreme weather fluctuations, can also reduce the negative effects of climate change.*

Op 12 oktober 2011 heeft de Europese Commissie (EC) haar voorstellen voor het nieuwe Europese landbouwbeleid ingediend. De voorstellen betekenen ingrijpende veranderingen voor de directe betalingen, de marktmaatregelen, het plattelandsbeleid en de financiering en uitvoering van het GLB. De EC wil de bestaande stelsels voor de directe betalingen (1<sup>e</sup> pijler) vervangen door een nieuw 'Basis Betaling Stelsel' (BBS). De betalingen onder dit schema blijven verbonden aan (vereenvoudigde) randvoorwaarden voor goede landbouwpraktijk (Cross Compliance). Uiteindelijk is elke lidstaat verplicht om in 2019 een uniform bedrag per hectare voor het hele land of per regio te hanteren.

Naast een basisbetaling stelt de commissie voor om een aanvullende premie in te voeren voor landbouwactiviteiten die gunstig zijn voor klimaat en milieu. In de voorstellen staat dat lidstaten 30% van hun nationale budget voor directe betalingen hiervoor moeten reserveren. In het kader van deze vergroening stelt de EC de volgende landbouwactiviteiten voor die gunstig zijn voor klimaat- en milieudoelstellingen (Van Doorn et al., 2012):

1. Gewasdiversificatie: als een boer meer dan drie hectare akkerland bezit, is hij verplicht daar minstens drie verschillende gewassen op te telen (met een vastgesteld minimum en maximum aan de betaalde oppervlakte).
2. Permanent grasland: boeren zijn verplicht hun areaal permanent grasland te behouden.
3. Ecological Focus Area: boeren moeten 7% van hun areaal (exclusief blijvend grasland, het gaat dus om het areaal akkerbouwmatig geteelde gewassen) bestemmen voor ecologische doelstellingen, zoals akkerranden (ook als bufferzones) en braaklegging.

Hoewel deze maatregelen nog algemeen geformuleerd zijn biedt het voorstel van de EC voldoende aanknopingspunten om maatregelen die koolstofvastlegging stimuleren te implementeren. Voor Nederland zou dit kunnen betekenen dat de randvoorwaarde voor het in standhouden van permanent grasland op bedrijfs- of zelfs perceelsniveau toegepast moeten worden. Er zou dan niet of nauwelijks nog grasland omgeploegd of gescheurd mogen worden. Wat betreft specifieke eisen aan gewasrotatie is de uitdaging om 'best practices' voor koolstofvastlegging (zie hoofdstuk 4) te vertalen naar simpele, generiek toepasbare en eenvoudig controleerbare randvoorwaarden.

De mededeling van de Commissie vermeldt over de 2<sup>e</sup> pijler dat het plattelandsbeleid steeds meer gestuurd zal worden op de nieuwe uitdagingen zoals klimaatverandering. Veel gedetailleerder worden hier verder geen uitspraken over gedaan. Maar het is denkbaar dat binnen het Nederlandse plattelandsontwikkelingsprogramma maatregelen geformuleerd worden voor:

- het extra stimuleren van behoud van grasland
- peilverhoging in veenweidegebieden
- bebossing van landbouwgrond
- extra stimuleren van (het omschakelen naar) biologische landbouw
- stimuleren van minimale grondbewerking
- extensiveren van de landbouwproductie



## 7 Conclusies

Voor het bereiken van klimaatdoelstellingen zal ook koolstofvastlegging in landgebruik belangrijk worden. Aan de ene kant door het aanwezige mitigatiepotentieel, maar anderzijds ook om bestaande koolstofvoorraden in bodems en bossen duurzaam te beheren voor de toenemende vraag naar biomassa. Daarnaast speelt koolstofvastlegging ook een belangrijke rol in de vergroening van het gemeenschappelijke landbouwbeleid (GLB). Met deze studie geven we een overzicht van de potentiële koolstofvastlegging en koolstofverliezen als gevolg van landgebruik en landgebruikveranderingen, en de koolstofvastlegging door specifieke maatregelen in landbouw en natuur.

Volgens een theoretische benadering zou er in principe zou 5 Mton CO<sub>2</sub> additioneel via maatregelen in de landbouw gerealiseerd kunnen worden. Dit bestaat gedeeltelijk uit het vermijden van verliezen (o.a. tegengaan scheuren grasland, waterbeheer op veengronden) en gedeeltelijk uit vastlegging van koolstof in landbouwbodems door maatregelen (o.a. betere rotaties, minder ploegen en aanvoer van extra koolstof naar de bodem).

In deze studie is de gemiddelde bodemkoolstofvoorraad in de bovenste 30 cm voor bodem-landgebruik combinaties bepaald op basis van de LKS data. Gebaseerd op deze data is de totale bodem C-voorraad in Nederland geschat op 357 Mton C. Alhoewel de verandering in bodemkoolstofvoorraad niet voor alle landgebruikveranderingen is berekend, laat het resultaat voor de belangrijkste landgebruikveranderingen zien dat emissies elkaar veelal compenseren. De totale netto CO<sub>2</sub>-emissie uit minerale bodems zal dan ook rond de nul liggen, zoals Nederland nu ook naar de UNFCCC rapporteert.

Daarnaast is ook het mitigatiepotentieel voor maatregelen uit de landbouw bepaald. De potentie voor koolstofvastlegging in de bodem is regio-specifiek en hangt af van het gewas en bodemtype. Niet-kerende grondbewerking en verbeterde gewasrotaties hebben de grootste potentie voor koolstofvastlegging. Echter kosten en agronomische beperkingen zorgen ervoor dat het realistische mitigatiepotentieel veel lager is. De totale realistische koolstofvastlegging in de landbouw wordt geschat op 0.8 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. Samen met enkele niet doorgerekende maatregelen zal de maximaal haalbare koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw ongeveer 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar zijn. Dit is ongeveer 5,5% van de huidige emissies uit de sector landbouw. Dit lijkt niet veel, maar het is wel even veel als 40% van de huidige koolstofopslag in bossen. Koolstofvastlegging in de bodem kan dus zeker helpen om emissies uit de landbouw te verminderen.

In het voorstel voor het toekomstig gemeenschappelijk landbouw beleid na 2013 is het vergroenen van de directe betalingen aan boeren via een aantal verplichte maatregelen een belangrijk onderdeel. De voorgestelde verplichte activiteiten zijn gewasdiversificatie, permanent grasland bescherming en het toekennen van ecological focus areas. Deze drie maatregelen kunnen zorgen voor additionele koolstofvastlegging en dragen daarmee bij aan klimaat- en milieudoelstellingen.

Tenslotte kan CO<sub>2</sub> ook in natuur worden vastgelegd. CO<sub>2</sub>-compensatie vindt nu vooral plaats door aanplant van bossen, maar deze studie laat zien dat ook andere natuurtypen grote koolstofvoorraden kunnen vastleggen. Vochtige bossen hebben de grootste koolstofvoorraad per hectare, maar de grootste bodemkoolstofvoorraad ligt onder natuurlijke schraalgraslanden en rietmoeras. Voor de meeste natuurtypen is de koolstofvoorraad ondergronds vele malen hoger dan de voorraad bovengronds. De bossen vormen hierop de uitzondering.





# Referenties

- Aarts, H.F.M., Bussink, D.W., Hoving, I.E., van der Meer, H.G., Schils, R.L.M. en Velthof, G.L. 2002. Milieutechnische en landbouwkundige effecten van graslandvernieuwing. Een verkenning van de hand van praktijksituaties. Rapport 41A, Plant Research International, Wageningen.
- Anonymous, 2007. Ecologische evaluatie regelingen voor natuurbeheer; Programma Beheer en Staatsbosbeheer 2000-2006. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Anonymous, 2008. Index Natuur, Landschap. Onderdeel natuurbeheertypen. Versie 0.3, 11 februari 2009, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, De Landschappen, Unie van Bosgroepen, Federatie Particulier Grondbezit.
- Berendse, F. 1990. Organic Matter Accumulation and Nitrogen Mineralization During Secondary Succession in Heathland Ecosystems. *Journal of Ecology* 78: 413-427.
- Bos, J., J. de Haan, et al., 2007. Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Plant Research International, Wageningen.
- Dirkse, G.M., W.P. Daamen, H. Schoonderwoerd, M. Lapink, M. Van Jole, R. Van Moorsel, P. Schnitger, W.J. Stouthamer, et al., 2007. Meetnet Functievervulling bos 2001-2005. Vijfde Nederlandse Bosstatistiek. Ede, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Dolfing, J., W.J.M. de Groot, I.E. Hoving en P.J. Kuikman, 2004. Lachgasemissie bij graslandvernieuwing in voor- of najaar; Resultaten van een éénjarige meetcampagne. Alterra-rapport 896, Alterra, Wageningen.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter en R. Visschers, 2001. Status 2001 Landelijke steekproef Kaarteenheden en toepassingen, Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodems. Alterra-rapport 389, Alterra, Wageningen.
- Fliervoet, L. M., 1984. Canopy structures of Dutch grasslands. Thesis, Utrecht.
- Fliervoet, L. M., 1987. Characterization of the canopy structure of Dutch grasslands. *Vegetatio* 70: 105-117, 1987.
- Franken, R. en G.J. van den Born, 2006. Quick scan 'Beheersopties in het veenweidegebied en emissies van broeikasgassen', Milieu en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- de Groot, W.J.M., R. Visschers, E. Kiestra, P.J. Kuikman en G.J. Nabuurs, 2005. National system to report to the UNFCCC on carbon stock and change of carbon stock related to land use and changes in land use in the Netherlands. Alterra-rapport 1035-3, Alterra, Wageningen.
- Hanegraaf, M.C., E. Hoffland, P.J. Kuikman, en L. Brussaard. 2009. Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science* 60: 213-222.
- Hilst, van der F., J.P. Lesschen, J.M.C. van Dam, M. Riksen, P.A. Verweij, J.P.M. Sanders en A.P.C. Faaij. 2012. Spatial variation of environmental impacts of regional biomass chains. *Renewable and Sustainable energy reviews* 16: 2053-2069.
- IPCC. 2006. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. en Tanabe K. (eds). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. IGES, Japan. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>)
- Jacobs, C.M.J., E.J. Moors en F.J.E. van der Bolt, 2004 Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bij ROC Zegveld. Alterra-rapport 840, Alterra, Wageningen.
- Jansen, P.C., R.F.A. Hendriks en C. Kwakernaak, 2009. Behoud van veenbodems door ander peilbeheer; Maatregelen voor een robuuste inrichting van het westelijk veenweidegebied. Alterra-rapport 2009, Alterra, Wageningen.
- Kiehl, K., Esselink, P., Gettner, S. en Bakker, J.P. 2001. The impact of sheep grazing on net nitrogen mineralization rate in two temperate salt marshes. *Plant Biology* 3, p. 553-560

- Klap, J.M., W. de Vries en E.E.J.M. Leeters, 1999a. Effects of acid atmospheric deposition on the chemical composition of loess, clay and peat soils under forest in the Netherlands. Staring Centre Report 97.1, Wageningen.
- Klap, J.M., J. Kros en W.A. de Boer, 1999b. Chemische samenstelling van bodem en grondwater in het stroomgebied van de Drentse Aa : inventarisatie ten behoeve van de parametrisatie en validatie van de standplaatsmodule van het GREINS – model. Rapport 541, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Koerselman, W. en J.T.A. Verhoeven 1992. Nutrient dynamics in mires of various trophic status: nutrient inputs and outputs and the internal nutrient cycle. In: J.T.A. Verhoeven (ed). Fens and Bogs in the Netherlands: Vegetation, History, Nutrient Dynamics and Conservation Dordrecht, Kluwer Academic Publishers pp. 397-432.
- Kooistra, L., Wamelink, G.W.W., Schaepman-Strub, G., Schaepman, M., Dobben, H. van, Aduaka, U. en Batelaan, O., 2008. Assessing and predicting biodiversity in a floodplain ecosystem: Assimilation of net primary production derived from imaging spectrometer data into a dynamic vegetation model. *Remote Sensing of Environment* 112 (2008) 2118–2130.
- Kramer, H., G.J. van den Born, J.P. Lesschen, J. Oldengarm en I.J.J. Van den Wyngaert. 2009. Land Use and Land Use Change for LULUCF reporting under the Convention on Climate Change and the Kyoto protocol. Alterra-report 1916, Alterra, Wageningen.
- Kuikman, P.J., de Groot, W., Hendriks, R., Verhagen, J. en de Vries, F. 2003. Stocks of C in soils and emissions of CO<sub>2</sub> from agricultural soils in the Netherlands. Alterra-rapport 561, Alterra, Wageningen.
- Kuikman, P.J., Kooistra, L. en Nabuurs, G.J. 2004. Land use, agriculture and greenhouse gas emissions in the Netherlands: omissions in the National Inventory Report and potential under Kyoto Protocol article 3.4. Alterra-rapport 903, Alterra, Wageningen.
- Kuikman, P.J., J.J.H. van den Akker en F. de Vries. 2005. Emissions of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from organic agricultural soils. Alterra-rapport 1035.2. Alterra, Wageningen.
- Leeters, E.E.J.M. en W. De Vries 2001. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 200 forest stands in the Netherlands in 1995. Alterra-report 424.2., Alterra, Wageningen.
- Lesschen, J.P., R. Schils, P. Kuikman, P. Smith en D. Oudendag, 2008a. PICCMAT: implementation of measures to mitigate CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O from agricultural systems across EU27. Wageningen. PICCMAT Deliverable D7. <http://www.climatechangeintelligence.baastel.be/piccmat/>
- Lesschen, J.P., P.J. Kuikman, A. Bannink, G.J. Monteny, L. Šebek en G.L. Velthof. 2008b. Klimaatmaatregelen in de agrosectoren en de afwentelingseffecten. Rapport voor SenterNovem. Alterra, Wageningen.
- Lesschen, J.P., P.J. Kuikman en I. van den Wyngaert, 2009. Nulmeting emissie broeikasgassen Gelderse land- en tuinbouw. Alterra-rapport 1891. Alterra, Wageningen.
- Lesschen, J.P. M. van den Berg, H.J. Westhoek, H.P. Witzke en O. Oenema, 2011. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. *Animal Feed Science & Technology*, 166-167: 16-28.
- Melman, Th.C.P. en C.M. van der Heide, 2011. Ecosysteemdiensten in Nederland: verkenning betekenis en perspectieven. Achtergrondrapport bij Natuurverkenning 2011. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 111.
- Muys, B., J. Garcia, et al. 2002. Scenario's Voor Broeikasgasreductie Door Vastlegging Van Koolstof En Energiesubstitutie: Ruimtebeslag, Milieuimpact En Kostenefficiëntie. Leuven, Laboratorium voor Bos, Natuur en Landschap en U.I.A en Centrum voor Economische Studiën, Onderzoeksgroep Planten- en Vegetatie-Ecologie Universiteit Antwerpen.
- Nabuurs, G.J., I.J. Van Den Wyngaert, W.P. Daamen, A.T.F. Helmink, W. De Groot, W.C. Knol, H. Kramer en P. Kuikman 2005. National System of Greenhouse Gas Reporting for Forest and Nature Areas under UNFCCC in The Netherlands. Alterra-report 1035.1, Alterra, Wageningen.
- van den Pol-van Dasselaar, A., K. M. van Houwelingen, et al. 2000. Teelt van maïs op klei-op-veengrond Bemesting en grondbewerking. Lelystad, Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden.
- Pulleman, M., A. Jongmans, et al. 2003. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. *Soil Use and Management* 19: 157-165.

- Reijneveld, A., J. van Wensem en O. Oenema. 2009. Trends in soil organic carbon of Agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152: 231–238.
- Rienks, W.A., Meulenkamp, W.J.H., Olde Loohuis, R.J.W. en van Rooij, B.J.R. 2009. Landbouwatlas van Nederland. ROM3D, Hengevelde.
- Rutgers, M., G. A. J. M. Jagers op Akkerhuis, et al. 2009. Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem: Belang van bodembiodiversiteit en ecosysteemdiensten. Bilthoven, RIVM.
- Schelhaas, M. J., M. N. van Wijk, et al. 2002. Koolstofvastlegging in bossen: een kans voor de boseigenaar? Wageningen, Alterra.
- Schulp, C.J.E. 2009. The carbon copy of human activities. PhD-thesis. Wageningen University, Wageningen.
- Schulp, C.J.E. en Veldkamp, A., 2008. Long-term landscape – land use interactions as explaining factor for soil organic matter variability in Dutch agricultural landscapes. *Geoderma* 146, 457-465.
- Smit, A. en Kuikman, P.J. 2005. Organische stof: onbemind of onbekend? Alterra-rapport 1126, Alterra, Wageningen.
- Velthof, G.L. (red.), 2005. Randvoorwaarden aan het scheuren van grasland met betrekking tot volggewas, periode en bemesting. Alterra-rapport 1204. Alterra, Wageningen.
- Velthof G.L., D. Oudendag, H.P. Witzke, W.A.H. Asman, Z. Klimont en O. Oenema, 2009. Integrated assessment of nitrogen losses from agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE. *Journal of Environmental Quality* 38: 402-417.
- Verhoeven, J.T.A., B. Beltman en 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(2-3): 117-237.
- Vermeer, J.G. en F. Berendse, 1983. The relationship between nutrient availability, shoot biomass and species richness in grassland and wetland communities. *Vegetatio* 53: 121-126.
- de Vries F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland, en J. Denne, 2003. De Bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie. Alterra-rapport 811, Alterra, Wageningen.
- de Vries, W., 1993. De chemische samenstelling van bodem en bodemvocht van duingronden in de provincie Zuid-Holland. Rapport 280, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- de Vries, W., L.J.M. Boumans, A.F.M. Olsthoorn en E.E.J.M. Leeters, 1995. Chemische samenstelling van naalden, bodem, bodemvocht en grondwater van twaalf monitoring-locaties onder bos. Staring Centre Report 370.1, Winand Staring Centre for Integrated Soil and Water Research Wageningen.
- de Vries, W. en E.E.J.M. Leeters, 2001. Chemical composition of the humus layer, mineral soil and soil solution of 150 forest stands in the Netherlands in 1990. Alterra rapport 424.1, Alterra, Wageningen.
- van der Weide, R., F. van Alebeek en R. van den Broek, 2008. En de boer, hij ploegde niet meer? Literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lelystad.
- van Doorn, A.M., T.C.P. Melman, W. Geertsema, B.S. Elbersen, H. Prins, A.H.F. Stortelder en R.A. Smidt, 2012. Vergroening van het GLB door Ecological Focus Area's; Verkenning van doelen, randvoorwaarden, kosten en baten. Alterra-rapport 2296, Alterra, Wageningen.
- Westerhof, R., M. Luitwieler en C. van den Brink, 2010. Maatregelen en instrumenten voor de bodem in prioritaire gebieden. Royal Haskoning, Groningen.
- Wolf, J. 1990. Inventarisatie van niet-fossiele koolstofstromen en -voorraden in terrestrische systemen in Nederland. Rapport. Wageningen, Vakgroep Theoretische Productie-Ecologie. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Wyngaert, I.J.J. van den, Kramer, H., Kuikman, P. en Lesschen, J.P. 2009. Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector, revisions and updates related to the Dutch NIR 2009. Alterra report 1035.7, Alterra, Wageningen.
- Wyngaert, I.J.J. van den, P.J. Kuikman, J.P. Lesschen, C.C. Verwer en H.J.J. Vreuls. 2011. LULUCF values under the Kyoto Protocol. Background document in preparation of the National Inventory Report 2011 (reporting year 2009). Wageningen, Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment. WOt-werkdocument 266.



# Appendix

**Tabel A1**

Overzicht van alle metingen per vegetatiesoort en bodemtype.

Veg code	Verklaring code	CC	CN	LN	PN	SC	SP	SR	Totaal
MA	Maïs						1	1	2
AB	Abeel		1						1
AE	Amerikaanse eik			3					3
BE	Berk			3	26			1	30
BU	Beuk	1	4	9	2		21	12	49
CD	Corsicaanse den					2	30	3	35
DG	Douglas		1				30	15	46
DV	Duin vegetatie					15	33		48
EI	Eik		15	16	5	3	31	39	109
ELS	Els		2	1	3				6
ES	Es		4						4
ESD	Esdoorn			3					3
FS	Fijnspar			1			28	10	39
GA	Gras stikstof arm				3		2	1	6
GC	Gras cultuur		1		1		3		5
GD	Grove den			1			67	26	94
GR	Gras stikstof rijk		1		5		2	4	12
HE	Heide				5		5		10
IEP	Iep		1						1
JE	Jeneverbes						2		2
JL	Japanse Lariks		2	1			18	9	30
KE	Kastanje + Eik			1					1
LA	Lariks						1		1
PO	Populier	1	19	1					21
TK	Tamme kastanje			1					1
X	Onbekend/geen			1					1
Totaal		2	51	42	50	20	274	121	560

**Tabel A2**

Overzicht van alle metingen per combinatie van vegetatiegroep en bodemtype.

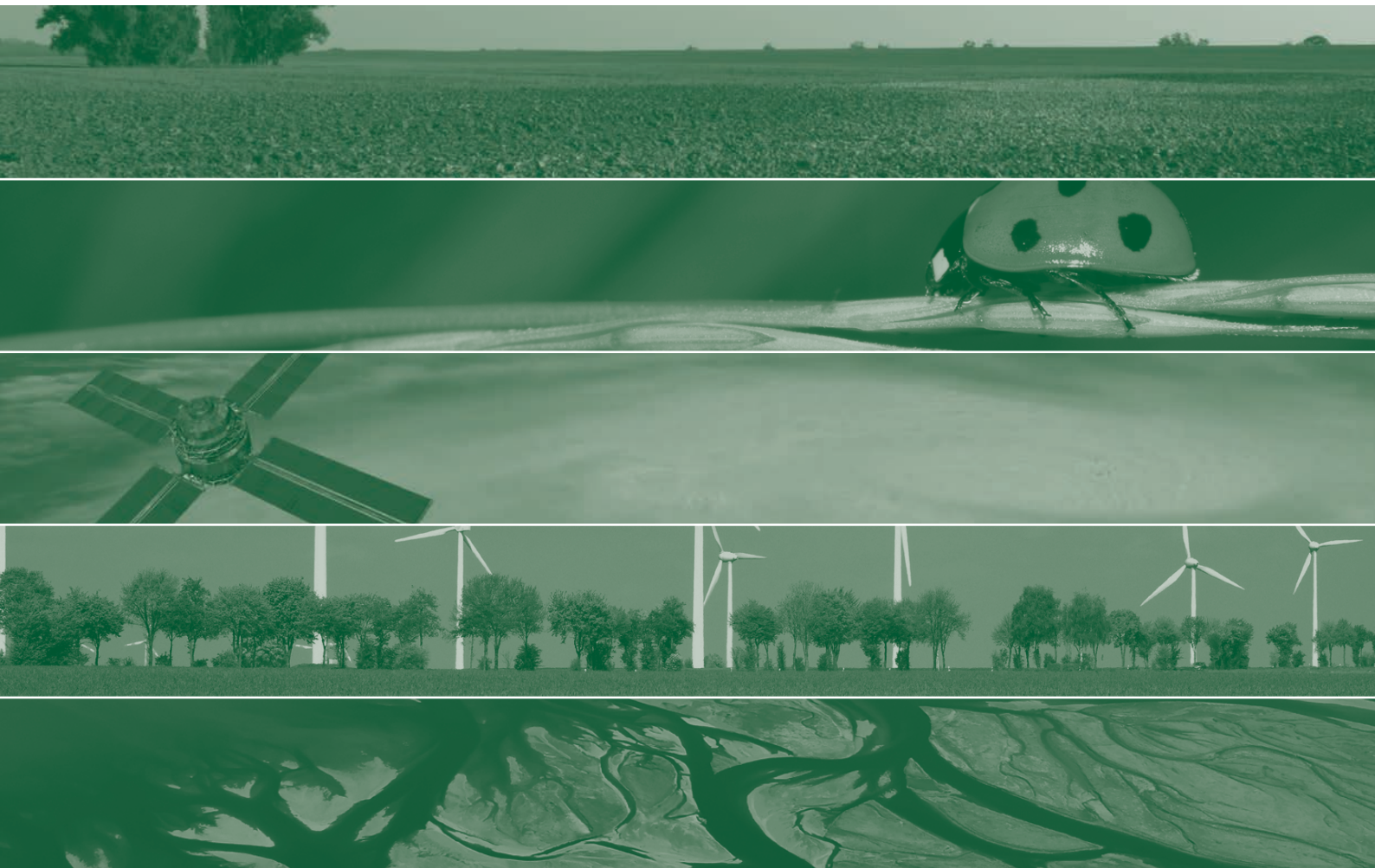
Groep	CC	CN	LN	PN	SC	SP	SR	Totaal
DEC	2	47	40	36	3	72	62	262
GRP		2		9	15	40	5	71
HEA				5		7		12
PIN			1		2	97	29	129
SPR		1	1			58	25	85
Totaal	2	50	42	50	20	274	121	559

**Tabel A3**

Organische stof voorraad in de laag 0-30 cm-mv, incl. strooisel (kg m<sup>2</sup>) per combinatie van bodemtype, vegetatietype en vochttoestand. Zie Hoofdstuk 5 voor verdere toelichting.

Vegetatietype		Bodem																		Tot.			
Groep	Soort*	CC			CN			LN			PN			SC		SP			SR			Tot.	
		droog	Nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal		
DEC	MA																18.0	18.0	10.3		10.3	14.2	
	AB					30.5	30.5															30.5	
	AE							23.8		23.8												23.8	
	BE							16.2	23.2	18.5	48.4	47.3	47.4								43.2	43.2	44.4
	BU		6.7	6.7	16.6		16.6	19.0		19.0		29.9	29.9			21.6	20.4	21.5	18.2	21.0	18.9	20.0	
	EI				15.0	18.7	17.2	24.1	21.4	23.7	49.9	29.1	45.7	12.0	12.0	22.2	21.2	22.0	23.0	22.1	22.7	22.7	
	ELS					28.4	28.4			55.0	55.0		34.5	34.5								35.9	
	ES				19.2		19.2															19.2	
	ESD							20.8		20.8												20.8	
	IEP				15.7		15.7															15.7	
	JL				8.8		8.8	14.1		14.1					23.9	26.0	24.1	21.8	21.6	21.8		22.1	
	KE							25.5		25.5												25.5	
	LA															40.4	40.4					40.4	
	PO	21.5		21.5	33.7	26.1	27.3		32.9	32.9												27.3	
	TK							13.5		13.5												13.5	
	Onbek.							13.8		13.8												13.8	
	Totaal																						
DEC	al	21.5	6.7	14.1	18.4	24.0	21.7	21.2	30.8	22.4	49.4	44.3	45.1	12.0	12.0	22.4	23.2	22.6	21.6	23.3	22.0	25.1	
GRP	DV													5.4	5.4	4.5		4.5				4.8	
	GA											40.6	40.6			22.7	23.4	23.1		27.6	27.6	32.6	
	GC					18.9	18.9					34.8	34.8				23.8	23.8				25.1	
	GR					24.0	24.0					30.1	30.1				18.9	18.9		33.2	33.2	28.8	
	Totaal																						
GRP	al					21.5	21.5					34.1	34.1	5.4	5.4	5.0	22.1	7.6		32.1	32.1	12.6	

Vegetatietype		Bodem																			Tot.	
Groep	Soort*	CC			CN			LN			PN			SC		SP		SR			Tot.	
		droog	Nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat	totaal	droog	totaal	droog	nat	totaal	droog	nat		totaal
HEA	HE											44.3	44.3				22.4	26.9	24.2			34.2
	JE																20.7		20.7			20.7
	Totaal											44.3	44.3				21.7	26.9	23.2			32.0
HEA	CD													5.1	5.1	12.9	19.9	13.6	16.3		16.3	13.3
PIN	GD							18.1	18.1							16.2	18.3	16.5	21.1	27.4	21.8	18.0
	Totaal							18.1	18.1					5.1	5.1	15.2	18.7	15.6	20.5	27.4	21.2	16.7
PIN	DG					12.3	12.3									18.8		18.8	20.6		20.6	19.3
SPR	FS							47.5		47.5						23.1	24.7	23.4	25.9	17.8	22.7	23.8
	Totaal					12.3	12.3	47.5		47.5						20.6	24.7	21.1	22.1	17.8	21.4	21.4
SPR	al					12.3	12.3	47.5		47.5						20.6	24.7	21.1	22.1	17.8	21.4	21.4
Totaal		21.5	6.7	14.1	18.4	23.5	21.5	21.9	28.7	22.9	49.4	42.2	43.0	6.4	6.4	16.9	22.0	17.6	21.4	24.5	22.1	21.2



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl)