

QuickScan naar de potentie van koolstofopslag in de Nederlandse melkveehouderij

april 2012



Courage

InnovatieNetwerk
Grensverleggend in Agro en Groen

Opdrachtgever:
Courage, Innovatienetwerk

Auteurs:
Emiel Elferink
Carin Rougoor
Lien Terryn
Wouter van der Weijden

CLM Onderzoek en Advies BV
Culemborg, februari 2012
CLM 782 - 2012



Inhoud

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 De uitdaging	2
1.3 Doelstelling	2
2 Organische stofgehalten in Nederlands gras- en bouwland	5
2.1 Ontwikkelingen door de tijd	5
2.1.1 Areaal	5
2.1.2 Organische stofgehalte	5
2.2 Koolstofvoorraad in de bodem	8
2.3 Sturende factoren	9
2.3.1 Aan- en afvoerposten organische stof	9
2.3.2 Peilbeheer veengrond	11
2.3.3 Graslandbeheer	11
2.3.4 Bodemleven	11
2.3.5 Veranderingen landgebruik	11
2.3.6 Mestbeleid	12
2.3.7 Klimaatverandering	12
3 Effectieve maatregelen en innovatieve technieken	15
3.1 Huidige hoeveelheid bodem koolstof in de melkveehouderij	15
3.2 Maatregelen en potentieel	16
3.2.1 Beschrijving maatregelen	19
3.3 Maximum koolstofvastlegend vermogen	24
3.4 Meerwaarde organische stof voor de melkveehouder	25
4 Belemmerende en stimulerende factoren	27
4.1 Economische factoren	27
4.2 Beleidsfactoren	28
4.3 Technische factoren	30
4.4 Conclusies	31
5 Koolstofkringloop	33
5.1 Inventarisatie	33
5.1.1 Modelleren van C-bodembeheer	33
5.1.2 Koolstofkringloop op perceelsniveau	35
5.1.3 Koolstofkringloop op bedrijfsniveau	35
5.1.4 Koolstofkringloop op een hoger niveau, bijvoorbeeld sectorniveau, Nederlandse landbouw	39
5.2 Potentie koolstofkringloop	39
5.2.1 C-bodembeheer	39
5.2.2 Koolstofkringloop op perceelsniveau	40
5.2.3 Koolstofkringloop op bedrijfsniveau	40
5.2.4 Koolstofkringloop van de Nederlandse landbouw	41
5.3 Conclusies	42

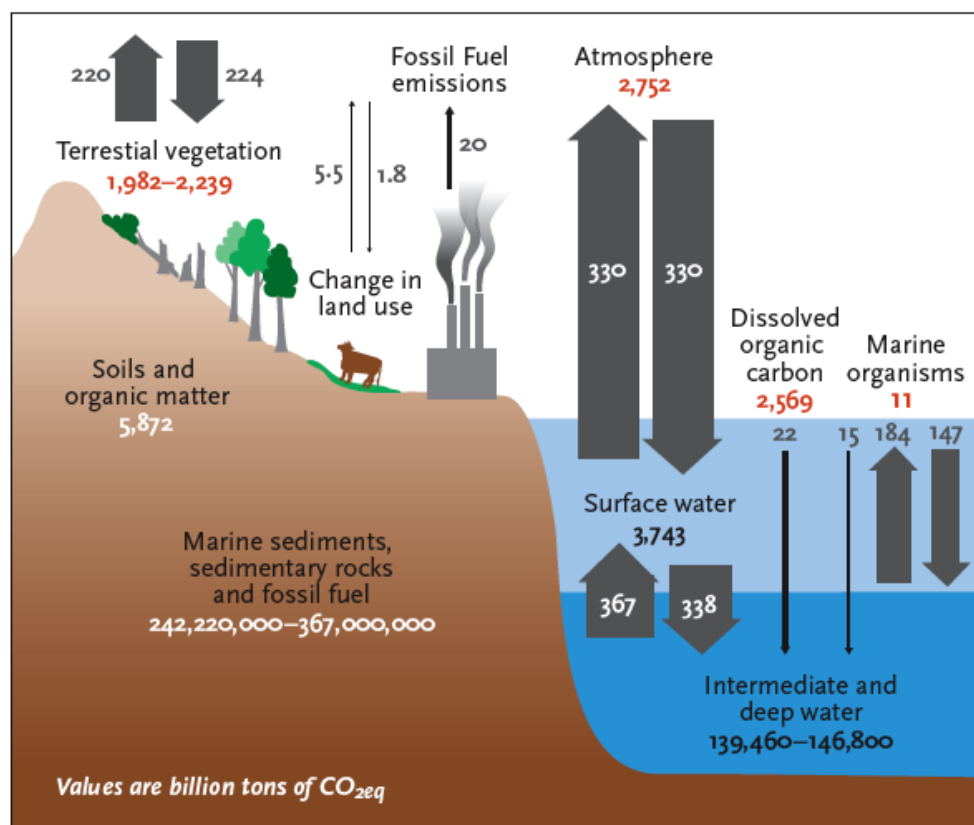
6 Conclusies en aanbevelingen	43
6.1 Conclusies	43
6.2 Aanbevelingen	44
Begrippenlijst	47
Referenties	49

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Een hoog gehalte aan organische stof (o.s.) in de bodem heeft positieve effecten op mineralenhuishouding, waterretentie, beworteling, bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid, bodemgezondheid, bodembiodiversiteit en klimaatadaptatie en -mitigatie. Meer concreet: een dergelijke bodem is beter in staat hevige regenval te verwerken of juist perioden van droogte te doorstaan.

Tegelijkertijd is het vastleggen van CO₂ een belangrijke maatregel om de verhoging van de concentratie van CO₂ in de atmosfeer en de daardoor veroorzaakte klimaatverandering te temperen. De bodem is namelijk de grootste opslagplaats van koolstof (zie figuur). Een kleine verandering in die koolstof in de bodem kan een groot verschil in de atmosfeer uitmaken.



De rundveehouderij gebruikt een grote oppervlakte grond in Nederland en elders. Daardoor kan zij in principe een belangrijke bijdrage leveren aan het vastleggen en vasthouden van organische stof, een proces dat bekendstaat als koolstofopslag. Cruciaal hierbij is verstandig omgaan met en goed managen van koolstof en organische stof in de bodem. Dit noemen we ook wel "koolstoflandbouw". Terwijl de meeste maatregelen en ideeën om de klimaatverandering te remmen gericht zijn

op het terugbrengen van de CO₂-uitstoot, richt koolstoflandbouw zich op het uit de atmosfeer halen van de aanwezige koolstof. Koolstoflandbouw is reeds prominent aanwezig in compensatieprogramma's waarbij mensen of instellingen betalen voor compensatie van hun CO₂ uitstoot. Een bekend voorbeeld is het planten van bomen ter compensatie van het gebruik van auto en vliegtuig. Initiatieven om koolstof in de bodem op te slaan bijvoorbeeld met behulp van grazend vee zijn minder bekend, maar in potentie veelbelovender. Akkers en grasland beslaan namelijk een groter deel van de aarde dan bossen – en groeien sneller. De direct-zaaimethode, waarbij ploegen tot een minimum beperkt blijft, zodat er nog vegetatie achterblijft op de landbouwgrond, is ook een manier van koolstofopslag.

1.2 De uitdaging

Uitdaging in dit project is te onderzoeken of we het organische stofgehalte in de bodem van de rundveehouderij duurzaam en blijvend kunnen verhogen. Daarmee zou de sector een bijdrage kunnen leveren aan het klimaat, duurzaam ondernemen en haar eigen *license to produce*.

1.3 Doelstelling

Bovenstaande uitdaging hebben we uitgesplitst in de volgende doelstellingen:

1. Een overzicht geven van hoe organische stofgehalten in Nederlandse gras- en maïslanden zich de afgelopen decennia (zo mogelijk vanaf WWII) hebben ontwikkeld en wat daarbij vermoedelijk sturende factoren waren.
2. In kaart brengen van het ecologisch/technisch opslagpotentieel van de bodem van de NL melkveehouderij. Elke grondsoort heeft een maximaal haalbaar organisch stofgehalte. Dat noemen we het vastleggingspotentieel. Als we alle grond op dat niveau krijgen is dat het vastleggingspotentieel volgens de huidige goede landbouwpraktijk.
 - a) Vaststellen van het huidige organische stofgehalte in de veehouderij (gemiddelde en bandbreedte).
 - b) Een overzicht geven van mogelijke effectieve maatregelen en innovatieve technieken ter verhoging van het organische stofgehalte in grasland, incl. mogelijke afwentelingen.
 - c) Per maatregel het ecologische/technisch potentieel weergeven voor de gehele sector.
 - d) Aangeven wat een valide hypothese is voor de toekomst. Daarbij proberen we voorbij de horizon te kijken.
3. Inventariseren van actuele en potentiële belemmerende en stimulerende factoren voor het implementeren van koolstoflandbouw, met name in de sfeer van:
 - a) Beleid: doelstellingen convenant Schoon & Zuinig agrosectoren, scheiding in beleid tussen CO₂ en overige broeikasgassen, bodembeleid, mestbeleid incl. Nitraatrichtlijn, ammoniakbeleid, energiebeleid, weidegangpremie en overig beleid coöperaties.
 - a) Technisch m.b.t. organische stof: voldoende biomassa, vastleggen en houden van C, heterogeniteit in de landbouw (effecten verschillen per bedrijf).

4. Mogelijkheden inventariseren voor het ontwikkelen en implementeren van de koolstofkringloop als integraal managementinstrument voor de veehouder. Vragen die we hiervoor beantwoorden:
- b) Bestaan hiervoor al lopende initiatieven in Nederland?
 - c) Zijn er referentiecijfers voor zo'n kringloop beschikbaar?
 - d) Hoe kan een boer hiermee zijn bedrijf managen?
 - e) Welke (nieuwe) inzichten levert dat op?
 - f) Hoe kan een voorbeeldbedrijf er globaal uitzien?

2 Organische stofgehalten in Nederlands gras- en bouwland

In dit hoofdstuk beschrijven we wat er bekend is over de ontwikkeling van het organische stofgehalte in de Nederlandse landbouwbodem door de tijd en welke verschillen er zijn tussen verschillende gewassen, grondsoorten en regio's (§ 2.1). In § 2.2 beschrijven we wat dit betekent voor de totale koolstofvoorraad in de bodem. Vervolgens gaan we in § 2.3. in op de sturende factoren. Welke factoren hebben in het verleden, maar ook in het heden invloed op de organische stofgehalten in de Nederlandse landbouwbodem?

2.1 Ontwikkelingen door de tijd

2.1.1 Areaal

Ongeveer 60% van het Nederlandse landoppervlak is landbouwgrond (19.175 km²) (CBS, 2010). Meer dan 50% van de landbouwgronden is grasland en 40% wordt benut voor akkerbouw. Op het overige landbouwareaal vindt tuinbouw plaats. Sinds 1980 is het areaal grasland met 15% afgenomen, namelijk van 1,20 miljoen ha in 1980 tot 1,02 miljoen ha in 2009. Hiervan is 182.000 ha tijdelijk grasland en 769.000 ha blijvend grasland. Het areaal tijdelijk grasland is vervijfvoudigd, terwijl het areaal blijvend grasland met 25% is afgenomen. Dit wijst op een uitwisseling van gronden tussen melkveehouders en akkerbouwers.

2.1.2 Organische stofgehalte

Organische stof is een van de belangrijkste onderdelen van de bodem en bestaat uit vers plantaardig en dierlijk materiaal, humus en levende organismen. Koolstof vormt het belangrijkste bestanddeel van organische stof. Organisch materiaal in de bodem bestaat voor ruim de helft uit koolstof. Het percentage organische stof en -koolstof zijn indicatoren voor een duurzame bodem. De indicatoren zijn uitwisselbaar en worden in de literatuur dan ook beide gebruikt. Wanneer men het over de aanvoer van organisch materiaal heeft wordt ook de term effectief organische stof (EOS) gebruikt om aan te geven welk deel van de aanvoer na een jaar nog aanwezig is in de bouwvoor.

Landelijk gemiddelde

In het verleden zijn verschillende onderzoeken gedaan naar het verloop van het organische stofgehalte in de Nederlandse landbouwbodem. Sinds 1930 voert het BLGG bodemanalyses uit. Vanaf de gegevens uit 1984 zijn deze data gedigitaliseerd, waardoor onderzoek eenvoudiger wordt.

De conclusies van de verschillende studies variëren van 'geen merkbare verandering van het organische stofgehalte sinds 1940' (DuBola-rapport, VROM & LNV, 2006) tot 'het gehalte aan organische koolstof is sinds de jaren '50 stabiel gebleven of licht gestegen' (Reijneveld et al., 2009). Reijneveld et al. (2009) baseren zich

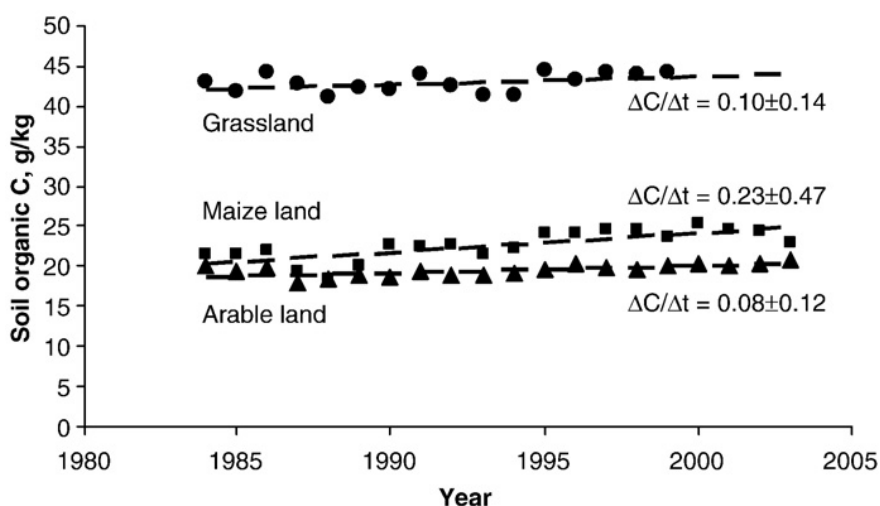
o.a. op informatie van Kortleven (1963). Kortleven voerde in de jaren '50 analyses uit naar organische stof in grasland op zand- en kleibodems. Het gemiddelde organische koolstofgehalte bedroeg toen 58 g/kg. Reijneveld et al. (2009) geven aan dat in de periode van 1984 – 2000 het gemiddelde organische koolstofgehalte op deze graslanden 60 g/kg bedroeg. Een lichte stijging dus t.o.v. de cijfers van Kortleven.

De waarneming dat het organische stofgehalte in Nederlandse landbouwbodems constant blijft of licht stijgt, staat in contrast met een talrijk aantal recente studies (Bellamy et al., 2005; Sleutel et al., 2003; Vleeshouwers en Verhagen, 2002 in Reijneveld, 2009) waarin wordt aangegeven dat het organische stofgehalte in Europa afneemt. De afname wordt geweten aan veranderingen in landgebruik, bodembewerking en mogelijk aan temperatuurveranderingen.

De hierboven genoemde cijfers zijn landelijke gemiddelden. Zijn er verschillen tussen gewassen, tussen grondsoorten, regio's en percelen?

Invloed van het gewas

Volgens Reijneveld et al. (2009) stijgt in Nederland het organische koolstofgehalte jaarlijks met gemiddeld 0,10 g C/kg bodem op grasland, 0,23 g C/kg op maïslaan en 0,08 g C/kg op bouwland (zie figuur 2.1). De onzekerheid van deze dataset is echter groot.



Figuur 2.1 Verandering in gemiddeld organische koolstofgehalte van de bodem (in g/kg/jaar) van grasland (1984–2000), maïslaan (1984–2004) en bouwland (1984–2004) in Nederland (Bron: Reijneveld et al., 2009).

Hanegraaf et al. (2009) berekenden dat in de bovenste 5 cm van het grasland 39 g C/m²/jaar accumuleerde in de periode van 1985 tot 2004.

Zowel Hanegraaf et al. (2009) als Reijneveld et al. (2009) laten zien dat organische koolstofgehalten op maïslaan lager zijn dan op grasland.

Jaarlijks accumuleert in grasland gemiddeld ongeveer 2.000 kg per ha effectieve organische stof (EOS). Dit is gelijk aan 1,1 ton organisch koolstof. Deze accumulatie vindt plaats via wortels en gewasresten in grasland (Kuikman et al., 2003), maar de verschillen tussen graslanden zijn groot. Factoren als bodemtype, leeftijd van grasland en management spelen hierbij een rol. Dat maakt grasland tot een zeer belangrijke bron van effectieve organische stof in Nederland.

Invloed van de grondsoort

Veengronden geven een afwijkend beeld. Veengronden zijn rijk aan organisch stof en bestaan voor minimaal 25% uit organische stof. In tegenstelling tot het landelijke gemiddelde treedt daar een afname van het organische stofgehalte op (afname van de dikte van veenlagen; maaiveldddaling) als gevolg van slootpeilbeheer ten behoeve van landbouw, bebouwing en infrastructuur. Kuikman (2005) heeft berekend dat de totale hoeveelheid CO₂-emissie door veenmineralisatie 4,2 Mton CO₂/jaar is voor de Nederlandse landbouw in 2003. Naast CO₂ komt er ook 0,5 Mton CO₂ equivalenten aan N₂O vrij. Veengronden zijn daarmee een van de belangrijkste emissiebronnen van de Nederlandse landbouw.

Hanegraaf et al. (2009) concludeerden dat op zandgronden op sommige percelen aandacht voor het behoud van de organische stof noodzakelijk is. Terwijl dit voor maïsland volledige gebieden betreft; daar is het probleem nijpender.

Uit het onderzoek van Reijneveld (2009) blijkt dat in 2003 het gemiddelde organische koolstofgehalte van blijvend grasland schommelt tussen 22 g C/kg op zand, 56 g C/kg op klei en tot 133 g C/kg op veen. Voor bouwland op zand, klei en loss ligt het gemiddelde organische koolstofgehalte tussen 13 en 22 g C/kg en kan oplopen tot 59 g C/kg op ontgonnen veenbodems.

Regionale verschillen

Reijneveld et al. (2009) laten zien dat in Nederland regionale verschillen in organische stofgehalte groot zijn. Regio's met relatief lage organische stofgehalten accumuleren tot 0,37 g C/kg/jaar aan organische koolstof, terwijl in gebieden met relatieve hoge gehalten aan organische stof het organische koolstofgehalte kan afnemen met 0,98 g/kg/jaar (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Voorraad en verandering van het gemiddeld organische koolgehalte in de bodem voor grasland en maïsland in 9 regio's in Nederland tussen 1984 en 2000 (Bron: Reijneveld et al., 2009).

	Regio	Landgebruik	Gem. org. C 1984/85 (g C/kg bodem)	Gem. org. C 1999/2000 (g C/kg bodem)	Verandering org. C (g C/kg bodem/jaar)
1	Marine klei, Noorden	Grasland	62	54	-0,55
2	Marine klei, Zuidwest	Bouwland	13	12	0,03
3	Marine klei, west- centraal	Bouwland	20	23	0,18
4	Rivierklei, Centraal	Grasland	54	57	0,37
5	Venige klei, Noord	Grasland	156	144	-0,98
6	Venige klei, West	Grasland	89	94	-0,27
7	Ontgonnen veen, Noordoost	Grasland			-0,07
		Bouwland	63	64	0,08
8	Zand, Zuid	Grasland	24	26	0,18
9	Löss, Zuid	Grasland			0,34
		Bouwland	14	14	0,02
	Nederland	Grasland	43	44	0,1
		Bouwland	20	20	0,08
		Maïsland		23	0,23

Cijfers van Hanegraaf et al. (2009) laten zien dat in meer dan 75% van al de bodems in Drenthe, Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant het organische stofgehalte stabiel gebleven of gestegen is onder blijvend grasland, rotatie grasland – maïs of continu maïsland (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Organische stofgehalte van zandbodems in 4 Nederlandse provincies tussen 1987 en 2003; N.B. = niet beschikbaar (Bron: Hanegraaf et al., 2009).

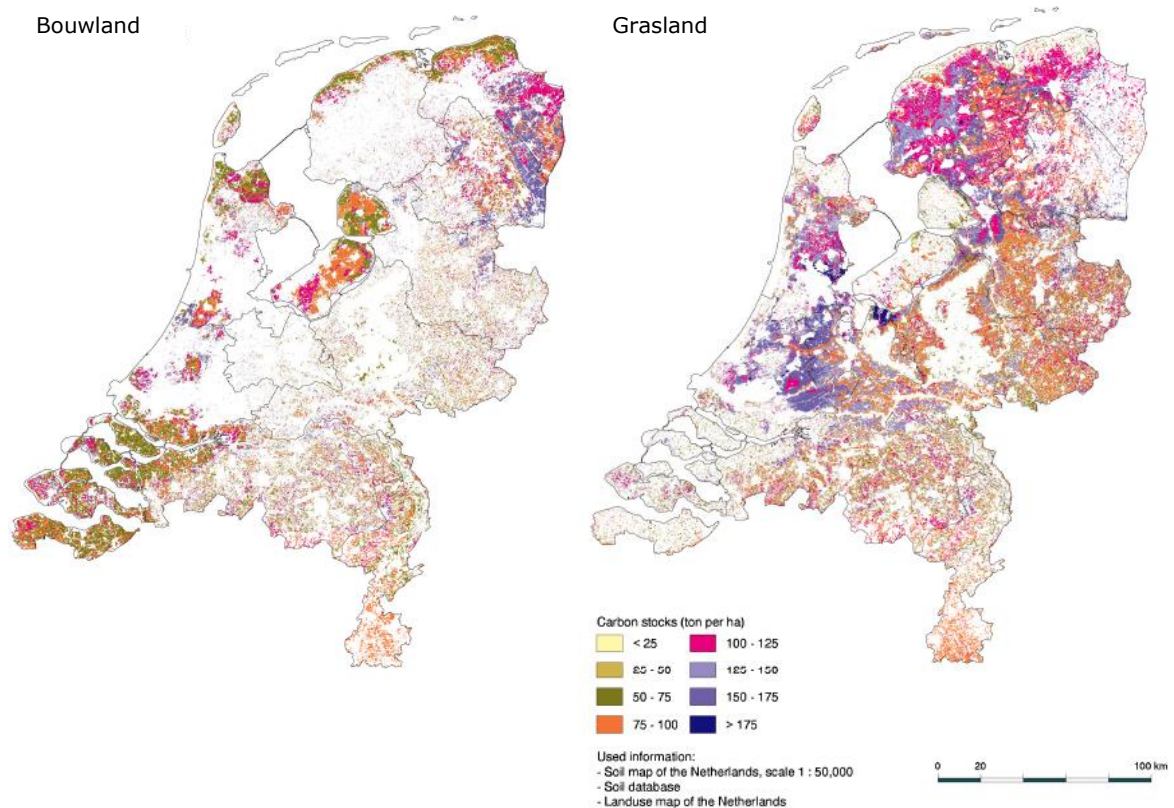
	1987	1991	1995	1999	2003
<i>Grasland</i>					
Drenthe	8,4	9	8,4	8,5	9,4
Overijssel	5,8	6,5	6	6,4	6,5
Gelderland	5,7	6,2	6	6,4	6,2
Noord-Brabant	4,6	5,1	4,9	5,3	5
<i>Gras-maïs rotatie</i>					
Drenthe	5,9	6,6	6	6,1	6,4
Overijssel	4,2	4,9	4,3	4,5	4,8
Gelderland	4	4,3	4,1	4,1	4,2
Noord-Brabant	3,4	3,7	3,4	3,5	3,7
<i>Maïsland</i>					
Drenthe	n.b.	6,2	5,3	n.b.	6,5
Overijssel	n.b.	4,9	4,3	n.b.	4,3
Gelderland	5,3	4,3	3,8	n.b.	3,9
Noord-Brabant	n.b.	3,6	3,3	n.b.	3,5

Perceelsniveau

Tussen percelen kunnen grote verschillen in organische stofgehalte voorkomen als gevolg van verschillen in beheer. Het beheer van graslanden heeft grote veranderingen ondergaan in de 20^{ste} eeuw. De belangrijkste wijzigingen zijn drainage van natte gronden, bemesting, bodemverbetering en herinzaai van graslanden. In de volgende paragraaf gaan we verder in op de vraag hoe deze aspecten het osgehalte kunnen beïnvloeden. Bij continue teelt in akkerbouw en bij akkerbouw op zandgrond is de kans op afname van het organische stofgehalte het grootst.

2.2 Koolstofvoorraad in de bodem

Cijfers t.a.v. het organische stofgehalte in de bodem kunnen worden gebruikt om te berekenen hoe groot de koolstofvoorraad in de Nederlandse bodem is. Kuikman et al. (2003) berekenden dat voor Nederland de totale hoeveelheid koolstof in de bovenste 30 cm van de bodem 286 Mton C is, waarvan 148 Mton C (56%) in bodems onder grasland. Figuur 2.2 geeft een overzicht van de koolstofvoorraad in bouwland en akkerland in Nederland. Vleeshouwers en Verhagen (2002) berekenden een koolstofvoorraad van 114 ton/ha (121 Mton) voor grasland en een koolstofvoorraad van 22 ton C/ha (5,3 Mton) voor snijmaïs.



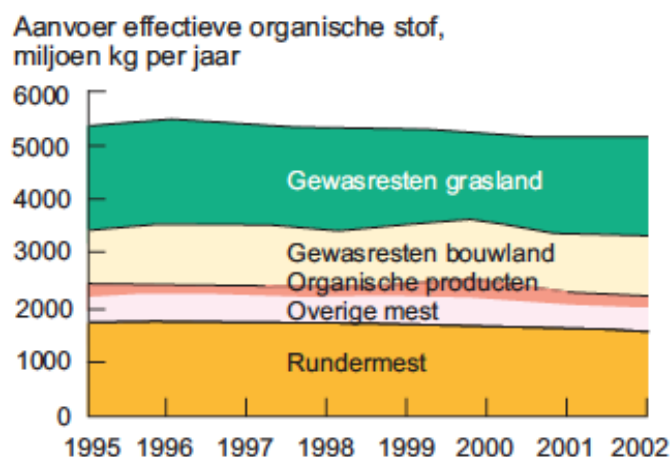
Figuur 2.2 De koolstofvoorraad in de bovengrond (0 – 30 cm) van Nederland op bouwland (links) en grasland (rechts) (Bron: Kuikman et al., 2003).

2.3 Sturende factoren

Veranderingen in het gehalte aan organische stof in de bodem zijn het resultaat van aanvoer minus afvoer/afbraak. In deze paragraaf beschrijven we eerst wat aan- en afvoerposten van organische stof zijn. Vervolgens bespreken we wat sturende factoren zijn; wat maakt dat de aan- en/of afvoer wijzigt? Hierbij gaan we in op beheersaspecten (waterpeilbeheer, graslandbeheer, landgebruik), de invloed van het mestbeleid en de invloed van de klimaatveranderingen.

2.3.1 Aan- en afvoerposten organische stof

Een belangrijke aanvoerpost van organische stof op landbouwgrond is dierlijke mest. Door de hoge veebezetting ontvangen Nederlandse landbouwgronden veel dierlijke mest. Sinds 1984 zijn de normen voor (dierlijke) bemesting geleidelijk strikter geworden. Dit heeft er toe geleid dat er minder dierlijke mest en compost op het land gebracht wordt. Figuur 2.3 geeft een overzicht van de aanvoer van effectieve organische stof in Nederland in de periode 1995 tot 2002.



Figuur 2.3 Aanvoer van effectieve organische stof in Nederland in miljoen kg per jaar (bron: Velthof, 2004).

In de periode van 1995 tot 2002 is de jaarlijkse aanvoer van effectieve organische stof via organische producten en gewasresten van bouwland en grasland gezakt met enkele procenten, namelijk van 5.383 miljoen kilogram naar 5.176 miljoen kilogram (zie Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Totale aanvoer effectieve organische stof in Nederland, miljoen kg (Bron: Velthof, 2004).

	Rundermest	Overige mest	Organische producten	Gewasresten bouwland en groenbemesters	Gewasresten grasland	Totaal
1995	1774	471	193	1037	1908	5383
1996	1770	500	209	1071	1916	5465
1997	1733	521	197	1092	1862	5404
1998	1730	524	179	1009	1858	5301
1999	1715	532	193	1072	1828	5339
2000	1628	500	203	1092	1810	5233
2001	1638	463	226	1045	1806	5177
2002	1575	443	206	1092	1860	5176

Deze daling komt op rekening van rundermest, waarvan de hoeveelheid is afgenomen door een afname van de aantallen dieren (Velthof, 2004). De aanvoer van organische stof via dierlijke mest bedraagt circa 40% van de totale organische stof aanvoer. Enkele procenten worden aangevoerd via compost. Het grootste deel van de organische stof wordt aan de bodem toegevoegd door gewasresten op bouwland (21%) en grasland (36%). Of deze lichte daling in aanvoer van effectieve organische stof resulteert in een verandering in organische stofgehalte van de bodem is moeilijk aan te geven. Het betreft een berekening op nationaal niveau. Tussen individuele bedrijven en percelen kunnen er grote verschillen in de aanvoer van organische stof bestaan.

Afvoer van organische stof vindt plaats door emissies (methaan (CH_4), kooldioxide (CO_2)) en door afvoer van organische stof met het gewas.

2.3.2 Peilbeheer veengrond

In Nederlandse veengronden treedt afname van organische stof (afname van de dikte van veenlagen; maaiveldddaling) op als gevolg van verlaging van het slootpeil ten behoeve van landbouw, bebouwing en infrastructuur. De discussie over het al dan niet verlagen van het waterpeil wordt op dit moment overigens niet gevoerd vanwege het verlies van organische stof (de gehalten zijn immers erg hoog), maar vooral vanwege de zorg om de bodemdaling (VROM & LNV, 2006).

2.3.3 Graslandbeheer

Beweide percelen hebben een hoger organisch stofgehalte dan gemaaide percelen (Hassink en Neeteson, 1991 in Reijneveld, 2009).

Het beheer van graslanden heeft grote veranderingen ondergaan in de 20^{ste} eeuw. Deze hebben een effect op de opbouw en afbraak van organische stof. De belangrijkste wijzigingen zijn:

- drainage van natte gronden (afbraak van organische stof),
- bemesting (opbouw organische stof),
- bodemverbetering (opbouw),
- herinzaai van graslanden (afbraak).

2.3.4 Bodemleven

Het bodemleven speelt een rol bij de afbraak van organische materialen (decompositie), de opbouw van stabiele organische stof (humificatie), het vrijmaken van voedingsstoffen uit organische materialen (mineralisatie) en bij de opbouw van bodemstructuur. Bodemleven bestaat onder andere uit microflora (zoals bacteriën en schimmels) en fauna (zoals aaltjes, mijten en wormen). Goed bodemleven is een voorwaarde voor een goede bodemkwaliteit en zorgt daarmee voor een hogere productie per ha en daardoor een hogere koolstofvastlegging.

Echter een hogere bacterie activiteit kan een negatieve invloed op het organische stofgehalte in de bodem hebben, omdat bacteriën de neiging hebben organisch materiaal af te breken. Tevens wordt een deel van de voedingsstoffen door schimmels en bacteriën opgenomen en zijn dan niet voor de plant beschikbaar. Bacteriën en schimmels worden door veel organismen gegeten en hierbij komen de gebonden voedingsstoffen dan weer vrij. De bacterieactiviteit gaat omhoog wanneer de grond minder zuur wordt. Te sterk bekalken kan hierdoor een negatieve invloed op de grond hebben.

Ook kan antibiotica een effect hebben op het bodemleven. Onderzoek in de VS wijst uit dat antibiotica via organische mest in de bodem terecht kan komen. Melkveehouder Van de Voort (mondelinge mededeling, 2011) geeft aan dat niet gebruiken van antibiotica een aanzienlijk effect heeft op het organische stofgehalte. Van de Voort geeft aan een stijging van 0,5-0,8% punt per jaar te bereiken. Deze claim zal echter met wetenschappelijk onderzoek moeten worden geverifieerd.

2.3.5 Veranderingen landgebruik

Bodems met langdurig grasland hebben een aanzienlijker hoger organisch stofgehalte dan bodems met bouwland. In Nederland wordt jaarlijks 5 tot 10% van het grasland gescheurd in het kader van wisselbouw of graslandvernieuwing (Aarts et

al., 2002). Hierdoor treedt er een versnelde afbraak van organische stof op. Er is dus geen voortschrijdende accumulatie van organische stof in deze graslanden. Veranderingen in landgebruik hebben een groot effect op het organische stofgehalte. Na het omzetten van grasland in bouwland en omgekeerd, duurt het een tiental jaren tot een eeuw vooraleer er een nieuw evenwicht is bereikt (Kortleven, 1963). Hieronder bespreken we enkele veel voorkomende veranderingen in landgebruik in Nederland en de gevolgen hiervan voor het organische stofgehalte in de bodem.

Omzetten blijvend grasland in tijdelijk grasland of meenemen in rotatie

Vellinga et al. (2004) presenteren berekeningen waarin de afname van organische stof wordt geschat als gevolg van het omzetten van permanent grasland in tijdelijk grasland. De verliezen bedroegen 30 en 150 ton CO₂ eq/ha voor respectievelijk een ruime rotatie (1 jaar bouwland : 6 jaar grasland) en een nauwe rotatie (3 : 3). Het merendeel van deze emissie is CO₂.

Omzetten van grasland in bouwland

Na het omzetten van grasland in bouwland en omgekeerd, duurt het een tiental jaren tot een eeuw tot er een nieuw evenwicht is bereikt (Kortleven, 1963). Een 35 jaar durende proef in Rothamsted (Johnston, 1986) laat zien dat bij gelijkblijvend landgebruik de organische stofgehalten in zowel grasland als bouwland in de tijd nauwelijks variëren. Wanneer grasland wordt omgezet in bouwland neemt het organische stofgehalte af, terwijl het toeneemt als bouwland wordt omgezet in grasland. Aarts et al. (2002) en Nevens et al. (in Velthof, 2004) laten zien dat wisselbouw tussen grasland en bouwland op de lange termijn gemiddeld een organisch stofgehalte oplevert dat tussen dat van grasland en bouwland in ligt. Vellinga et al. (2004) laten berekeningen zien waarin de afname van organische stof wordt geschat als gevolg van het omzetten van permanent grasland in bouwland. De verliezen voor het omzetten van permanent grasland in bouwland bedroegen 250 ton CO₂ eq/ha.

Uitbreiden van areaal aan snijmaïs

Vanaf 1960 steeg in Nederland het areaal maïsland ten koste van het areaal grasland en overig bouwland. Dit heeft negatieve effecten gehad voor het organische stofgehalte in de desbetreffende bodems.

2.3.6 Mestbeleid

Er zijn nog geen studies gedaan naar het effect van het gewijzigd mestbeleid sinds 2006; vervangen van MINAS-verliesnormen door gebruiksnormen voor kunstmest en dierlijke mest. Daarenboven worden mestverwerking en -bewerking gestimuleerd en daardoor kan de aanvoer van organische stof naar landbouwgronden afnemen. Het verplicht telen van een wintergewas na maïs op zandgronden leidt tot meer aanvoer van organische stof. De gevolgen van voorgestelde veranderingen in het mestbeleid in de toekomst worden besproken in het hoofdstuk 4.

2.3.7 Klimaatverandering

Of de klimaatsveranderingen al dan niet effect hebben op het organisch stofgehalte in de bodem, is niet duidelijk. Smith et al. (2007) concluderen dat klimaatverandering in ieder geval niet de enige oorzaak is voor de afnemende koolstofgehalten in de bodem in bepaalde gebieden. Ook de afname van de veestapel, meer efficiënte oogstmethoden met minder gewasresten, grote oppervlakten maïs met minder

gewasresten, grotere ploegdiepte en effecten van landgebruik in het verleden spelen een rol.

Omgekeerd kan de landbouw door het aanpassen van de bedrijfsvoering CO₂ kunnen vastleggen, en daarmee een bijdrage kunnen leveren aan de oplossing van de klimaatproblematiek. Dit proces wordt mitigatie genoemd.

3 Effectieve maatregelen en innovatieve technieken

In hoofdstuk 2 hebben we de ontwikkeling van bodem organische koolstof in de Nederlandse landbouw vanaf de jaren '40 in beeld gebracht. In dit hoofdstuk geven we een korte kwantitatieve analyse van het huidige organische stofgehalte van de melkveehouderij (paragraaf 3.1). En schetsen we in paragraaf 3.2 het potentieel van verschillende maatregelen en technieken voor het verhogen van het organische stofgehalte in de Nederlandse melkveehouderij.

3.1 Huidige hoeveelheid bodem koolstof in de melkveehouderij

Uit het onderzoek van Kuikman et al. (2003) blijkt dat voor Nederland de totale hoeveelheid organische koolstof in de bovenste 30 cm van de bodem 286 Mton C is. Het onderzoek van Kuikman (2003) hebben wij toegepast op de Nederlandse melkveehouderij voor 2010. Specifieke arealen voor de Nederlandse melkveehouderij ontbreken, in plaats daarvan hebben we het areaal voor graasdierbedrijven genomen, (CBS, 2011). Onderstaande tabel geeft het resultaat van deze analyse. Hieruit blijkt dat in 2010 de geschatte hoeveelheid organische koolstof in de bovenste 30 cm van de bodem in beheer bij de Nederlandse

graasdierbedrijven 106 Mton is. Als we aannemen dat 80% van het land in beheer is bij de Nederlandse melkveehouderij geeft dat 85 Mton C. Deze voorraad staat gelijk aan 310 Mton CO₂-eq. Ter vergelijking de Nederlandse melkveehouderij is jaarlijks verantwoordelijk voor een broeikasgasemissie van ongeveer 15 Mton CO₂-eq.

Tabel 3.1 Koolstofvoorraad in bodem (0-30 cm) graasdierbedrijven NL, schatting voor 2010.

Grondsoort	Ha graasdierbedrijven	Wv veen ¹	Ton C ²
Grasland blijvend	729.000	109.000	75.816.000
Grasland tijdelijk	154.000	5.600	15.092.000
Snijmaïsaal	162.000	nb	14.904.000
Totaal			105.812.000

Bron: land en tuinbouwcijfers 2011 tabel 22-d

1) Afgeleid van CRF (Common Reporting Format, 2011)

2) Afgeleid van Kuikman (2003)

3.2 Maatregelen en potentieel

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de in de literatuur gevonden maatregelen en hun potentieel. Dit potentieel is niet altijd specifiek voor Nederland maar betreft het gemiddelde effect voor een gematigd klimaat met een moderne landbouw. In de eerste kolom staat het effect op het bodem organische koolstofgehalte (BOC). De tweede en derde kolom geven neveneffecten weer van deze maatregel op emissies van andere broeikasgassen (CH_4 en N_2O) of emissies die vrijkomen in de keten. Voorbeelden van het laatste zijn meer of minder; transport, landbewerkingen of grondstoffen. De een na laatste kolom geeft het geschatte areaal waarop deze maatregel toepasbaar is voor Nederland. Dit areaal is afgeleid van de bestaande situatie. Bijvoorbeeld voor de Nederlandse melkveehouderij is bekend welk deel van het grasland beweidbaar en niet-beweidbaar is en wat de soort beweiding is. Op basis hiervan is een schatting gemaakt van het aantal areaal dat beschikbaar is voor rotatiebeweiding. Een ander voorbeeld is het tegengaan van zomerbraak. Sinds de regeling voor braakleggen is opgeheven is er geen areaal braak in Nederland. Voor de maatregel 'zomerbraak vermijden' is het areaal dan ook 0 ha gesteld. Naast afleiding van de bestaande situatie is een inschatting gemaakt of de maatregel draagvlak heeft in de sector. Wanneer de verwachting is dat dit niet het geval is of heel laag zal uitpakken is het maximale areaal op 0 gesteld. Voorbeelden hiervan zijn het terug brengen van landbouwgronden naar natuur.

Een beschrijving van de maatregel en het maximaal areaal wordt gegeven in de volgende paragraaf.

Tabel 3.2 Overzicht van het effect van beheersmaatregelen op de broeikasgasemissies en OS (Bron: Eagle et al., 2010).

Maatregelen	BOC	Bodem emissies	Vermeden keten	Totaal	max potentieel	MVH NL
		(CH4 en N2O)			max areaal	BOC
	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(kha)	(kton CO2-e/jaar)
Beperkte grondbewerking	1,09	0,08	0,08	1,25	162	177
Niet ploegen	1,04	0,08	0,14	1,26	162	168
Zomerbraak vermijden	0,48	-0,03	-0,13	0,32	0	0
Winter vanggewas	0,83	0,25	0,61	1,69	41	34
Omschakelen naar hout(ige)gewassen	2,71	0,76	1,78	5,24	0	0
Plaatsen van hagen/ agro-forestry	2,72	0,76	1,51	4,97	50	136
Toevoegingen bodem (t.o.v. baseline):						
Compost	afhankelijk wijze composteren en type compost,				1.045	nb
Dierlijke mest	mestsoort afhankelijk				1.045	Nb
Biochar	3,37	1,14	0,7	5,22	310	1.045
Organische meststoffen (gemiddeld)	1,53	0,05	0,94	2,53	1.045	1.590
Irrigatie droge gronden	1,46	-0,42	-1,38	-0,34	0	0
Irrigatie graslanden	1,04	-0,79	-1,08	-0,83	0	0
Verminderen/ optimaliseren irrigatie	0,36	0,66	0,23	1,21	35	13
Veenmineralisatie tegengaan:						
terugbrengen naar natuurlijke staat	21,17	1,5	1,93	24,6	0	0
aanpassen management	6,17	2,66	0	8,83	50	309
gewassen, met weinig grondbewerking				5,9	0	0
handhaven hoog grondwaterpeil				10,1	nb	
Beweidingsmanagement:						
Rotatiebeweiding	2,2	0,05	0	2,25	415	913

Vervolg tabel 3.2

Maatregelen	BOC	Bodem emissies	Vermeden keten	Totaal	Max potentieel	MVH NL
		(CH4 en N2O)			max areaal	BOC
	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(t CO2-e/ha/jaar)	(kha)	(kton CO2-e/jaar)
Graslandbeheer:						
doorzaaien i.p.v. herinzaaien	nb			nb		0
tegengaan verdichting	nb			nb		0
Landconversie:						
bouwland naar grasland	2,87	1	0,46	4,33	162	465
bouwland naar natuur	2,49	1,41	1,87	5,77	0	0
grasland naar bos					0	0
herstel natte gebieden (niet veen)	3,11	-1,35	1,87	3,62	0	0

BOC: bodem organische koolstof

3.2.1 Beschrijving maatregelen

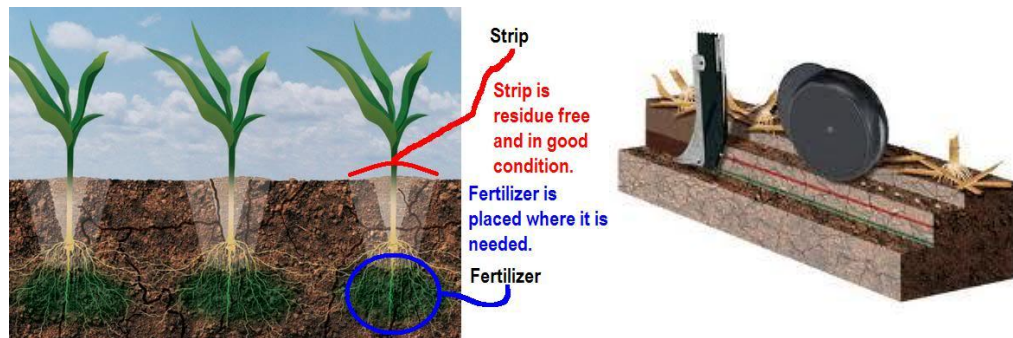
Om een koolstoftoename in de bodem te krijgen, moet de aanvoer groter zijn dan de afvoer. Aanvoer bestaat uit biomassa en mest, afvoer bestaat naast de afbraak van organische stof uit de bodem uit de afbraak van de biomassa en mest. Maatregelen richten zich dan ook op: het verhogen van de aanvoer, het verlagen van de afvoer of het behoud van de evenwichtssituatie.

Beperkte grondbewerking/ niet ploegen

Beschrijving

Beperkte grondbewerking kent verschillende vormen die variëren in de mate waarop ze de grond verstoren:

- niet ploegen is wereldwijd de meest onderzochte vorm. In dit systeem worden gewassen direct gezaaid in stoppels van het vorig seizoen. Grondverstoring is uitsluitend het open werken van de grond door de zaai/ poot machine.
- ruggenteelt (ridge-till) waarbij alleen de ruggen worden hersteld.
- strip-till waarbij alleen de zaadrij zone wordt bewerkt (zie plaatje).



Schematische voorstelling strip-till

Maximaal areaal

Verondersteld is dat de melkveehouderij deze maatregelen in 2011 nog niet tot nauwelijks heeft toepast en dat het hele snijmaïs areaal in potentie geschikt zou zijn voor deze maatregel.

Braak/vanggewas

Beschrijving

Het tegengaan van zomerbraak en het verbouwen van een vanggewas in de winter zorgt voor een toename van de bodem organische koolstof omdat meer plantmateriaal in de bodem wordt gewerkt.

Maximaal areaal

Sinds de afschaffing van de braakregeling is het areaal verplichte braakgrond in Nederland teruggelopen naar 0 ha. Er is dan ook weinig potentieel meer voor deze maatregel in Nederland. Uitzondering is vrijwillig braak o.a. t.b.v. de grauwe kiekendief. Sinds 2006 is het verplicht een vanggewas op zand en löss gronden te telen na maïs. De verplichting geldt niet op kleigrond. Echter een onbekend deel van de melkveehouders teelt reeds een vanggewas op kleigronden. Ook is niet bekend welk deel van het maïsareaal op zandgronden plaatsvindt. We nemen aan dat 25% van het snijmaïsareaal 's winters nog niet beteeld is met een vanggewas.

Houtige gewassen

Beschrijving

Deze maatregel omvat het planten van houtige gewassen (bomen) voor de productie van papier of bio-energie. Mogelijke gewassen zijn wilg, populier, miscanthus en andere snel groeiende meerjarige houtige gewassen.

Maximaal areaal

Ondanks het grote technische potentieel zal deze maatregel alleen interessant zijn voor melkveehouders die momenteel een overschot aan eigen ruwvoer produceren. Tevens mag verondersteld worden, mede met het oog op het vrijgeven van het melkquotum in 2015, dat het omzetten van een hectare maïs- of grasland naar houtige gewassen zal leiden tot een ha maïs- of grasland elders. Het potentieel van de melkveehouderij voor deze maatregel wordt dan ook als zeer laag ingeschat en op 0 hectare gesteld.

Agroforestry/ hagen plaatsen

Beschrijving

Agroforestry betreft een landgebruikssysteem waarbij het planten van bomen wordt gecombineerd met landbouw of veeteelt. Vormen van agroforestry zijn:

- Hagen/windvangers, waarbij struiken en bomen rondom een (deel van) perceel worden geplaatst.
- Alley cropping, waarbij rijen met bomen (fruit, noten, biomassa) worden afgewisseld met rijen gewassen.
- Riparian buffers, een vegetatie buffer langs een beek met als voornaamste doel het beschermen van de waterkwaliteit.
- Silvo weiden (Latin, *silva bos*) is de combinatie waarbij bos en beweiden van melkvee met elkaar wordt gecombineerd. Voordelen van dit systeem zijn naast een verhoogde bodem organische stof een toename in inkomen door een hogere netto opbrengst per ha. Risico op de lange termijn is een reductie van de grasopbrengst door schaduwwerking. Daarentegen kan de schaduwwerking ook hitte stress onder koeien voorkomen in warme zomers.

Maximaal areaal

Het BOC potentieel heeft alleen effect op oppervlakten die daadwerkelijk bedekt zijn met agroforestry. Hagen hebben dus alleen effect op de randen van een perceel en niet op het gehele perceel. Vanwege deze beperking en vanwege de beperkte toepasbaarheid van agroforestry in sommige gebieden (landschap) wordt het maximale areaal op 5% geschat van het totale areaal.



Afbeeldingen van agroforestry, een haag (links) en silvo beweiden (rechts)

Toevoegingen bodem

Beschrijving

Organische stof in de bodems kan eenvoudig verhoogd worden door toevoeging van organische mest stoffen, zoals compost en dierlijke mest. Het effect is erg afhankelijk van de uitgangssituatie, de hoeveelheid, stabiliteit en samenstelling van de meststof. Vanwege de heterogeniteit tussen meststoffen, perceel en management is het lastig een eenduidige BOC potentieel te geven. Gemiddeld wordt deze geschat op 1,53 t CO₂/ha. Voor een stijging van het totale BOC in de melkveehouderij is een stijging van de beschikbare organische meststoffen nodig.

Naast organische meststoffen is het ook mogelijk om Biochar toe te voegen. Biochar is houtskool gevormd door pyrolyse van biomassa. Bij verhitting ontstaat een gas dat als biobrandstof kan worden gebruikt en wordt de koolstof (Biochar) inert. Door het toe te voegen aan de bodem kan het duizenden jaren worden vastgelegd. De netto broeikasgasbalans van de toepassing van Biochar is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen. Indien voor de productie van biomassa voor pyrolyse land wordt gebruikt dat tot dusver gebruikt wordt voor voedselproductie, dan moedigt men het vrijmaken van nieuw landbouwgebied elders in de wereld aan. Voor elke hectare landbouwgrond die wordt omgezet van voedselproductie naar bio-energieproductie, zal ergens anders een hectare landbouwgrond vrijgemaakt worden bijvoorbeeld door kap van bos/ regenwoud. De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt door dit weggakken is veel groter dan de hoeveelheid CO₂ die uit de atmosfeer verwijderd zou worden na productie en sequestratie van Biochar uit de biomassa uit de hectare landbouwgrond. Om deze reden wordt aangeraden Biochar te produceren uit afvalstromen. In de literatuur zijn beukenschors (Krull et al., 2008), notenafval (Krull et al., 2008 en Woolf, 2008) en olijfpitten en maïskolven (Woolf, 2008) genoemd.

Maximaal areaal

Voor verhogen van de BOC met organische meststoffen is in potentie het gehele areaal in de melkveehouderij geschikt. Hierbij bestaat wel het risico op overbemesting. Biochar wordt ondergewerkt waardoor de potentie beperkt is tot tijdelijk grasland en snijmaïsareaal. Zoals aangegeven is voor deze maatregel het areaal niet beperkend maar de beschikbare biomassa en mest.

Irrigatie

Beschrijving

Op droge gronden kan vocht tekort de beperkende factor zijn voor gewasgroei. Door irrigeren stijgt de potentieel vastgelegde bodem organische koolstof. Echter deze toename in koolstofopslag moet worden afgezet tegen een toename in N₂O en CO₂ emissies tgv het energieverbruik voor irrigatie en stimulatie van bacteriële activiteit en daarmee toename van de N₂O emissies (Bremer 2006; Rochette et al. 2008b).

Maximaal areaal

Verondersteld is dat het potentieel voor irrigatie en optimaliseren irrigatie laag zal zijn omdat daar waar boeren kunnen beregenen ze dat zullen doen. Waar ze nu nog niet beregen mag het niet.

Remmen of omkeren veenmineralisatie

Beschrijving

Het tegengaan van veenmineralisatie kan op verschillende manieren voorbeelden zijn:

- het terugbrengen naar de natuurlijke staat;
- het aanpassen van management (langer een hoog peil handhaven, omgekeerde drainage, minimaal bewerken etc.);
- het handhaven van een hoogwaterpeil gedurende het gehele jaar.

Maximaal areaal

Het is onbekend hoeveel snijmaïs er op veen wordt verbouwd. Door een verbod op het scheuren van grasland in veenweide gebieden is het huidige areaal snijmaïs op veen waarschijnlijk relatief laag. Het areaal gras op veen is bekend (tabel 4). Hier- van hebben wij aangenomen dat de helft vatbaar is voor beter management.

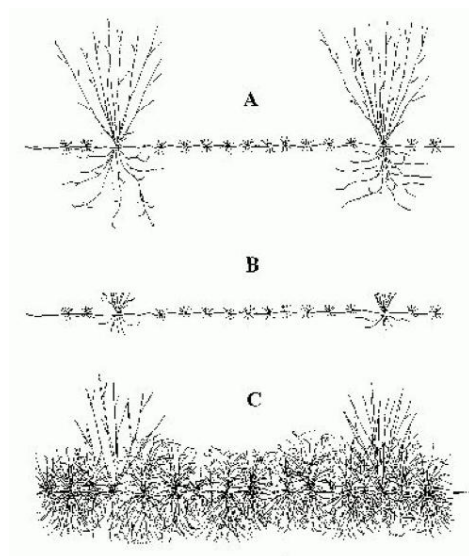
Beweidingsmanagement

Beschrijving

Koeien die weiden vertrappen een deel van het gras in de zode. Hierdoor stijgt het organische stofgehalte in de bodem. Beweid grasland heeft dan ook een hoger organische stofgehalte dan gemaaid grasland. Nadeel van beweiden is dat de grasop- brengst iets afneemt. Door te intensief of juist te extensief te beweiden kan het organische stofgehalte juist dalen (zie figuur hieronder). Omweiden waarbij vee regelmatig wordt verplaatst tussen weilanden levert het meeste rendement. In Nederland is deze vorm van beweiden redelijk gangbaar. Echter maar 75% van de koeien krijgt weidegang.

Maximaal areaal

Keuper et al. (2011) geven aan dat er een significant verschil is tussen opstallers en beweidens als het erom gaat welk deel van hun weiland beschikbaar is voor be- weiding. Opstallers kunnen gemiddeld 58% van hun grasland beweiden, beweidens 70%. Dit betekent dat ongeveer 70% van de 75% ofwel 53% van het grasland wordt beweid. Het maximaal potentieel van deze maatregel beslaat de overige 47%.



Afbeelding van effecten van verschillend beweidingsmanagement. A = een extensief regime, B = een intensief regime, C = een geoptimaliseerd regime (rotatiebeweiding)

Graslandbeheer

Beschrijving

Door het grasland gebruik te verbeteren neemt de opbrengst toe en daarmee de organische stof in de bodem.

Melkveehouders rijden meerdere keren per jaar met zware machines over het land. Dit leidt tot verdichting in de bodem met een slechtere ontwatering tot gevolg en een verlaging van de drogestof opbrengsten. Verdichting kan worden voorkomen met maatregelen zoals lichter materiaal en bredere banden. Via beluchting kan de verdichting worden opgeheven. Bij het beluchten van grasland kunnen in theorie de wortels van het gras in de mechanisch gecreëerde ruimten kruipen. De diepere beworteling kan een direct effect hebben op de opname van mineralen en vocht én op de grasproductie. Beworteling heeft niet alleen een direct positief effect op de bodemstructuur, maar trekt ook bodemleven aan.

Ook bij intensieve beweiding en vertrapping en na periodes van heftige regelval werkt regelmatig beluchten van de grond positief op de grasgroei. Te veel beluchten zorgt echter weer voor oxidatie van de organische stof. Beluchten is dan ook alleen wenselijk als de grond daadwerkelijk verdicht is.

In Nederland wordt jaarlijks 5-10% van het grasland vernieuwd. Van oudsher gebeurde dit door het scheuren van het grasland. Dit heeft als nadeel dat organische stof verloren gaat. Door wet- en regelgeving is de periode waarin vernieuwd mag worden beperkt. Zand- en lössgronden mogen alleen tussen 1 februari en 10 mei worden gescheurd; voor klei- en veengronden is dat van 1 februari tot 15 september. Doorzaaien is een beter alternatief voor het vasthouden van organische stof. Er zijn tegenwoordig machines die beluchten en doorzaaien van gras combineren.

Voor zowel het tegengaan van verdichting als het doorzaaien i.p.v. herinzaaien zijn geen concrete cijfers gevonden m.b.t. effect op organische stofgehalte.

Landconversie

Beschrijving

Landconversie is het omzetten van de ene vorm van landgebruik in een andere.

Door het omzetten van natuur naar landbouwgronden komen emissies vrij tgv de afbraak van de organische stof in de bodem. Omgekeerd van landbouw naar natuur vindt er juist accumulatie van organische stof plaats. Ook omzetting tussen verschillende agrarisch grondgebruik, grasland en akkerbouwgronden, zorgt voor een verlies of accumulatie van organische stof.

Maximaal areaal

Op grote schaal omzetten van grasland in natuur is niet aan de orde. Het omzetten van bouwland naar grasland lijkt iets realistischer. Echter in de huidige bedrijfsvoering zijn energierijke voeders onmisbaar voor een hoge melkproductie. Hoewel er bij een (beperkte) groep melkveehouders belangstelling is voor het optimaliseren van de productie op basis van een 100% gras-rantsoen (zie bijvoorbeeld het Pure Graze systeem), zal de interesse van melkveehouders om akkers naar grasland om te zetten, beperkt zijn. In theorie kan echter al het bouwland worden omgezet naar grasland.

3.3 Maximum koolstofvastlegend vermogen

Het vaststellen van het maximaal koolstof bergend vermogen voor de Nederlandse veehouderij is problematisch omdat er veel verschillende factoren; klimaat, bodemtype, bodemgebruik, etc. van invloed zijn. Hieronder hebben we op basis van een drietal benaderingen een inschatting gegeven van het maximaal koolstof bergend vermogen in de Nederlandse melkveehouderij.

1) Maatregelen

In de vorige paragraaf, tabel 3.2, hebben we het theoretische potentieel van enkele maatregelen uitgerekend. Als alle maatregelen in tabel 3.2 optelbaar waren zou het maximaal theoretisch vastleggingspotentieel 4,9 Mton CO₂-e /jaar zijn. Dat is exclusief enkele maatregelen die een hoog potentieel hebben maar waarvoor we geen inschatting gemaakt hebben. Ter vergelijking 4,9 Mton CO₂-equivalenten staat gelijk aan 1/3 van de huidige jaarlijkse uitstoot uit de Nederlandse melkveehouderij. Het theoretisch potentieel van de verschillende maatregelen is echter niet optelbaar tot een maximaal cumulatief theoretisch potentieel omdat enerzijds maatregelen niet aanvullend zijn. Bijvoorbeeld als je beperkt grond bewerkt kun je niet ook de maatregel niet ploegen nemen.

Anderzijds is het beoogde effect vastgesteld uitgaande van de huidige landbouwpraktijk. Echter als eerst maatregel x al is genomen is het niet vanzelfsprekend dat maatregel y alsnog het beoogde effect haalt.

Daarnaast neemt het effect van een maatregel elk jaar af en ontstaat na enkele decennia een nieuwe evenwichtssituatie.

2) CO₂- flux

Een andere methode om een inschatting te geven van het maximaal koolstof bergend vermogen van de Nederlandse landbouw is te kijken naar de CO₂ flux. Dit heeft Kuikman gedaan. Kuikman heeft uitgerekend dat de primaire productie (oogstbare en niet oogstbare (wortels etc.) productie) van de Nederlandse landbouw ongeveer 40 Mton C bedraagt. Dit staat gelijk aan 150 Mton CO₂-e /jaar. Deze CO₂ is een flux die elk jaar het bodem ecosysteem in Nederland passeert. Kuikman schat in dat via technische maatregelen minimaal 1% van de jaarlijkse bruto flux moet kunnen worden vastgehouden. Dit betreft een conservatieve schatting. De maximale vastlegging wordt geschat op 7% van deze flux ofwel 10 Mton als alle maatregelen effectief zijn in alle gevallen. Kuikman schat in dat 5 Mton CO₂ per jaar haalbaar moeten zijn. Uitgaande van het landareaal in de melkveehouderij en dat grasland het grootste potentieel heeft schatten wij dat 50% van dit potentieel in de melkveehouderij gerealiseerd kan worden ofwel 2,5 Mton/jaar. Het is niet duidelijk voor hoelang deze vastlegging door kan gaan. Het is aannemelijk dat ook hiervoor geldt dat na enkele decennia een nieuwe evenwichtssituatie ontstaat.

3) Maximaal gevonden gehalte per ha

Een derde mogelijkheid is om te kijken wat het verschil is tussen het gemiddelde en het maximaal gevonden koolstofgehalte onder verschillende gewassen in Nederland. Het gemiddelde gehalte onder grasland bedraagt 114 ton C/ha en voor maïsland 22 ton C/ha in Nederland (paragraaf 2.2). Er zijn regio's met een gemiddeld hoger koolstofgehalte in steady state van 128,2 ton C/ha en 31 ton C/ha voor respectievelijk grasland en maïsland. Als het in paragraaf 3.1 berekende huidige koolstofgehalte hierop wordt aangepast is additioneel 70 Mton CO₂ vast te leggen in de melkveehouderij. Als we aannemen dat dit in 30 jaar kan worden gerealiseerd betekent dit een vastlegging van gemiddeld 2,3 Mton CO₂-e/jaar.

De drie verschillende benaderingswijze laten een vergelijkbaar koolstof vastleggend vermogen voor de Nederlandse melkveehouderij zien. Per jaar is het potentieel ongeveer gelijk aan 2,5 Mton CO₂-e. Als dit gerealiseerd wordt komt het overeen met een emissiereductie in de Nederlandse melkveehouderij van 15% per jaar. De extra koolstof dient dan wel ook daadwerkelijk additioneel te zijn vastgelegd en niet afkomstig van een koolstofbron buiten de systeemgrenzen van de Nederlandse melkveehouderij of ergens anders een extra emissie te veroorzaken omdat de oude functie van de koolstofbron nu op een andere manier moet worden gerealiseerd. Dit is bijvoorbeeld een risico bij Biochar. Zo kan het aanwenden van biomassa van elders in de melkveehouderij voor een verhoging van het organische stofgehalte van het eigen perceel zorgen maar voor het netto effect op de mondiale koolstofbalans dient gecompenseerd te worden voor de extra emissie elders.

3.4 Meerwaarde organische stof voor de melkveehouder

Voordelen

Het gehalte aan organische stof beïnvloedt zowel de fysische, de chemische als de biologische eigenschappen van een bodem. Dit brengt verschillende voordelen met zich mee. Zo schept een hoger gehalte aan organische stof mogelijkheden voor een hogere opbrengst door:

- een betere bodemstructuur en een lager risico op bodemverdichting;
- een betere waterhuishouding en daardoor lager risico op droogte stress;
- een bufferwerking tegen pH schommelingen:
 - een hogere kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) en daardoor vruchtbaardere bodem;
 - een toevoeging van voedingsstoffen, door chelatie komen sporenelementen beschikbaar;
 - beter vasthoudend vermogen van bijvoorbeeld stikstof, waardoor het risico op uitspoeling vermindert.

Bodems met meer organische stofgehalte geven ook bescherming tegen een veranderend klimaat. Waardoor hogere en/of stabielere opbrengsten in de toekomst ook beter zijn gewaarborgd.

Mogelijke risico's

Tegenover deze voordelen staan mogelijke risico's, met name in de maïsteelt. Zo bestaat er een risico op nitraatuitspoeling en fosfaatverzadiging. Bij een grote toevoer van makkelijk afbreekbaar vers organisch materiaal komen grote hoeveelheden nutriënten vrij. Als deze vrijkomen wanneer gewassen ze niet opnemen - zoals na de oogst - spoelen ze uit. Door relatief stabiele organische materialen te nemen, zoals compost, wordt het risico op nitraatuitspoeling verminderd. Wel hebben deze materialen vaak een hoog fosfaatgehalte met een risico op fosfaatverzadiging. Een ander mogelijk risico is de kans op verontreiniging door het gebruik van secundaire organische materialen zoals reststoffen uit de industrie en bermmaaisel. Hierdoor is diffuse verontreiniging van de bodem met bijvoorbeeld zware metalen mogelijk.

4 Belemmerende en stimulerende factoren

In dit hoofdstuk geven we voor verschillende economische, beleids- en technische factoren aan welke trend we zien, nu en in de toekomst, en welke gevolgen dit heeft voor de vastlegging van organische stof in de bodem.

4.1 Economische factoren

CO₂-emissiehandel

Als emissiehandel ook mogelijk zou worden voor handel in koolstofopslag in de bodem, kan dit een stimulans vormen voor het organische stofgehalte in de bodem. Op dit moment is de landbouw nog geen onderdeel van het EU-ETS handelssysteem. Ook het vasthouden van koolstof in de bodem wordt binnen het ETS niet erkend als emissiebeperkende maatregel.

Weidegangpremie

Beweiding is van invloed op het organische stofgehalte in de bodem. Beweiding maakt dat gras in de zode wordt getrapt, waardoor het organische stofgehalte in de bodem stijgt. Het totale graslandbeheer als zodanig (beweiding, bemesting, maaien, etc.) kan zowel positieve als negatieve gevolgen hebben voor het organische stofgehalte in de bodem. De verwachting is dat meer beweiding gemiddeld positief zal bijdragen aan het organische stofgehalte in de bodem.

FrieslandCampina heeft recent besloten per 2012 de weidepremie te verhogen tot 0,5 cent per kg melk. Om voor de weidepremie in aanmerking te komen moet het melkvee minimaal 120 dagen per jaar en minimaal 6 uur per dag in de wei zijn. In de praktijk is het moeilijk controleerbaar hoeveel dagen en hoeveel uur het melkvee buiten loopt. Ondanks deze mogelijke problemen t.a.v. de controle ligt het voor de hand dat de weidepremie een stimulans voor een – onbekend – deel van de melkveehouders vormt om te gaan of te blijven beweiden. De weidegangpremie vormt daarmee ook een stimulans voor verhoging van het organische stofgehalte onder grasland.

Ontwikkelingen op de mestmarkt, prijs van mest

Prijs en aanbod van mest op de mestmarkt kunnen verschillen per soort mest. Verschillende mestsoorten kunnen ook verschillende effecten hebben op het koolstofgehalte in de bodem, vooral doordat de C/N-verhouding van de verschillende mestsoorten sterk varieert. In onderstaande tabel staan de gehalten effectieve organische stof en de stikstof- en fosfaatgehalten van verschillende mestsoorten. In week 44 van 2011 was de (negatieve) prijs van varkensmest € 9,50 per ton, in silo gelost aan de ontvanger te betalen, en € 0,- voor pluimveemest (www.mestportaal.nl).

Tabel 4.1 Organische stof, stikstof en fosfaat in organische mest (Bron www.nutrinorm.nl en Handboek voor de melkveehouderij).

Mestsoort	Effectieve os (kg/ton)	N-gehalte (kg/ton)	Fosfaat (kg/ton)	Eos/N- verhouding
Rundveedrijfmest	30	4,4	1,6	6,8 : 1
Vleesvarkensdrijfmest	18	7,2	4,2	2,5 : 1
Zeugendrijfmest	10	4,2	3,0	2,4 : 1
Kippendrijfmest	35	10,2	7,8	3,4 : 1
Vaste rundveemest	65	6,4	4,1	10 : 1
Leghen strooiselmest	230	20,5	26	11 : 1

4.2 Beleidsfactoren

Mestbeleid

Binnen het mestbeleid zien we de volgende ontwikkelingen:

- In een brief van staatssecretaris Bleker aan de Tweede Kamer over het toekomstig mestbeleid (28 september 2011) wordt voorgesteld voor veehouders met een mestoverschot de verplichting in te voeren om een deel van de geproduceerde mest te verwerken, om zo de problematiek van het mestoverschot aan te pakken. Om de gevolgen hiervan voor het koolstofgehalte in de bodem te kunnen bepalen, is het van belang te weten of, en zo ja welke concrete gevolgen deze mestverwerking heeft voor het product dat uiteindelijk als dierlijke mest op het land wordt gebracht. Het ligt voor de hand dat dit weinig verandert t.o.v. de huidige situatie en dat alleen mest die boven de aanwendingsnorm wordt geproduceerd wordt verwerkt. Tot de norm in de Nitraatrichtlijn zal waarschijnlijk nog steeds onbewerkte dierlijke mest worden aangewend. Dit maakt dat er weinig effecten op koolstofopslag zijn te verwachten. Effecten als gevolg van verandering in C/N-verhouding worden besproken onder 'technische factoren'.

Bovenstaande tekst is een eerste 'vluchtige' analyse. Om goed te kunnen beoordelen wat de totale effecten van dit beleid op het organische stofgehalte van de bodem zijn, kijken we per deelaspect wat de gevolgen zijn:

- Bemesting met verwerkte mest versus onbewerkte mest. Mestbewerking omvat verschillende technieken, zoals mestscheiding, -vergisting of verbranding. De bewerkingen resulteren in verschillende eindproducten met verschillende gehalten N, P en C:
 - Mestscheiding: Verloop e.a. (2009) berekenen dat bij gebruik van mestscheiding met als doel fosfaat van het bedrijf af te voeren in de vorm van dikke fractie, er 70% meer organische stof wordt afgevoerd dan wanneer fosfaat als drijfmest wordt afgevoerd. Als stikstof in de vorm van dikke fractie wordt afgevoerd, geldt dit nog sterker: dan wordt meer dan dubbel zoveel organische stof afgevoerd. Dit betekent dus een afname van de organische stof toevoer aan de bodem op het bedrijf. Daar staat tegenover dat de dikke fractie ergens anders zal worden aangewend, waardoor daar de toevoer van organische stof toe zal nemen.
 - Mestvergisting: bij mestvergisting wordt de organische stof in mest door bacteriën omgezet in biogas. De vergiste mest, ook wel digestaat genoemd, blijft over. Door de vergisting bevat het digestaat circa 25% organische stof minder dan de oorspronkelijke mest. Wel blijven alle mineralen (stikstof, fosfaat, kalium) in de vergiste mest aanwezig. Bij aanwending

- van digestaat op het land, wordt dus bij gelijke hoeveelheid N en P minder organische stof aangevoerd dan bij aanwending van onbewerkte mest.
- Mestverbranding: de bestendige organische stof uit de mest wordt omgezet in gasvormige verbindingen. De as die vrijkomt bij mestverbranding mag onder bepaalde voorwaarden worden hergebruikt door de kunstmest-industrie voor de productie van fosfaatkunstmest. Voorwaarde is wel dat het materiaal maximaal 5% koolstof bevat (www.mestverwerken.wur.nl). Mestverbranding maakt dus dat de organische stof uit de mest nauwelijks meer beschikbaar komt voor de bodem.
 - Welk deel van de mest wordt verwerkt. Uit bovenstaand overzicht blijkt dat mestscheiding een andere verdeling van de organische stof over de verschillende fracties tot gevolg heeft, maar de totale hoeveelheid organische stof blijft gelijk. Dat is niet het geval bij mestvergisting en mestverbranding. Daarbij wordt organische stof omgezet in andere verbindingen. Als alleen de mest wordt verwerkt die de komende jaren 'extra' wordt geproduceerd door afschaffing van de zuivelquotering en de dierrechten, zal de organische stoftoevoer naar de bodem niet afnemen. Als echter meer mest wordt verbrand of vergist, neemt de hoeveelheid organische stoftoevoer naar de bodem af.
 - Afschaffing van de derogatie. Nederland heeft een derogatie waarin is vastgelegd dat in Nederland bedrijven met minimaal 70% grasland niet 170 maar 250 kg N per ha uit dierlijke mest mogen aanwenden. Deze derogatie is verleend tot en met 2013. Daarna zal opnieuw bezien worden of Nederland opnieuw voor derogatie in aanmerking komt. Hier gaan we na wat de effecten zijn op het organische stofgehalte van de bodem, als Nederland geen derogatie meer zou kennen. Een bedrijf met derogatie heeft maximaal 30% maïsland, terwijl een bedrijf zonder derogatie tot 100% maïsland mag hebben. Dit heeft invloed op het koolstofgehalte in de bodem. Stel dat de derogatie vervalt, kan dit dus gevolgen hebben voor de gras-maïsverhouding op bedrijven, en daardoor op het koolstofgehalte in de bodem (zie ook Van Eekeren et al., 2011). Uit onderzoek blijkt dat zandgronden waar lange tijd continu ruwvoer is verbouwd (veelal maïs), gedurende de laatste 20 jaar een daling vertonen van ongeveer 1% organische stof (Rutgers e.a., 2009). Wel zijn er grote verschillen tussen percelen. Zowel onder gras als onder maïs is op een kwart van de percelen een daling in het organische stofgehalte te zien. Onder maïs vertoont een kwart van de percelen daarentegen een stijging, terwijl dat onder gras 60% is (Rutgers e.a., 2009). Gemiddeld kan worden gesteld dat bij de teelt van maïs de aanvoer van organische stof erg laag is vergeleken met de afbraak. Daarnaast zou als gevolg van de afschaffing van de derogatie minder dierlijke mest per hectare worden aangevoerd. Ook dit kan een negatief effect hebben op het organische stofgehalte in de bodem.
 - Ammoniakbeleid. In de jaren '90 is de plicht tot emissiearme aanwending ingevoerd. Emissiearm aanwenden kan met verschillende technieken. Bij gebruik van de zode-injecteur, de zodenbemester en de sleufkouter wordt de zode enigszins opengewerkt. Bij gebruik van de sleepvoet is dit niet het geval. Openwerken van de bodem draagt negatief bij aan de koolstofopslag in de bodem.

Afschaffing dierrechten en zuivelquotering

De voorgenomen afschaffing van dierrechten en de zuivelquotering kan leiden tot groei van de melkveehouderij en daarmee de groei van de mestproductie. De mestaanwending is echter gelimiteerd door de mestwetgeving. De gevolgen hiervan zijn al onder voorgaand kopje besproken.

Beleidsdoelstellingen t.a.v. broeikasgasemissies

Maatregelen die zijn gericht op verminderen van broeikasgasemissies door middel van vermindering van emissies uit de bodem, kunnen ook bijdragen aan verhogen van de koolstofopslag in de bodem. Voorbeeld hiervan is het niet scheuren van grasland.

Veranderingen in waterpeil / waterbeheer

Goed waterbeheer zorgt voor een goede vochtvoorziening voor de gewassen, waardoor goede opbrengsten gerealiseerd kunnen worden. Dit gaat gepaard met meer koolstofopslag, minder uitspoeling en daardoor minder lachgasemissies. Het voorkomen van zuurstofloze omstandigheden gaat het optreden van lachgasemissies tegen. Hoge of minder lage waterpeilen in veengronden dragen bij aan een verbetering van de koolstofopslag en lagere lachgasemissies (Freibauer et al., 2004; Follet et al., 2005) (Zie Bos e.a., 2007).

Hervorming Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB)

Het GLB zit midden in een hervormingstraject. Bodemkwaliteit wordt genoemd als doel van het nieuwe GLB. Maatregelen die specifiek worden genoemd binnen de plannen van Europees landbouwcommissaris Ciolos (oktober 2011):

- Boeren moeten 7% van hun grond gebruiken voor ecologische focusgebieden (braakligging, boomhagen, plasdrasgebied). Dit kan positief bijdragen aan de koolstofvastlegging in de bodem, maar de exacte invulling van deze focusgebieden is nog onduidelijk. Dit maakt dat ook effecten op koolstofvastlegging nu nog moeilijk zijn te voorzien.
- Gewasrotatie met minimaal 3 gewassen. Afhankelijk van de soort gewassen en de bestaande situatie kan dit positief dan wel negatief doorwerken op het organische stofgehalte in de bodem. Zo worden rooivruchten (winterpeen, witlof, uiten, suikerbieten) genoemd als gewas met weinig inbreng van organische stof. De grootste negatieve invloed van rooivruchten is dat er door de grond gewerkt wordt, waardoor er extra zuurstof in de grond wordt gebracht. Dit zorgt voor een snellere afbraak van de organische stof.
- Betalingen voor permanent grasland (beperken herinzaai grasland). Dit kan zonder meer positief bijdragen aan het vastleggen van koolstof in de bodem, omdat de bodem jaren achtereen niet wordt opengewerkt.

4.3 Technische factoren

Ontwikkelingen met betrekking tot mestvergisting

Mestvergisting heeft gevolgen voor de C/N-verhouding in de mest en daarmee op het organische stofgehalte in de bodem. Het hangt af van de C/N-verhouding in de bodem wat hier wenselijk is.

Er zijn vergistingsinstallaties waarbij na het vergisten het digestaat gescheiden wordt in een dunne en een dikke fractie. De dikke fractie bevat relatief veel fosfaat en organische stof.

Niet ploegen / niet kerende grondbewerking

Niet ploegen draagt positief bij aan het vastleggen van koolstof in de bodem.

Vruchtwisseling / toepassen van (vlinderbloemige) groenbemesters

Groenbemesters dragen bij aan verhoging van de koolstofopslag in de bodem, doordat de gewasresten geheel aan de bodem worden toegevoegd.

Gewassen/rassenkeuze

Dieper wortelende gewassen zijn efficiënter en zijn in staat dieper in de bodem CO₂ op te slaan: in de eerste jaren tot 600 kg koolstof per ha per jaar (Freibauer et al., 2004). Daarnaast hebben we hierboven al aangegeven dat rooivruchten weinig bijdragen aan de opbouw van organische stof in de bodem. Maaigewassen kunnen deze bijdrage beter leveren.

Toevoegen compost

Het toevoegen van compost draagt positief bij aan de opslag van koolstof in de bodem, vanwege het hoge organische stofgehalte in de compost.

Gewasresten onderploegen

Het onderploegen van gewasresten draagt positief bij aan de opslag van koolstof in de bodem.

Biochar

Door Biochar toe te voegen aan de bodem kan het duizenden jaren worden vastgelegd. De netto broeikasgasbalans van de toepassing van Biochar is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen maar het draagt in elk geval positief bij aan de opslag van koolstof in de bodem.

Monitoren

Om de opbouw van koolstof vast te stellen dient deze te worden gemonitord. Dat is lastig vanwege:

- Lage signaal-ruis-verhouding: een specifieke uitdaging voor organische stof vastlegging is het meten van relatief kleine veranderingen in relatie tot de bestaande voorraad OS. Enkele decennia zijn nodig om de opbouw van koolstof exact te kunnen meten.
- Kennis- en datatekort: voor het nauwkeurig bepalen van het potentieel van een gebied is veel informatie nodig. Vaak is deze incompleet of verspreid over diverse instanties.
- Heterogeniteit: de landbouw is zeer divers. Dat maakt dat het effect van maatregelen verschilt per agrariër/gebied. Effectief monitoren van de behaalde emissiereductie vergt daarom een methodiek die om kan gaan met verschillende managementstijlen, gewassen en grondsoorten.
- Kosten effectiviteit: ontwikkelen van een systeem met een goede balans tussen precieze en accurate informatie en realistische prijzen.

4.4 Conclusies

In onderstaande tabel staat de informatie uit de voorgaande paragrafen samengevat. Ontwikkelingen in economie, beleid en techniek werken deels positief door op het organische stofgehalte in de bodem, deels negatief. Of het netto effect van al deze factoren gezamenlijk positief dan wel negatief is, is op basis van deze kwalitatieve benadering lastig in te schatten. Wel zijn er meer plussen dan minnen, maar de mate waarin toename of afname optreedt, is niet gelijk voor alle maatregelen.

Tabel 4.2 Overzicht van economische, beleids- en technische factoren en de verwachte invloed hiervan op het os-gehalte in de bodem (+ = toename van os, - = afname, +/- = zowel een toename als een afname is mogelijk).

Economische factoren	Gevolgen os-gehalte	Technische factoren	Gevolgen os-gehalte
CO2-emissiehandel	+	Mestvergisting	+/-
Weidegangpremie	+	Niet ploegen	+
Ontwikkelingen op de mestmarkt	+/-	Groenbemesters	+
Beleidsfactoren:		Gewassen/rassenkeuze	+/-
Veranderingen in mestbeleid	+/-	Compost	+
Afschaffing derogatie	-	Onderploegen gewasres-	+
Ammoniakbeleid	-	Biochar	+
Afschaffing dierrechten en zuivel-	+/-?		
Broeikasgasemissiebeleid	+		
Waterpeil / waterbeheer	+		
Veranderingen in het GLB	+/- tot +		

5 Koolstofkringloop

De koolstofkringloop is een biogeochemische kringloop en beschrijft alle processen waarmee het element koolstof door een systeem circuleert. In dit hoofdstuk bespreken we eerst welke ervaringen er in praktijk zijn opgedaan met koolstofkringen. We kijken hierbij in eerste instantie breder dan de melkveehouderij, omdat op perceelsniveau ervaringen in andere sectoren zeker relevant kunnen zijn voor de melkveehouderij.

5.1 Inventarisatie

Aan de hand van de inventarisatie van bestaande initiatieven willen we inzicht krijgen in de kansen die de koolstofkringloop biedt om de melkveehouderij te verduurzamen. Vragen die centraal staan:

- Voegt het inzicht in de totale koolstofkringloop iets toe aan een overzicht van afzonderlijk maatregelen om koolstofgehalte in de bodem te beïnvloeden?
- Biedt de koolstofkringloop aanknopingspunten om ook op andere milieuthema's te verduurzamen? Hoe is de interactie; is sprake van een win-win situatie, of is sprake van fricties en afwenteling?
- Zijn er referentiecijfers voor een koolstofkringloop?
- Concluderend: biedt een koolstofkringloop aanknopingspunten voor een melkveehouder voor het managen van zijn bedrijf?

Via internet- en literatuurresearch en gesprekken met onderzoekers is nagegaan in hoeverre in onderzoek gebruik is gemaakt van de koolstofkringloop. We maken hierbij onderscheid naar de volgende niveaus:

- Modellering van C-bodembeheer (geen volledige kringloop).
- Koolstofkringloop op perceelsniveau.
- Koolstofkringloop op bedrijfsniveau.
- Koolstofkringloop op een hoger niveau, bijvoorbeeld de melkveehouderijsector of Nederland.

We bespreken deze niveaus hieronder een voor een. Per niveau geven we ook aan welke informatie/cijfers er zijn.

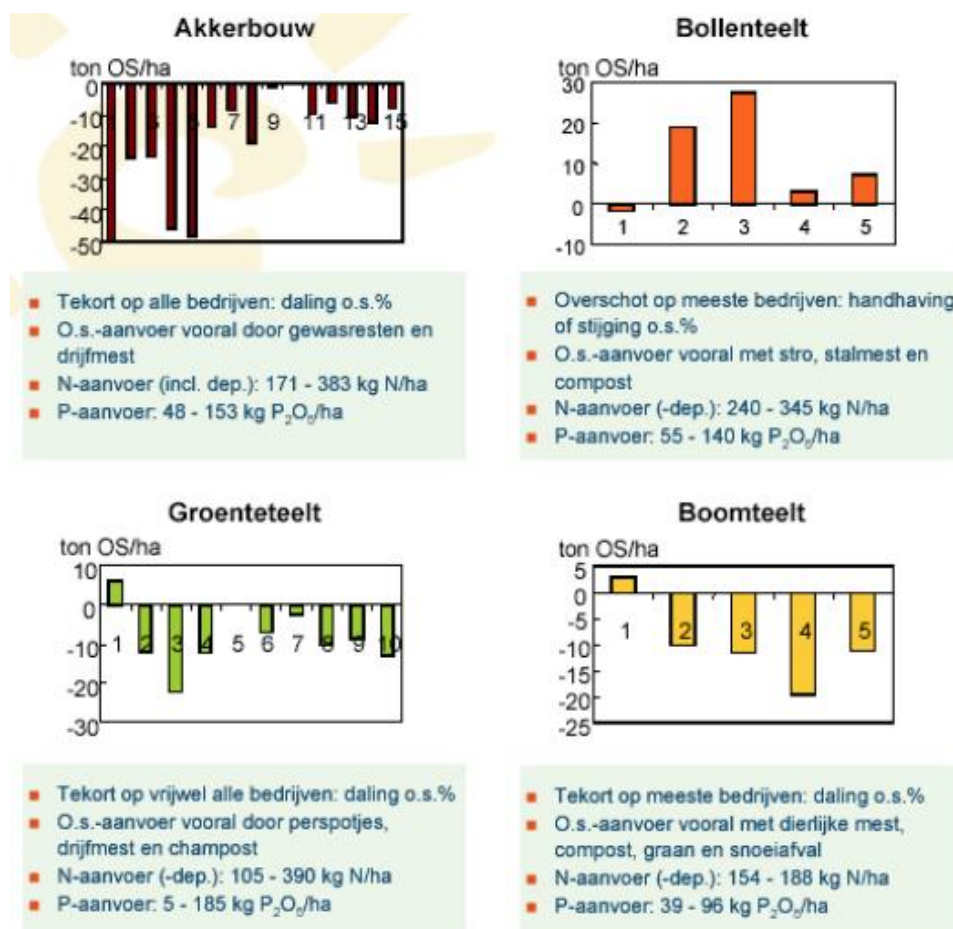
5.1.1 Modellering van C-bodembeheer

Postma et al., (2004) beschrijven het model Minip (ontwikkeld in het kader van Telen met Toekomst): dit model berekent de opbouw van organische stof en N-mineralisatie voor uiteenlopende omstandigheden. Met het model is de organische stofbalans van praktijkbedrijven doorgerekend. Met het model kan worden berekend wat de effecten zijn op het organische stofgehalte van beslissingen die op tactisch niveau worden genomen (gebruik van groenbemesters, behandeling van gewasresten, gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars). Op basis daarvan kan het organische stofbeheer eventueel worden aangepast.

Het model optimaliseert niet, maar door *trial and error* kan het wel zo worden gebruikt. Het model is daarmee dus om te bouwen naar een optimalisatiemodel.

Vaak wordt gesteld dat de uitkomst van het model zo goed is als de gegevens die als input worden gebruikt: het is dan ook gewenst dat er een methode beschikbaar komt waarmee de hoeveelheid C en N in gewasresten en groenbemesters die op het land achterblijft, eenvoudig kan worden ingeschat. Deze schattingen kunnen dan worden gebruikt als invoer voor het model (Postma et al., 2004).

Onderstaande figuur geeft de organische stofbalansen voor de praktijkbedrijven die hebben deelgenomen aan Telen met Toekomst binnen de akkerbouw, bollenteelt, groenteteelt en boomteelt in ton organische stof per ha, vertaald naar 25 jaar. Op het merendeel van de Telen met Toekomst bedrijven blijkt sprake te zijn van afname van het organische stof gehalte, terwijl gemiddeld landelijk sprake lijkt van stijging van het organische stofgehalte (zie hoofdstuk 2, Reijneveld et al., 2009). Verschillen tussen bedrijven, bodems, grondsoorten en regio's zijn echter groot, zo blijkt ook uit de cijfers van Reijneveld et al. (2009) en Hanegraaf et al. (2009). De resultaten van de 35 bedrijven binnen Telen met Toekomst laten ook deze grote verschillen zien. Het aantal bedrijven is daarnaast te beperkt om statistisch verantwoorde uitspraken over gemiddelden en trends te doen. Tenslotte zijn de cijfers uit Figuur 5.1 extrapolaties (naar 25 jaar) van gegevens uit de jaren 2001 t/m 2003, terwijl Reijneveld et al. (2009) zich baseren op cijfers uit de periode van 1984 tot 2004.



Figuur 5.1 Organische stofbalansen: berekening van opbouw – afbraak. Gegevens van 1999/2000 en 2000/2001 vertaald naar 25 jaar (bron: Postma et al., 2004).

Het databaseprogramma FARM is op Telen met toekomst en BIOM bedrijven gebruikt om de absolute aanvoer van (effectieve) organische stof te berekenen. Daarnaast schat het programma de afbraak van organische stof in de bodem. Op basis hiervan kan de koolstofopbouw na 25 jaar berekend worden (Bos e.a., 2007).

ANIMO is een procesmodel. Het beschrijft de koolstof-, stikstof- en fosforkringloop in het bodemsysteem. Het richt zich vooral op de uitspoeling naar het water. Het is geen model om de bedrijfsvoering te optimaliseren.

LBI heeft het model NDICEA ontwikkeld (zie www.ndicea.nl). Het model is een 'stikstofplanner', maar houdt daarnaast rekening met het organische stofgehalte in de bodem. Uitkomst van het model is o.a. het verloop van het organische stofgehalte in de bouwvoor over de tijd heen.

Op www.bemestingswijzer.nl zijn cijfers te vinden over de effectieve organische stof van gewassen en groenbemesters.

5.1.2 Koolstofkringloop op perceelsniveau

Binnen het project 'zorg voor zand' (van NMI, ASG en LBI) is het werkblad Organische Stof ontwikkeld voor de melkveehouderij (zie edepot.wur.nl/163166). Hierbij worden de volgende stappen gezet:

- Bepaal de aanvoer van effectieve organische stof (eos) via planten en meststoffen.
- Bepaal de afvoer van organische stof. Dit wordt bepaald door de afbraak. Grove raming is dat dit 1600 tot 2000 kg per ha per jaar is.
- Bereken de organische stofbalans: verschil tussen aanvoer van eos en afbraak van bodemorganische stof.
- Interpretatie.

Uit de studie blijkt dat melkveehouders er goed aan doen om het organische stofgehalte van hun maïs- en graspercelen te monitoren door een organische stofbalans op te stellen en/of grondonderzoek te laten doen. Dit draagt bij aan het inzicht in de huidige bodemkwaliteit en voorkomt grote verliezen aan organische stof op langere termijn.

Om deze informatie als melkveehouder in te kunnen vullen, worden cijfers gegevens over de aanvoer van eos uit grasland, groenbemesters en gewasresten en de afbraak van organische stof door onderploegen van een graszode in het jaar van ploegen en het tweede en derde jaar.

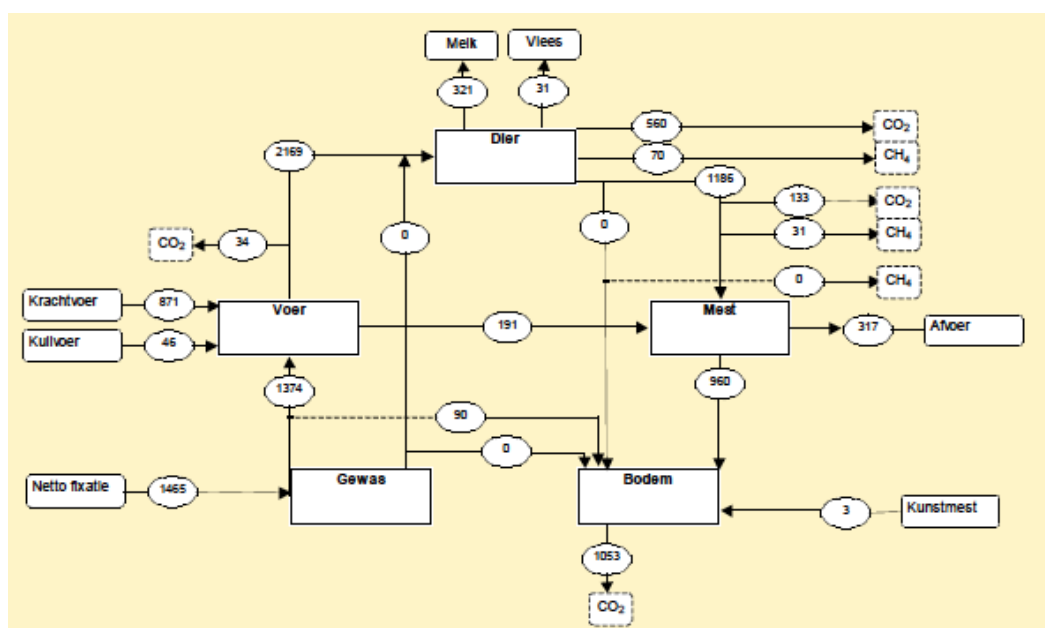
In de bemestingswijzer voor grasland van BLGG AgrXpertus is de organische stofbalans opgenomen. Veehouders krijgen daarmee zicht op de bandbreedte waarbinnen ze kunnen werken zonder het organische stofgehalte in gevaar te brengen.

5.1.3 Koolstofkringloop op bedrijfsniveau

Een koolstofkringloop op bedrijfsniveau geeft de directe aan- en afvoer van koolstof op bedrijfsniveau weer. Dit kan in principe worden uitgebreid naar de keten: aanvoer van elektriciteit is (indirect) koolstof aanvoer (in de vorm van CO₂), aanvoer van krachtvoer betekent ook aanvoer van koolstof en van energie (CO₂ equivalenten).

Binnen het project Koeien en Kansen wordt de koolstofkringloop als management-instrument genoemd als actie voor de periode 2010 tot 2014. Ook wordt genoemd dat broeikasgassen en koolstof binnenkort zullen worden toegevoegd aan de kringloopwijzer. Het principe van de kringloopwijzer is dat berekend wordt wat P, N en C stromen zijn tussen veestapel, mest, gewas en bodem, en wat daarnaast input is vanuit krachtvoer, ruwvoer, (kunst)mest, wat afvoer is via melk, vee, mest.

Courage (2007) geeft een voorbeeld hoe een koolstofkringloop op bedrijfsniveau eruit zou kunnen zien. Dit is doorgerekend m.b.v. BBPR. Het betreft een grootschalig melkveebedrijf (4,75 mln. kg melk met 500 koeien op 250 ha cultuurgrond). Door alleen te kijken naar bodem en gewas geeft het plaatje ook een beeld van de koolstofkringloop op perceelsniveau.



Figuur 5.2 Koolstofkringloop in de melkveehouderij op bedrijfsniveau (x1000 kg C) (bron: Courage, 2007).

Binnen het project 'Bedreven Bedrijven Drenthe' hebben 100 melkveehouders in studiegroepverband 5 jaar lang ervaring opgedaan met de kringloopaanpak. Kenmerkend is de integrale benadering. Het optimaliseren van het bodem-plant-diersysteem stond centraal. Een hoger organisch stofgehalte in de bodem en een gunstige C/N-verhouding in de mest worden specifiek als positieve punten genoemd (bron: http://www.nvln.nl/downloads/Bedreven_Bedrijven_Drenthe.pdf).

Rougoor en Elferink (2008) schetsen de koolstofstromen binnen de Nederlandse melkveehouderij, uitgedrukt als gemiddeld per 100 kg melk en per ha, waarbij de fysieke grenzen van het bedrijf ook de grenzen van de kringloop vormen. Praktisch houdt dit in dat de volgende systeemgrenzen zijn gehanteerd:

- De input van koolstof van buiten het melkveebedrijf door middel van krachtvoer en ruwvoer wordt meegerekend.
- De output van koolstof in melk, vlees en mogelijk mest en ruwvoer wordt meegerekend.

Maar:

- De emissies door activiteiten buiten het bedrijf (in de toeleverende industrie: veevoer- en kunstmestindustrie, en door transporten van en naar het bedrijf) zijn buiten beschouwing gelaten.
- Emissies ten gevolge van elektriciteits- en dieselgebruik op het bedrijf zijn buiten beschouwing gelaten.

De vastlegging in te vervoederen ruwvoer is eerst berekend vanuit de voederkant (wat is de opname van melkvee en jongvee: optie 1 in de tabel). Dan komt de hoeveelheid koolstof in ruwvoer uit op 33 kg C per 100 kg melk. Deze 33 kg is goed te verklaren vanuit het dier. De totale input via krachtvoer en ruwvoer is 48 kg C / 100 kg melk. Vanuit het dier emitteert hiervan 26 kg als CO₂ en CH₄, 7 kg wordt afgevoerd via melk, vlees en kalveren en 14 kg komt in de mest; gezamenlijk ook 48 kg.

Optie 2 in de tabel geeft de berekening van de hoeveelheid koolstof in ruwvoer uitgaande van de hoeveelheid grasland en maïsland in Nederland en de opnamefactoren die hierover bekend zijn. De beschikbare hoeveelheid ruwvoer komt dan hoger uit: 53 kg C per 100 kg melk: 60% meer dan volgens de voedingskant nodig zou zijn.

De koolstofopname van het gewas vanuit de lucht (in de vorm van CO₂) is gebaseerd op literatuurgegevens. Uitgangspunt is dus een bodemsysteem in evenwicht. Ook de totale input van het systeem zou dan gelijk moeten zijn aan de totale output. Deze cijfers staan in de laatste rij; input en output zijn inderdaad van dezelfde orde grootte (11% verschil). Gezien de variatie in cijfers over CO₂-opname uit de lucht, lijkt dit een belangrijke verklaring voor dit verschil.

Tabel 5.1 Koolstofkringloop in de melkveehouderij op bedrijfsniveau, uitgedrukt per 100 kg melk en per ha (bron: Rougoor en Elferink, 2008).

C in:	kg C / 100 kg melk			kg C / ha		
	input	systeem	output	input	systeem	output
aankoop extern voer	14			1293		
eigen ruwvoer (optie 1) ¹⁾		33			3004	
eigen ruwvoer (optie 2) ¹⁾		53	+		4723	+
<i>Totaal input dier:</i>	<u>48 tot 67</u>			<u>4297 tot 6016</u>		
Dieren		2			138	
CO ₂ uit dieren			25			2211
CH ₄ uit dieren			1			130
verkoop melk			7			621
verkoop vlees en kalveren			0,4			40
Geproduceerde mest		14	+		1289	
<i>Totaal output dier:</i>		<u>48</u>			<u>4291</u>	
CH ₄ uit mest			0,4			36
aankoop kunstmest	0,1	+	-	2	+	-
<i>Totaal mestinput bodem:</i>	<u>14</u>			<u>1255</u>		
bodemvoorraad (0-30 cm)		490			44.041	
CO ₂ -emissie uit veenbodem			8			750
CO ₂ -opname grasland	196			1761		
CO ₂ -opname maïsland	27			2391		
Ademhaling grasland			88			7927
Ademhaling maïsland			11			980
Rotting wortels etc. (bodem)			54 -			4844 -
<i>Netto opname gewas:</i>	<u>70</u>			<u>6255</u>		
oogstbaar gewas		67			6040	
zode / maïsstoppel / wortel		54			4892	
beweidingsverliezen		3			291	
oogst/opslagverlies gras			9			812
oogst/opslagverlies maïs			2 -			215 -
<i>Beschikbaar ruwvoer:</i>		<u>53</u>			<u>4723</u>	
TOTAAL	237		210	21.31		18.858

5.1.4 Koolstofkringloop op een hoger niveau, bijvoorbeeld sectorniveau, Nederlandse landbouw

Boons-Prins et al. (1996) geven een overzicht van de koolstofbalans per veehouderijsector in Nederland in 1989. Voor de totale rundveehouderij was de hoeveelheid koolstof in ruwvoer naar schatting toen 5,9 miljard kg. Uitgesplitst naar gras- en maïsland: de binnenlandse productie van koolstof in maïs was in 1989 1028 miljoen kg C. Daarnaast was de productie van graskuil 1990 miljoen kg C en 2340 miljoen kg C in vers weidegras. Een totaal in kuil en gras van 4330 miljoen kg C.

5.2 Potentie koolstofkringloop

In deze paragraaf gaan we aan de hand van dezelfde indeling als genoemd in 5.1. in op de potentie van de verschillende koolstofkringlopen. Per type kringloop schetsen we in onderstaande subparagrafen de potentie, of het informatie geeft over andere duurzaamheidsfactoren (relatie met N-, P-kringloop bijvoorbeeld), welke onduidelijkheden hier nog zijn. Onderstaande tabel geeft een samenvatting van alle voornoemde modellen en kringlopen.

Tabel 5.2 Samenvattend overzicht van modellen en kringlopen die binnen de Nederlandse landbouw de laatste jaren zijn toegepast, waarbij ook aandacht was voor organische stof, c.q. koolstof.

Modelniveau	Naam	Aspecten	Doel model
Bodembeheer	Minip	Os-opbouw en N-mineralisatie	Berekenen os-balansen, effecten van maatregelen bepalen
	FARM	Effectieve organische stof, N, P, K	Berekenen koolstofopbouw in de bodem / milieu-economische optimalisatie bedrijfssystemen
	ANIMO	C, N, P	Beschrijving kringlopen in de bodem
	NDICEA	N, organische stof	Stikstofplanner / stikstofadvies en organische stof in vruchtwisseling
Perceel	Werkblad organische stof	Effectieve organische stof	Berekenen os-balans
	AgrXpertus	N, P, K, organische stof	Bemestingswijzer, os-balans
Bedrijf	Courage 2007	C	Totale C-bedrijfskringloop
Veehouderijsector	C-balans Boons-Prins	C	Totaaloverzicht C-input/output Nederlandse veehouderij

5.2.1 C-bodembeheer

In potentie biedt 'C-bodembeheer' inzicht in verhogen van koolstofopslag in de bodem. Er zijn verschillende modellen beschikbaar waarbij ook rekening wordt gehouden met interactie tussen koolstof, stikstof en fosfaat en waarmee de effecten van maatregelen kunnen worden bepaald.

5.2.2 Koolstofkringloop op perceelsniveau

In grote lijnen komt de koolstofkringloop op perceelsniveau overeen met C-bodembeheer; aan- en afvoer van organische stof wordt bepaald. Ook hiervoor geldt dat er modellen beschikbaar zijn waarbij rekening wordt gehouden met de interactie tussen koolstof, stikstof en fosfaat.

5.2.3 Koolstofkringloop op bedrijfsniveau

Een koolstofkringloop op bedrijfsniveau geeft meer inzicht dan de kringloop op perceelsniveau, omdat de totale koolstofstromen op bedrijfsniveau laten zien waar aan- en afvoerposten zijn. Zo kan het inzicht geven in hoeverre de aanvoer van koolstof via krachtvoer bijvoorbeeld groter of kleiner is dan gemiddeld, en wat dit betekent voor het koolstofgehalte in de mest, de C/N-verhouding en daarmee de aanvoer op het land. Op dit moment ontbreken echter gegevens over de variatie hierin tussen bedrijven. Praktijkmetingen beperken zich veelal tot de koolstofkringloop op bodem- en/of perceelsniveau. Dit maakt dat op dit moment ook nog niet duidelijk is of deze informatie daadwerkelijk kan leiden tot een efficiëntere bedrijfsvoering.

In potentie biedt de koolstofkringloop op bedrijfsniveau inzicht in:

- Mogelijkheden om koolstof verliezen te verlagen (= o.a. verlagen energiegebruik).
- Verlagen broeikasgasemissie (op verschillende plaatsen in de kringloop).
- Verhogen koolstofopslag in de bodem.

Uitbreiding van de koolstofkringloop met de gehele keten geeft een completer beeld van de koolstofstromen en daarmee meer inzicht in verbeteropties, zoals bijvoorbeeld het verlagen van de broeikasgasemissies als gevolg van aanvoer van producten (veevoer, etc.).

Interactie met andere duurzaamheidsthema's

De koolstofkringloop staat niet op zichzelf. De kringloop is ook van invloed op andere duurzaamheidsthema's, zoals de mineralenbenutting, biodiversiteit en landbeslag. Dit blijkt ook uit het feit dat in enkele van de modellen zoals hiervoor zijn besproken, ook de N- en/of P-kringloop wordt meegenomen. De verschillende andere duurzaamheidsaspecten die worden beïnvloed door de koolstofkringloop bespreken we hieronder puntsgewijs.

Mineralenbenutting en mineralenkringloop

De relatie tussen het organische stofgehalte in de bodem en andere duurzaamheidsfactoren is belangrijk. De optimale C/N-verhouding van de bodem organische stof is 8 à 11. Als het organische stofgehalte in de bodem meer dan 2,5% is, kan dit de nitraatuitspoeling beperken (Marjolein Hanegraaf e.a., waaier 'Betere stikstofbenutting door duurzaam bodembeheer').

In modellen wordt rekening gehouden met de interactie tussen C en N. Zo is binnen het model NDICEA C opgenomen vanwege de beïnvloeding van N.

Binnen een N-bemestingsadvies moet rekening worden gehouden met de stikstofbehoefte van het gewas en anderzijds met de hoeveelheid N die beschikbaar is. Deze aanbodzijde wordt bepaald door de minerale N-hoeveelheid in de bodem en de hoeveelheid minerale N die vrijkomt uit bodem organische stof (BOS). De hoe-

veelheid BOS is sterk bepalend voor de mineralisatie. De minerale N is een restproduct van de microbiële afbraak van organische stof. De N-mineralisatie is verbonden met de koolstofmineralisatie via de C/N-verhouding. Bij een hoge C/N-verhouding zal zelfs bij een sterke mineralisatie een geringe hoeveelheid minerale N vrijgesteld worden.

Door zoveel mogelijk informatie integraal te bekijken, bijvoorbeeld de koolstofkringloop in interactie met de N-kringloop, kan zowel C als N beter worden geoptimaliseerd. Gezien de complexiteit van het geheel (het os-gehalte van de bodem speelt een rol, maar daarnaast ook de C/N-verhouding van de bodem en de mest bijvoorbeeld; dit grijpt allemaal op elkaar in) zal een overzicht van de C-kringloop en de N-kringloop op het bedrijf onvoldoende zijn om zulke 'integrale beslissingen' te kunnen nemen. Dit vergt nog een onderzoeks- en ontwikkelingslag.

Als de koolstofkringloop goed is, komt volgens de Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu (VBBM) (geciteerd door Hees e.a., 2009) de stikstof ook op orde. En als de koolstofbalans goed is, zou volgens de VBBM het bodemleven worden gestimuleerd en geactiveerd en wordt fosfaatfixatie geremd en komt fosfaat meer ter beschikking aan de plant. Ook Willems e.a. (2005) noemen een verband tussen het organische stofgehalte van de bodem en het fosfaatbindend vermogen. Of de andere relaties die door de VBBM worden genoemd op wetenschappelijke feiten gebaseerd zijn, is niet duidelijk.

Biodiversiteit

De biodiversiteit in de bodem daalt bij een afname van het organische stofgehalte. Hierdoor is de bodem minder goed in staat om de gewasgroei te ondersteunen, grondwater schoon te houden en andere ecosysteemdiensten (bijvoorbeeld klimaatdiensten) te leveren. Daarnaast geldt dat een bodem met meer organische stof beter bestand is tegen bodemverdichting. Dat is des te belangrijker omdat bodemverdichting leidt kan leiden tot een verlaging van de bodembiodiversiteit (Rutgers e.a., 2009).

Landbeslag

Er zijn indirecte relaties tussen koolstofopslag in de bodem en landbeslag. Zo worden groenbemesters genoemd als methode om de koolstofopslag in de bodem te verhogen. Deze groenbemesters hebben een bepaald landbeslag. In het najaar is er in bepaalde gevallen nauwelijks ruimte voor groenbemesters in het intensieve bouwplan. Als de doelstelling van deze teelt deels verhoging van het organische stofgehalte van de bodem is, zal dit landbeslag ook aan dit doel toegerekend moeten worden (Ten Berge en Postma, 2010). Daar staat tegenover dat een hoger koolstofgehalte in de bodem de gewasproductie kan ondersteunen (Rutgers e.a., 2009). Het landbeslag kan hiermee dus afnemen bij hogere koolstofgehalten in de bodem.

5.2.4 Koolstofkringloop van de Nederlandse landbouw

De meest interessante sturingsopties t.a.v. de koolstofkringloop binnen de melkveehouderij lijken de opties om het organische stofgehalte in de bodem positief te beïnvloeden. Een koolstofkringloop voor de gehele Nederlandse landbouwsector lijkt dan ook een weinig zinvol instrument voor individuele melkveehouders, omdat 'de bodem' hierbij een restpost zal zijn. Netto zal op landelijke schaal mogelijk sprake zijn van een lichte stijging of daling van het koolstofgehalte in de bodem. Verschillen tussen bedrijven en percelen zijn echter erg groot, waardoor mogelijk op een

individueel bedrijf veel koolstof in de bodem is opgeslagen in een jaar, terwijl landelijk sprake is van een afname. Mogelijk kan een koolstofkringloop voor de gehele sector wel aanknopingspunten bieden voor onderzoek en beleid naar; wat zijn de grote stromen? In hoeverre is de koolstofkringloop landelijk gesloten? Waar treden de grootste verliezen op? Is netto sprake van toename van het koolstofgehalte in de bodem, of juist van een afname? Dit kan vervolgens worden gebruikt om speerpunten voor het onderzoek te definiëren. Ook voor het beleid kan het aanknopingspunten bieden. Waar treden bijvoorbeeld grote CO₂- of CH₄-verliezen op? Door hier het beleid op te richten, kan de broeikasgasemissie effectiever worden gereduceerd.

5.3 Conclusies

Aan de hand van de vragen die we in paragraaf 5.1 hebben gesteld, bespreken we de conclusies van dit hoofdstuk:

- *Voegt het inzicht in de totale koolstofkringloop iets toe aan een overzicht van maatregelen om koolstofgehalte in de bodem te beïnvloeden?*
Deze vraag is met de huidige kennis moeilijk te beantwoorden. De koolstofkringloop biedt inzicht in koolstofstromen en daarmee biedt zij aanknopingspunten voor wat grote koolstof aan- en afvoerstromen zijn. Op dit moment is niet altijd duidelijk wat de gevolgen zijn van veranderingen in deze aan- en afvoerstromen. Dit vergt nadere analyse.

- *Biedt de koolstofkringloop aanknopingspunten om ook op andere milieuthema's te verduurzamen? Hoe is de interactie; is sprake van een win-win situatie, of is sprake van afwenteling?*

De koolstofkringloop hangt nauw samen met andere duurzaamheidsthema's:

- De C/N-verhouding in de bodem en in de mest heeft gevolgen voor de hoeveelheid N die beschikbaar komt voor het gewas. Het is dus zinvol dit integraal te bekijken.
- Er is ook een relatie tussen koolstof en fosfaat; een goed bodemleven, met een goede koolstofbalans, remt de fosfaatfixatie. Hierdoor stijgt de fosfaatbeschikbaarheid voor de plant.
- Het organische stofgehalte van de bodem is ook positief gerelateerd aan de bodembiodiversiteit.

- *Zijn er referentiecijfers voor een koolstofkringloop?*

De koolstofkringloop is in enkele studies zoveel als mogelijk kwalitatief in beeld gebracht. Dit zijn gemiddelde schattingen, waarbij soms blijkt dat getallen die op verschillende manieren kunnen worden berekend, soms verschillende uitkomsten geven. Dit betekent dat de beschikbare informatie op dit moment nog onvoldoende is om als referentie te gebruiken voor bedrijfsanalyses.

- *Concluderend: biedt een koolstofkringloop aanknopingspunten voor een melkveehouder voor het managen van zijn bedrijf?*

Een koolstofkringloop van het bedrijf en/of percelen biedt aanknopingspunten voor een melkveehouder om zijn bedrijf verder te optimaliseren. Op dit moment zijn echter nog geen goede referentiecijfers beschikbaar om een volledige koolstofkringloop op bedrijfsniveau mee te kunnen vergelijken. Daarnaast zijn relaties tussen bijvoorbeeld C en N complex (niet-lineair). Het vertalen van de informatie uit de C- en N-kringloop naar concrete managementmaatregelen vergt nog een kennisslag.

6 Conclusies en aanbevelingen

De uitdaging van dit project was te onderzoeken of we het organische stofgehalte in de bodem duurzaam en blijvend kunnen verhogen om zo een bijdrage te kunnen leveren aan duurzaam ondernemen en een versterkte 'license to produce'. Deze uitdaging hebben we vertaald in enkele doelstellingen die we per hoofdstuk hebben beantwoord.

De belangrijkste bevindingen en aanbevelingen geven we kort samengevat weer in dit hoofdstuk.

6.1 Conclusies

Wat is de bijdrage van koolstofopslag aan het verminderen van de broeikasgasmissie uit de melkveehouderij?

Uit hoofdstukken 2 en 3 volgt dat koolstofopslag een vastleggingspotentieel van 2,5 Mton CO₂-e/jaar heeft. Dit komt overeen met 15% van de huidige emissies van de Nederlandse melkveehouderij. Als dit gerealiseerd wordt, komt dit bovenop de behaalde broeikasgasreductie in de melkveehouderij van 20% t.o.v. 1990. In het convenant 'Schone en Zuinige Agrosectoren' is een emissie reductie doelstelling van 30% afgesproken in 2020. Bij een gelijkblijvende melkproductie zal inclusief koolstofopslag de reductie dan ongeveer 35% bedragen. Aanvullende reductie maatregelen zijn dan niet nodig.

Als in 2015 het melkquotum komt te vervallen en de productie stijgt met een geschatte 22%, dan heeft koolstofopslag de potentie om de extra emissies grotendeels op te vangen.

Wat moeten we doen om dit potentieel te realiseren?

In hoofdstuk 3 zijn diverse maatregelen weergegeven om koolstofvastlegging te bewerkstelligen. Maatregelen richten zich op het verhogen van de aanvoer, het beperken van de afvoer of het behoud van de evenwichtssituatie. Er is niet 1 maatregel die het gehele potentieel kan realiseren. Er zal dus een pakket aan maatregelen nodig zijn om dit potentieel te bewerkstelligen.

De theoretische potenties van de genoemde maatregelen zijn aanzienlijk. Hierbij is echter niet de economische haalbaarheid meegenomen. Die haalbaarheid zal een groot effect hebben op hoeveel van de potenties ook daadwerkelijk kan worden gerealiseerd.

Duidelijk is wel dat permanent grasland een enorme hoeveelheid organische koolstof in de bodem bevat. Omzetten van grasland naar bouwland moet dan ook vermeden worden. Zo mogelijk moet tijdelijk grasland of akker weer teruggebracht worden naar permanent grasland, zoals het GLB ook wil stimuleren. Het is echter veel moeilijker om extra koolstof in de bodem te brengen door de omzetting van akkerland naar grasland dan om afbraak te voorkomen.

Is er een concept of hypothese voor een omgekeerde 'koolstofpomp' te formuleren?

Belangrijk voor een omgekeerde koolstofpomp is dat de vastgelegde koolstof ook daadwerkelijk additioneel is. Bij voorkeur is de koolstof afkomstig uit de atmosfeer, op het eigen bedrijf uit de atmosfeer vastgelegd (en niet van externe koolstofstromen), en zonder, of met weinig gebruik van, extra natuurlijke hulpbronnen (energie, mineralen. etc.). Anders bestaat de mogelijkheid dat de melkveehouderij een netto sink lijkt, terwijl dit feitelijk een illusie is.

Het bevorderen van permanent grasland met goed graslandbeheer, zodat diepe beworteling wordt gerealiseerd, lijkt mogelijkheden voor een omgekeerde koolstofpomp te hebben.

Hoe kan koolstoflandbouw het best worden gestimuleerd/gemanaged?

Het is belangrijk dat koolstoflandbouw een breed draagvlak krijgt onder melkveehouders en dat het niet wordt opgelegd. De problematiek en mogelijke oplossingsrichtingen moeten dan ook intensief worden doorgenomen met veehouders. Naast technische haalbaarheid dient ook arbeidsinspanning en de economische haalbaarheid besproken te worden.

Daarnaast moet voorkomen worden dat de perceptie ontstaat dat het weer het zoveelste op zichzelf staande onderwerp wordt. Koolstoflandbouw dient dan ook geïntegreerd te worden opgepakt met andere thema's. Bijvoorbeeld met antibioticagebruik, klimaatadaptatie en duurzaam graslandbeheer in brede zin.

Is een koolstofbalans geschikt om de emissies van broeikasgassen zichtbaar te maken?

Een koolstofbalans op bedrijfsniveau geeft de melkveehouder inzicht in zijn broeikasgasemissie. Een dergelijke balans kan gebruikt worden om zijn emissies te optimaliseren. Op dit moment ontbreken echter goede referentiecijfers om een volledige C-kringloop op bedrijfsniveau mee te kunnen vergelijken. Vanwege lachgasemissies is het wenselijk om ook N te koppelen aan C. De relaties tussen C en N zijn echter niet-lineair.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de informatie in voorgaande hoofdstukken en bovenstaande conclusies komen we tot de volgende aanbevelingen.

- Voor het onderzoek liggen er de volgende taken:
 - Enkele maatregelen lijken een groot koolstof vastleggingspotentieel te hebben maar zijn nog onvoldoende uitgediept:
 - o doorzaaien van grasland versus scheuren van grasland;
 - o tegengaan van verdichting van de bodem;
 - o het verminderen van het antibioticagebruik om zo het bodemleven te verbeteren.
 - Samen met melkveehouders de bedrijfstechnische en economische inpasbaarheid van maatregelen onderzoeken.
 - Het onderzoeken van optimale bedrijfspakketten die zich niet richten op specifieke maatregelen maar op generieke beheerspakketten: verhogen van C via inputs, het behoud van C via management, etc.
 - Het vaststellen van het praktisch haalbare vastleggingspotentieel van de melkveehouderij. In deze studie is het theoretisch potentieel op landelijk

- niveau ingeschat. Het is wenselijk om voor verschillende type melkveebedrijven en regio's te testen wat haalbaar is en deze lijn door te trekken naar een landelijk totaal.
- Het opstellen van goede referentiecijfers om een volledige koolstofkringloop op bedrijfsniveau mogelijk te maken en te kunnen vergelijken met andere bedrijven.
 - De relatie tussen C en andere thema's zijn complex (zoals N), of is nog weinig over bekend, zoals antibiotica. Nader onderzoek is gewenst, zodat concrete managementmaatregelen kunnen worden uitgewerkt.
- Voor voorlichting en implementatie van koolstoflandbouw liggen er de volgende taken:
 - Het toegankelijk en hanteerbaar maken van informatie over koolstoflandbouw voor melkveehouders.
 - Voorlichting moet zich niet alleen beperken tot verhogen maar ook op vasthouden: Melkveehouders wijzen op de do's and don'ts. De voorlichting moet de problematiek begrijpelijk maken en via een geïntegreerde aanpak kennis aandragen over pakketten van maatregelen.
 - Het opzetten van een omvangrijke, gecoördineerde voorlichtingscampagne. Een eerste stap in deze voorlichting is elk bedrijf een scan aanbieden waarbij het koolstof vastleggingspotentieel wordt berekend en een overzicht wordt gegeven van de kosten en baten.

Begrippenlijst

Organisch stofgehalte: Organische stof is een van de belangrijkste onderdelen van de bodem en bestaat uit vers plantaardig en dierlijk materiaal, humus en levende organismen.

Organisch koolstof: Koolstof vormt het belangrijkste bestanddeel van organische stof. Organisch materiaal in de bodem bestaat voor ongeveer de helft uit koolstof.

Effectief organische stof (EOS): Het gedeelte van de organisch stof die aan de bodem wordt toegevoegd en dat na een jaar nog in de bouwvoor aanwezig is.

BOC: bodem organische koolstof.

BOS: bodem organische stof.

CO₂-e/ CO₂ equivalenten: meeteenheid gebruikt om het opwarmend vermogen ('global warming potential') van broeikasgassen weer te geven. CO₂ is het referentiegas, waartegen andere broeikasgassen gemeten worden.

Referenties

Aarts, H.F.M., D.W. Bussink, I.E. Hoving, H.G. van der Meer, R.L.M. Schils en G.L. Velthof (2002). Milieutechnische en landbouwkundige effecten van graslandvernieuwing. Een verkenning aan de hand van praktijksituaties. PRI, Wageningen, Rapport 41A.

Bellamy et al. (2005) Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. Nature 437 pp245 – 248

Berge, Hein ten, Joeke Postma (2010) Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw. Visie en bouwstenen voor een kennisagenda. PRI.

Boons-Prins, E.R., H.G. van der Meer, J. Sanders, S. Tamminga, F. van Vugt, J.G. de Wilt (1996) Drastische verbetering van de nutriëntenbenutting in de dierlijke productie. NRLO-rapport nr. 94/3.

Bos, Jules, Janjo de Haan, Wijnand Sukkel (2007) Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Biokennis. WUR

CBS, PBL, Wageningen UR (2010). [Agrarisch grondgebruik \(1980-2009\)](#) (indicator 2119, versie 01, 13 augustus 2010)

Courage (2007) Energy Dairy 2025. Melkveehouderij, bron van duurzame energie.

Eagle, J.A., L.R. Henry, L.P. Olander, K. Haugen-Kozyra, N. Millar, G. Philip Robertson (2010). Greenhouse Gas Mitigation Potential of Agricultural Land Management in the United States: A Synthesis of the Literature. Technical working group on agricultural greenhouse gases (T-AGG) report. Duke University, Durham

Eekeren, N. van, J. Bokhorst, H. de Boer, M. Hanegraaf (2008). Van schraal naar rijk zand. Beoordeling van maatregelen voor verbetering van zandgronden op melkveebedrijven. Wageningen Louis Bolk Instituut, 38 p.

Eekeren, Nick van, Geert-Jan van der Burgt, Bert Philipsen, Herman van Schooten en Michel de Haan (2011) Vruchtwisseling van gras en maïs. Effect op organische stof en kosten/baten. V-focus april 2011.

Freibauer, A., M.D.A. Rounsevell, P. Smith, J. Verhagen (2004) Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma 122: 1-23.

Hees, E.M., A.A.C. Otto, F.C. van der Schans (2009) Van top-down naar bodem-up. Review van kringlooplandbouw in de melkveehouderij. CLM-rapport 703.

Johnston, AE (1986). Soil organic-matter, effects on soils and crops. Soil Use and Management 2: 97-105.

Kortleven, J (1963) Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken. Rijkstuinbouwconsulent voor Bodemaangelegenheden. Wageningen. 109pp.

Kuikman et al. (2003) Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands. Alterra.

Kuikman et al. (2005) Emissie van N₂O en CO₂ uit organische landbouwbodems. Alterra.

Postma, R., T.A. van Dijk & A.G.G. van der Weijden (2004) Organische stofopbouw en N-mineralisatie; praktijktoepassing van een verbeterd model. Telen met Toekomst.

Reijneveld, A., J. Van Wensem, O. Oenema (2009) Soil; organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152 (2009): 231-238.

Rougoor, Carin en Emiel Elferink (2008) Zuivelketen en klimaat. CLM. Interne notitie in opdracht van NZO.

Rutgers, M., G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, J. Bloem, A.J. Schouten, A.M. Breure (2009) Prioritaire gebieden in de Kaderrichtlijn Bodem. Belang van bodemdiversiteit RIVM-rapport 607370001.

Sleutel et al., (2003) Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. *Soil Use and Management* 19, 166-171

Smith, P., S.J. Chapman, W.A. Scott, H.I.J. Black, M. Wattenbach, R. Milne, C.D. Campbell, A. Lilly, N. Oslte, P.E. Levy, D. G. Lumsdon, P. Millard, W. Towers, S. Zaehle en J.U. Smith (2007). Climate change cannot be entirely responsible for soil carbon loss observed in England and Wales, 1978-2003. *Global Change Biology* 13: 2605-2609.

Velthof, G.L. (2004). Achtergronddocument bij enkele vragen van de evaluatie Meststoffenwet 2004. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.2.

Verloop, Koos, Gerjan Hilhorst, Barend Meerkerk, Fridtjof de Buissonje, Jaap Schroder, Michel de Haan (2009) Mestscheiding op melkveebedrijven: resultaten van de MOBIEDIK, Mobiele Mestscheiding in dik en dun. PRI rapport 284.

Vleeshouwers en Verhagen (2002) Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*. Volume 8, Issue 6, pages 519-530.

VROM en LNV (2006). Duurzaam bodemgebruik in de landbouw. Een beoordeling van agrarisch bodemgebruik in Nederland. VROM, LNV, Senternovem Bodem+ in opdracht van StuBo.

Willems, W.J., J. Kamps, O.F. Schoumans, G.L. Velthof (2005) Milieukwaliteit en verliesnormen. Achtergrondrapport deelproject Milieu van de Evaluatie Meststoffenwet 2004. MNP-rapport 500031002.

Courage

Meer innovatie in de
melkveehouderij op :
www.courage2025.nl



Courage is een initiatief van LTO en NZO en
heeft een alliantie met InnovatieNetwerk.



Bezoek

Louis Braillelaan 80, 2719 EK Zoetermeer,
T 079-343 03 52

Post

Postbus 165, 2700 AD Zoetermeer

E info@courage2025.nl
www.courage2025.nl

