

Nationaal systeem voor de rapportage van voorraad en veranderingen in bodem-C in relatie tot landgebruik en landgebruikveranderingen in Nederland aan de UNFCCC

**Nationaal systeem voor de rapportage van voorraad en
veranderingen in bodem-C in relatie tot landgebruik en
landgebruikveranderingen in Nederland aan de UNFCCC**

**W.J.M. de Groot
R. Visschers
E. Kiestra
P.J. Kuikman
G.J. Nabuurs**

Alterra-rapport 1035-3

Alterra, Wageningen, 2005

ABSTRACT

Groot, W.J.M. de, R. Visschers, E. Kiestra, P.J. Kuikman en G.J. Nabuurs, 2005. *Nationaal systeem voor de rapportage van voorraad en veranderingen in bodem-C in relatie tot landgebruik en landgebruikveranderingen in Nederland aan de UNFCCC*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1035-3. 52 blz.; 2 figs.; 11 tables.; 21 refs.

The Netherlands is a party to the United Nations Framework Convention on Climate Change and also the Kyoto protocol and is for this reason obliged to report annually to the international community (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change) emissions of greenhouse gasses. This report formulates preconditions and a method for determining and reporting the C-stock in the soil on the basis of the land use for the IPCC source/sink category 5 LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) in 1990, and next years in accordance.

The C stock of the Netherlands in 1990 can be calculated best with measurements of the National Soil Sample Dataset in combination with the Soil Map of the Netherlands, scale 1: 50,000.

To calculate the C-stock of each land use category in any year, we have used topographical maps from the historical land use of the Netherlands (HGN). The larger time effort to determine C-stock with LSK/HGN led in any case to a considerably better quantified result than the calculations with the FAO-soil map in combination with LGN-3 (land use determined with satellite images).

Determining the C stock of the Netherlands can be carried out more accurate in the future by measuring bulk density, determining C content instead of organic matter, a stratification and updating of the soil map which aims exclusively at differences in C stock between soils.

W.J.M. de Groot, R. Visschers, E. Kiestra, P.J. Kuikman en G.J. Nabuurs, 2005. *Nationaal systeem voor de rapportage van voorraad en veranderingen in bodem-C in relatie tot landgebruik en landgebruikveranderingen in Nederland aan de UNFCCC*. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1035.3. 46 blz.; 2 fig.; 11 tab.; 18 ref.

Nederland heeft het klimaatverdrag en het Kyoto Protocol ondertekend en is daarmee verplicht aan de UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) te rapporteren over de emissie van broeikasgassen. Dit rapport formuleert randvoorwaarden en een prototype voor een nationaal systeem (methodiek) van berekening en rapportage van de voorraad C in de bodem op basis van het landgebruik voor 1990 en volgende jaren.

Metingen van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) in combinatie met de Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 leveren de meest geschikte meetdata om de C-voorraad nauwkeurig te kwantificeren. Om het aandeel van de C-voorraad van elk landgebruik in een willekeurig jaar te berekenen heeft het Historisch Grondgebruik Nederland (HGN) de voorkeur boven de bestanden van LGN. De grotere tijdsinspanning die nodig was om de C-voorraad vast te stellen op basis van de LSK/Bodemkaart en de HGN leidde tot een nauwkeuriger gekwantificeerde uitkomst dan de default methode met de FAO-bodemkaart en LGN-3. De methodiek kan verder verbeterd worden door het meten van dichtheden, verbeterde stratificatie en actualisatie van de Bodemkaart gericht op het vaststellen van veranderingen in bodem C-voorraad.

Keywords: Kyoto Protocol, UNFCCC, C-voorraad, Bodemkaart, Landgebruik, Nederland

ISSN 1566-7197

This report can be ordered by paying €15,- to bank account number 36 70 54 612 by name of Alterra Wageningen, IBAN number NL 83 RABO 036 70 54 612, Swift number RABO2u nl. Please refer to Alterra-rapport 1035-3. This amount is including tax (where applicable) and handling costs.

© 2005 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Contents

Woord vooraf	7
Summary	9
Samenvatting	13
1 Inleiding	17
1.1 Doelstelling	17
1.2 Werkwijze	17
2 Randvoorwaarden Protocol	19
2.1 Inleiding	19
2.2 Veranderend landgebruik	19
2.2.1 Organische stofgehalte op gras- en bouwland versus Gt	20
2.2.2 CBS versus rapportage 2003	22
2.3 Bodemdata en de voorraad koolstof	23
2.3.1 Representativiteit	24
2.3.2 Datering	25
2.3.3 Dikte van lagen	25
2.3.4 Nauwkeurigheid organische stofgehalte	25
2.3.5 Nauwkeurigheid van de C-voorraadberekening	28
2.3.6 Kosteneffectiviteit	29
3 Stappenplan vaststelling van de koolstofvoorraad in Nederland	31
3.1 Gegevens klimaat en bodemtype	31
3.2 De Bodemdata	32
3.2.1 De FAO-bodemkaart	33
3.2.2 Gedetailleerde Nederlandse bodemkundige informatie	33
3.2.3 Kwaliteit beschikbare bodemdata	35
3.3 Effecten landgebruik	37
3.4 Berekening van C-voorraden en veranderingen	37
4 Resultaten	39
4.1 C-voorraad in 1990 op basis van de default IPCC Good Practice Guidance for LULUCF met de FAO-bodemkaart van Nederland	39
4.2 C-voorraad en de C-fluxen op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden van Nederland en het historisch landgebruik van 1990 en 2000	42
4.3 Vergelijking van de methoden voor berekening van C-voorraad	45
5 Conclusies en aanbevelingen	47
Literatuur	51

Woord vooraf

Nederland als deelnemer van de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) heeft de verplichting om een nationaal systeem voor de rapportage van broeikasgassen in de LULUCF-sector (Land Use, Land Use Change, and Forestry) te ontwerpen en te operationaliseren. Dit rapport presenteert zo'n methodiek op Tier 2 niveau voor zes landgebruikscategorieën namelijk: forest (incl. bos, bomen buiten bos en andere natuurterreinen), grassland, cropland, wetland, settlements en other land in Nederland.

Met dit systeem kunnen totaalsommen van CO₂ voorraad en -emissies worden gepresenteerd en berekend voor de periode 1990-2003 en later. Emissies van andere broeikasgassen uit de bodem worden in andere sectoren gerapporteerd (category 4; Agriculture) of verwaarloosbaar klein verondersteld. De resultaten die in dit rapport zijn beschreven zijn gerapporteerd aan de UNFCCC in de NIR2005 (Klein Goldewijk et al., 2005).

Het onderzoek is gesubsidieerd door het Programma Onderzoek Klimaatverandering 421 onder project 230985. We willen de Stuurgroep (WEBSinks) bedanken voor hun adviezen en opmerkingen.

Summary

The Netherlands is a party to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto protocol and as such is obliged to report annually to the international community on stocks of carbon in soil and the impact of land use and land use changes. The Netherlands has not reported these carbon stocks until 2004. To facilitate reporting it is necessary to design and operationalise a national system for the reporting under the category Land Use, Land Use Change and Forestry. This report presents the design and selection of such a national system for soil carbon and land use. With this national system, we have calculated the C stocks for the required land use categories in the period 1990 to 2003. Similarly, a national system has been designed for forests (Nabuurs et al., 2005a) and for emissions from cultivated organic soils (Kuikman et al., 2005b).

In this report we present and discuss:

- requirements on the determination of the C-stock that must be met under the UNFCCC
- alternatives and options to determine C-stocks and changes of such C-stocks on the basis of the current knowledge and availability of databases and GIS
- a step-by-step scheme of the determination of C stocks in the Netherlands according to directives of the IPCC
- calculated C stocks on the basis of the default IPCC method according to Tier 1
- calculated C stocks and changes between 1990 and 2003 on the basis of a country specific methodology according to Tier 2 with LSK/ soil map of the Netherlands 1: 50,000 and land use on the basis of detailed topographically maps (historical land use of the Netherlands; HGN).
- selection of the basis for a national system and protocol for the determination of C stocks in Dutch soils
- suggestions and recommendations concerning the measurements on C stocks in the near future and related to verification and monitoring of C stocks and changes in C stocks.

Land – use

The UNFCCC requires that estimates for soil C stocks discriminate between at least 6 categories of land – use and are explicit for 1990 and the following years. These are: forest, grassland, cropland, wetland, settlements and other land. Several options for estimating areas for specific land use have been considered. Statistics could provide the total area for agriculture (grassland and cropland) and forest. Such statistics would not be covering the total land area in the Netherlands. A wall – to – wall approach is the assessment of land use with satellite images. This technology is developing fast and used for respectively LGN – 1, 2, 3,4 and 5 in the time period of 1985 till recent. As technology is developing the precision and accuracy increases over time. Another methodology is using the HGN (historical land use) which is

based on the topographical survey and maps (Kramer et al., 2005). This methodology is well established and the changes in its methodology are minor.

The use of a LGN-3-file produced a strong over-estimate of the area grass compared to the area grass that was determined by CBS for 1990 (1998). The HGN has the advantage that it is possible to update the land use very frequently (2 – 4 years) and the quality of the data will remain constant over time. Also the classification in landuse categories corresponds to the IPCC division. We have thus selected the latter methodology as it will produce land use maps more and more frequently and will continue to use a well established methodology which provides wall – to – wall data of constant quality and likely include ground verification and will easily follow the IPCC classification of land use.

Soil type and stock of C

Stocks of carbon can be determined with several methodologies as well. UNFCCC requires that stocks of C are reported for land use categories for the top 30 cm. The traditional method and first option is to use the soils map and soil C data for different soil types. The stock of C in soil is mainly determined by climate, soil type, groundwater class and the land use. Changes in the C stock are determined by land use and changes in land use and by interventions in the soil and groundwater management such as for example peat cultivation and drainage (Kuikman et al., 2005b). As a consequence the traditional soil map may not represent the Dutch soils well enough anymore since frequent interventions have taken place locally. Many soils have been subject to intensive drainage during 1950 – 1990. As of 1990 drainage intensity and practices have not changed much anymore compared with the period 1950-1990. Many soil improvement projects have been undertaken. Last but not least many organic soils have been intensively managed to such an extent that the loss of C has been severe and these soils are no longer classified as organic soils.

Another option in the Netherlands is to use the recent LSK (Finke et al., 2002). The Dutch Soil Sampling Set (LSK) was carried out to quantify the Soil Map of the Netherlands scale 1: 50, 000 with statistical features. The (LSK) of the soil map of the Netherlands, scale 1: 50,000 is the most representative set is land covering soil data with statistically determined values. Of all samples organic matter content has been determined. The sample locations are geographically fixed and by means of the soil map the measurements are extrapolated to the areas which they represent. The C stock of the Netherlands in 1990 can be calculated best with measurements of the National Soil Sample Dataset.

The results in the LSK lead to the following conclusions:

- The C stock between grass and cropland in the Netherlands is not different for any groundwater level class with the exception of groundwater class VI. The groundwater class has a much larger impact on the C stock than land use.
- All groundwater classes have a significantly different C stock except groundwater classes IV and V and IV and VI.

- Measuring of organic matter content is more reliable than estimating; the standard error increases at lab analysis with the organic matter content to a maximum of 3.6%; determining bulk density with pedo transfer functions is for peat soils rather uncertain and the C content of organic matter varies although 50% is a reasonable estimate.

The soil map is to a limited extent a reproduction of the differences in C stock in the Netherlands.

At the set-up of the LSK not only differences in organic matter content has been taken into account. The stratification (division of the Dutch soil units in homogeneous groups) as a means of translation to a land covering picture of the C stock can be improved. For example in the North of the Netherlands as a result of climate differences soils are richer to carbon. The soil map of the Netherlands scale 1: 50,000 appears also out-of-date especially in areas where peaty material occurred. There the soil map will have to be actualized firstly.

The dates and data for calculations which necessary are a stock estimate of soil C reach have been developed in a number of steps according to the Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003):

Step 1: Collect of data concerning climate (1a) and soil types (1b)

Step 2: Collect of data concerning land use and - management in the time

Step 3: Collect of data concerning the impact of changes in land use and country management on the stock C in the soil and C flux from the soil

Step 4: Calculation of the stock soil C in the Netherlands in 1990, and next years

Step 5: Calculation and treasures of the annual changes in the carbon stocks

Step 6: Recommendations for future adaptations and more details of data, databases and calculations

These steps are passed through for two methods, FAO-kaart in combination with LGN-3 and the LSK/ soil map 1: 50, 000 in combination with HGN.

The methodology to determine C stock on the basis of the LSK and LGN-3 estimated the C stock in the top 30 cm at 286000 Gg C. The default IPCC methodology the C stock was estimated at 244000 Gg C. The first methodology is more time consuming (20 days and 5 days respectively).

The quality of the default method has not been determined. The inaccuracy of the C stock calculation with the LSK/LGN-3 methodology is (at 95% confidence) only 2.1% which relates to the precision of the estimate of the organic matter content. The larger time effort led in any case to a considerably better quantified result. If we include the estimate for C in organic soils from the LSK/LGN-3 methodology to the estimate from the default methodology (66000 GgC) the total stock of C amounts to 310000 Gg C. This is 8% higher than the earlier calculation of 286000 Gg C. We have not calculated any changes of C with either methodology. For LSK/LGN – 3 this would not be possible for data on changes of soil C are not available. We have

chosen not to use the default factors for changes of soil C as provided by the IPCC GPG (2003).

The total C stock in the soil with the method LSK/HGN is calculated at 336450 Gg C in 1990. This stock had decreased to 336073 Gg C in 2000. This means an annually net flux of 34 Gg C (125.8 Gg CO₂). The C stock calculated with this method is much higher than with the default method (FAO) or compared to the earlier calculations with LSK/LGN-3 (Kuikman et al., 2003). For large enclaves of the soil map (urban area) a C stock has now been determined by extrapolation. The area for which the C stock is calculated has increased from 2.8 to 4.1 million ha. We have selected to use the LSK/HGN methodology because of the use of the combination of using the best quality of available soil- and land use data in the Netherlands.

As we know now soil types and characteristics of soils in the Netherlands have changed over time and are likely to change in the future as well as a direct result of soil and water management. If one then calculates the C-stock by using a single (old) soil map not all changes of C will be recognized and taken into account. This would require frequently updating of the soil map.

Differences in C-stock are distinguished with difficulty in the short term (5 years). That also becomes clear from the precision with which can be measured. It is very important to take account for the influence of the changing soil map (disappear of peat layers) when calculating C-fluxes (Kuikman et al., 2005).

Monitoring of the C stock in the Netherlands can be carried out with a new sampling scheme. A proposal is in preparation (Alterra, T. Hoogland in prep.). Alternatively modeling in combination with measurements of C changes at several representative locations for validation purposes is a good option. Then extrapolation of this knowledge and accounting to the total area of the Netherlands is feasible. This deterministic approach leads likely to a better understanding on impact (of changes) of land use. With such a modeling methodology, one may expect that the impact of regulations to diminish C losses and emissions or C gains and sequestration could be established.

Determining the C stock of the Netherlands can be carried out more accurate in future by measuring bulk density, determining C content instead of organic matter and a stratification and update of the soil map which aims exclusively at differences in C stock between soils.

Samenvatting

Nederland neemt deel aan het klimaatverdrag van de Verenigde Naties en het Kyoto Protocol en is daarom verplicht jaarlijks aan de internationale gemeenschap (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change) te rapporteren over de koolstofvoorraad in de bodem bij verschillend landgebruik en veranderingen daarin. Nederland heeft tot 2004 nog geen koolstofvoorraden gerapporteerd. Om dit alsnog te faciliteren en is het nodig om een nationaal systeem te ontwerpen en operationaliseren voor de rapportage van de categorie Land Use and Land Use Change and Forestry.

Dit rapport presenteert het ontwerp en de selectie van een dergelijk nationaal systeem for koolstof en landgebruik. Met dit nationale systeem hebben we C-voorraden gerapporteerd voor de benodigde landcategorieën in de periode 1990 tot 2003. Vergelijkbaar hiermee is een nationaal systeem ontworpen voor de bossen (Nabuurs et al., 2005a) en voor de emissies van gecultiveerde veengronden (Kuikman et al., 2005b).

In dit rapport komen aan de orde:

- eisen waaraan de vaststelling van de voorraad C moet voldoen onder de UNFCCC afspraken
- alternatieven en opties om op basis van de huidige kennis en beschikbaarheid van databases en GIS te komen tot vaststelling van voorraden C en veranderingen
- stappenplan vaststelling C-voorraad in Nederland volgens richtlijnen IPCC
- De berekende C-voorraad op basis van default IPCCmethode volgens Tier 1.
- De berekende C-voorraad en veranderingen tussen 1990 en 2000 op basis van landspecifieke methoden volgens Tier 2 met LSK/Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 en landgebruik op basis van gedetailleerde topografische kaarten (Historisch Grondgebruik Nederland; HGN).
- Keuzes voor het protocol vaststellen C-voorraad Nederlandse bodem
- Opmerkingen, aanbevelingen over het meten van C in de toekomst (monitoring) en gerelateerd aan verificatie en monitoring van C-voorraden en –veranderingen.

Landgebruik

De UNFCCC vereist dat schattingen van de bodemvoorraad C verdeeld worden over zes categorieën landgebruik en expliciet zijn vanaf 1990 en volgende jaren. De landgebruiks categorieën zijn bos, grasland, bouwland, moeras, bebouwing en ander land. Verschillende opties om de oppervlakten per landgebruik vast te stellen zijn bekeken. Oppervlakte-statistieken (CBS) geven inzicht in de totale oppervlakte van het landelijk gebied (agrarisch en bos). Zo'n registratie levert geen inzicht in de geografische ligging van het landgebruik in Nederland. Een geografisch inzicht in het landgebruik wordt wel verkregen met satellietbeelden. Deze technologie ontwikkelt

zich snel en is gebruikt voor LGN (LandGebruik Nederland-1 t/m -5) vanaf 1985 tot nu. De nauwkeurigheid en precisie van de methodiek neemt nog steeds toe. Een andere methode maakt gebruik van topografische kaarten op schaal 1: 25 000 (HGN: Historisch Grondgebruik Nederland, Kramer et al., 2005). Deze methode is goed uitgewerkt en te verwachten wijzigingen zijn miniem.

Het gebruik van het LGN-3 bestand leverde een sterke overschatting van de oppervlakte grasland vergeleken met de hoeveelheid grasland die was vastgesteld door het CBS (1998). Het HGN heeft het voordeel dat het mogelijk is om snel een nieuwe versie van het landgebruik te verkrijgen (2-4 jaar) en de kwaliteit van de data blijft constant in de tijd. Ook de classificatie in land gebruikscategorieën sluit aan bij de IPCC indeling. We hebben de laatste methode dus geselecteerd, omdat het frequent nieuwe landgebruikskaarten oplevert en continu bruikbaar is als een uitgewerkte methode die geografische landgebruiksdata van een constante kwaliteit die goed aansluiten bij de basis verificatie levert en ook eenvoudig de IPCC indeling van landgebruik volgt.

Bodem en voorraad C

De voorraad C in de bodem kan op verschillende manieren worden vastgesteld. UNFCCC vereist dat de C-voorraden gerapporteerd worden per landgebruikscategorie en van de eerste 30 cm. De traditionele methode en de eerste optie is het gebruik van de bodemkaart en gegevens over C in de bodem per kaartvlak. De voorraad C in de bodem wordt voornamelijk bepaald door klimaat, bodemtype, grondwatertrap en het landgebruik. Veranderingen in de voorraad C worden bepaald door landgebruik, veranderingen in het landgebruik en door ingrepen in de bodem en Gt als veenontginning en ontwatering (Kuikman et al., 2005b). Het gevolg hiervan is dat de traditionele bodemkaart de Nederlandse bodem niet meer goed genoeg representeert omdat regelmatig ingrepen in de bodem zijn uitgevoerd. Van veel bodems is de ontwatering door drainage tussen 1950 en 1990 verbeterd. Na 1990 is dat veel minder het geval geweest. Veel bodemverbeterende maatregelen zijn genomen. Daarnaast zijn er veel veengronden zodanig intensief in gebruik genomen dat er veel zoveel organisch materiaal is verdwenen.

Een andere optie om in Nederland te gebruiken is de recente LSK (Finke et al., 2002). De landelijke steekproef Kaarteenheden is gebruikt om de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 te kwantificeren met statistische waarden. De Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 is de meest representatieve set landsdekkende bodemdata met statistisch bepaalde waarden. Van alle meetpunten zijn organische stofgehalten bepaald. De meetlocaties zijn geografisch vastgelegd en via de bodemkaart zijn de meetwaarden te extrapoleren naar de vlakken die ze representeren. De C-voorraad van Nederland in 1990 kan het best worden berekend met meetdata van de Landelijke steekproef kaarteenheden.

De resultaten met LSK leiden tot de volgende conclusies:

- De C-voorraad van gras- en bouwland in Nederland is niet verschillend behalve voor grondwatertrap (Gt) VI. De Gt heeft een veel grotere invloed op de C-voorraad dan het landgebruik.
- Alle grondwatertrappen hebben significant verschillende C-voorraad behalve Gt IV en V én IV en VI.
- Meten van het organischestofgehalte is betrouwbaarder dan schatten; de standaardfout neemt bij labanalyse toe met het organische stofgehalte tot max. 3,6%; De dichtheid vaststellen met vertaalfuncties is voor veengronden nogal onzeker en het C-gehalte van organische stof varieert hoewel 50 % een redelijke schatting is.

De bodemkaart is in beperkte mate een weergave van de verschillen in C-voorraad in Nederland.

Bij de opzet van de LSK is niet alleen rekening gehouden met verschillen in organische stof. De stratificatie (indeling van de Nederlandse bodems in homogene groepen) als middel van vertaling naar een landsdekkend beeld van de C-voorraad kan dus nog verbeterd worden. In Noord Nederland zijn bodems als gevolg van klimaatverschillen bijvoorbeeld rijker aan koolstof. De Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 blijkt ook verouderd in gebieden waar veel moerig materiaal voorkomt. Daar zal de bodemkaart eerst geactualiseerd moeten worden.

De data voor de berekeningen die nodig zijn om tot een voorraadschatting van bodem C te komen zijn uitgewerkt in een aantal stappen volgens de Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003):

Stap 1: Verzamelen van gegevens over klimaat (1a) en bodemtypes (1b)

Stap 2: Verzamelen van gegevens over landgebruik en –management in de tijd

Stap 3: Verzamelen van gegevens over het effect van veranderingen in landgebruik en landmanagement op de voorraad C in de bodem en de C flux uit de bodem

Stap 4: Berekening van de voorraad bodem C in Nederland in 1990 en volgende jaren

Stap 5: Berekening en schatten van de jaarlijkse veranderingen in de koolstofvoorraden

Stap 6: Aanbevelingen voor toekomstige aanpassingen en detaillering van gegevens, databases en berekeningen

Deze stappen zijn voor twee voorgestelde methoden, de FAO-kaart in combinatie met LGN-3 en de LSK/Bodemkaart 1: 50000 in combinatie met HGN, doorlopen.

De methode voor het vaststellen C-voorraad op basis van de LSK en LGN-3 levert een totaal van 286000 Gg C. De met de default IPCC methode berekende C-voorraad exclusief organic soils bedraagt 244000 Gg C. Die eerste methode kostte meer tijd (respectievelijk 20 en 5 dagen).

De kwaliteit van de default methode is niet vastgesteld. De onnauwkeurigheid bij 95% betrouwbaarheid in de vastgestelde C-voorraad met de LSK-LGN-3 methode was slechts 2,1% (dit betreft de nauwkeurigheid in gemeten organische stofgehalten). De grotere tijdsinspanning leidde in ieder geval tot een aanzienlijk beter te kwantificeren uitkomst. Tellen we de C-voorraad van de organic soils bepaald met de

methode op basis van de LSK/LGN-3 (Kuikman, et al., 2003) (=66000 Gg C) op bij die van de default methode dan bedraagt de totale C-voorraad 310000 Gg C. Dit is 8 % hoger dan de eerdere berekening van 286000 Gg C.

De veranderingen in de C-voorraden zijn met de twee genoemde methoden niet berekend. Voor LSK/LGN-3 is dit niet mogelijk omdat er geen data voor die veranderingen beschikbaar zijn. We hebben er voor gekozen de default factoren (IPCC GPG, 2003) voor de verandering in bodem C niet te gebruiken.

De totale C-voorraad in de bodem met de methode LSK/HGN bedroeg in 1990 336450 gG C en is in 2000 afgenomen naar 336073 Gg C. Jaarlijks betekende dit een netto C-flux van 34 Gg C (125,8 Gg CO₂). De berekende C-voorraad is met deze methode veel hoger dan berekend met de default methode (FAO) of vergeleken met de berekeningen van 2002 (LSK /LGN-3 (Kuikman et al., 2003). Dit komt omdat voor grote enclaves op de bodemkaart (stedelijk gebied) nu alsnog door extrapolatie een C-voorraad is vastgesteld. Het areaal waarvoor de C-voorraad berekend is, is daarmee toegenomen van 2,8 naar 4,1 miljoen ha. De methode LSK/HGN heeft voor de toekomst de voorkeur gekregen vanwege het gebruik van de best beschikbare bodem- en landgebruikdata in Nederland.

Het blijkt aldus dat bodemtypen en bodemeigenschappen in Nederland in de tijd sterk veranderen en zullen in de toekomst waarschijnlijk blijven veranderen als een direct gevolg van het huidige bodem- en watermanagement. Als de C-voorraad in Nederland berekend wordt met steeds dezelfde bodemkaart zullen niet alle veranderingen in bodem C worden opgemerkt en meegenomen. Dit betekent dat de bodemkaart regelmatig moet worden geactualiseerd.

Verschillen zijn moeilijk op korte termijn (5 jaar) te onderscheiden. Dat blijkt ook uit de nauwkeurigheid waarmee gemeten kan worden (zie hoofdstuk 2). Het is van groot belang de invloed van de veranderende bodemkaart (verdwijnen van moerige lagen) los van het landgebruik in het berekenen van fluxen mee te nemen (Kuikman et al., 2005).

Monitoring van de C-voorraad in Nederland kan worden uitgevoerd met een nieuwe steekproef. Een voorstel voor een bemonsteringsstrategie C is in voorbereiding (Alterra, T. Hoogland, i.v.). Alternatief is om C-omzettingsprocessen op verschillende karakteristieke locaties te modelleren en te meten. Vervolgens kan die kennis naar de rest van Nederland geëxtrapoléerd worden. Deze deterministische aanpak leidt tot meer inzicht in effecten (van veranderingen) van landgebruik. Hiermee wordt ook duidelijk wat landelijke effecten van maatregelen om de C-emissie te verminderen zijn.

Het vaststellen van de C-voorraad van Nederland kan in de toekomst nog nauwkeuriger worden uitgevoerd door het meten van dichtheden, het vaststellen van het C-gehalte in plaats van organische stof en een stratificatie en actualisatie van de bodemkaart die zich uitsluitend richt op verschillen in C-voorraad tussen bodems.

1 Inleiding

Nederland heeft het klimaatverdrag van de Verenigde Naties ondertekend en vervolgens ook het Kyoto Protocol en is daarom verplicht jaarlijks aan de internationale gemeenschap (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change) te rapporteren over de koolstofvoorraad in de bodem bij verschillend landgebruik en veranderingen daarin. Nederland rapporteert deze koolstofvoorraden tot nu toe niet. Uiterlijk einde 2005 dient Nederland aan te geven in een Nationaal Systeem hoe deze omissie in haar rapportage aan te vullen en hoe aan eventuele Kyoto verplichtingen wordt voldaan. Als voorbereiding hierop zijn in 2002 en 2003 studies uitgevoerd in opdracht van NOVEM (Werkgroep Emissie monitoring Broeikasgassen, projectgroep sinks en landbouw) naar de mogelijkheden om de koolstofvoorraad te bepalen en welke basis databestanden beschikbaar zijn voor een Nederlands monitoring systeem en welke benodigde gegevens ontbreken (zie Kuikman et al., 2002; Nabuurs et al., 2003; Kuikman et al., 2004; www.carboninsoil.alterra.nl).

1.1 Doelstelling

De doelstelling van dit project is het formuleren van randvoorwaarden en het ontwikkelen van een methodiek voor de bepaling en rapportage van de voorraad C in de bodem op basis van het landgebruik voor de IPCC source/sink category 5 'Land Use, Land-Use Change and Forestry'. Deze methodiek wordt gebruikt voor 1990 en volgende jaren conform de verplichtingen die voortvloeien uit de ondertekening van het klimaatverdrag en het Kyoto Protocol. Een dergelijke methodiek vormt de basis voor een verdere ontwikkeling en detaillering van een protocol van monitoring en rapportage in de verdere toekomst. De methodiek dient te voldoen aan de voorwaarden en internationale standaarden zoals opgenomen in IPCC Revised 1996 Guidelines (IPCC, 1997) en Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003) aangevuld met eventuele landenspecifieke onderdelen.

1.2 Werkwijze

In dit project is een prototype van een methodologie ontwikkeld waarmee de voorraden van bodem C en de jaarlijkse veranderingen daarin (C flux) van minerale en organische bodems in Nederland kan worden bepaald voor het gehele scala van landgebruik in Nederland. Daartoe zijn alle beschikbare data in Nederland geïnventariseerd en gebruikt (zie ook Kuikman et al., 2003; Kooistra en Kuikman, 2003).

In dit rapport komen aan de orde:

- eisen waaraan de vaststelling van de voorraad C moet voldoen

- beschikbare opties om op basis van de huidige kennis en beschikbaarheid van databases en GIS te komen tot vaststelling van voorraden C van 1990
- argumentatie en keuze van de voor- en nadelen en kosten van verschillende opties voor monitoring.
- Resultaten van berekende C-voorraad op basis van default IPCCmethode
- Resultaten van berekende C-voorraad en veranderingen tussen 1990 en 2000 met LSK/Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 en landgebruik op basis van gedetailleerde topografische kaarten
- Conclusies en aanbevelingen

Het rapport is als volgt ingedeeld: in hoofdstuk 2 wordt besproken aan welke randvoorwaarden voldaan moet zijn om tot een goed protocol te komen en tot welke keuzemogelijkheden dit leidt voor de Nederlandse situatie. In hoofdstuk 3 worden een aantal methoden als alternatieven binnen de gebruikte werkwijze van IPCC uitgewerkt die met de huidige beschikbare informatie direct uitvoerbaar zijn. In hoofdstuk 4 worden de resultaten besproken van de toepassing van deze werkwijze met twee methoden en een vergelijking gemaakt. In hoofdstuk 5 volgen de conclusies en zijn aanbevelingen verwoord.

2 Randvoorwaarden Protocol

2.1 Inleiding

Een functioneel protocol om periodiek de voorraad C van de Nederlandse bodem te kunnen berekenen moet aan een aantal eisen of randvoorwaarden voldoen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste voorwaarden genoemd. De beschikbare bodeminformatie, de nauwkeurigheid waarmee en de kosten waarvoor de C-voorraad kan worden gemeten zijn voorwaarden waarmee rekening moet worden gehouden. Het landgebruik is mede bepalend voor de C-voorraad en -veranderingen van de bodem. Binnen de in Nederland beschikbare data leidt dit tot een aantal keuzealternatieven of methodieken.

2.2 Veranderend landgebruik

Het landgebruik is een belangrijke bepalende factor voor de omvang van de emissie van CO₂ en de verandering van de voorraad C in de bodem. In de IPCC Revised 1996 Guidelines (IPCC, 1997) en Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003) wordt door IPCC een defaultmethode voor de berekening van CO₂-emissies voorgesteld waarbij voor elk landgebruik specifieke correctiefactoren worden gehanteerd. Bij wijziging van landgebruik verandert de C-stock, doordat een andere correctiefactor geldt.

Blijft gedurende een lange periode het landgebruik constant dan zal er een evenwicht ontstaan in de C-voorraad van de bodem. Er wordt evenveel C aangevoerd als er verdwijnt. Omgekeerd leidt verandering van landgebruik tot een andere voorraad koolstof en tot tijdelijk extra emissie of vastlegging van CO₂.

Wisseling van gewassen met bijbehorende diepe of ondiepe grondbewerkingen leiden tot een plotselinge verandering van het verloop van bodemprocessen en extra mineralisatie. Bij akkerbouw (jaarlijks nieuwe gewassen) gaat men daarom uit van een lagere C-voorraad dan voor permanent grasland.

Dit betekent dat we de actuele bodemvoorraad C mede op basis van het landgebruik moeten bepalen en dat toekomstige veranderingen in het landgebruik rechtstreeks invloed hebben op de voorraad koolstof in de bodem.

Voor de Nederlandse situatie geldt dat het grasland op met name klei- en zandgronden regelmatig afgewisseld wordt door akkerbouwgewassen als mais. Het Nederlandse grasland is dus niet zo permanent als door IPCC wordt verondersteld. Dit heeft consequenties voor de keuze van de methodiek.

2.2.1 Organische stofgehalte op gras- en bouwland versus Gt

In Nederland is verreweg het grootste deel van het landelijk gebied in gebruik als bouw- of grasland. Het areaal grasland is nog maar ten dele permanent grasland en veelal is grasland opgenomen in een rotatie met andere gewassen of wordt regelmatig gescheurd en vernieuwd. In het algemeen zal de voorraad koolstof onder (permanent) grasland hoger zijn dan onder bouwland. Vanwege de specifieke situatie in Nederland is het zinvol te onderzoeken of het veronderstelde onderscheid tussen akker- en grasland groot genoeg is met het oog op de te berekenen voorraad koolstof en wijzigingen daarin. Het intensieve landgebruik in Nederland met de grote frequentie van grondbewerking ook op grasland leidt tot de veronderstelling dat de verschillen misschien helemaal niet zo groot zijn als verondersteld wordt. Om dat te onderzoeken hebben we de beschikking over het landgebruik dat tijdens de bemonstering van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden LSK (Finke, 2002) is vastgesteld. De bemonstering vond plaats tussen 1990 en 2000. Uit de steekproef zijn alle steekproefpunten met bodemgebruik grasland en bouwland (incl. boomgaard met gras er onder) geselecteerd. In elke steekproef is voor zowel bouwland als voor grasland het gemiddelde organische stofgehalte berekend in de bouwvoor (de laag 0-30 cm). De organische stofgehalten zijn in het laboratorium bepaald volgens de gloeiverliesmethode.

Aangezien het een gestratificeerde steekproef van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 was, moest rekening worden gehouden met het oppervlak van elk stratum (onderscheiden bodemgroepen op de bodemkaart). In de steekproeven waar een relevant aantal punten bouwland en grasland voorkwamen, zijn de verschillen tussen bouwland en grasland vergeleken en is gekeken of de verschillen significant waren. De resultaten van de vergelijking tussen bouwland en grasland zijn weergegeven in tabel 1.

Traditioneel worden de natste gronden gekozen voor gras- en de drogere voor bouwland. Het organische stofgehalte op natte Gt's is hoog. Op Gt I komt alleen grasland voor. Op Gt II komt sporadisch bouwland voor. Onderzoek naar mogelijke verschillen in organische stofgehalten tussen gras- en bouwland was dan ook alleen mogelijk bij de drogere grondwatertrappen. Van de grondwatertrappen Gt III t/m VII is alleen het verschil bij Gt VI significant: het organische stofgehalte van grasland is op deze Gt VI hoger dan van bouwland. Ook bij de steekproef van gronden zonder Gt was het organische stofgehalte van grasland hoger dan bouwland. De reden dat het verschil meestal niet meer aanwezig is bij de andere Gt's, kan samenhangen met de veronderstelde invloed van wisselingen tussen gras- en bouwland. Dat dit niet voor Gt VI geldt, is opmerkelijk. Juist op die wat drogere gronden is het afwisselen in landgebruik tegenwoordig zeer gebruikelijk. Deze Gt komt in grote oppervlakten in Nederland voor. De veronderstelling dat het significante verschil in organische stofgehalte tussen bouwland en grasland op Gt VI veroorzaakt wordt door de grote oppervlakte zeekleigronden die in bouwland liggen, bleek niet juist.

Tabel 1 Gemiddeld organische stofgehalte van de bovengrond (0-30 cm) van bouwland en grasland, de standaardfout en enkele t-waarden waarmee de significantie is onderzocht.

Landgebruik steekproef (Gt)	Bouwland			Grasland			t-waarden ¹
	gemiddeld organische stofgehalte	Standaard fout	n	gemiddeld organische stofgehalte	standaard fout	n	
I	0	0	0	28,74	14,7	18	
II	5,14	9,68	10	15,08	14	165	
III	9,59	10,5	23	8,45	6,35	134	0,71
IV	4,97	3,96	35	5,96	3,35	64	-1,32
V	5,88	5,39	54	6,51	4,75	116	-0,77
VI	3,83	1,62	94	5,31	3,25	75	-3,85
VII	3,95	1,62	37	4,15	1,52	33	-0,54
I/II	9	0	1	37,51	16,2	4	
II/III	0	0	0	10,18	6,65	17	
III/IV	9,55	10,4	2	7,99	3,71	7	
III/V	0	0	0	7,75	6,38	15	
III/VI	4,97	1,54	3	10,65	7,45	15	
IV/VI	2,68	0,58	9	6,55	2,95	11	
V/VI	0	0	0	5,96	2,54	13	
V/VI en V/VI/VII	0	0	0	0	0	0	
VI/VII	3,9	5,09	2	4,92	1,74	11	
Zonder Gt	3,4	0,98	26	4,25	1,21	26	-2,65

¹t-waarden van paarsgewijze verschillen (organische stofgehalte van bouwland versus grasland).
Significante verschillen zijn donkergekleurd

Overigens is de variatie groot. Dit blijkt onder meer ook uit onderzoek van A. Smit (schriftelijke mededeling 2004). Zij komt met een heel andere conclusie op basis van gegevens die zijn verzameld binnen het project *sturen op nitraat* en concludeert dat bouwland gemiddeld hogere organische stofgehalten bevat dan grasland. Deze conclusie wordt duidelijk met de Landelijke steekproef Kaarteenheden (LSK) met meer dan 1000 waarnemingen (waarvan 282 op bouwland en 749 op grasland) tegengesproken. Ze komt ook tot de conclusie dat er weinig verschil is tussen de grondwatertrappen. Ook dit blijkt met de LSK niet zo te zijn. In tabel 2 is weergegeven dat organische stofgehalten van alle Gt's significant verschillend zijn van elkaar behalve IV en V én IV en VI. Tussen IV en VI is de significantie niet erg duidelijk.

Tabel 2 Gemiddeld organische stofgehalte van de bovengrond (0-30 cm) bij verschillende grondwatertrappen, de standaardfout en enkele t-waarden waarmee de significantie wordt aangetoond.

steekproef (Gt)	gemiddeld organische stofgehalte	Standaard- fout	n	t-waarden vergeleken per Gt ¹						
				I	II	III	IV	V	VI	VII
I	22,68	1,08	115	-						
II	14,90	0,95	200	7,19	-					
III	9,28	1,06	180	12,15	5,93	-				
IV	5,56	1,04	130	14,48	8,98	3,50	-			
V	6,29	0,91	200	15,17	9,33	3,16	-0,70	-		
VI	4,44	0,98	210	17,03	11,47	5,17	1,09	2,03	-	
VII	3,46	3,57	155	16,91	11,58	5,75	1,91	2,86		-

¹significante verschillen zijn donkergekleurd

Dat het onderzoek van Smit niet tot de zelfde conclusies heeft geleid, is waarschijnlijk het gevolg van het beperkte aantal (34) bedrijven dat aan haar onderzoek meedeed (ondanks het grote aantal van 478 monsterpunten). Verder betrof het in dat onderzoek uitsluitend zand- en lössgronden.

2.2.2 CBS versus rapportage 2003

In de meest recente studie naar de koolstofvoorraad (Kuikman et al., 2003) is uitgerekend hoeveel organische stof er in de bodem bij verschillende categorieën landgebruik aanwezig is. Daarvoor is gebruik gemaakt van LGN-3, het grondgebruiksbestand op basis van satellietbeelden van 1995 en 1997 (de Wit et al. 1999). De kwaliteit van dit grondgebruiksbestand laat te wensen over als het gebruikt wordt om het areaal gras- en bouwland in Nederland in 1990 vast te stellen. Volgens het LGN-3 is er in Nederland 1.426.000 ha grasland. De cijfers van het CBS in tabel 3 laten zien dat er in 1990 1.096.496 ha grasland in gebruik is bij landbouwbedrijven. Het gebruik van het LGN3-bestand leverde dus een forse overschatting van het areaal grasland vergeleken met het areaal grasland dat door het CBS (1998) werd vastgesteld (registratie landbouw-meetling) voor 1990. Belangrijke redenen behalve dat het natuurlijk niet exact hetzelfde meetjaar betrof zijn vermoedelijk de grote oppervlakte grasland langs wegen, parken etc en een aanzienlijk deel niet als landbouwkundig geregistreerd grasland bij woningen/bedrijven kleiner dan 1,5 ha.

Uit een citaat van een studie naar de nauwkeurigheid van het LGN-3 plus bestand (de Wit et al., 1999) volgt dezelfde conclusie:

“Een van deze afwijkingen betreft de klasse 'gras'. Bij deze klasse worden alle punten boven de 1:1-lijn geprojecteerd en veel punten ook boven de lijn van 115% afwijking. Deze afwijking wordt veroorzaakt doordat de CBS-landbouwstatistiek alleen netto bebouwde oppervlaktes kent. De oppervlaktes in LGN3 zijn in dat opzicht meer een bruto oppervlakte doordat ook oppervlaktes zoals erven van boerderijen en gras op dijken als landbouwgras in het bestand zitten. Gemiddeld genomen bevat LGN3 18% meer landbouwgras dan de CBS-landbouwstatistiek.”

Tabel 3 Overzicht van de oppervlakte landbouwgrond in 1990 (CBS, 1998).

Grondgebruik, kadastrale maat in 1990 (ha)					
Oppervlakte totaal	Totaal cultuurgrond	Niet in gebruik zijnde cultuurgrond	Natuurlijke graslanden	Bos (incl. kerstdennen) en snelgroeiend hout	Overige gronden
2166189	2059489	991	14598	17577	73535
Grondgebruik, gemeten maat in 1990 (ha)					
	Totaal cultuurgrond	Akkerbouwgewassen	Grasland, totaal	Blijvend grasland	Tijdelijk grasland
	2005608	799434	1096496	1061615	34881

In tabel 2 is voorts te zien dat de oppervlakte bouwland in 1990 799.434 ha bedroeg, wat ook minder is dan de door het LGN3 vastgestelde 920.000 ha. Dit verschil is wel kleiner dan het verschil wat we bij grasland constateerden.

De gevolgen voor de berekende C-voorraad van Nederland per landgebruik kunnen aanzienlijk zijn als we ons in het protocol beperken tot de landbouwgronden. In dat geval is het wenselijk uit te zien naar nauwkeuriger overzichten van het agrarische landgebruik in Nederland. Alternatieven zijn de topografische kaart schaal 1: 10 000 of de topografische kaart schaal 1: 25 000. De eerste is ook als TOP10 vectorbestand beschikbaar. De basisregistratie bij LASER van LNV is echter mogelijk de enige die onderscheid maakt tussen grasland voor landbouwdoeleinden en overig grasland. Het LGN4-bestand waarbij een koppeling van de landbouwgewassen aan TOP10-vector de mogelijkheid biedt om veranderingen in landgebruik op te sporen is een optie voor het vervolg.

De digitale bestanden van landgebruik als grasland en bouwland op basis van de topografische kaart van Nederland, schaal 1: 25 000 van rond 1990 en 2000 (Kramer, H en W. Knol, 2005) zijn gereed. Het doel van deze activiteit was een landsdekkend beeld van het landgebruik naar verschillende categorieën van landgebruik te maken, die door IPCC wordt onderscheiden.

2.3 Bodemdata en de voorraad koolstof

De vaststelling van de voorraad C in Nederland in één enkel jaar op basis van bodemdata is nooit exact voor dat ene jaar. Daarvoor ontbreken gegevens, omdat de dataverzameling gewoonlijk veel trager verloopt. We moeten dus gebruik maken van data die in een aantal jaren rond een bepaald jaar zijn geïnventariseerd of mogelijk door inter- of extrapolatie worden verkregen.

Nederland beschikt in tegenstelling tot veel andere landen over landsdekkende bodeminformatie op een gedetailleerde schaal. Het vaststellen van de voorraad C- in de bodem kan dus met een grote mate van nauwkeurigheid worden uitgevoerd.

Kuikman et al. (2003) heeft daartoe een aanzet gegeven. Vragen die bij de keuze voor een protocol voor de toekomst moeten worden gesteld zijn:

- Welke bodeminformatie is het meest representatief voor Nederland?
- Welke informatie beschrijft de situatie van een bepaald jaar het best?
- Welke bodemlagen moeten worden opgenomen in een berekening en rapportage?
- Welke nauwkeurigheid wordt bereikt?
- Wat zijn de kosten?

2.3.1 Representativiteit

Nederland heeft de beschikking over de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 voor de geografische verbreiding van kaarteenheden (Steur en Heijink, 1991). De inhoud van de kaart wordt bepaald door representatieve beschrijvingen in de toelichting bij de kaarten in zogenaamde profielschetsen. Die kunnen echter per kaartblad verschillen. Daarom en omdat er weinig chemische informatie aan de ruimtelijk informatie is gekoppeld is een nieuwe set van representatieve profielbeschrijvingen gemaakt. De meest recente is van 1999 (de Vries, 1999). Deze set van 315 beschrijvingen kan worden gekoppeld met alle 6168 kaarteenheden van de Bodemkaart van Nederland, 1: 50 000. Hierdoor is het mogelijk om voor elk vlak een organische stofgehalte en daarvan afgeleid een C-voorraad te berekenen. Deze set beschrijvingen is gemaakt op basis van alle bestaande kennis op de bodemkaarten en de beschrijvingen in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) inclusief die van de landelijke steekproef kaarteenheden (LSK). Het zijn echter geen metingen, maar schattingen door bodemkundige experts van gemiddelde waarden inclusief een schatting van de variatie.

Een andere set beschrijvingen zijn de profielbeschrijvingen van de genoemde Landelijke Steekproef Kaarteenheden LSK (Finke, et al., 2001). Bij deze set zijn een beperkt aantal chemische analyses uitgevoerd waaronder een meting van het organische stofgehalte. De Steekproef Kaarteenheden heeft als doel de bodemkaart van meer kwantitatieve informatie te voorzien.

De steekproef is met als ingang grondwatertrap (Gt) landsdekkend uitgevoerd. Om de steekproef niet te groot te laten worden is gekozen voor een gestratificeerde steekproef. Dat wil zeggen dat binnen de vlakken van een bepaalde Gt punten geloot zijn en dat daarbij clusters of strata zijn gemaakt die voldoende groot zijn (voldoende punten bevatten) en representatief zijn. De strata bestaan uit hoofdgroepen en/of legenda-eenheden van de bodemkaart die qua landschappelijke ligging (kwel, inspoeling), bodemvorming of moedermateriaal een zo homogeen mogelijke groep vormen. Landgebruik natuur is op basis van het ALBOS bestand nog apart onderscheiden. Elk steekproefpunt is dus representatief voor een zo homogeen mogelijk deel van de Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000.

2.3.2 Datering

De landelijke steekproef kaartenheden (LSK) is uitgevoerd tussen 1990 en 2000. De beschrijvingen in het BIS en in de toelichtingen bij de kaartbladen van de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 die gebruikt zijn om 315 representatieve beschrijvingen van de Bodemkaart te maken dateren van 1960 tot 2000. De invloed van de verandering naar moderne landbouw in deze periode (diepere ontwatering, omzetting permanent grasland, vergroting van percelen, diepe grondbewerking) op het organische stofgehalte en dus de C-voorraad is naar verwachting groot geweest.

Interpolatie van C-voorraden over de jaren is een optie wanneer we gelijksoortige data van voor en na een bepaalde datum hebben en het te rechtvaardigen lijkt om lineair te interpoleren. Helaas ontbreekt het aan vergelijkbare data. De LSK bijvoorbeeld is uitgevoerd gedurende de periode 1990-2000, maar betrof steeds steekproeven met wisselende grondwatertrap. De invloed van de grondwatertrap op de C-voorraad bleek achteraf groot (paragraaf 2.) en dus lijkt het niet zinvol daar een tijdreeks van te maken. Ook het aantal data is daarvoor beperkt.

De bodem van Nederland is behoorlijk aan verandering onderhevig. Dit geldt vooral voor de overgang van minerale gronden naar veen- en moerige gronden. Daardoor komen grote delen van de bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 niet meer overeen met de werkelijkheid. Opnieuw in kaart brengen van deze veranderingen is daardoor noodzakelijk voor een betrouwbare vaststelling van de C-voorraad (Kuikman et al., 2005). Voor kaartbladen die ver vóór 1990 zijn opgesteld en in de overgangsgebieden naar het laagveengebied liggen, geldt dit het eerst.

2.3.3 Dikte van lagen

Het is voor de berekening van de totale organische stof voorraad belangrijk te weten welke dikte van het bodemprofiel wordt meegenomen. Een dikte van 30 cm wordt vaak aangehouden voor de meest actieve laag wat betreft bodemomzettingsprocessen, maar voor een aantal specifieke omstandigheden is een grotere laagdikte gewenst. Afbraak (en inklinking) van veen bijvoorbeeld speelt een rol boven het grondwaterniveau. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) is dan misschien een betere maat hoewel die weer niet overal even dik is en kan variëren in de tijd. Mogelijk is het zinvoller om niet ten opzicht van maaiveld maar ten opzichte van NAP vast te stellen hoe groot de voorraden koolstof zijn. Op deze manier kan ook zakking en inklinken worden verdisconteerd (Kuikman et al., 2005).

2.3.4 Nauwkeurigheid organische stofgehalte

Metten van organische stofgehalte is nauwkeuriger dan schatten, maar hoe nauwkeurig is dat en is de meetnauwkeurigheid groot genoeg om verschillen vast te stellen?

De nauwkeurigheid van analyses van organische stof bij het BLGG (laboratorium voor grond en gewasonderzoek in Oosterbeek, mededeling H. Hartemink) is bekend:

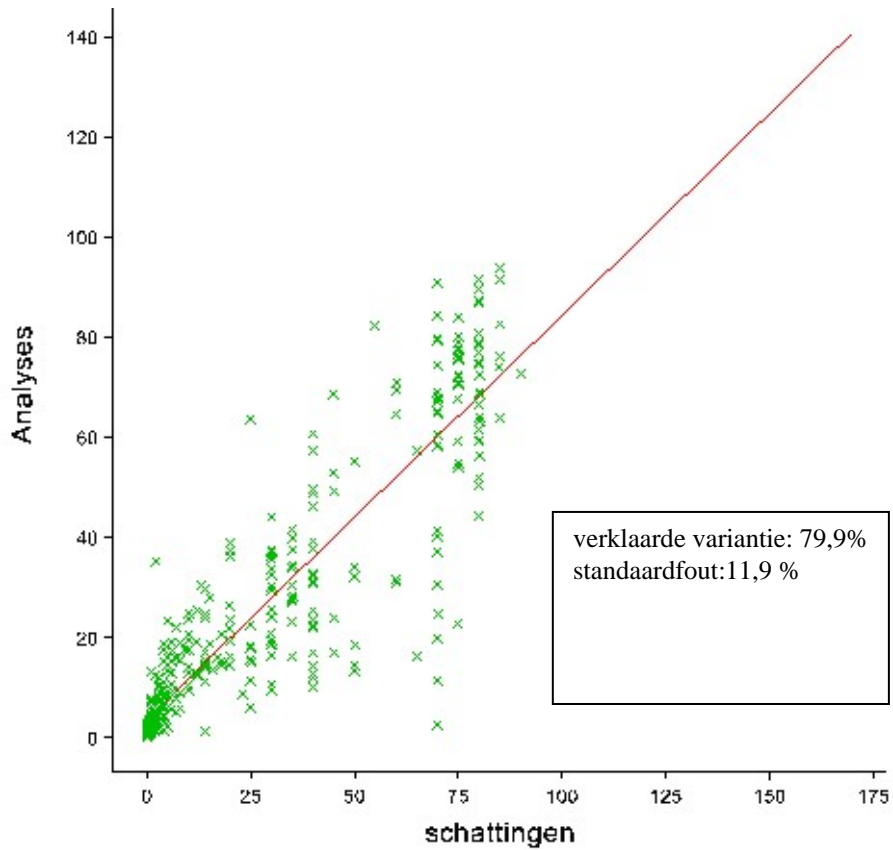
Traject org stof	St. afw.	BLR
0,00-5,00	0,179	0,50 g/100 g
>5,00	3,6 % rel.	10 % rel. gem. waarde

Opm.: BLR staat voor **B**innen**L**aboratorium**R**eproduceerbaarheid

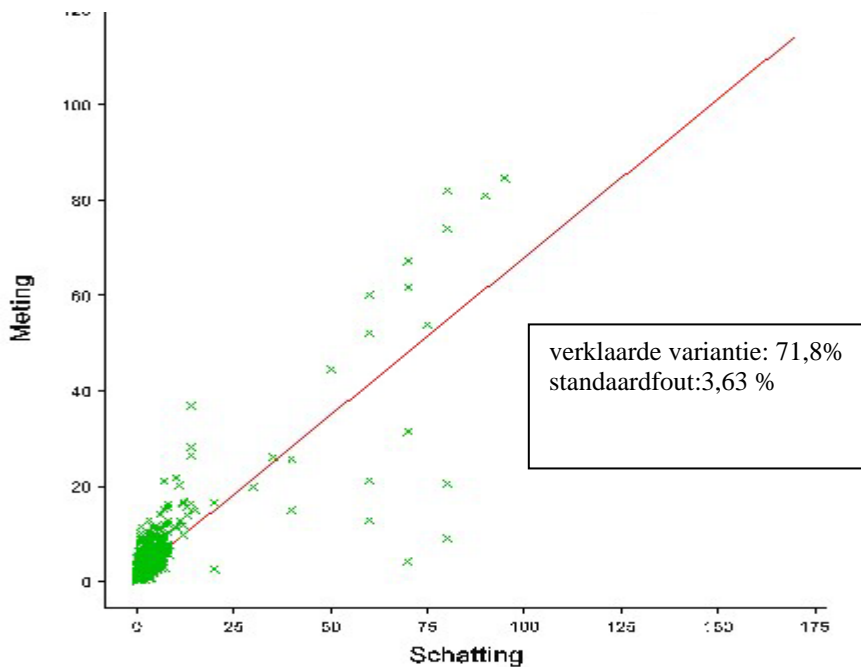
De labanalyses van organische stofgehalten bevatten dus maximaal een standaardfout van 0,179% bij een organische stofgehalte tot 5%. Daarboven bedraagt de standaardfout 3,6% van het bepaalde organische stofgehalte. Dat is aanzienlijk en betekent dat kleine verschillen moeilijk te meten zijn.

Met welke nauwkeurigheid kan het organische stofgehalte van de bovengrond worden bepaald? Dat is van belang voor de berekening van de C-voorraad van heel Nederland. Tegelijk hoort daar de vraag over de kosten bij. Het schatten van organische stofgehalten van de bovengrond door experts in het veld is relatief eenvoudig en goedkoop maar nog niet duidelijk was hoe nauwkeurig dit is in vergelijking met meten.

Voor twee verschillende grondwatertrappen Gt I en II (nat) en Gt VI (droog) zijn analyses uitgevoerd van de verschillen tussen schattingen en metingen van het organische stofgehalte uit de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 (Finke, et al., 2001). Het betreft de laag 0 – 30cm beneden maaiveld uit de onverzadigde zone. Door twee heel verschillende grondwatertrappen te nemen, kon de invloed van het schatten van natte en relatief droge grond en van heel andere organische stofgehalten worden meegenomen. In figuur 1 zijn de schattingen van Gt I en II uitgezet tegen de analyses. Ondanks een duidelijk verband is de standaardfout groot. Dat betekent dat voorspellingen met een hieruit afgeleid regressiemodel een relatief grote onnauwkeurigheid hebben.



Figuur 1 Relatie tussen de schatting en de analyse van het organische stofgehalte van bovengronden (0-30 cm) van grondwatertrap (Gt) I en II



Figuur 2 Relatie tussen de schatting en de analyse van het organische stofgehalte van bovengronden (0-30 cm) van grondwatertrap (Gt) VI

In figuur 2 zijn de schattingen van Gt VI uitgezet tegen de analyses. Hoewel er een goed verband is (verklaarde variantie 71,8 %), is de standaardfout wederom groot. In absolute zin lijkt een standaardfout van 3,6 % veel kleiner dan 11,9 % zoals bij Gt I en II, maar de meeste gemeten waarden liggen juist in een veel lager meettraject (dichte puntenwolk tussen 0 tot 10 % organische stof). Hierdoor zou 3,6 % over- of onderschatting in veel gevallen een groot absoluut verschil in bodemkoolstof opleveren. Dat betekent dat voorspellingen met een hieruit afgeleid regressiemodel ook voor deze Gt een grote onnauwkeurigheid hebben.

2.3.5 Nauwkeurigheid van de C-voorraadberekening

De nauwkeurigheid van de vastgestelde C-voorraad wordt bepaald door de samenstellende factoren waarmee de berekeningen worden uitgevoerd. Het berekenen van C-voorraden van Nederland bestaat uit twee schaalniveaus: de punt en de vlakschaal. Het staat voor de berekening van de C-voorraad in het profiel én de vertaling ervan naar een landsdekkend beeld.

De bepaling van de C-voorraad in een bodemprofiel bevat de informatie op puntschaal. Een berekening voor het bodemprofiel is de sommatie van de dikte van horizonten (gemeten) * het organische stofgehalte (gemeten) van elke horizont)* de bulkdichtheid (geschat).

- De bepaling van het organische stofgehalte ter berekening van het C-gehalte is niet erg betrouwbaar uit te voeren door te schatten. De standaardfout bedraagt bij natte gronden 11,9% en bij droge gronden 3,6 % organische stof (de Groot et al., 2005).
- De labanalyses van organische stofgehalten bevatten maximaal een standaardfout van 0,179% bij een organische stofgehalte tot 5 %. Daarboven bedraagt de standaardfout 3,6% van het bepaalde organische stofgehalte (schriftelijke mededeling, H. Hartemink, BLGG) .
- De dichtheid wordt vastgesteld met vertaalfuncties voor de drie typen gronden zand, klei en veen. De correlatiecoëfficiënt bedraagt voor zand- en kleigronden resp. 72 en 77%. De correlatiecoëfficiënt van de gebruikte vertaalfunctie voor veengronden is niet berekend. Dit betekent dat hierin nogal een grote onzekerheid bestaat (Wösten, 1997).
- Het C-gehalte van de organische stof bevat eigenlijk eveneens een zekere spreiding. Het varieert meestal tussen 45 en 55%. Kuikman et al. (2003) hebben 50% als gemiddelde waarde in de berekeningen gebruikt.

De vertaling van de C-voorraad op puntschaal naar vlakschaal gaat via het berekenen van gemiddelde C-voorraden van alle punten in vlakken van de bodemkaart die verondersteld worden homogeen te zijn (strata). Er zijn strata gevormd om het aantal bodemgroepen waarvoor de C-voorraad moet worden vastgesteld te verminderen. De gemiddelde C-voorraad wordt vervolgens aan deze bodemkaartvlakken toegekend.

De nauwkeurigheid van deze berekening hangt af van:

- De homogeniteit van de verschillende bodemkaartvlakken die tot een stratum (een zo homogeen mogelijke eenheid) worden gerekend.
- Het aantal punten in een stratum.

De beschikbare bodemkaarten die gebruikt worden om een landsdekkend beeld te verkrijgen, bevatten in beperkte mate de juiste informatie en hebben een bepaalde nauwkeurigheid. De informatiejuistheid hangt samen met:

- De mate waarin kaartvlak gekarakteriseerd wordt door het organische stofgehalte van de bovengrond.
- De invloed van het klimaat; in Noord Nederland zijn de organische stofgehalten hoger dan in Zuid-Nederland voorraad (De Bakker en Locher, 1990). Dit onderscheid komt op de bodemkaart maar beperkt naar voren, maar heeft wel een grote invloed op de Nederlandse C-voorraad.
- De actualiteit van de bodemkaart; door met name het verdwijnen van veel moerig materiaal zijn veel bodemkaarten van Nederland sterk verouderd (Kiestra, 2003, Pleijter 2004).

De nauwkeurigheid van de bodemkaart wordt bepaald door:

- De ligging van grenzen van kaartvlakken
- Homogeniteit kaartvlakken

2.3.6 Kosteneffectiviteit

Het is belangrijk dat het kwaliteit van de berekende C-voorraad in goede verhouding staat tot de kosten die gemaakt worden. Daarom is bij het onderzoeken van de verschillende methodieken bijgehouden hoeveel tijd ermee gemoeid was. Niet elke methodiek geeft achteraf goed inzicht in de kwaliteit. Hierdoor is het niet eenvoudig om verschillende methodieken op prijs/kwaliteitverhouding te onderzoeken.

3 Stappenplan vaststelling van de koolstofvoorraad in Nederland

De data en gegevens voor de berekeningen die nodig zijn om tot een voorraadschatting van bodem C te komen zijn uitgewerkt in een aantal stappen volgens de Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003):

- Stap 1: Verzamelen van gegevens over klimaat (1a) en bodemtypes (1b)
- Stap 2: Verzamelen van gegevens over landgebruik en –management in de tijd
- Stap 3: Verzamelen van gegevens over het effect van veranderingen in landgebruik en landmanagement op de voorraad C in de bodem en de C flux uit de bodem
- Stap 4: Berekening van de voorraad bodem C in Nederland in 1990 en volgende jaren
- Stap 5: Berekening en schatten van de jaarlijkse veranderingen in de koolstofvoorraden
- Stap 6: Aanbevelingen voor toekomstige aanpassingen en detaillering van gegevens, databases en berekeningen

3.1 Gegevens klimaat en bodemtype

Stap 1: *Verzamelen van gegevens over klimaat (1a) en bodemtypes (1b)*

Stap 1a: *Klimaat in Nederland*

Nederland ligt geheel binnen eenzelfde klimaatzone zoals gedefinieerd binnen de IPCC methodiek (IPCC, 1997). Op grond van klimaatgegevens wordt Nederland geplaatst in de klimaatzone “cold temperate moist” met een gemiddelde jaartemperatuur over de laatste 30 jaar van 9.8°C en een neerslagoverschot van ongeveer 300 mm per jaar. Nederland ligt wel op de rand van de zones “cold temperate moist” en “warm temperate moist” omdat de grens hiervoor bij 10°C ligt. Het 10 jarig voortschrijdend gemiddelde ligt sinds begin jaren '90 van de vorige eeuw boven de 10°C en plaatst Nederland strikt genomen in de zone “warm temperate moist” (KNMI, 2002¹).

Stap 1b: *Bodemtypes in Nederland*

De bodems van Nederland zijn geclassificeerd volgens 4 benaderingen:

- Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Steur, .et al, 1990)
- Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000, afgeleid van 1 : 50 000 (Steur, G. en F de Vries .et al, 1990)
- FAO-bodemkaart, afgeleid van Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000 (Intern rapport, Alterra)
- FAO-bodemkaart van Europa, schaal 1 : 5000 000 (FAO, 1988)

¹ Heijboer, D. & J. Nellestijn (2002) Klimaatatlas van Nederland: de normaalperiode 1971 – 2000. Elmar BV., Rijswijk. Pp. 182

In paragraaf 3.2 wordt verder ingegaan op de verschillende bodemdata.

Stap 2: *Verzamelen van gegevens over landgebruik en landmanagement in de tijd*

Stap 2a: *Gegevens over landgebruik*

Er kan gebruik gemaakt worden van het LGN-3 of -4 bestand, waarin het landgebruik rond 1996 resp. 2000 is vastgesteld op basis van satellietbeelden (de Wit et al., 1999). Een ander bestand dat gebruikt kan worden is de kaart van het Historisch Grondgebruik Nederland (HGN) op basis van de topografische kaart van Nederland 1: 25 000 (Kramer, H en W. Knol, 2005.). Deze kaart wordt regelmatig herzien en geeft nauwkeurig inzicht op basis van de indeling van het landgebruik in ruim 30 landgebruiksklassen die verder kunnen worden geaggregeerd in bos, gras en bouwland en andere voor IPCC relevante categorieën zoals settlements, wetlands en other land .

In Nederland worden dus verschillende gegevensbestanden aangehouden over landgebruik en deze bestanden en bronnen zijn allen geraadpleegd. De meeste bestanden bevatten een meer gedetailleerde opsplitsing van landgebruik dan nodig is voor de indeling die IPCC hanteert (6 categorieën met bos, grasland, bouwland, wetland, settlement en overige gronden). Dit betekent dat er telkens een aggregatie moet plaatsvinden. De beschikbare gegevens zijn dus LGN (LandGebruik Nederland) op basis van satelliet beelden en HGN (Historisch Grondgebruik Nederland) op basis van topografische kaarten van luchtfoto's, landbouwstatistiek en perceelsregistratie (deze laatste met alleen gegevens voor landbouw en niet voor natuur en bebouwing).

Stap 2a1: *Landgebruik*

In de serie databestanden LGN-1 tot -5 (de Wit, 1999) zijn gegevens beschikbaar van de jaren 1986 - 2002. Deze gegevens zijn verkregen via analyse van satellietbeelden. Deze zijn verzameld over een periode van enkele maanden; interpretatie kan moeizaam zijn omdat de detaillering en het oplossend vermogen van de satellietopnamen in verschillende perioden verschilt.

Stap 2a2: *Landgebruik*

In de serie HGN (Historisch Grondgebruik Nederland) zijn o.a. gegevens beschikbaar van 1990 en 2000: (Kramer, H en W. Knol, 2005.)

3.2 De Bodemdata

In Nederland zijn bodemkaarten met verschillende kaartschaal beschikbaar (tabel 4):

- Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Steur, .et al, 1990)
- Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000, afgeleid van 1 : 50 000 (Steur, G. en F de Vries .et al, 1990)
- FAO-bodemkaart, afgeleid van Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000 (Intern rapport, Alterra)
- FAO-bodemkaart van Europa, schaal 1 : 5000 000 (FAO, 1988)

Tabel 4 Overzicht van landsdekkende Bodemkaarten van Nederland met beknopte toelichting

Kaart	Aantal eenheden	Aantal eenheden + toev + Gt	Profiel-schetsen	Dicht-heden	Leeftijd	Bijz.
Bodemkaart 1 : 50 000	316	6168	Ja	Ja	1960-1990	
Bodemkaart 1 : 250 000	266	geen	Ja (rapport 265)	Nee	1960-1990	
FAO bodemkaart 1 : 250 000	78	geen	Nee	Nee	1960-1990	Afgeleid van 1 : 250 000
FAO bodemkaart 1 : 5000 000	14	geen	Nee	Nee	1985	

3.2.1 De FAO-bodemkaart

In de IPCC Good Practice Guidance on LULUCF (IPCC, 2003) staat een default methode beschreven waarbij gebruik wordt gemaakt van de FAO bodemkaart. In tabel 3.2.4 van dat rapport worden voor 6 verschillende hoofdbodemgroepen van de FAO bodemkaart waarden voor de C-voorraad gegeven onder natuurlijke omstandigheden. Deze methode kan gebruikt worden om de 78 eenheden van de FAO bodemkaart van Nederland, 1: 250 000 te vertalen naar een van de 5 voorkomende hoofdgroepen (In Nederland komen geen Volcanic soils voor). De 5 voorkomende FAO hoofdgroepen zijn: HAC soils, LAC soils, sandy soils, spodic soils en wetland.

3.2.2 Gedetailleerde Nederlandse bodemkundige informatie

In Nederland is een grotere detaillering voor de vaststelling van de C-voorraden in de bodem mogelijk met landsdekkende bodemkaarten en daaraan gekoppelde informatie uit databases over organische stof gehalten. Deze informatie kan gecombineerd worden met de landsdekkend beschikbare informatie over landgebruik. Achtereenvolgens worden mogelijkheden via de bodemkaart 1 : 250 000, de bodemkaart 1 : 50 000 en de Landelijke Steekproef Kaartenheden besproken.

3.2.2.1 Bodemkaart van Nederland schaal 1: 250 000

De 266 onderscheiden eenheden van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 250 000) kunnen worden voorzien van een profielbeschrijving. Hierin wordt van de bodemlaag 0-30 cm ook het organische stof gehalte opgegeven. Tevens is er dan een bulkdichtheid toegekend. Uitgaand van een C-gehalte van 50% kan een C voorraad per ha worden berekend per onderscheiden eenheid en voor Nederland als geheel.

Het beschrijven van profielen voor de eenheden van deze bodemkaart gaat niet automatisch.

Er is een digitaal bestand beschikbaar, dat bestaat uit profielbeschrijvingen voor eenheden van de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (De Vries, 1994; De Vries, 1999). Hierin zijn alle 6168 legenda-eenheden via 315 eenheden waarvan de profielopbouw is omschreven, voorzien van uitgebreide fysisch- chemische detailinformatie. De gedetailleerde profielinformatie is verzameld uit het Bodemkundig Informatie Systeem, een database met vele duizenden op diverse manieren verzamelde profielbeschrijvingen. De eenheden van de bodemkaart schaal 1: 250 000 zijn gekoppeld met die van de bodemkaart 1: 50 000. Meerdere eenheden van de bodemkaart 1: 50 000 worden daarin samengevoegd tot eenheden van de bodemkaart 1: 250 000. Om een keuze te maken voor de meest representatieve beschrijving kan gekozen worden voor de dominante eenheden. Hierdoor is ook op schaal 1: 250 000 detailinformatie beschikbaar te maken. In een apart bestand zijn reeds eerder beschrijvingen voor de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 250 000) beschikbaar gemaakt (de Vries, 1993). Dit bestand zou nog moeten worden aangevuld met volumieke dichtheden om de C-voorraad te kunnen berekenen.

De profielopbouw wordt beschreven in lagen. De diepte waarvoor de C-voorraad berekend wordt is 30 cm. De berekening is wat lastiger als meer lagen tot deze diepte voorkomen of als de eerste laag dikker dan 30 cm is. Dan zijn extra berekeningen met een spreadsheet of databasequery nodig.

De bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 die de basis vormt voor de bodemkaart schaal 1: 250 000 is opgenomen gedurende de periode 1960-1990. De berekende C-voorraad is dan dus gebaseerd op waarnemingen gedurende een vrij lange periode. Grote delen waar in het verleden bodemkaarten voor zijn gemaakt zijn niet meer als landelijk maar als stedelijk gebied in gebruik. Als we er van uitgaan dat die bodems niet meer bijdragen aan CO₂-emissie, zou een correctie op zijn plaats zijn middels een uitsnede van het huidige landelijk gebied.

3.2.2.2 Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000

Het is ook mogelijk om geen generalisatie van de bodemkaart van schaal 1: 50 000 naar 1: 250 000 uit te voeren en de beschrijvingen van de 315 bodemeenheden te gebruiken om de C-voorraad voor 6168 eenheden van de bodemkaart 1: 50 000 te berekenen. Deze profielen zijn daartoe uitgebreid beschreven met organische stofgehalten en dichtheden per laag.

Het bestand met profielbeschrijvingen van de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 50 000) maakt ook onderscheid in landgebruik. Tijdens het bijeenzoeken van de juiste beschrijvingen bleek het nodig een onderscheid tussen de hoofdsoorten landgebruik gras, bouwland en bos natuur te maken. Dit geldt echter niet voor alle beschrijvingen. Het opstellen van een aparte beschrijving is slechts gebeurd als er voldoende oppervlakte van voorkwam.

Het ligt dan voor de hand om de informatie van de bodemkaart te koppelen met die van het huidige landgebruik. Daartoe kan gebruik worden gemaakt van het LGN-3 bestand (De Wit, 1999). Een precieze koppeling met de profielbeschrijving met het juiste landgebruik vergt enige extra aandacht. Het levert daarmee een extra detaillering in berekende voorraad C van Nederland. Aandachtspunt is wel dat de digitale bodemkaart en het digitaal bestand van het landgebruik beide enclaves en gedeelten stedelijk gebied en wegen bevatten die niet altijd op elkaar aansluiten. Zoals in paragraaf 3.2.2.1 vermeld moeten die gedeelten er op basis van de meest met 1990 overeenkomende situatie (het LGN-bestand) uitgefilterd worden.

3.2.2.3 De landelijke steekproef kaartenheden

In een recente studie uit 2002 (Kuikman., et al, 2003) is gebruik gemaakt van 1392 exact in het veld beschreven profielbeschrijvingen en analyses van organische stof. Deze beschrijvingen waren uitgevoerd op aselect gekozen plekken en diende om de Bodemkaart van Nederland 1: 50 000 kwantitatief te beschrijven. Voordeel van die opzet was ook dat er statistische parameters berekend konden worden en zo variatie en nauwkeurigheid van de schattingen kan worden bepaald.

Voor het vertalen van de data van punt naar vlak werd gebruik gemaakt van de vooraf gekozen stratificatie voor de bodemkaart. De kaartenheden van de bodemkaart 1: 50 000 bestaan ook uit grondwatertrappen, beschrijvingen van het grondwaterverloop. Alle eenheden van gelijk grondwaterstandverloop werden gegroepeerd. De eenheden werden vervolgens ingedeeld in een aantal belangrijke bodemgroepen. Daarna werd in een aantal gevallen het onderscheid natuur en cultuur aangebracht op basis van het ALBOS-bestand. Alle vlakken binnen zo'n bodemgroep en grondwatertrap en soms ook aangegeven landgebruik deden vervolgens mee aan de loting van punten waar bovengenoemde beschrijvingen en analyses moesten worden uitgevoerd. Met de analyses van punten binnen zo'n groep vlakken konden gemiddelden en spreiding van het organische stof gehalte worden berekend. In het onderhavige onderzoek zijn eerst per punt C-voorraden berekend tot 30 cm diepte. Om de bulkdichtheid te berekenen werd gebruik gemaakt van pedotransfer functies; empirisch bepaalde statistische functies waarbij op basis van eenvoudiger te meten bodemparameters bulkdichtheid kan worden vastgesteld. Aan het gemiddelde en spreiding van de C-voorraden die vervolgens zijn berekend kon ook een weging worden meegegeven op basis van de voorkomende oppervlakte van de onderzochte vlakken.

De totale C-voorraad die berekend werd op basis van de bodemkaart bedroeg 286 Tg C met een 95 % range van 280-293 Tg C.

3.2.3 Kwaliteit beschikbare bodemdata

In tabel 5 is een samenvattend overzicht gegeven van de kwaliteit van de beschikbare bodemdata om de Nederlandse C-voorraad te berekenen. De hoeveelheid benodigde

data, de beschikbaarheid en de kwaliteit van de data is ook gegeven in tabel 5. De defaultmethode voor bepaling van de C-voorraad, waarbij de FAO-bodemkaart gebruikt wordt, maakt veel onderscheid in landgebruik. Dat is een groot onderscheid met de wijze waarop de andere bodemdata gebruikt kunnen worden en in dit rapport gebruikt zijn.

Er zijn in de loop van de jaren ook veel bodems van samenstelling gewijzigd. Een studie van de Vries (2003) wees uit dat van de 52 000 ha veengronden in de drie noordelijke provincies Groningen, Drenthe, en Overijssel 48% verdwenen is. Van 45 000 ha veengronden is de actuele status onbekend; 20 000 ha hiervan had een relatief dunne veenlaag. Zeer waarschijnlijk behoren deze laatste niet meer tot de veengronden. Ook een studie van Pleijter (2004) in het landinrichtingsgebied Schoonderbeek (Kiestra, 2003) wijst in die richting. Hij besprak ook de veranderingen gedurende 20 jaar en kwam tot de conclusie dat in 2003 het oorspronkelijke areaal veengronden ten opzichte van 1980 met 47% is afgenomen en van het oorspronkelijke areaal moerige gronden uit 1980 in 2003 73% is verdwenen

Dit betekent dat we een slag om de arm moeten houden bij de inschatting van de actualiteit van oudere bodemkaarten met veel veen- en moerige gronden die mogelijk in de loop van de jaren veranderd zijn in zandgronden.

Een deel van deze veranderingen is nog niet in kaart gebracht en dit is noodzakelijk om tot een betrouwbare vaststelling van de C-voorraad te komen. Dit geldt in de eerste plaats voor kaartbladen van de bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 die ver vóór 1990 zijn opgesteld en in de overgangsgebieden naar het laagveengebied liggen.

Op veel landbouwgronden wordt frequent grondbewerking in de vorm van scheuren, ploegen e.d. uitgevoerd. Vermoedelijk is er dus ook een invloed op de totale C-voorraad te verwachten op die landbouwgronden die maar beperkt of infrequent grondbewerking ondergaan (Vellinga et al., 2004). Het zelfde geldt voor gronden met beperkt mestgebruik. Voorbeelden zijn natte gronden, die marginaal in gebruik zijn. Het areaal van deze laatste gronden en de invloed op de totale C-voorraad is naar schatting niet erg groot.

De methode die gebruikt maakt van de FAO-kaart (IPCC, 2003) geeft voor veengronden (organic soils) geen informatie over de voorraad, maar berekent direct een emissie. De andere drie methoden berekenen wel een C-voorraad voor de veengronden. Bij de veengronden speelt de drainage een grote rol bij de emissie. De mate van drainage is bij de twee meest gedetailleerde methoden af te leiden uit de grondwatertrap. Vaststellen van emissiefactoren per grondwatertrap is dan een geschikte methode om de emissie voor veengronden redelijk nauwkeurig te bepalen.

Tabel 5 Overzicht van kwalitatieve waardering methoden om C-voorraad vast te stellen.

Methode	Veel benodigde data	Beschikbaarheid data	Kwaliteit data	Mate van detail	Inbreng landgebruik	Nauwkeurigheid datering	Statistische nauwkeurigheid bekend
FAO-methode	Nee	Ja	Matig	Klein	Groot	Klein	Nee
Bodemkaart 1: 250 000	Ja	Ja	Redelijk	Klein	Klein	Klein	Nee
Bodemkaart 1: 50 000	Ja	Ja	Goed	Groot	Redelijk	Redelijk	Nee
Landelijke steekproef	ja	Ja	Groot	Groot	Redelijk	Groot	Ja

3.3 Effecten landgebruik

Stap 3: *Verzamelen van gegevens over het effect van veranderingen in landgebruik en landmanagement op de voorraad C in de bodem en de C flux uit de bodem*

De defaultmethode voor bepaling van de C-voorraad, waarbij de FAO-bodemkaart gebruikt wordt, maakt veel onderscheid in landgebruik. Dat is een groot onderscheid met de wijze waarop de andere bodemdata gebruikt kunnen worden en in dit rapport gebruikt zijn. De invloed van verschillend landgebruik in Nederland met zijn intensieve landbouw wordt ingeschat als relatief gering door de conclusies over beperkte verschillen in organische stofgehalten bij verschillend landgebruik (zie paragraaf 2.2.1). De theoretisch grote verschillen van de defaultmethode tussen akkerbouw en grasland zullen als gevolg van de intensieve bemesting, management en grondbewerking in de Nederlandse landbouwpraktijk beperkt zijn.

3.4 Berekening van C-voorraden en veranderingen

Stap 4: *Berekening van de voorraad bodem C in Nederland in 1990 en volgende jaren*

Stap 5: *Berekening en schatten van de jaarlijkse veranderingen in de koolstofvoorraden*

Gedraineerde veengronden (organic soils) worden in de berekeningen van de C-voorraden met de defaultmethode van IPCC niet opgenomen, omdat er vanuit wordt gegaan dat ze een jaarlijkse netto C-emissie veroorzaken. Default bedragen de jaarlijkse emissies voor de drie landgebruikstypen (uitgaande van gedraineerde veengronden) voor respectievelijk bos, gras en bouwland 0,68; 0,25 en 1 ton C per ha per jaar in the cold temperate climate zone en 0,68; 2,5 en 10 ton C per ha per jaar in de warm temperate climate zone (IPCC, 2003).

Bij de overige bodemtypen treedt er slechts emissie op wanneer het land van het ene landgebruik overgaat in het andere. De jaarlijkse emissie wordt dan:

$$\Delta C_{(c, \text{ mineral})} = \sum_s [(SOC_{(0)} - SOC_{(0-T)}) \cdot A] / T$$

Waar:

$\Delta C_{(c)}$ = annual change in carbon stocks in mineral soils (tonnes C yr)

SOC(0) = soil organic carbon stock in the inventory year (tonnes C ha)

SOC(0-T) = soil organic carbon stock T years prior to the inventory (tonnes C ha)

T = inventory time period, yr (default is 20 yr)

A = land area of each land use (ha)

S = the different soiltypes

4 Resultaten

4.1 C-voorraad in 1990 op basis van de default IPCC Good Practice Guidance for LULUCF met de FAO-bodemkaart van Nederland

In deze paragraaf worden de resultaten beschrijven van het gebruik van de Good Practise Guidance for LULUCF (IPCC, 2003) met de FAO bodemkaart van Nederland. De details van de berekeningen die nodig zijn om tot een voorraadschatting van bodem C te komen zijn hieronder uitgewerkt in een aantal stappen. Bij elke stap zoals ook beschreven in paragraaf 3.1 wordt de uitwerking voor Nederland beschreven.

Stap 1: *Verzamelen van gegevens over klimaat, bodemtypes,*

Stap 1a: *Klimaat in Nederland*

Nederland ligt geheel binnen eenzelfde klimaatzone zoals gedefinieerd binnen de IPCC methodiek (IPCC, 1997). Op grond van klimaatgegevens van 30 jaar wordt (vooralnog) Nederland grotendeels (uitgezonderd Zeeland) geplaatst in de klimaatzone “cold temperate moist” met een gemiddelde jaartemperatuur over de laatste 30 jaar van 9.8°C en een neerslagoverschot van ongeveer 300 mm per jaar (zie ook figure 3.1 in IPCC, 2003). Strikt genomen ligt Nederland bij een gemiddelde van 20 jaar half in de zone “cold temperate moist” en half in de zone “warm temperate moist” omdat de grens hiervoor bij 10°C ligt. Bij toepassing van het 10 jarig voortschrijdend gemiddelde ligt Nederland sinds begin jaren '90 van de vorige eeuw strikt genomen in de zone “warm temperate moist” (KNMI, 2002). Deze indeling heeft gevolgen voor de defaultwaarden die IPCC hanteert voor bodem C gehaltenes.²

Stap 1b: *Bodemtypes in Nederland*

Stap 1b1: *Bodemtypes volgens FAO-bodemkaart, afgeleid van Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 250 000*

In de IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (IPCC, 2003)) staat een default methode beschreven waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de FAO kaart. In tabel 3.2.4 van dat rapport worden voor 6 verschillende hoofdbodemgroepen van de FAO bodemkaart waarden voor de C-voorraad gegeven onder natuurlijke omstandigheden. Deze methode kan gebruikt worden om de 78 eenheden van de FAO bodemkaart van Nederland, 1: 250 000 te vertalen naar een van de 5 voorkomende hoofdgroepen (In Nederland komen geen Volcanic soils voor).

² De referentie (default) waarde voor C voorraad in de bodem (ton C per ha) verschilt per klimaatzone en is voor Cold Temperate Moist zo'n 25% hoger dan voor Warm Temperate Moist soil types. Het maakt dan uit in welke klimaatzone Nederland kiest te liggen. Het is verstandig om gezien de klimaatverandering en temperatuurstijging in Nederland voor een en dezelfde zone te kiezen en niet een overgang te hebben in het tijdvak van het klimaatverdrag. Het is verstandig om te kiezen voor Warm Temperatur Moist gezien de lagere voorraad C en de verwachte verdere stijging van temperatuur in Nederland.

Stap 2: *Verzamelen van gegevens over landgebruik en landmanagement in de tijd*

Stap 2a: *Gegevens over landgebruik*

Voor zowel bouw- als grasland worden correctiefactoren gegeven voor *Land Use, Management* en *Input*. Daarbij is het verantwoord op basis van het Nederland landgebruik en management uit te gaan van de waarden weergegeven in tabel 6 en voor alle landgebruik per categorie een en dezelfde correctiefactor toe te passen. Nederland bestaat vergeleken met andere landen bijna volledig uit intensief agrarisch landgebruik met een hoge input en intensieve grondbewerking. Voor bouwland is er van uit gegaan dat er overal dierlijke mest wordt uitgereden. Dit is in de praktijk niet overal het geval en is een factor die dus eigenlijk preciezer dient te worden vastgesteld. (de correctiefactor zonder dierlijke mest bedraagt 1,11).

Tabel 6 Correctiefactoren voor default C-voorraden voor agrarisch landgebruik in Nederland

	Factor	Niveau	Vochtregime	GPG revised default	Afwijking
Grasland	Landgebruik (F_{lu})	alle		1,0	Nvt.
	Management (Verbeterd grasland		1,14	$\pm 10\%$
	Input	Hoog		1,11	$\pm 8\%$
<i>resultante</i>				$1,2654$ $= 1 * 1,14 * 1,11$	$\pm 9\%$
Bouwland	Landgebruik	continu	nat	0,71	$\pm 10\%$
	Grondbewerking	continu		1,0	Nvt.
	Input	Hoog met dierlijke mest	nat	1,38	$\pm 8\%$
<i>resultante</i>				$0,9798$ $= 1 * 0,71 * 1,38$	$\pm 9\%$

Stap 2a1:

In de serie databestanden LGN (de Wit, 1999) zijn gegevens beschikbaar van de jaren 1986 tot 2000; de schatting voor 1990 is uitgevoerd op basis van LGN-3. Deze data zijn verkregen via analyse van satellietbeelden van 1995 en 1996.

Stap 3: *Verzamelen van gegevens over het effect van veranderingen in landgebruik en landmanagement op de voorraad C in de bodem (klimaatverdrag) en de C- flux uit de bodem (Kyoto Protocol artikel 3.3 en 3.4).*

Met behulp van de correctiefactoren uit tabel 6 is voor Nederland een berekening gemaakt van de hoeveelheid C in de bodem per onderscheiden landgebruik en totaal (tabel 7). Er zijn geen vervolgberekeningen gemaakt van andere jaren, zodat er geen effecten van verandering van landgebruik en C-fluxen berekend kunnen worden.

Tabel 7 Berekende koolstofvoorraad van de minerale gronden in Nederland (cold temperate, moist climate region or warm temperate moist climate zone) op basis van IPCC default emissiefactoren.

Landuse/soiltype	C-voorraad (ton C per ha) voor cold temperate moist climate zone	C-voorraad (ton C per ha) voor warm temperate moist climate zone
Native		
HAC soils	95	88
LAC soils	85	63
Sandy soils	71	34
Spodic soils	115	NA ¹
Wetland	87	88
Grassland		
HAC soils	120	111
LAC soils	108	80
Sandy soils	90	43
Spodic soils	146	NA ¹
Wetland	110	111
Cropland		
HAC soils	93	86
LAC soils	83	62
Sandy soils	70	33
Spodic soils	113	NA ¹
Wetland	85	86
Other landuse		

¹ NA is Not Applicable

Stap 4: Berekening van de voorraad bodem C in Nederland in 1990 en volgende jaren

In tabel 8 zijn de berekende C-voorraden vermeld voor 1990 op basis van toepassing van de default methode van IPCC voor de 5 FAO bodemtypen HAC soils, LAC soils, sandy soils, spodic soils, spodic soils en wetlands.

De berekende C-voorraad exclusief organic soils bedraagt 244000 Gg C. Tellen we de C-voorraad van de organic soils bepaald met de methode op basis van de LSK (Kuikman, et al., 2003) (66000 Gg C) hier nog bij op dan bedraagt de totale C-voorraad 310000 Gg C. Dit is ruim 8 % hoger dan de eerdere berekening. De indruk bestaat dat de default methode voor enkele FAO-soils na correctie voor landgebruik/ bemesting/ grondbewerking opvallend hoge C-voorraden per ha berekent. Met name voor spodic soils (podzolgronden) op grasland geldt dat.

Tabel 8 Overzicht van de berekende C-voorraad volgens de FAO-methode voor 1990

Landuse	areaal (ha)	C-stock excluding organic soils (Gg C)	Mean C-stock per ha
grassland	1111416	131000	118
cropland	815263	75000	92
native	392115	38000	97
settlements	563612		
water	499579		
total excluding settlements, water and rural organic soils	2318794	244000	105
organic soils from rural areas (Kuikman et al., 2003)	435224	66000	152
total rural area (excluding settlements and water)	2754018	310000	113

4.2 C-voorraad en de C-fluxen op basis van de Landelijke Steekproef Kaartenheden van Nederland en het historisch landgebruik van 1990 en 2000

Stap 1: *Verzamelen van gegevens over klimaat en bodemtypes.*

Stap 1a: *Klimaat in Nederland (zie paragraaf 4.1)*

Stap 1b: *Bodemtypes in Nederland*

Stap 1b1: *De gebruikte bodemkaart van Nederland is:*

- Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Steur, .et al, 1990)

De dataset Landelijke steekproef kaartenheden (LSK, (Finke, et al. 2001) wordt gekoppeld aan deze bodemkaart. De LSK is een statistisch verantwoorde kwantificering van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000. Van de daarvoor gelote steekproefpunten zijn profielbeschrijvingen gemaakt en analyses verricht. De metingen zijn representatief voor de bodemkaart. Deze dataset vormde de basis om de C-voorraad van Nederland in 1990 (Kuikman et al., 2003) te berekenen en hebben we nu weer gebruikt. De metingen zijn gedaan tussen 1990 en 2000 en worden daarmee redelijk representatief verondersteld voor de periode 1990 - 2000.

Stap 2: *Verzamelen van gegevens over landgebruik en landmanagement in de tijd*

Stap 2a: *Gegevens over landgebruik*

Voor de studie naar de C-voorraad in 1990 (Kuikman et al., 2003) is een overlay gemaakt met het LGN-3 bestand om een indruk te verkrijgen over de verdeling van de C-voorraden naar landgebruik. Data voor het LGN-3 bestand zijn verzameld in 1995 en 1996. Met het HGN (Historisch Grondgebruik Nederland, Kramer et al., 2005) van 1990 én 2000 beschikken we over meer exacte landgebruiksdata van de twee te onderzoeken jaren en kunnen we ook een goede indruk krijgen van de veranderingen in die periode. De data zijn verzameld op basis van analoge en digitale versies van de Topografische Kaart van Nederland 1: 25 000. Vanwege het gebruik van meer exacte data voor de jaren 1990 en 2000 verdiende deze data de voorkeur boven het gebruik van LGN-bestanden. Een tweede reden was dat de arealen gras- en bouwland met het gebruik van LGN-3 bestand nogal overschat werden en dat de verwachting was dat dit met gebruik van HGN minder het geval is.

Stap 3: *Verzamelen van gegevens over het effect van veranderingen in landgebruik en landmanagement op de voorraad C in de bodem (klimaatverdrag) en de C flux uit de bodem (Kyoto Protocol artikel 3.3 en 3.4).*

C-voorraden worden gerapporteerd in zes landgebruikscategorieën; arable land, grassland, forests, wetlands, settlements and other land. C-voorraden van other land hoeven niet te worden gerapporteerd. Verandering van een bepaald landgebruik naar other land leidt dus tot vermindering van de voorraden C in de Nederlandse bodem.

Stap 4: *Berekening van de voorraad bodem C in Nederland in 1990 en volgende jaren*

Uitgangspunt voor de berekening van de C-voorraad in Nederland vormde de C-voorraden zoals ze berekend zijn in 2002 (Kuikman, et al., 2003). Op de daarvoor gemaakte kaart zijn de voorraden C uitgedrukt in klassen. Middels een overlay met de landgebruikskarten van 1990 en 2000 ontstond een matrix met voor elke C-voorraadklasse en elk van de zes onderscheiden landgebruikstypen een oppervlakte. Middels vermenigvuldiging van oppervlakte en C-voorraad per klasse (in ton C/ha) en sommatie hebben we de totale C-voorraad van Nederland berekend.

De verschillen tussen beide jaren geven inzicht in de verschuivingen van het landgebruik en dus ook de verandering van de C-voorraad per landgebruiksklasse. Wijzigingen in de totale voorraad C ontstaan alleen wanneer land omgezet wordt in other land (b.v. water en zandverstuivingen). Voorraden daarvan worden niet gerapporteerd en leiden daarmee tot vermindering van de C-voorraad van Nederland.

De veranderingen dienen gedurende de periode 1990 -2000 per jaar gerapporteerd te worden. Dat betekende dat de veranderingen in de 11 jaren tussen begin 1990 en eind 2000 door 11 gedeeld moesten worden. Hierbij zijn we er dus van uit gegaan dat de veranderingen proportioneel zijn verlopen.

Bij de overlay van het gridbestand met C-voorraden en het gridbestand van het landgebruik in Nederland bleken veel lege grids te ontstaan. Dat zijn vooral plekken waarvoor geen C-voorraad was vastgesteld. De bodemkaart als basis voor het gridbestand met C-voorraden doet bijvoorbeeld geen uitspraken over het stedelijk gebied. Settlements zijn wel aangegeven op de landgebruikskaart. Om voor al deze lege grids toch een C-voorraad te berekenen is er voor gekozen om de gewogen gemiddelde waarde van alle C-voorraadklassen binnen elke combinatie van landgebruiksklasse 1990/ landgebruiksklasse 2000 er aan toe te kennen. Hierdoor stijgt de totale C-voorraad van Nederland aanzienlijk, omdat voor een veel groter areaal dan in eerdere studie de C-voorraad berekend kon worden.

In tabel 9 zijn de netto veranderingen in het landgebruik tussen 1990 en 2000 en hun effecten op de C-voorraad van de Nederlandse Bodem tot 30 cm –mv. gepresenteerd. Tevens zijn emissies/verwijderingen van C per jaar aangegeven. Er is netto een grote landgebruiksverandering van grassland naar settlements zichtbaar (ruim 100 kha).

De totale C-voorraad in de bodem is tussen 1990 en 2000 afgenomen van 336450 naar 336073 Gg C. Jaarlijks betekende dit een netto C-flux van 34 Gg C (125,8 Gg CO₂). Deze verwijdering is opgebouwd uit een emissie van 710 Gg CO₂ en een opslag van 584 Gg CO₂ in de bodem.

Tabel 9 De veranderingen in het landgebruik tussen 1990 en 2000, de effecten op de C-voorraad van de Nederlandse Bodem tot 30 cm –mv. en de emissie/verwijdering van C (CO₂) per jaar.

Landuse	landuse 1990 (x 1000 ha)	C Stock 1990 Gg C	landuse 2000 (x 1000 ha)	C Stock 2000 Gg C	landuse change 1990- 2000 (x 1000 ha)	Net C removal per annum Gg C	Net C emission per annum Gg C	Net C change per annum Gg C	Net CO ₂ change per annum Gg CO ₂
Cropland	977	92834	974	92618	3	9,60	0,00	9,60	35,21
Forest	363	29063	368	29784	-5	8,36	0,00	8,36	30,67
Trees outside forest	51	4074	49	3978	2	3,48	0,00	3,48	12,76
Nature areas and heather	22	2152	23	2246	-1	6,76	0,00	6,76	24,80
Grassland	1490	165490	1376	153992	103	89,87	0,00	89,87	329,51
Other land (dunes)	39	0	38	0	1	0,00	-13,67	-13,67	-50,13
Other land (water)	776	0	781	0	-4	0,00	-180,01	-180,01	-660,04
Settlements	429	42481	540	53455	-101	41,30	0,00	41,30	151,42
Wetland	3	356	0	0	3			0,00	0,00
Total	4149	336450	4149	336073	0	159,37	-193,68	-34,31	-125,80

De brutoveranderingen in landgebruik zijn veel groter. Er blijkt dan veel meer land van landgebruik te zijn veranderd. Zo zijn er bij grassland grote verschuivingen van

grassland naar cropland zichtbaar (188 kha eraf en 144 kha erbij). 83kha wat eerder grassland was is in 2000 veranderd in settlements. Omgekeerd zijn er 25 kha bijgekomen bij grassland. Dit bleek vooral te maken te hebben met de classificatie van wegbermen van settlements (wegen) naar grassland.

In totaal is 594 kha van landgebruik veranderd (14,3 %). De netto verschillen uit tabel 9 zijn niet zomaar terug te vinden in de tabel met de bruto veranderingen. De constatering dat tussen 1990 en 2000 netto 100 kha grassland omgezet is in settlements blijkt in tabel 10 via omwegen tot stand te zijn gekomen. Het blijkt bijvoorbeeld dat de omzetting van cropland naar grassland een belangrijke bijdrage leverde.

Tabel 10 De bruto veranderingen in landgebruik van Nederland.

Area (x 1000ha) landuse 1990										
landuse 2000	crop-land	forest	natural areas and heather	small forested areas	grass-land	other land	other land (water)	settlements	wetland	totaal
cropland	778	1	0	0	188	0	1	5	0	974
forest	9	337	5	2	10	1	1	4	0	368
trees outside forested	1	3	0	12	3	0	0	2	0	23
natural areas and heather	1	3	43	0	1	1	0	0	0	49
grassland	144	9	1	3	1186	1	6	25	2	1376
other land (dunes)	0	1	0	0	1	34	2	0	0	38
other land (water)	3	1	1	0	8	2	763	2	0	781
settlements	40	8	0	4	83	1	3	401	0	540
total	977	363	51	22	1479	39	777	439	3	4149

4.3 Vergelijking van de methoden voor berekening van C-voorraad

Voor de bodeminformatie van Nederland zijn geografische bestanden met verschillende kaartschaal beschikbaar. De bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 vormt de basis voor de later gemaakte bestanden met gegeneraliseerde inhoud. Voor elk geografisch bestand zijn op basis van verzamelde profielbeschrijvingen karakteristieke beschrijvingen opgesteld voor alle legenda-eenheden. Uit de kwalitatieve beoordeling blijkt dat het gebruik van de meetpunten van de LSK het voordeel heeft boven die van de beschrijvingen van de bodemkaart van Nederland 1: 50 000, dat de eerste kwantitatief onderbouwd zijn.

De IPCC default methode met behulp van de FAO-kaart kost veel minder inspanning, maar de nauwkeurigheid is onbekend. De methode vaststellen C-voorraad op basis van de LSK duurde 20 dagen. Die voor de default IPCC methode 5 dagen. De kwaliteit van de tweede methode is niet goed vast te stellen. De

onnauwkeurigheid bij 95% betrouwbaarheid in de vastgestelde C-voorraad met de LSK-methode was slechts 2,1% (dit betreft de nauwkeurigheid in gemeten organische stofgehalten). De grotere tijdsinspanning leidde dus tot een aanzienlijk beter te kwantificeren uitkomst.

Het verdient de voorkeur gebruik te maken van de bodeminformatie op schaal 1 : 50 000 om de C-voorraad vast te stellen. Metingen van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden leveren de meest geschikte meetdata om de C-voorraad nauwkeurig te kwantificeren. Het HGN heeft boven het LGN landgebruiksbestand tot nu toe het voordeel dat er zeer frequent updates gemaakt kunnen worden van het landgebruik en dat de kwaliteit van verschillende jaren constant is.

In tabel 11 staan in toenemende mate van complexiteit, nauwkeurigheid maar ook mate van inspanning de verschillende alternatieven voor de vaststelling van de C-voorraad genoemd.

Tabel 11 Overzicht methoden voor vaststellen van de C-voorraad in Nederland gerelateerd aan de IPCC-indeling

IPCC-indeling	Bodeminformatie	Meetwaarden	Landgebruik	Voorraad	Inzet/Kwaliteit
Tier 1	FAO-bodemkaart	Default C-voorraad (kg/ha)	LGN-3	Exclusief organic soils 244000 Gg C	Enkele dagen werk, beperkt bestandsgebruik/Nauwkeurigheid onbekend
Tier 2	Bodemkaart 1: 250 000	Gemiddelden van schattingen en metingen	LGN-3	Berekeningen niet uitgevoerd	enkele weken werk, beperkt bestandsgebruik/ Nauwkeurigheid niet vast te stellen, maar verwacht klein.
Tier 2	Bodemkaart 1: 50 000	Gemiddelden van schattingen en metingen	LGN-3	Berekeningen niet uitgevoerd	Enkele weken werk, beperkt bestandsgebruik/ Nauwkeurigheid niet vast te stellen, maar verwacht redelijk
Tier 2	LSK (+ bodemkaart 1: 50 000)	Metingen Org. Stof en schatting van bulkdichtheid	LGN-3	Inclusief organic soils 286000 Gg C	1 maand werk, beperkt bestandsgebruik, veel verwerking, nauwkeurigheid organische stofmeting bij 95% +/- 2,1%
Tier 2	LSK (+ bodemkaart 1: 50 000)	Metingen Org. Stof en schatting van bulkdichtheid	HGN op basis van topografie (1: 25 000)	Inclusief organic soils en enclaves bodemkaart 336000 Gg C	1 maand werk met een gereed topografisch bestand, beperkt bestandsgebruik, veel verwerking, nauwkeurigheid organische stofmeting bij 95% +/- 2,1%

De berekende C-voorraad van 336000 Cg C is met de methode op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden van Nederland en het historisch landgebruik van 1990 en 2000 hoger (tabel 11) dan berekend met de defaultmethode (244000 Cg C) of vergeleken met de berekeningen van 2002 (286000 Cg C) (Kuikman et al., 2003). Dit komt omdat voor grote enclaves op de bodemkaart (stedelijk gebied) nu alsnog door extrapolatie een C-voorraad is vastgesteld. Het areaal waarvoor de C-voorraad berekend is, is daarmee toegenomen van 2,8 naar 4,1 miljoen ha en landsdekkend.

5 Conclusies en aanbevelingen

1 *Randvoorwaarden voor het protocol C-voorraad*

- *welke invloedfactoren*

De invloed van het landgebruik op de C-voorraad van de bodem is in Nederland beperkt. Met uitzondering van grondwatertrap VI is er geen significant verschil in C-voorraad tussen gras- en bouwland.

De grondwatertrap (Gt) heeft een veel grotere invloed op de C-voorraad dan landgebruik. Alle Gt's hebben een significant verschillende C-voorraad met uitzondering van Gt IV én V en IV én VI.

De nauwkeurigheid van de vastgestelde C-voorraad wordt bepaald door de samenstellende factoren waarmee de berekeningen worden uitgevoerd. Dit betekent dat: meten van organische stofgehalte is betrouwbaarder dan schatten, de standaardfout neemt bij labanalyse toe met het organische stofgehalte tot max. 3,6%; de dichtheid vaststellen met vertaalfuncties is voor veengronden nogal onzeker en het C-gehalte van organische stof varieert hoewel 50 % een redelijke schatting is.

2 *Keuzealternatieven voor het protocol C-voorraad*

- *welke landgebruiksdata*

Het gebruik van het LGN3-bestand leverde een forse overschatting op van het areaal grasland als het wordt vergeleken met het areaal grasland in landbouwkundig gebruik dat door het CBS werd vastgesteld voor 1990. Het HGN is gebruikt bij de recente rapportage van de C-voorraad naar UNFCCC en heeft nu de voorkeur, omdat er zeer frequent (jaarlijks) updates gemaakt kunnen worden van het landgebruik en dat de kwaliteit van verschillende jaren tussen 1990 en nu constant is. Ook sluit de indeling in landgebruikscategorieën beter aan bij de IPCC-indeling.

- *welke bodemdata*

De Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 is de meest representatieve en recente (1990-2000) set landsdekkende bodemdata met statistisch bepaalde waarden voor organische stof. Van alle meetpunten zijn organische stofgehalten bepaald. De meetlocaties zijn geografisch vastgelegd en via de bodemkaart zijn de meetwaarden te extrapoleren naar de vlakken die ze representeren. De C-voorraad van Nederland in 1990 kan het best worden berekend met meetdata van de Landelijke steekproef kaarteenheden.

De bodemkaart is in beperkte mate een weergave van de verschillen in C-voorraad in Nederland.

Bij de opzet van de LSK is niet alleen rekening gehouden met verschillen in organische stof. De stratificatie (indeling van de Nederlandse bodems in homogene groepen) als middel van vertaling naar een landsdekkend beeld van de C-voorraad kan dus nog verbeterd worden. In Noord Nederland zijn bodems als gevolg van klimaatverschillen bijvoorbeeld rijker aan koolstof. De Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000 blijkt ook verouderd in gebieden waar veel moerig materiaal voorkomt. Daar zal de bodemkaart eerst geactualiseerd moeten worden.

3 *Keuze voor het systeem van vaststellen voorraad C in Nederland*

De methode vaststellen C-voorraad op basis van de LSK en LGN-3 duurde 20 dagen en bedroeg 286000 Gg C. Die voor de default IPCC methode 5 dagen. De daarmee berekende C-voorraad exclusief organic soils bedraagt 244000 Gg C. Tellen we de C-voorraad van de organic soils bepaald met de methode op basis van de LSK/LGN-3 (Kuikman, et al., 2003) (=66000 Gg C) hier nog bij op dan bedraagt de totale C-voorraad 310000 Gg C. Dit is 8 % hoger dan de eerdere berekening van 286000 Gg C.

De kwaliteit van de default methode is niet vastgesteld. De onnauwkeurigheid bij 95% betrouwbaarheid in de vastgestelde C-voorraad met de LSK-LGN-3 methode was slechts 2,1% (dit betreft de nauwkeurigheid in gemeten organische stofgehalten). De grotere tijdsinspanning leidde in ieder geval tot een aanzienlijk beter te kwantificeren uitkomst.

De totale C-voorraad in de bodem met de methode LSK/HGN bedroeg in 1990 336450 gG C en is in 2000 afgenomen naar 336073 Gg C. Jaarlijks betekende dit een netto C-flux van 34 Gg C (125,8 Gg CO₂). Deze verandering is het gevolg van veranderingen in landgebruik en een netto toename van 'other land' waar geen C-voorraad aan wordt toegekend conform IPCC richtlijnen.

De berekende C-voorraad is met de LSK/HGN methode hoger dan berekend met de defaultmethode (FAO) of vergeleken met de berekeningen van 2002 (LSK/LGN-3 (Kuikman et al., 2003). Dit komt omdat voor grote enclaves op de bodemkaart (stedelijk gebied) nu alsnog door extrapolatie een C-voorraad is vastgesteld. Het areaal waarvoor de C-voorraad berekend is, is daarmee toegenomen van 2,8 naar 4,1 miljoen ha en landsdekkend.

De methode LSK/HGN heeft de voorkeur vanwege het gebruik van de best beschikbare bodem- en landgebruiksdata in Nederland.

Indien we met een methodiek voor monitoring die gebruik maakt van steeds dezelfde bodemkaarten de C-voorraad vaststellen, worden niet alle veranderingen meegenomen. Ook de bodemkaart moet regelmatig geactualiseerd worden. Als dat niet gebeurt, wordt met nieuwe bemonsteringen niet duidelijk hoeveel C er op nationale schaal is verdwenen of geaccumuleerd. Het is van groot belang de invloed van de veranderende bodemeigenschappen (verdwijnen van moerige lagen) los van het landgebruik in het berekenen van fluxen mee te nemen (Kuikman et al., 2005).

Monitoring van de C-voorraad in Nederland kan worden uitgevoerd met een nieuwe steekproef. Een voorstel voor een bemonsteringsstrategie C is in voorbereiding (Alterra, T. Hoogland, i.v.).

Alternatief van metingen is om C-omzettingsprocessen op verschillende karakteristieke lokaties te meten en te modelleren. Vervolgens kan die kennis naar de rest van Nederland geextrapoleerd worden. Deze deterministische aanpak leidt tot meer inzicht in effecten (van veranderingen) van landgebruik. Hiermee wordt ook duidelijk wat landelijke effecten van maatregelen om de C-emissie te verminderen zijn.

Het vast stellen van de C-voorraad van Nederland kan nog in de toekomst nauwkeuriger worden uitgevoerd door het meten van dichtheden, het vaststellen van het C-gehalte in plaats van organische stof en een stratificatie en update van de bodemkaart die zich uitsluitend richt op verschillen in C-voorraad tussen bodems.

Literatuur

Bakker, H. de & W. P. Locher, 1990. Bodemkunde van Nederland, deel 1, Den Bosch.

CBS, 1998. Statistisch jaarboek, Centraal bureau voor de Statistiek, Voorburg, Heerlen.

Finke, P.A, J.J. de Gruijter en R. Visschers, 2001. Status 2001 Landelijke steekproef Kaartenheden en toepassingen, Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodems, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, rapport 389, Wageningen.

Hoogland, T. i.v. Een voorstel voor een bemonsteringsstrategie C, Alterra, Wageningen.

Heijboer, D. & J. Nellestijn (2002) Klimaatatlas van Nederland: de normaalperiode 1971 – 2000. Elmar BV., Rijswijk. Pp. 182.

IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Kanagawa, Japan.

Kiestra, E. 2003. Bodemkundig-hydrologisch onderzoek voor de waardebeoordeling van de gronden in het herinrichtingsgebied Schoonebeek. , rapport 686, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.

Klein Goldewijk, K., J.G.J. Olivier, J.A.H.W. Peters, P.W.H.G. Coenen & H.H.J. Vreuls, 2005. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990 - 2003. RIVM, Bilthoven. RIVM report 773201009/2005. www.greenhousegases.nl

Kramer, H. et al., 2005. Methodiek en resultaten van landgebruiksveranderingen op basis van de topografische kaart van Nederland, schaal 1: 25 000, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte , rapport 1035-4, Wageningen.

Kuikman, P.A. et al., 2003. Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands. Alterra-Green World Research, report 561, Wageningen.

Kuikman, P.J., J.J.H van den Akker en F. de Vries, 2005b. Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems, Alterra, rapport 1035.2 Wageningen.

Kuikman, P.J., L. Kooistra & G.J. Nabuurs, 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, report 903, Wageningen.

Nabuurs, G.J., I.J. van den Wyngaert, W.D. Daamen, A.T.F. Helmink, W.J.M. de Groot, W.C. Knol, H. Kramer & P. Kuikman 2005a. National System of Greenhouse Gas Reporting for Forest and Nature Areas under UNFCCC in The Netherlands, Alterra, report 1035.1, Wageningen.

Pleijter, M. 2004. Veengronden en moerige gronden op de Bodemkaart van Nederland anno 2003; Onderzoek naar de afname van het areaal veengronden rondom Schoonderbeek, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, rapport 1029, Wageningen.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000. Algemene begrippen en indelingen, 4^e uitgave. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Vries, F. de en E.J. Al, 1992. De groeiplaatsgeschiktheid voor bosdoeltypen in beeld met ALBOS. Rapport 234, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vries, F. de, 1993. Een fysisch-chemische karakterisering van de bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 250 000. Rapport 265, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vries, F. de, 1994. Een fysisch-chemische karakterisering van de bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 met onderscheid naar grondgebruik. Rapport 286, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vries, F. de, 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysische-chemische kenmerken. Rapport 654, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vries, F. de, 2003. Bodemkundige basisinformatie provincies Groningen, Drenthe en Overijssel. rapport 696, Alterra, Wageningen.

Wit, A.J.W. de, Th. G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruiksbestand. Rapport 663. DLO- Staring Centrum, Wageningen.

Wösten, J.H.M., 1997. Bodemkundige vertaalfuncties bij SC-DLO, State of the art, rapport 563, DLO-Staring Centrum, Wageningen.