

Organische stof in de Nederlandse bodem

Feiten en discussie in perspectief

Chris Koopmans en Mieke van Opheusden



© 2019 Louis Bolk Instituut

Organische stof in de Nederlandse bodem - Feiten en
discussie in perspectief

Chris Koopmans en Mieke van Opheusden

Publicatienummer 2019-023 LbP

32 pagina's

Met medewerking en dank aan:
Marjoleine Hanegraaf, Wageningen Plant Research
Dorothee Tol-Leenders, Wageningen Environmental Research

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

1 Inleiding	4
2 Organische stof in de Nederlandse landbouwbodem: een stand van zaken	6
2.1 Eurofins Agro analyses	6
2.2 Landelijke Steekproef Kaarteenheden	8
2.3 Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit	12
2.4 Regionale studies	12
2.5 Prognose	13
3 Kwantiteit en kwaliteit van organische stof	16
4 Discussie	20
5 Kansen en oplossingen	23
5.1 Toepassen van maatregelen gericht op organische stofbeheer	23
5.2 Eenduidigheid in organische stof metingen	27
5.3 Ondersteunende tools	27
5.4 Kennis en bewustwording bij de beheerders	28
5.5 Zicht op kosten, baten en verdienmodellen	28
Referenties	30

1 Inleiding

Op 23 mei 2018 bood de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) haar Bodemstrategie aan de Tweede Kamer aan (Tweede Kamer, 2018). Op 25 april 2019 volgde haar Nationaal Programma Landbouwbodems (Tweede Kamer, 2019). Beide nota's geven aan dat in 2030 alle Nederlandse landbouwbodems (1,8 miljoen hectare) duurzaam worden beheerd en dat de samenleving de inspanningen voor duurzaam bodembeheer waardeert. Wat precies hieronder wordt verstaan is op dit moment nog niet concreet gemaakt, de nota's geven vooral een raamwerk weer. De richting is aangegeven, maar precieze invulling zal met de stakeholders vorm krijgen.

In een op te stellen advies rond Vitale Bodem van de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) wordt bodemkwaliteit bepaald door het organisch stofgehalte, de bodemchemie, het bodemleven, de bodemstructuur, de waterhuishouding en de beworteling.

In de Rli is consensus dat de bodemkwaliteit achteruit gaat en (op termijn) zorgt voor achteruitgang van de primaire productie en de biodiversiteit, zowel in kwantiteit als kwaliteit. Nu al is volgens de raad sprake van sterfte van vogels door gebrek aan regenwormen in de bodem en is bodemtransplantatie nodig voor natuurherstel.

Als een van de oorzaken voor de achteruitgang van de bodem wordt de landbouw genoemd: de focus op korte termijn productiewinsten, inzet op monoculturen, gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en kunstmest, grondbewerking met zware machines en hoge grondprijzen. Andere oorzaken zijn verdroging, invasieve soorten en verzilting. Daarnaast is er sprake van diffuse verontreinigingen uit de lucht, uit lekkende vuilstorten, door lekkage uit zonneparken, via het terugbrengen van vervuilde bagger op land, door lekkage uit industriegebieden et cetera. De klimaatverandering zorgt daarnaast mogelijk voor snellere afname van het organisch stofgehalte van de bodem.

Er bestaat echter geen consensus in de raad over de precieze problemen in de bodem. Neemt het organisch stofgehalte nu daadwerkelijk af of niet? Hoe verandert de bodemchemie? Hier is gebrek aan data debet aan. De raad wil proberen meer inzicht te krijgen in de belangrijkste bodemproblemen. Daarbij lijkt de ontwikkeling van het organisch stofgehalte van de bodem een centrale rol te spelen.

Organisch stof in de bodem staat al langer in de belangstelling. Hoewel de bodem gemiddeld maar een paar procent aan organische stof bevat, speelt deze een centrale rol in de bodemkwaliteit en functies van de bodem. Dankzij het effect op bodemstructuur, bodemleven, waterhuishouding, beworteling en bodemchemie is het een onmisbaar element voor een goed functionerende bodem. Daarom is het zorgelijk dat op veel plekken in de wereld het organisch stofgehalte de afgelopen jaren is gedaald of op dit moment nog steeds daalt. Dit is onder anderen het gevolg van veranderende landbouwpraktijken, zoals bijvoorbeeld de aanvoer van kunstmest en de intensivering van de landbouw. Wereldwijd is een derde

van de bodem ernstig gedegradeerd (Johnson et al., 2017). Dit is niet alleen ongunstig omdat het leidt tot een lagere gewasopbrengst, ook maakt het de landbouw kwetsbaarder voor weersextremen, en voor ziekten en plagen. Ook in Europa is in meerdere landen het organische stofgehalte onwenselijk laag (Bellamy et al., 2005, Sleutel et al., 2007, Saby et al., 2008)

Recentelijk is de functie van organische stof als koolstof-sink in Nederland in de belangstelling gekomen. In het klimaatakkoord van 2019 (Klimaatakkoord, 2019) is vastgesteld dat de Nederlandse overheid voornemens is om in 2030 per jaar 0,5 Mton CO₂ in de Nederlandse minerale bodems vast te leggen. Hiermee zou ongeveer 5% van de huidige CO₂-emissies door de landbouw kunnen worden gecompenseerd.

Deze notitie heeft als doel de vragen die de Rli heeft ten aanzien van de problematiek van de organische stof in de bodem te behandelen en waar mogelijk met antwoorden te komen. Meer specifiek wordt ingegaan op de vragen naar de stand van zaken aangaande het organische stofgehalte in de bodem, gebaseerd op statistieken en verdeeld naar regio en waar mogelijk naar bodemtype (hoofdstuk 2). Met daarbij indien mogelijk het tijdsverloop in organische stofgehalte. Ook is gevraagd naar de effecten van het organische stofgehalte (hoofdstuk 3). De vraag naar inzichten, discussiepunten en standpunten ten aanzien van het organische stofgehalte in de Nederlandse bodem is verwoord in hoofdstuk 4. Ten slotte wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de vraag van de raad naar een overzicht van bestaande oplossingen en oplossingen die op korte termijn zouden kunnen worden toegepast.

In de notitie zijn de afbakening en inkadering aangehouden die de raad heeft aangegeven. Het overzicht beperkt zich tot de Nederlandse situatie. Daarom zijn in hoofdstuk 2 data, statistieken en kaarten beperkt tot de Nederlandse literatuur. Bij het landgebruik zijn de landbouw, bos en natuur meegenomen in de statistieken. Ook zijn effecten op primaire productie en biodiversiteit en in enkele gevallen indirecte effecten op plant, dier en mens via bijvoorbeeld grond- en oppervlaktewater of landschap meegenomen. De notitie omvat de ecologische functie van de bodem ook gezien de klimaatproblematiek maar sluit de economische vraagstukken rond bodem en bodembeheer uit. De notitie neemt kort de invloed van mest op de bodemconditie mee maar sluit discussies over vee-aantallen of import van voer of afwenteling op grond in andere landen uit. Tenslotte zijn bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid uitwisselbare termen in dit overzicht.

2 Organische stof in de Nederlandse landbouwbodem: een stand van zaken

Organische stof is het organisch materiaal dat zich in de bodem bevindt. Dit kan bestaan uit dood organisch materiaal, zoals onverteerde plantenresten, of levend organisch materiaal, zoals wortels, bacteriën en ander bodemleven. Het kan van plantaardige of dierlijke herkomst zijn, in het laatste geval vooral mest. Organische stof bestaat voor iets meer dan 50% uit koolstof (Tol-Leenders et al., in prep.).

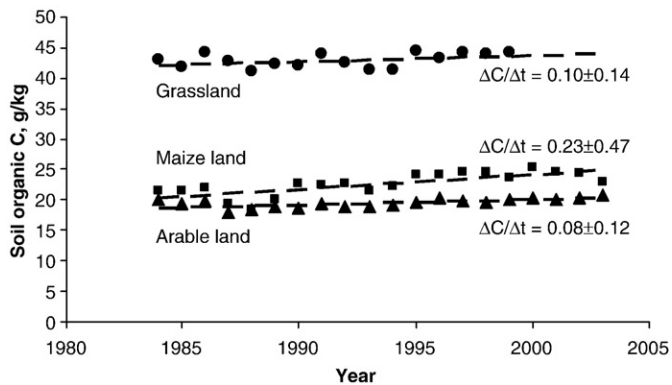
De huidige beschikbare kennis over het organische stofgehalte in de Nederlandse bodem kent grofweg drie belangrijke databronnen: (i) de database van Eurofins Agro, (ii) de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK) en (iii) het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Eurofins Agro neemt de bodemanalyses die door Eurofins worden gedaan voor agrariërs als basis. De LSK is een gestructureerde bemonstering en karakterisering van Nederlandse bodems op basis van bodemtype en grondwatertrap waarbij op ongeveer 1400 meetpunten gemonitord wordt (Finke et al., 2001). Het LMB was een meerjarig meetprogramma wat door het RIVM werd beheerd. In het LMB zijn in de periode 1993 – 2010 ongeveer 200 meetpunten driemaal bemeten.

Daarnaast zijn er een aantal meer regionale studies en wordt gebruik gemaakt van modelstudies om het verloop van het organische stofgehalte te simuleren en voorspellen. In de resultaten wordt uitgegaan van het gehalte aan organische stof of in de bodem of het koolstof (C) gehalte. In de praktijk mag ervan worden uitgegaan dat organische stof voor ca 50% uit koolstof is opgebouwd. Hieronder een kort overzicht van de belangrijkste resultaten op een rij.

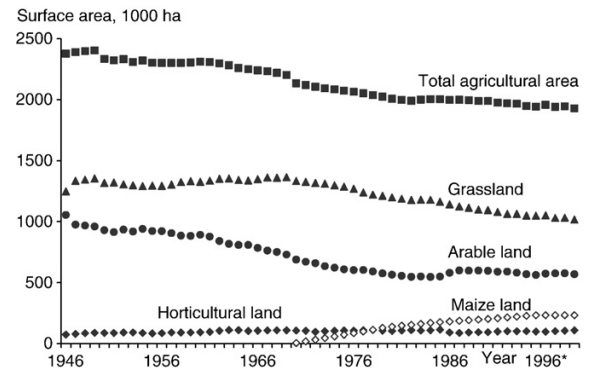
2.1 Eurofins Agro analyses

Reijneveld et al. analyseerden in 2009 organische stof data uit een database met circa 2 miljoen data van het toenmalige BLGG (tegenwoordig Eurofins Agro). Data werden statistisch geanalyseerd op landelijke schaal en voor 9 regio's in Nederland. Ongeveer 300.000 datapunten bleken geschikt voor de uiteindelijke analyse. Het betreft hierbij niet herhaaldelijke metingen op dezelfde percelen, maar gemiddelden van de door BLGG geanalyseerde monsters.

De studie laat een licht stijgende organische stof trend zien over de periode 1984-2004, maar met grote regionale verschillen (figuur 1). Als landgebruik werden grasland, akkerbouw en mais onderscheiden. Voor grasland werd op 0-5 cm diepte gemeten en voor de mais en akkerbouw op 0-25 cm diepte. De gevonden toename in het organische stofgehalte in akkerbouw en onder maisteelt bleken statistisch significant ($p=0.05$).



Figuur 1. Het verloop van het organische stofgehalte voor grasland (1984–2000), mais (1984–2004) en akkerbouw (1984–2004) in Nederland bepaald op basis van org.-C (klassiek <1994 en C-elementair > 1994) (naar Reijneveld et al., 2009).



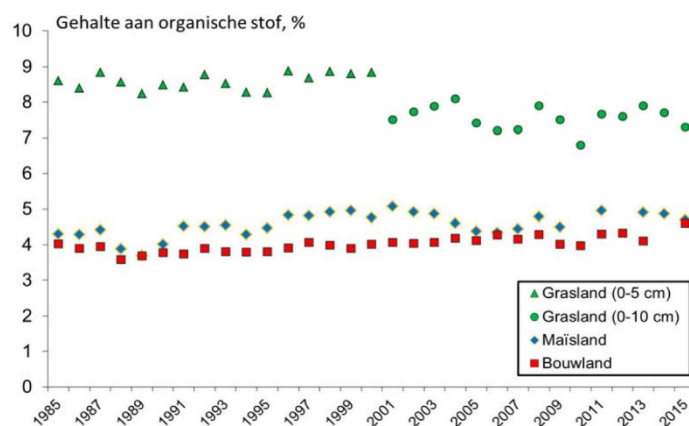
Figuur 2. Verloop van oppervlakten in gebruik voor grasland, akkerbouw, mais en tuinbouw in Nederland voor de periode 1950-2000 (naar Reijneveld et al., 2009).

De stijging van het organische stofgehalte onder mais wordt vermoedelijk veroorzaakt door veranderend landgebruik, waarbij mais oorspronkelijk alleen op zand werd geteeld, en later meer op klei. Dat leidt mogelijk tot een vertekend beeld, omdat kleigronden van zichzelf een hoger organische stofgehalte hebben. Deze uitkomsten werden daarom niet in de interpretatie van de gegevens meegenomen.

De data werden ook per regio geanalyseerd, zowel voor akkerbouw als voor grasland. In de meeste gevallen bleef het organische stofgehalte gelijk. Een significante afname werd gevonden in grasland op zeeklei in Noord-Nederland. Dit is vermoedelijk veroorzaakt door de afbraak van veenresten in moerige gronden. Verder werden voor grasland in verschillende regio's significante toenames gevonden, zoals voor het rivierkleigebied in Midden-Nederland en voor de zand en lössgronden in Zuid-Nederland. Voor löss in Zuid-Nederland werd ook in de akkerbouw een positieve trend gevonden. Verder werd zichtbaar dat regio's met een laag organische stofgehalte een stijgende trend vertoonden, terwijl regio's met een hoog organische stofgehalte juist daalden.

De onderzoekers plaatsen verschillende kanttekeningen bij de resultaten. Zo heeft het landgebruik in de periode 1984-2004 behoorlijke veranderingen ondergaan. Het totaaloppervlak onder landbouw nam met ongeveer 10% af, waarbij het aandeel maisland toenam (Figuur 2). Deze verandering kan een vertekend beeld geven wanneer bijvoorbeeld vooral de gronden met een laag organische stofgehalte in de loop der jaren uit productie genomen zijn. Daarnaast nam het gebruik van permanent grasland af en van tijdelijk grasland afgewisseld met akkerbouw toe. Hierdoor is het mogelijk dat het organische stofgehalte in de akkerbouw lijkt te stijgen, terwijl dit feitelijk wordt veroorzaakt door een stijgend percentage akkerbouw op voormalige graslandpercelen. Ook zijn boeren in de loop der tijd hun bodem vaker gaan analyseren, wat mogelijk de resultaten beïnvloedt. In het verleden liet men een bodem vaak analyseren wanneer er problemen waren, terwijl het laten analyseren van de bodem tegenwoordig deels verplicht is vanwege regelgeving zoals de derogatie.

In 2016 is eenzelfde studie verricht met data van Eurofins Agro voor de periode 2005-2015 (Brolsma et al., 2017). De gemiddelde trend in organische stofgehalte op basis van Eurofins data over de periode 1985-2015 is weergegeven in figuur 3. Door een wijziging in het meetprotocol voor grasland in het jaar 2000 met een aangepaste meetdiepte van 0-5 naar 0-10 cm is een sprong in het organische stofgehalte zichtbaar rond het jaar 2000.



Figuur 3. Het verloop van het organische stofgehalte voor grasland, mais en akkerbouw voor de periode 1985-2015 (bron Eurofins Agro vermeld in Velthof et al., 2017).

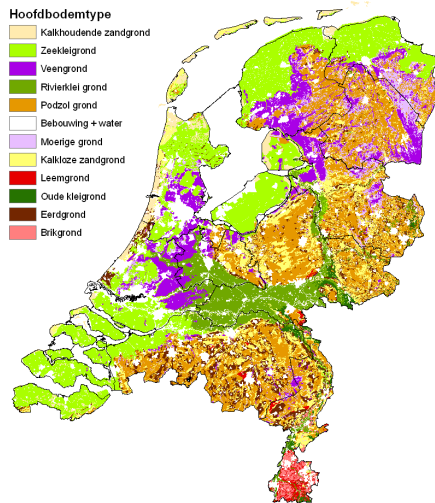
De data werden geanalyseerd naar sector en grondsoort. Een significante stijging werd gevonden voor akkerbouw op zand en rivierklei, voor grasland op zeeklei, rivierklei en dalgrond, en voor mais op zand, zeeklei en rivierklei.

Ook werden data geanalyseerd naar regio. Van de 70 categorieën bleef in de meeste gevallen het organische stofgehalte gelijk, en in 13 gevallen werd een significante stijging gevonden, vooral op zandgrond. De enige daling werd gevonden in het zeekleigebied van West-Holland onder grasland.

2.2 Landelijke Steekproef Kaartenheden

In de periode 1990-2001 werd op 1392 punten door heel Nederland gestructureerde bemonsterd en de karakterisering van de bodems vastgesteld om onder meer de nauwkeurigheid van de bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50.000 te bepalen. Hierbij werd ook het organische stofgehalte bepaald. Lesschen et al. (2012) en Conijn en Lesschen (2015)

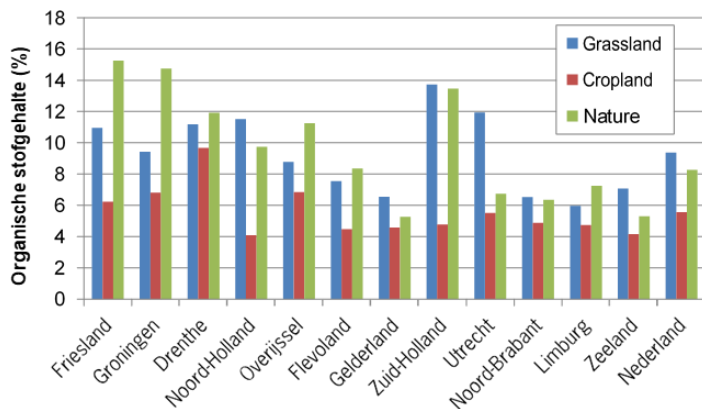
analyseerden deze data naar bodemtype (Figuur 4; Tabel 1) waarbij werd uitgegaan van het organische stofgehalte voor de laag 0-30 cm diep om aan te sluiten bij de IPCC-richtlijnen.



Figuur 4. De Nederlandse bodem, onderverdeeld in 11 hoofdbodemtypen (Conijn en Lesschen, 2015).

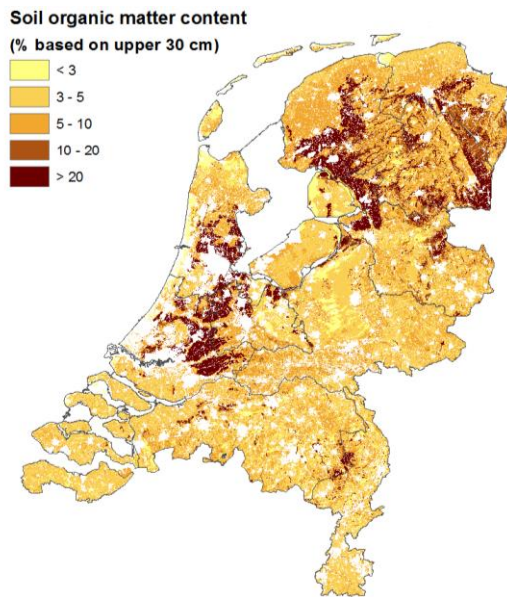
Tabel 1. Het organische stofgehalte in de Nederlandse bodem per bodemtype en naar de landgebruiksvormen grasland, akkerbouw en natuur. De letters geven significante verschillen weer (naar Conijn en Lesschen, 2015).

Bodemtype	Totaal	Grasland	Akkerbouw	Natuur
Kalkhoudende zandgrond	2.4a	2.8a	2.3a	2.2a
Brikgrond	3.7ab	3.7a	3.7a	4.0a
Kalkloze zandgrond	3.7ab	4.4b	3.7b	2.7a
Oude kleigrond	4.0ab	4.1a	4.2a	3.1a
Eerdgrond	4.3ab	4.3a	4.2a	4.9a
Leemgrond	4.6ab	4.3ab	3.6a	5.9b
Zeekleigrond	5.4ab	7.1b	4.2a	7.0b
Podzol grond	5.6ab	6.2a	5.4a	5.0a
Rivierklei grond	6.7b	7.1a	4.4a	11.7b
Moerige grond	15.5c	13.8a	15.8a	23.6a
Veengrond	26.1d	24.9a	21.4a	42.5b

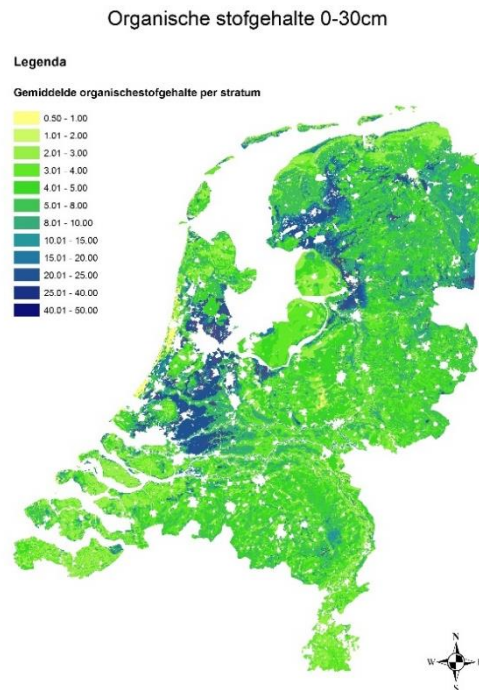


Figuur 5. Organische stofgehalte per provincie en landgebruikstype (naar Conijn en Lesschen, 2015).

Het gehalte aan organische stof per landgebruikstype varieerde tussen de provincies van Nederland van 6% (Limburg) tot 14% (Zuid-Holland) voor grasland, van 4% (Noord-Holland) tot 10% (Drenthe) voor akkerland en van 5% (Gelderland en Zeeland) tot 15% (Friesland) voor natuur (Figuur 5).



Figuur 6. Organische stofgehalte in de bovenste 30 cm van de bodem in 1998 (naar Conijn en Lesschen, 2015).



Figuur 7. Organische stofgehalte in de bovenste 30 cm van de bodem in 2018 (naar Tol-Leenders et al., in prep.).

Figuur 6 geeft het organisch stofgehalte op basis van de LSK-data in de bovenste 30 cm van de bodem weer. De kaart laat zien dat er enkele gebieden zijn waar het organische stofgehalte gemiddeld onder de 3% ligt, wat wel als kritische ondergrens wordt gezien. Het grootste gedeelte (de veengebieden niet meetellend) ligt echter tussen de 3% en 5%.

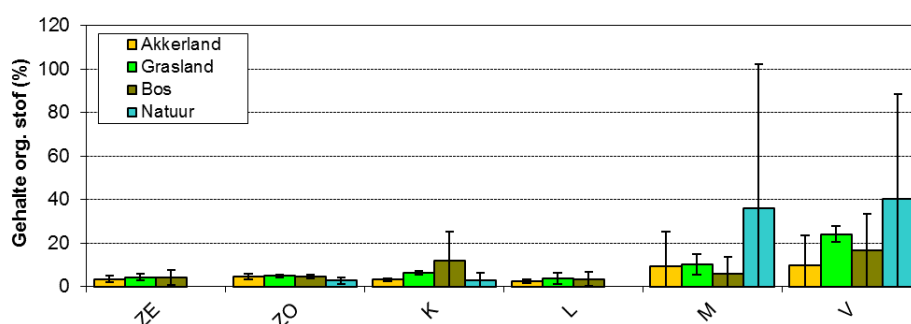
In 2018 zijn de metingen van de LSK uit 1998, in opdracht van het ministerie van LNV, herhaald in het kader van het programma Slim landgebruik (Slim landgebruik, 2019; Tol-Leenders et al., in prep.). Hierbij kon 85% van de oorspronkelijk punten opnieuw gevonden en gemeten worden. Figuur 7 geeft het organische stofgehalte in 2018 voor de bodemlaag 0-30 cm weer.

Tol-Leenders et al. vergeleken het organisch stofgehalte van 2018 met 1998 (Tabel 2). De resultaten laten voor de lagen (0-30 cm en 30-100 cm) een gelijkblijvend organisch stofgehalte in de bodem zien, maar een significante afname van de totale organische stofvoorraad ($p=0,05$).

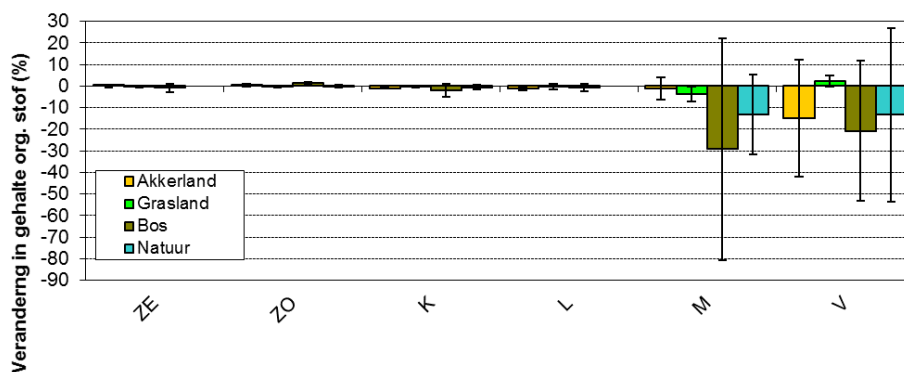
De koolstofvoorraad werd daarbij berekend op basis van de laagdikte van de bodem, het geanalyseerde koolstofgehalte (in 2018 volgens C-elementair met een omrekenfactor van C/org. stof van 0,5) en de dichtheid. De gegevens van het organische stofgehalte en de koolstof voorraad lijken met elkaar in tegenspraak wat te maken kan hebben met de verschillende methoden van bulk dichtheidsbepaling.

Tabel 2: Geschatte gemiddelde gehalte organische stof (%) en voorraden (Mton) voor minerale bodems (zand + zavel + klei) in 1998 en 2018 met een totaal oppervlakte van 1.039.521 ha (36 % van totaal areaal) voor de lagen 0-30 cm en 30-100 cm. Standaardfout tussen haakjes (naar Tol-Leenders et al., in prep.).

Variabele	1998	2018	Verandering 2018-1998
Laag 0-30 cm			
Gemiddelde gehalte organische stof (%)	4.01 (0.11)	4.11 (0.13)	0.10 (0.13)
Voorraad organisch stof (Mton)	167.46 (3.97)	154.44 (3.67)	-13.02 (4.18)
Laag 30-100 cm			
Gemiddelde gehalte organische stof (%)	1.90 (0.09)	1.78 (0.08)	-0.11 (0.09)
Voorraad organisch stof (Mton)	188.81 (6.92)	168.87 (6.17)	-19.95 (7.34)



Figuur 8. Gehalten aan organische stof in de Nederlandse bodem in 2018 in de laag 0-30 cm, geschat op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden. Indeling naar landgebruik in 1998. De error bars geven 95%-betrouwbaarheidsintervallen aan. ZE: zandgronden met een eerdlaag die dikker is dan 30 cm; ZO: overige zandgronden; K: kleigronden; L: leemgronden; M: moerige gronden; V: veengronden (naar Tol-Leenders et al., in prep.).



Figuur 9. Verandering in gehalte aan organische stof (2018-1998) in de Nederlandse bodem in de laag 0-30 cm, op basis van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden. Indeling naar landgebruik in 1998. De error bars geven 95%-betrouwbaarheidsintervallen aan. Allen error bars die niet door de nul lijn gaan verschillen significant (bij 5% onbetrouwbaarheid). ZE: zandgronden met een eerdlaag die dikker is dan 30 cm; ZO: overige zandgronden; K: kleigronden; L: leemgronden; M: moerige gronden; V: veengronden (naar Tol-Leenders et al., in prep.).

De gegevens zijn ook geanalyseerd per grondsoort waarbij 6 bodemtypen (zandgronden met eerdlaag, overige zandgronden, kleigronden, leemgronden en moerige gronden (inclusief moerige podzolgronden) en veengronden) werden onderscheiden en vier landgebruiksklassen (grasland, akkerbouw, bos en natuur) (Figuur 8). In de laag 0-30 cm is de enige

significante verandering die werd gevonden een afname van het organische stofgehalte bij moerige gronden onder grasland. In de laag 30-100 cm is een afname gevonden voor grasland, akkerbouw en bos op klei en voor grasland op veen (Figuur 9).

2.3 Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit

Het landelijk meetnet bodemkwaliteit heeft ca. 200 meetpunten verdeeld over Nederland gemonitord voor de perioden 1993-1999, 1999-2003 en 2006 – 2010. De resultaten van de verschillende perioden zijn met elkaar vergeleken. Tussen de eerste en de tweede ronde werden geen significant verschillen in organische stofgehalte gevonden (De Jong en Van der Hoek, 2009). De resultaten van de derde meetronde waren zodanig afwijkend van de eerste ronde dat de gegevens als onbetrouwbaar zijn geclassificeerd (Wattel-Koekkoek et al., 2012).

2.4 Regionale studies

Hanegraaf et al. (2009) analyseerden data op basis van herhaalde metingen op perceel niveau voor de periode 1984 - 2004. In de provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland en Brabant werden vaste percelen grasland, mais, en mais-grasland wisselteelten ten minste 4 keer gemeten. In alle provincies en voor alle categorieën lieten de data een gemengd beeld zien, waarbij percelen een stijgend organische stofgehalte lieten zien, andere percelen gelijk bleven, en weer andere een dalende trend vertoonden. Hanegraaf et al. concluderen dat het beter is om risicopercelen aan te duiden dan risicogebieden of risicoteelten, met uitzondering van mais op zand. Bij mais op zand werd namelijk wél een relatief hoog aandeel dalende trends gevonden, en liepen alle percelen het risico op den duur beneden een gehalte van 3,4% organische stof uit te komen.

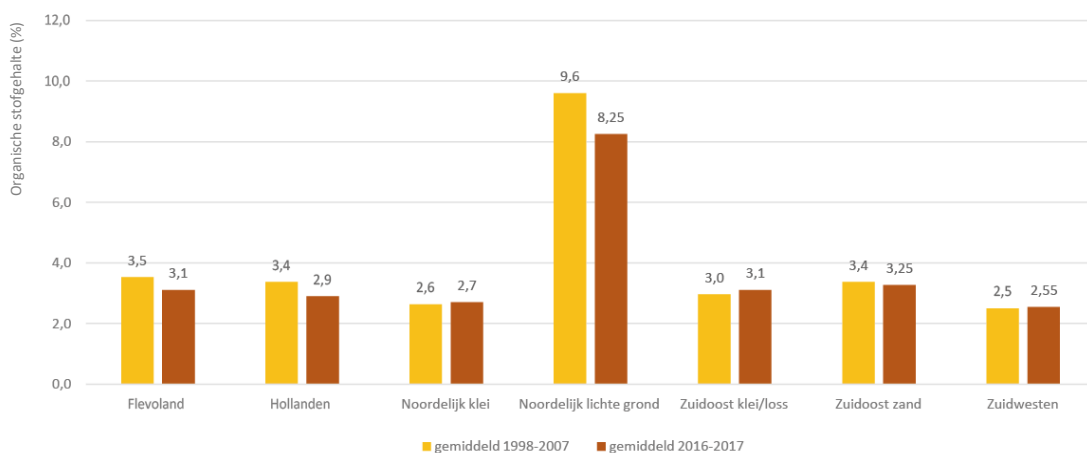
Maljaars (2017) onderzocht in het kader van een bachelorthesis het verloop van het organische stofgehalte bij 75 Zeeuwse akkerbouwbedrijven op basis van data van Eurofins Agro voor de periode 1984 - 2017. Zes percelen lieten een significante stijging in organische stofgehalte zien ($p=0,05$), op acht percelen werd een daling gevonden en 48 percelen vertoonden geen significante trend. De gemiddelde trend was langzaam stijgend: de stijgers stegen sneller dan de dalers daalden. Deze studie onderschrijft de conclusie van Hanegraaf et al. (2009) dat wanneer het organische stofgehalte op regionaal niveau stijgt, dit nog niet wil zeggen dat er op perceelniveau geen dalende tendensen worden aangetroffen.

Van Geel en de Haan (2007) vonden een afname in organische stofgehalte voor de periode 1994 - 2004 op proefbedrijf Vredepeel, waar sinds 1988 het organische stofgehalte werd gemeten. Verschillende akkerbouwsystemen werden en worden daarbij met elkaar vergeleken, waaronder hoge en lage organische stofaanvoer, en biologisch en gangbaar management. Voor 5 systemen daalde het organische stofgehalte in 10 jaar van ca. 4,5% naar ongeveer 3,5% in 2004. Voor 5 verschillende proefvarianten werd een voorspelling van het

verloop van het organische stofgehalte berekend op basis van de modellen van Janssen (1984) en Yang (Yang en Janssen, 2000). Deze modellen voorspellen dat het organische stofgehalte in de 25 jaar vanaf 2004 nogmaals rond de 0,7% zal dalen.

Bos et al. (2007) vergeleken het organische stofgehalte in de bodem tussen biologisch- en gangbare percelen, en vonden geen significant verschil. Daarnaast werd het verloop van het organische stofgehalte gemeten op 11 biologische bedrijven, verspreid over het land. Dit gaf een wisselend beeld waarbij op ongeveer de helft van de bedrijven een stijging werd gevonden, in de andere helft een daling. Of deze trends statistisch significant waren is niet duidelijk. Ook hier is met behulp van het model van Janssen de verwachte koolstofopbouw na 25 jaar berekend. Het model voorspelde een afname van de koolstofvoorraad op biologische bedrijven van 300 kg per ha per jaar en op gangbare bedrijven 450 kg per ha per jaar.

In het teeltregistratieprogramma Unitip van Suiker Unie worden sinds 1998 jaarlijks verschillende chemische bodemindicatoren van suikerbietenpercelen geregistreerd. Figuur 10 laat de trend in de ontwikkeling van het organische stofgehalte zien. In 4 van de 7 regio's is een lager organisch stofgehalte gemeten in 2016-2017 ten opzichte van de periode 1998-2007.

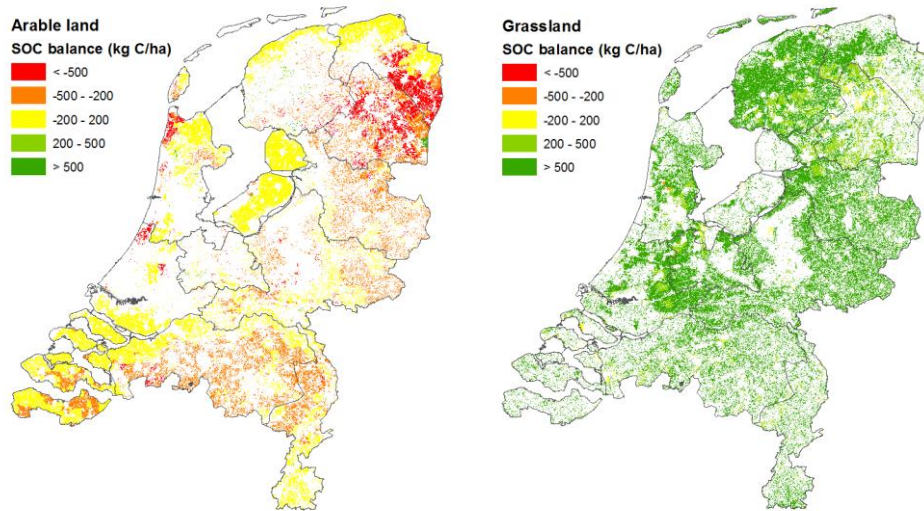


Figuur 10. Vergelijking organisch stofgehalte van suikerbieten percelen bemonsterd in het kader van het teeltregistratie programma Unitip van de Suikerunie

2.5 Prognose

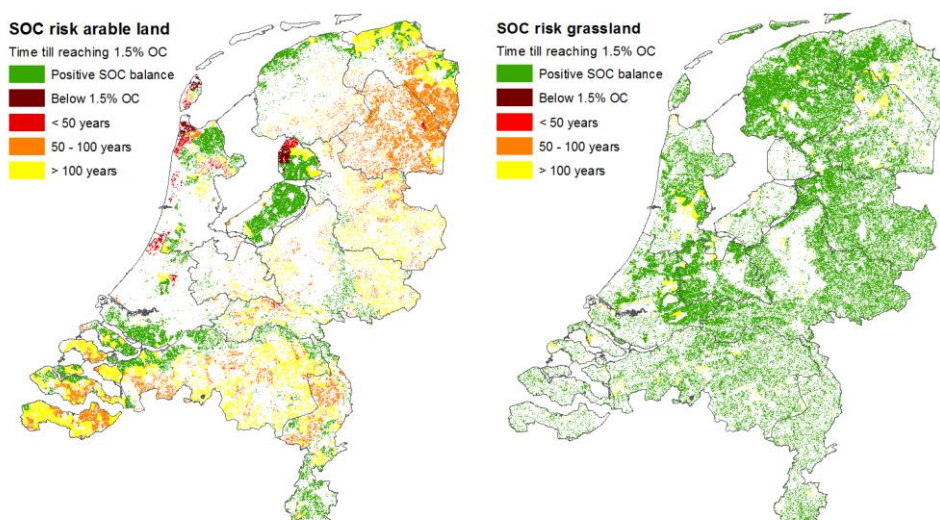
Conijn en Lesschen (2015) deden een risicoanalyse naar afnemende koolstofvoorraden in de bodem op basis van de LSK-gegevens in combinatie met een modelstudie met het model RothC (Coleman and Jenkinson, 1996). RothC simuleert de koolstofdynamiek in de bodem op basis van verschillende gegevens, zoals bodemtype, temperatuur, vochtgehalte, gewasbedekking en de door de gebruiker toegediende hoeveelheid organische stof. Eerst is een koolstofbalans per ha opgesteld waarbij de verandering in hoeveelheid koolstof per jaar met behulp van het model is uitgerekend (Figuur 11). Deze kaarten waren onderdeel

van een kartering op Europees schaalniveau hetgeen een andere resolutie als uitgangspunt heeft dan figuren 6 en 7. Daarmee is sprake van een globale prognose.



Figuur 11. Koolstofbalans berekend met model RothC op basis van de LSK-data in akkerbouw (links) en grasland (rechts) (naar Conijn en Lesschen (2015)).

De uitkomsten laten een duidelijk verschil zien tussen landgebruik, waarbij onder grasland koolstof voornamelijk wordt vastgelegd en onder akkerbouw een neutraal effect, of een lichte afbraak, van koolstof wordt gevonden. Vervolgens is op basis van de voorraad en afnamesnelheid uitgerekend wanneer een kritische grens bereikt zal worden, uitgaande van een kritische waarde van 1,5% koolstofgehalte in de bodem (Figuur 12).

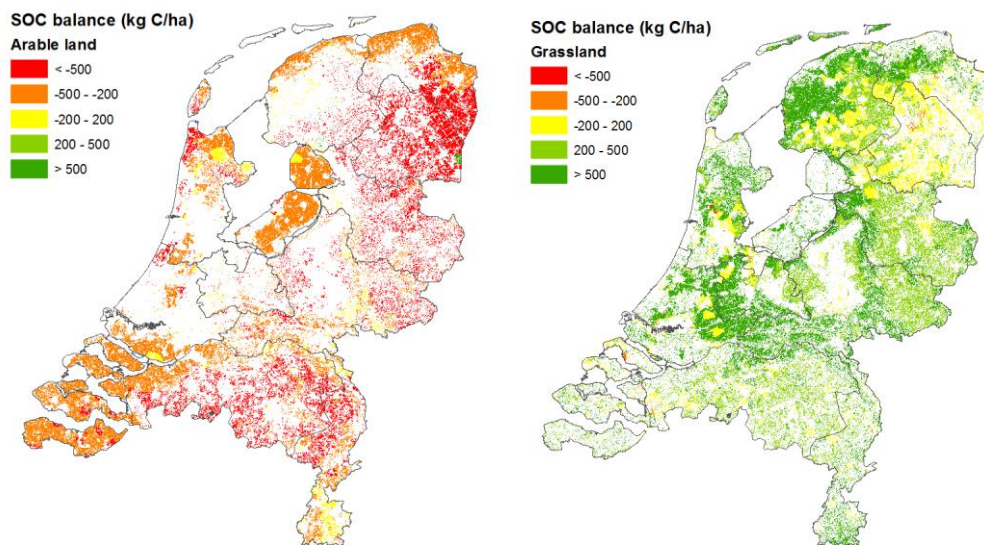


Figuur 12. Landkaart van Nederland met verwachte tijd tot het koolstofgehalte beneden de 1,5% raakt in akkerbouw (links) en grasland (rechts) (naar Conijn en Lesschen (2015)).

De kaarten laten zien dat vooral in de akkerbouw op termijn een zeer laag koolstofgehalte verwacht kan worden, hoewel dit voor het overgrote deel langer dan 50 jaar zou duren. In

de praktijk vindt ook wisselteelt tussen grasland en akkerbouw plaats, wat deze voorspellingen behoorlijk zou beïnvloeden. De onderzoekers hadden echter onvoldoende gegevens beschikbaar om dit in de modelberekeningen mee te nemen.

Tot slot zijn ook vergelijkbare berekeningen gedaan, maar dan bij een mondiale opwarming van 2°C, rekening houdend met het feit dat organische stof bij een hogere temperatuur sneller afbreekt (Figuur 13). Hierbij werd voor de akkerbouw een sterkere afname van de koolstofvoorraad gevonden en onder grasland een afnemende vastlegging. Volgens de modelberekeningen zou de jaarlijkse balans gemiddeld met 290 kg C per ha per jaar afnemen. Om hiervoor te compenseren zou een extra 0,6 ton Effectieve Organische Stof nodig zijn.



Figuur 13. Koolstofbalans bij een opwarming van 2 °C volgens berekeningen met het model RothC (Coleman and Jenkinson, 1996) op basis van de LSK-data in de akkerbouw (links) en grasland (rechts) (naar Conijn en Lesschen (2015)).

Effectieve Organische Stof is de organische stof uit mest, compost, gewasresten en groenbemesters die één jaar na toediening nog onderscheidenlijk in de bodem aanwezig is.

3 Kwantiteit en kwaliteit van organische stof

Organische stof in de bodem is geen uniform geheel. Onder de noemer organische stof valt een hele variëteit aan substanties die sterk kunnen variëren in bijvoorbeeld het stikstof- of fosfaatgehalte, pH en vochtgehalte. De organische stof kwaliteit kan daarmee verschillen. Afhankelijk van de herkomst, kwaliteit en omstandigheden kan de snelheid waarmee organische stof door micro-organismen in de bodem wordt afgebroken ook sterk verschillen.

Organische stof en zijn kwaliteit heeft een belangrijke invloed op de bodemvruchtbaarheid. Het vervult verschillende functies in de bodem en is bepalend voor onder anderen het bodemleven, de bodemstructuur, waterhuishouding en de nutriëntenlevering en -binding (Koopmans en Van Schie, 2007). Het is een verzamelnaam voor verschillende soorten materiaal van organische afkomst, dat voor 40-65% uit koolstof bestaat. Gewasresten en wortels vormen de belangrijkste bron van organische stof, in de landbouw aangevuld met organische inputs zoals mest en compost. Dit organische materiaal wordt, in aerobe bodem, in de loop van de tijd afgebroken door in de bodem aanwezig bodemleven. Hierbij komen de in het materiaal aanwezige voedingsstoffen voor planten beschikbaar.

Bodemleven

Organische stof heeft een belangrijk effect op de bodemleven activiteit. Hoe hoger het organische stofgehalte in de bodem des te hoger de microbiële biomassa, de hoeveelheid schimmeldraden en enzymactiviteit (Bonanomi et al., 2011; Scotti et al., 2015). Het is daarmee de primaire voedingsbron voor het bodemleven en ondergrondse biodiversiteit. Ook kan organische stof de algemene ziekteverendigheid van gronden, indirect via het bodemleven, stimuleren. Bodemleven is op haar beurt ook weer voedsel voor bovengrondse fauna zoals weidevogels.

Organische stof kwaliteit wordt bepaald door de chemische samenstelling en mate van stabiliteit in de bodem. Zeer stabiele organische stof wordt moeilijk door het bodemleven afgebroken. Labiele organische stof wordt snel omgezet en is daarmee ook oplosbaar in water. De weerbaarheid van een bodem hangt samen met de activiteit van het bodemleven en daarmee met de mate van organische stof afbraak. Echter studies vonden uiteenlopende resultaten betreffende de weerbaarheid van gronden in relatie tot organische stof type (Meghvansi and Varma, 2015).

Het lange termijn experiment Mest als Kans (Koopmans en Bloem, 2018) laat echter zien dat de samenstelling van het bodemleven ook moeilijk stuurbaar is door kwaliteit van de opgebrachte organische stof. Met name de hoeveelheid organische stof die wordt toegediend bleek bepalend voor de opbouw van de organische stof in de bodem. Daarbij lijkt ook na 20 jaar de kwaliteit van de organische stof die wordt toegediend slechts in beperkte mate van invloed op bacteriën- en schimmelbiomassa en -activiteit. Effecten lijken vooral zicht-

baar in de samenstelling van de nematoden populatie. Deze bevindingen komen grotendeels overeen met bevindingen binnen het Landelijk meetnet bodemkwaliteit (Koopmans et al., 2006; Rutgers et al., 2007).

Bodemstructuur

De fysische bodemkwaliteit zoals dichtheid, draagkracht, infiltratie capaciteit en aggregaat stabiliteit wordt sterk beïnvloed door het organische stofgehalte in de bodem (Leroy et al., 2008; Koopmans et al., 2018a). Een review artikel van Edmeades (2002) beschrijft de positieve effecten van organische stof op verschillende fysische eigenschappen. Dit geeft een groter watervasthoudend vermogen maar maakt ook de doorworteling van de grond gemakkelijker. Op haar beurt kan een betere doorworteling van de bodem betekenen dat nutriënten voor plantenwortels beschikbaar blijven en dus de kans op uitspoeling wordt beperkt. Ook is organische stof daarmee van groot belang voor de verkruijmelbaarheid, slempgevoeligheid en bewerkbaarheid van de grond.

De verdeling van organische stof in het bodemprofiel wordt medebepaald door de groundbewerking (www.handboekbodemenbemesting.nl). Intensieve groundbewerking door ploegen heeft invloed op de bodemstructuur met name in de toplaag. Een kerende groundbewerking zal ook de mineralisatie van organische stof versnellen. In principe kan de afbraak van organische stof worden verminderd door de grond minder intensief te bewerken, bijvoorbeeld door niet of minder diep te ploegen (Crittenden et al., 2015). Onderzoeken laten wisselende resultaten zien (Cooper et al., 2016; Sun et al., 2011). In verschillende onderzoeken wordt een toename van organische stof gevonden, maar er zijn ook voorbeelden waarbij geen toename van organische stof wordt gevonden (Koopmans et al., 2019).

Watervasthoudend vermogen

Organische stof heeft een belangrijke functie bij de waterhuishouding. Het fungeert enigszins als een spons: het houdt water vast bij droogte en kan water bufferen bij overtollige regenval. Organische stof kan tot 20 keer zijn eigen gewicht aan water bevatten. Hoe meer organische stof des te meer water dus beschikbaar is voor plantengroei. Op zandgrond kan met een toename van het organische stofgehalte in de laag 0-10 cm met 1% ca. 6 mm meer vocht worden vastgehouden (van Eekeren et al., 2018).

Voedingsstoffen

Afhankelijk van de samenstelling is organische stof in meer of mindere mate afbreekbaar. Makkelijk afbreekbare organische stof levert snel voedingsstoffen voor planten en stimuleert het bodemleven. Stabiele organische stof zorgt voor een beter watervasthoudend vermogen en houdt voedingsstoffen vast zoals kalium en sporenelementen. Daarnaast draagt stabiele organische stof bij aan een goede bodemstructuur (www.bodemacademie.nl). In een verdichte bodem kan zuurstofgebrek ontstaan als er veel makkelijk afbreekbare organische stof aanwezig is, omdat de micro-organismen de aanwezige zuurstof gebruiken voor de afbraak van de organische stof. Dat risico is er niet bij meer stabiele organische stof. Die

zorgt voor langzaam vrijkomende voeding voor planten en het bodemleven, en voor een gevarieerd bodemleven.

Organische stof in de landbouw dient ook primair om een goede productie te waarborgen. Naast de fysische en biologische effecten van organische stof op de bodemkwaliteit, brengt organische stof voedingsstoffen in de toplaag van de bodem waardoor de gewasopbrengst omhoog gaat. De hoeveelheid nutriënten die daadwerkelijk beschikbaar zijn voor een gewas hangt af van de kwaliteit en de afbraaksnelheid. Op grasland geldt de vuistregel dat elk % organische stof in de laag 0-10 cm op zandgrond 25-30 kg stikstof levert en op kleigrond 10-15 kg per ha per jaar (Van Eekeren et al., 2018).

De gewasbehoefte verschilt echter op verschillende momenten in het groeiseizoen en tussen verschillende bodemsoorten en landgebruik. Juist in een vruchtwisseling kan gebruik worden gemaakt van de opbouw van organische stof. Zo kan met rustgewassen als gras(klaver) of granen organische stof worden opgebouwd dat weer wordt afgebroken in een volggewas zoals mais, bieten of aardappelen.

Organische stof draagt ook sterk bij aan de kationenuitwisselingscapaciteit van de bodem (CEC) waardoor de bodem kationen als kalium, calcium, magnesium en ammonium kan vasthouden. Met name op zand is dit van belang omdat er in dat geval geen bijdrage van klei of leem is in het vasthouden van nutriënten en daarmee de kans op uitspoeling van nutriënten toeneemt (Koopmans en Van Schie, 2007).

Klimaatmitigatie

Bodemorganische stof is een belangrijk onderdeel van de koolstofkringloop wereldwijd. In de bodem organische stof is twee keer zoveel koolstof als in de atmosfeer en drie keer zoveel als in levende organismen (Lal, 2008). Het verhogen van het organisch stofgehalte is een maatregel om klimaatverandering tegen te gaan. Met een gemiddelde voorraad van 93 ton C per ha in de laag 0-30 cm is dit 375 kg C per ha per jaar ofwel 750 kg effectieve organische stof extra per ha per jaar (Lesschen et al., 2016). Een dergelijke verhoging is met een set aan maatregelen mogelijk waaronder het niet-scheuren van grasland in de veehouderij en aanpassingen in het bouwplan in de akkerbouw (Lesschen et al., 2012; Koopmans et al., 2019). Verwacht mag worden dat deze en andere maatregelen gedurende 60 tot 80 jaar effectief kunnen bijdragen waarna een nieuw evenwicht in opbouw en afbraak wordt bereikt (Lal, pers. Comm.). Het verhogen van het organische stofgehalte is niet alleen een maatregel tegen klimaatverandering, maar ook tegen de gevolgen van klimaatverandering en weerextremen. Bodems met meer organische stof zijn beter bestand tegen toenevende extreme weersomstandigheden zoals langere droogteperiodes (vocht vasthouden) of juist zwaardere regenval (bodemstructuur).

Afbraak van organische stof is een continu proces. Een vuistregel is dat op bouwland jaarlijks netto 2% van de organische stof wordt afgebroken. Daarom moet organische stof worden aangevoerd om het gehalte op peil te houden.

Streefwaarden

Eenduidige, wetenschappelijk onderbouwde streefwaarden voor organische stof in bodems zijn niet voorhanden (Bloem et al., 2017). Een complicerende factor is dat elke functie van organische stof zijn eigen streefwaarde heeft, die bovendien ook nog eens afhankelijk is van grondsoort en gebruik. Bij gebrek aan een streefwaarde is de belangrijkste vraag eerder waar de ondergrens ligt, hoewel een bovengrens ook niet uit het oog verloren mag worden. Immers, te hoge organische stofgehalten kunnen risico's met zich meebrengen in verband met draagkracht van de bodem, de uitspoeling van stikstof, de bewerkbaarheid van de bodem en kwaliteit van gewassen en producten.

Ondanks het gebrek aan goed onderbouwde streefwaarden, zijn er wel enige expert schattingen van minimaal gewenste gehalten in de bouwvoor aan te geven. Voor Nederland ligt dat bijvoorbeeld rond de 1% voor duinzand, 2% voor dekzand, 2,5% voor löss en 2% voor jonge zeeklei. Net over de grens, in Vlaanderen wordt voor leem, zand en klei een kritische ondergrens aangehouden van respectievelijk 1,5, 1,7 en 2,0 procent. In Duitsland worden in het kader van cross compliance regelgeving minimale gehalten aangehouden van 1 tot 1,5 procent (Schils, 2012).

4 Discussie

Het vaststellen van het verloop van het organische stofgehalte in de Nederlandse landbouw-bodems blijkt geen gemakkelijke opgave. Nederland heeft een enorme diversiteit aan bodemtypen en landgebruiksvormen en daardoor zijn regionale verschillen groot. Ook de impact vaststellen blijkt door veranderingen in landgebruik niet altijd een gemakkelijke opgave. Het doel en schaalniveau waarop gekeken wordt bij het vaststellen van het verloop in organische stof spelen een grote rol.

De resultaten van Reijneveld et al. (2009) en Brolsma et al. (2017) lijken een indicatie dat zorgen rondom het huidige mestbeleid niet gegrond zijn. Echter, deze studies hebben behoorlijke onzekerheidsfactoren, vooral doordat het niet herhaalde metingen op dezelfde locaties betreft. Hierdoor ontstaat een vertekend beeld doordat onder anderen de effecten van veranderend landgebruik niet meegenomen zijn. De meetronde binnen Slim landgebruik (Slim landgebruik, 2019; Tol-Leenders, in prep.) is een waardevolle bron van informatie. Hierbij wordt de significant stijgende trend zoals gevonden door Reijneveld et al. (2009) niet teruggevonden. Dit is mogelijk veroorzaakt doordat de dataset kleiner is (iets meer dan 1000 in plaats van 300.000 monsters), het een andere meetperiode omvat, maar het kan ook zijn dat het beeld van Reijneveld et al. (2009) inderdaad vertekend was. Wel bevestigt de Slim landgebruik studie het beeld dat het organische stofgehalte in Nederland gemiddeld genomen niet daalt.

In beide studies zijn de data ook per regio, per sector en per grondsoort geanalyseerd, en hier herhaalt zich hetzelfde patroon: Reijneveld et al. (2009) en Brolsma et al. (2017) vinden enkele significante stijgingen, Tol-Leenders et al. (in prep.) niet. Wel wordt in beide studies een significante daling gevonden in moerige gronden in Noord- en West-Nederland, vermoedelijk door de afbraak van veenresten.

Studies op regionale schaal laten zien dat op bedrijfsniveau wel degelijk afnames in organische stofgehalte kunnen worden gevonden, ook wanneer het gemiddelde organische stofgehalte voor de regio als geheel niet daalt. Zo vonden Hanegraaf et al. (2009) gemengde resultaten in alle categorieën voor 4 provincies waar permanent grasland, mais-gras- wisselteelt en continu maisteelt onderzocht werden. Voor continu maisteelt werden dusdanig veel dalende gehalten gevonden dat ze concludeerden dat dit op zand een risicoteelt is. Ook Maljaars (2017) vond akkerbouwpercelen met een dalend organisch stofgehalte maar dan in Zeeland, terwijl de gemiddelde trend licht stijgend was. Op akkerbouw-proefbedrijf Vredepeel zijn ook dalende trends gevonden, evenals in de suikerbietenteelt binnen Unitip.

Van Geel en de Haan (2007) en Bos et al. (2007) laten zien dat deze afname overeenkomt met voorspellingen op basis van het model van Janssen (1984) en Yang en Janssen (2000). Dit is weliswaar een eenvoudig model, dat gevoelig is voor de afbraaksnelheid zoals in het model bepaald, maar de onderzoekers geven aan dat de afbraak 2 tot 3 keer lager zou moeten zijn

om in hun proeven een evenwichtssituatie te bereiken. Ook Conijn en Lesschen (2015) voorspellen met modelberekeningen met het model RothC dat voor akkerbouw het organische stofgehalte eerder de neiging zal hebben te dalen dan te stijgen.

Organische stof bouwt zeer langzaam op en een toename kan daarmee meerdere decennia in beslag nemen. Daar komt bij dat de ruimtelijke heterogeniteit vaak groot is. Er wordt dus geprobeerd een klein verschil in de tijd aan te tonen in een situatie met grote ruimtelijke verschillen. Dat maakt het moeilijk significante verschillen te onderscheiden. Daarnaast zijn in de afgelopen jaren allerlei omgevingsfactoren veranderd zoals het landgebruik, mestbeleid, gebruik van groenbemesters, etc. Hierdoor valt moeilijk te zeggen of een bepaald gehalte organische stof toe te schrijven is aan het huidige landgebruik, of juist aan het historisch landgebruik. Een complicerende factor is dat er landelijk een trend is van permanent grasland naar wisselteelt tussen grasland en akkerbouw. Dit maakt het lastig om uitspraken te doen per sector, want in feite lopen bouwland en grasland hierbij door elkaar.

Een andere complicerende factor is dat in de loop der jaren verschillende bemonsteringsmethoden zijn gehanteerd. Zo werd in grasland in het verleden tot 5 cm diep gemeten en in recente jaren tot op 10 cm. De bemonsteringsdiepte in de akkerbouw kan ook variëren tussen 20, 25 en 30 cm diepte. Wil men een goed beeld krijgen van de ontwikkeling van organische stof onder grasland dan zal ook hier in de toekomst standaard dieper gemeten dienen te worden om tot een consistent beeld te komen. Een toename in 0-10 cm diepte kan immers gemakkelijk gepaard gaan met een afname in diepere lagen die na omzetten van grasland in bouwland weer gemakkelijk uitmiddelen. Ook kan het hoge aandeel (verse) (gras)wortels een vertekend beeld opleveren indien gronden niet gezeefd worden voor analyse. Een deel van de organische stof zal daarmee steeds snel afbreekbaar blijken te zijn. Feitelijk speelt bij de opbouw van organische stof het gehele bodemprofiel een rol. Zo is bij vergelijking van systemen de ondergrond ook belangrijk, bijvoorbeeld bij vergelijkingen met biologische landbouwsystemen of agroforestry.

Tenslotte zijn meerdere technieken beschikbaar om het organische stofgehalte te meten (C-elementair, gloeiverlies en NIRS), die soms verschillende uitkomsten geven. Dit maakt het moeilijk om gegevens uit verschillende studies met elkaar te vergelijken.

Naast een discussie op basis van metingen in het landelijke gebied speelt ook de organische stofbalans benadering een rol in de discussie over organische stofbeheer op Nederlandse gronden. Deze benadering gaat uit van de biomassa input via gewassen en gewasresten en de hoeveelheid organische stof input die via bemesting of extra gewassen zoals groenbemesters in de bodem terecht komt. Hierbij is een inschatting van de biomassa en de effectieve organische stof per type input van belang voor de balans. De balans is gevoelig voor de aannames omtrent de afbraaksnelheid. Sukkel et al. (2008) laten zien dat die balans op veel akkerbouwbedrijven weleens negatief kan zijn. Recent wordt daarom in de PPS Beter Bodembeheer (www.beterbodembeheer.nl) en in het programma Slim landgebruik (Slim landgebruik, 2019)

aandacht besteedt aan het actualiseren van biomassa data voor gewassen en een evaluatie van de aangenomen 2% afbraaksnelheid van organische stof. Vooralsnog zijn er geen duidelijke aanwijzingen dat de aangenomen afbraaksnelheid van 2% niet zou voldoen. Echter, een perceelsspecieke schatting van de omvang van de afbreekbare organische stof kan het inzicht in de stikstofmineralisatie en koolstofvastlegging vergroten (Hanegraaf et al., 2019). Binnen Slim landgebruik is daarnaast ingezet op een actualisatie en vergelijk van een modelmatige benadering waarbij o.a. de modellen RothC, NDICEA en CANDY zijn vergeleken aan de hand van lange-termijn experimenten. Dit heeft als doel om tot een meer dynamische en gevalideerde praktijkbenadering te komen (Lesschen et al., in prep.).

Uit resultaten van het teeltregistratieprogramma Unitip van de Suiker Unie (Unitip, 2019) blijkt dat in de meeste gebieden het organische stof gehalte de laatste jaren gemiddeld lager is dan in de periode rond het jaar 2000. Datzelfde dalende verloop wordt ook gevonden voor de Pw cijfers. Deze ontwikkeling ligt in lijn met de door Unitip berekende tekorten in de balans van aan- en afvoer over het gehele bouwplan bij deelnemers (Brooijmans pers. comm.) Om de kwaliteit van de Nederlandse akkerbouwgronden op peil te houden dient de balans, rekening houdend met onvermijdelijke verliezen, minstens in evenwicht te zijn. Daarnaast is er ook de ambitie om organische stof in landbouwbodems te laten toenemen. Voor de opbouw van organische stof zal daarom aanvullende ruimte voor aanvoer van mineralen noodzakelijk kunnen blijken te zijn.

LTO Nederland ziet dat het in de komende jaren om een bodembeleid gaat waarmee meerdere onderliggende doelstellingen kunnen worden nagestreefd (LTO, 2019). Bodembeleid met als uitgangspunt de op het bedrijf aanwezige bodemomstandigheden en daarbij rekening houdend met de randvoorwaarden die vanuit bijvoorbeeld de waterkwaliteit worden gesteld. Het is in de ogen van LTO Nederland beter om ondernemers aan te spreken op de te behalen doelen (doelvoorschriften) dan middelen voorschriften. In het beeld van LTO kunnen ondernemers via een forfaitair of bedrijfsspecifiek systeem sturen om aan doelstellingen van het toekomstige bodembeleid te voldoen. De onderbouwing van een bedrijfsspecifieke verantwoording kan daarbij bestaan uit bijvoorbeeld balansberekeningen zoals deze in de kringloopwijzer voor melkvee of bodembalansen voor akkerbouw of tuinbouw kunnen worden berekend. In deze onderbouwing nemen ketenpartijen in deze zienswijze ook een rol. Voor een aannemelijke verantwoording in de praktijk is ook de inzet van bijvoorbeeld steekproefsgewijze grondmonsters denkbaar. Hiermee wordt gecheckt of de berekeningen op papier ook in het veld teruggevonden kunnen worden en dus aannemelijk zijn (LTO, 2019).

Een ondernemer kan verder worden uitgedaagd om passende bedrijfsmaatregelen zo optimaal mogelijk in te zetten, waardoor een toekomstbestendig bedrijf kan worden opgebouwd binnen de gestelde kaders. De ondernemer is hierbij bewust van zijn eigen verantwoordelijkheden en krijgt inzicht in de gevolgen van zijn keuzes. Belangrijk is dat eenieder zich van zijn rol bewust wordt omdat landbouw een samenhangend geheel is (LTO, 2019).

5 Kansen en oplossingen

Oplossingen om het organische stofgehalte in Nederland op peil te houden of te verhogen kunnen worden gezocht op een aantal deelterreinen:

- Toepassen van maatregelen gericht op organische stofbeheer;
- Eenduidigheid in organische stof metingen;
- Ondersteunende tools;
- Kennis en bewustwording bij de beheerders;
- Zicht op kosten, baten en verdienmodellen.

5.1 Toepassen van maatregelen gericht op organische stofbeheer

Welke maatregelen op korte termijn het beste en meest effectieve resultaat opleveren is nog onduidelijk. Het effect van een bepaalde maatregel is altijd afhankelijk van de uitgangspositie, het bodemtype, de gewasrotatie, het bemestingsplan, de weersomstandigheden, etc. Bovendien duurt het veelal jaren voordat zich ook daadwerkelijk een stabiele fractie organische stof heeft gevormd. Effecten van maatregelen zijn daarmee niet binnen een kort tijdsbestek en onafhankelijk van elkaar te meten.

Rietberg et al. (2013) en de update van Staps (2018) geven een overzicht van maatregelen die onderdeel kunnen zijn van goed organische stof beheer op agrarische bedrijven, zowel in de veehouderij als de akkerbouw. De BOOT-lijst (BOOT, 2017) is een voorbeeld van een lijst met maatregelen vastgesteld om o.a. de bodemkwaliteit te verbeteren. Deze lijst biedt eveneens een ruime keuzemogelijkheid van maatregelen die als maatwerk op agrarische bedrijven uitgevoerd kunnen worden. Van Eekeren et al. (2018) geven een handleiding voor praktische implementatie van organische stofmanagement specifiek voor de melkveebedrijven. Lesschen et al. (2012) en Koopmans et al. (2018) geven een overzicht van de potentiële hoeveelheden vast te leggen CO₂ door organische stof beheer van Nederlandse bodems op basis van literatuur en berekeningen met het MITERRA-NL model (Lessen et al., 2012).

Uit een evaluatie van Lange Termijn Experimenten (Koopmans et al., 2019) blijkt dat de tabel Lesschen (2012) niet zonder meer van toepassing kan worden verklaard voor Nederlands condities. Uit de analyses blijkt dat de leeftijd van grasland verhogen (dus 'scheuren' uitstellen) meer dan in de studie van Lesschen bijdraagt aan een potentiële organische stof vastlegging in de bodem. Ook lijkt een niet-kerende grondbewerking in de maisteelt na gras een perspectiefvolle maatregel te zijn voor de veehouderij sector. De bijdrage van divers grasland vergt nader onderzoek omdat er nog geen méérjarige effecten uit een proef voorhanden zijn. In de akkerbouw blijken aanpassingen in het bouwplan met meer rustgewassen zoals granen, een maatregel met relatief veel potentie voor organische stof vastlegging. Ook de inzet van méér vaste mest en compost ten koste van minerale mest of drijfmest en binnen de huidige wetgeving, bleek significant bij te kunnen dragen aan de opbouw. Minimale grond-

bewerking als koolstof vastleggende maatregel kon niet worden aangetoond onder Nederlands condities. Dit vergt nadere verdieping. Ook andere maatregelen, denk aan inzet van groenbemesters, gewasresten etc., vergen nog nader onderzoek daar deze in een eerste inventariserende studie nog niet konden worden meegenomen.

Naast het vaststellen van de potentiële koolstof vastlegging door enkelvoudige maatregelen is het noodzakelijk de interacties van maatregelen te bezien. Op bedrijfsniveau worden vaak combinaties van maatregelen toegepast.

Ook is het belangrijk om de maatregelen te combineren met de mogelijke implementatie in de praktijk. Naast een praktische keuze - waar is een maatregel mogelijk gezien het grondgebruik - is dit vooral ook een beleidsmatige/politieke keuze voor afspraken tussen overheid en vertegenwoordigers van de sector.

Tabel 3. Koolstof vastlegging per maatregel zoals gemeten in verschillende Lange Termijn Experimenten (LTE's) in Nederland en vergelijking met de literatuur uit Lesschen et al. (2012) en Koopmans et al. (2018b) (Naar Koopmans et al., 2019). Significanties worden aangeduid met sterretjes.

Maatregel	Omschrijving	Grondsoort	Laag	Vastlegging		Literatuur
				ton C ha ⁻¹ jaar ⁻¹	ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	ton CO ₂ ha ⁻¹ jaar ⁻¹
Bouwplan	3 → 6 jaar	Klei	0-30	0.00-1.74***	0.0-6.4***	1.2-1.8
	Extensivering	Zand	0-30	-3.02-3.15***	-11.1-11.6***	1.2-1.8
Niet-kerende grondbewerking	NKG	Klei	0-30	-0.11	-0.4	0.6
	NKG	Zand	0-30	-1.57	-5.8	1.7
Organische stof input	Drijfmest	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0
	GFT compost	Klei	0-30	-0.06	-0.2	0.4-2.0
	Vaste mest	Klei	0-30	0.17**	0.6**	1.4
	Groencompost	Zand	0-30	1.38	5.1	0.4-2.0
Leeftijd grasland	9-19 jaar	Klei	0-10	2.80***	10.3***	4.1
	9-19 jaar	Klei	0-30	1.67	6.1	
	>20 jaar	Klei	0-10	2.02***	7.4***	2.6
	>20 jaar	Klei	0-30	2.38*	8.7*	
	4-6 jaar	Zand	0-10	2.40	8.8	4.1
	4-6 jaar	Zand	0-30	1.01	3.7	
	>10 jaar	Zand	0-10	1.87**	6.9**	2.6
	>10 jaar	Zand	0-30	-0.09	-0.3	
Grondbewerking mais	NKG Frees	Klei	0-30	0.28	1.0	7.2
	NKG Woelen	Klei	0-30	0.69**	2.5**	
	NKG Frees	Zand	0-30	0.29	1.1	7.2
	NKG Woelen	Zand	0-30	0.00	0.0	

Blijvend grasland

Blijvend grasland zonder frequente graslandvernieuwing is de belangrijkste maatregel op melkveebedrijven om het gehalte aan organische stof van de bodem te verhogen. Onder grasland vindt netto-opbouw van organische stof plaats. Dit komt omdat gras veel niet-ge oogste gewasresten achterlaat, jaarrond de groeidagen kan benutten en een intensief wortelstelsel heeft met voortdurende groei en afsterven van weefsels. Bovendien is het bodemleven onder blijvend grasland zeer talrijk en divers in vergelijking tot bouwland of tijdelijk

grasland, hetgeen kan leiden tot een betere stabilisatie van de organische stof en daaraan gekoppelde diensten die de bodem levert.

Bij het scheuren van grasland voor graslandvernieuwing of bouwland treedt netto-afbraak van organische stof op. Het omploegen brengt lucht in de bouwvoor, samen met veel vers organisch materiaal (zode). Hierdoor wordt het bodemleven tijdelijk sterk geactiveerd, de organische stof afgebroken en komen grote hoeveelheden nutriënten vrij. De leeftijd van het grasland verhogen is de meest voor de hand liggende maatregel in de melkveehouderij om organische stof over de lange termijn te verhogen (Koopmans et al., 2019).

Bouwplan met rustgewassen

Om een goede bodemkwaliteit te handhaven zijn rustgewassen in een akkerbouwrotatie een basisvoorwaarde. Tot de rustgewassen kunnen granen, grassen en vlinderbloemigen (luzerne, grasklaver) worden gerekend (geen conservenerwten en wikke). In een bouwplan geven deze graan- of maaigewassen rust aan de bodem doordat ze weinig verstoring behoeven bij de oogst en in het algemeen een goede wortelontwikkeling en bodembedekking geven die de structuur ten goede komt. De oogst kan vaak onder relatief gunstige weersomstandigheden plaatsvinden (einde zomer) waardoor de bodemstructuur gedurende zo'n jaar sterk kan verbeteren. Ook bieden de rustgewassen meer nutriëntenefficiëntie waarmee stikstof minder verloren gaat.

Rustgewassen helpen organische stof op te bouwen doordat er minder organische stof wordt afgebroken bij de oogst. Als de bodem namelijk verstoord moet worden, zoals bij rooigewassen het geval is, versnelt de afbraak van organische stof omdat er zuurstof aan de bodem wordt toegevoegd. Naarmate het organische stofgehalte hoger is, kan het gevolg daarvan ernstiger zijn. Met andere woorden: hoe meer je ervan hebt, hoe meer je kwijt kunt raken. Een tweede reden waarom rustgewassen bijdragen aan organische stofopbouw is omdat er relatief veel gewasresten achterblijven op het land na de oogst.

Om rustgewassen mogelijk te maken kan samenwerking tussen de akkerbouw en veehouderij, met uitwisseling van gronden of het verbouwen van grondstoffen voor elkaar, een oplossing betekenen die echter in de praktijk ook juridische en praktische obstakels met zich mee kan brengen. Ook meer gemengde bedrijfssystemen (ook op moderne leest geschoeid) kan tot gevolg hebben dat extra rustgewassen interessant kunnen zijn voor de praktijk.

Om de organische stof in de bodem op te bouwen maar ook om verliezen van stikstof naar het (grond)water te voorkomen is de inzet van groenbemesters belangrijk. Dit kan via een tweede gewas als vanggewas of de teelt van een groenbemester gedurende het seizoen. Is de bodem bedekt dan kan residuele stikstof in de bodem worden vastgelegd, de structuur worden bewaard en de bodembioïologie gestimuleerd. Hiermee draagt een bedekte bodem bij aan de bodemkwaliteit, biodiversiteit en opbrengst voor de boer en betere efficiëntie en benutting van nutriënten voor een volgend gewas.

Grondbewerking

Grondbewerking helpt om de bodem voor te bereiden op het gewas. Maar te diep, te intensief en te vaak is meestal nadelig (Koopmans en van Schie, 2007). Ploegen leidt tot een luchtige en sneller opgewarmde bouwvoor waarin het bodemleven tijdelijk actiever wordt en zowel de bodemorganische stof als het verse plantmateriaal versneld afbreekt: er vindt een verhoogde mineralisatie plaats en er komen nutriënten vrij. Met minimale of niet-kerende grondbewerking (NKG) kan de afbraak van organische stof worden beperkt en de bodemstructuur meer intact worden gelaten. De studie van Koopmans et al. (2019) laat zien dat dit tot significant hogere koolstof vastlegging kan leiden in maisteelt na gras. Intensief ploegen heeft potentieel meerdere negatieve gevolgen op de bodemkwaliteit, zoals afname van de bodemstructuur, nutriëntenbeschikbaarheid, watervasthoudend vermogen en klimaatfuncties van de bodem door de afname van het organische stofgehalte.

Inzet mest en compost

Aanvoer van organische mest draagt bij aan opbouw van organische stof in de bodem omdat met plantenresten bevat die nog niet volledig gemineraliseerd (verteerd) zijn. De bijdrage is afhankelijk van de mestsoort. Dit is hoofdzakelijk vanwege de verschillen in droge stofgehalten, maar ook vanwege verschillen in samenstelling en oorsprong van de organische stof. Voor veehouders is mestaanvoer de meest zichtbare maatregel van aanvoer van organische stof. Omgerekend is 400 m³ per ha runderdrijfmest nodig voor 1% stijging van het organische stofgehalte in de laag 0 tot 10 cm. Stalmest bevat meer organische stof dan drijfmest maar hier is toch nog 170 ton per ha (of m³) nodig om 1% verhoging te krijgen (van Eekeren et al., 2018).

Bomen en struiken

Bomen en struiken dragen extra bij aan organische stof opbouw in de bodem. Door sommige provincies wordt ingezet om extra hectares bossen en natuur te realiseren. In het klimaatakkoord (Klimaatakkoord, 2019) zijn eveneens ambities ten aanzien van extra koolstof vastlegging door aanplant van bossen geformuleerd. Verwacht mag worden dat dit zal leiden tot extra organische stof opbouw in de bodem indien dergelijke gronden aan de landbouw worden onttrokken.

Boomteelt integreren in de landbouw, agroforestry, is een optie in ontwikkeling. Er zijn tal van mogelijkheden voor agroforestry, zoals fruitbomen in kippenuitlopen en voederhagen in weilanden voor rundvee en geiten. Ook zijn er voedselbossen in ontwikkeling. Een voedselbos is een samenhangend geheel van lage planten, bomen en dieren die in een evenwichtig ecosysteem voedsel voor de mens produceren. Aangenomen mag worden dat in dergelijk systemen meer organische stof opbouw plaatsvindt dan onder een volledige akkerbouw rotatie.

5.2 Eenduidigheid in organische stof metingen

Een aandachtspunt is de eenduidigheid in meting van het organische stofgehalte in de bodem. Het goed, betrouwbaar, betaalbaar, nauwkeurig en efficiënt kunnen meten en monitoren van de bodem organische stofvoorraad is van groot belang om uitspraken te kunnen doen over de ontwikkeling en trends. Vanwege de kleine veranderingen is een hoge nauwkeurigheid in het laboratorium vereist om verschillen betrouwbaar te kunnen vastleggen. Daarnaast zijn effectieve en gestandaardiseerde veldprotocollen nodig die het evalueren van bijvoorbeeld effecten van maatregelen mogelijk maken. Zo is gebleken dat akkerbouwers in de afgelopen jaren (10-15 jaar) veelal van meerdere laboratoria gebruik hebben gemaakt (Koopmans et al, 2019). Ook worden bodemonsters afwisselend van individuele percelen maar tussendoor ook van hele kavels genomen. Standaard analyses verschillen soms per laboratorium maar ook in de tijd. Vraagtekens worden wel gezet bij de veelgebruikt praktijkanalyse (NIRS) en ook bij de traditionele bepaling volgens gloeiverlies. Koopmans et al. (2019) concluderen dat de correlatie tussen de organische stof - elementair bepaling en gloeiverlies - over het algemeen goed is. Die tussen de elementair analyse en NIRS daarentegen is lager voor dalgrond en dekzanden (0,85). Voor zeeklei is deze slechts 0,77 met daarbij enkele proeven en regio's met nog lagere R^2 waarden. Aandacht voor verdere standaardisatie op basis van C-elementair analyse of mogelijk via mid-infrarode reflectie (MIR) is nodig om betrouwbare vergelijkingen en trends rond de ontwikkeling van organische stof in de toekomst mogelijk te maken.

5.3 Ondersteunende tools

Er is op dit moment een scala aan reken- en ondersteunende tools voorhanden om inzicht te krijgen in de mogelijkheden om organische stof in de bodem op te bouwen op basis van praktijkmaatregelen. Te denken valt aan de organische stof balans berekening die ondernemers met een bodemanalyse bij Eurofins geleverd krijgen. Ook diverse ketenpartijen en adviesorganisaties hanteren rekentools om ondernemers te adviseren en bemestingsplannen door te rekenen. Met de NMI-rekentool voor de open teelten (www.nmi-agro.nl) kan de organische stofbalans worden berekend op wetenschappelijke basis. De tool is beschikbaar voor bedrijven in de akkerbouw, vollegrondsgroente teelt en de boomkwekerij. De Cool Farm Tool (www.coolfarmtool.org) is een online tool voor het berekenen van broeikasgasen, water en biodiversiteit in de landbouw. Hij wordt door ketenpartijen, BO-akkerbouw en Veldleeuwierik ingezet als ondersteunende tool om de klimaatimpact van bedrijven te kunnen doorrekenen. Specifieke organische stof maatregelen en breder bodembeheer zijn zeer beperkt in de tool opgenomen waardoor sommige wetenschappers en het beleid deze tool minder geschikt achten als basis voor een meer duurzaam organische stof management van de bodem. Daarnaast werken WUR, CLM en het Louis Bolk Instituut in het kader van het onderzoeksprogramma Slim Landgebruik (Slim landgebruik, 2019) aan de ontwikkeling van praktische modellen om het vastleggen van koolstof in organische stof in landbouwbodems te kunnen berekenen. De verwachting is dat een model als RothC zal

worden ingezet voor rapportagedoeleinden over hoe Nederland ervoor staat met de CO₂-balans in landbouwgronden terwijl een meer praktisch model als NDICEA een ondersteunende rol gaat spelen voor de praktijk en advisering.

5.4 Kennis en bewustwording bij de beheerders

Veel agrarische ondernemers zijn zich recent bewust geworden van het belang van hun bodem. De praktijk laat echter zien dat de kennis over bodem, bodembeheer, bodemfuncties en bodembioïologie bij agrariërs verouderd is (Elferink et al., 2018). Acties om te komen tot een vitale bodem en organische stof management daarin dienen verder te gaan dan uitsluitend een betere kennisontsluiting richting de (toekomstige) agrariër. Want ondanks de vele initiatieven op dit gebied moet er nog meer bewustwording komen over het belang van een gezonde bodem. Verdere ontwikkeling van kennis en inzet is noodzakelijk om eigentijds materiaal te ontwikkelen dat helpt beter inzicht te krijgen in de bodem. Vooral toereikend materiaal over het belang van bodembioïologie, interacties in de bodem en de kwaliteit en kwantiteit van organisch stof is gewenst. Daarbij zal kennis verder dienen te worden uitgerold naar agrariërs, adviseurs, beroepsonderwijs en basis/middelbare scholen middels cursussen en verbeterd onderwijs. Expliciete doel hierbij is gedragsverandering in de landbouw te realiseren. Ook bewustwording in de (voedsel)keten dient te worden gecreëerd over het belang en de waarde van een gezonde bodem en duurzaam bodembeheer (Elferink et al., 2018).

5.5 Zicht op kosten, baten en verdienmodellen

De meerwaarde van goed bodembeheer is nog vaak onvoldoende inzichtelijk. Inzicht in de kosten en baten van maatregelen voor bodembeheer op korte en lange termijn kunnen agrariërs en beleidsmakers helpen bij het streven naar een duurzame agrarische bedrijfsvoering.

De effecten van diverse organische stof opbouwende maatregelen benoemd in Lesschen (2012), Rietberg et al. (2013) en Staps (2018) op kosten en baten, zoals bekend uit wetenschappelijke literatuur voor respectievelijk de melkveehouderij en akkerbouw, zijn in Koopmans et al. (2018b) op een rij gezet. Hierbij is een kwalitatieve score voor de kosten en baten voor de korte (1 à 2 jaar) en lange termijn (>2 jaar) toegekend. Een aantal maatregelen om organische stof op te bouwen werkt op de korte termijn kostenverhogend, omdat er nog in kennis en machines moet worden geïnvesteerd. Zo werkt bodemverbeterende bemesting met bijvoorbeeld compost op de korte termijn kostenverhogend vanwege de prijs die aan kwalitatief goede compost hangt en inkomsten die teruglopen door het achterwege laten van drijfmest. Anderzijds kan een herverdeling in de veehouderij naar 60% blijvend grasland, 20% tijdelijk grasland en 20% bouwland, een gemiddelde veehouderij een extra inkomen van €6000 á €7000 opleveren (Van Eekeren et al., 2016).

Momenteel heerst vaak nog onduidelijkheid over wat de kosten en baten van een verbeterd organische stof management zijn, zeker omdat de resultaten van een duurzaam bodembeheer meestal niet op korte termijn zichtbaar zijn en bedrijven sterk van elkaar verschillen.

Referenties

- Bellamy, P.H., P.J. Loveland, R.I. Bradley, R.M. Lark and G.J.D. Kirk (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*, 437, 245–248.
- Bestuurlijk Overleg Open Teelten en veehouderij (BOOT) (2017). Boot-lijst. <https://agrarischwaterbeheer.nl/document/boot-lijst-maatregelen-agrarisch-waterbeheer>
- Bloem, J., C.J. Koopmans en R. Schils (2017). Effect van mest op de biologische bodemkwaliteit in de Zeeuwse akkerbouw. Wageningen Environmental Research (Alterra) en het Louis Bolk Instituut, 56 p.
- Bonanomi, G., R. D'Ascoli, V. Antignani, M. Capodilupo, L. Cozzolino, R. Marzaioli, G. Puopolo, F.A. Rutigliano, R. Scelza, R. Scotti, M.A. Rao and A. Zoina (2011). Assessing soil quality under intensive cultivation and tree orchards in Southern Italy. *Applied Soil Ecology*, 47(3): 184-194.
- Bos, J. J. de Haan en W. Sukkel (2007). Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstofopslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken. Wageningen UR, Rapport 140. Wageningen UR, Wageningen. 76 p.
- Brolsma, K., E. Ton en A. Reijneveld (2017). Bodemvruchtbaarheid in Nederland over de periode 2005 – 2015. Trends in de chemische, de fysische en de biologische bodemvruchtbaarheid per LEI gebied voor elke grondsoort en per sector. Eurofins Agro. 49 p.
- Coleman, K. and D.S. Jenkinson (1996). RothC- A model for the turnover of carbon in soil. In: Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U. (Eds.), *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 237-246.
- Conijn, J.G. en J.P. Lesschen (2015). Soil organic matter in the Netherlands. Quantification of stock and flows in the top soil. PRI rapport 619, Alterra report 2663, Wageningen UR, 50 p.
- Cooper, J., M. Baranski, G. Stewart, et al., (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), [22]. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0354-1>
- Crittenden, S. J., N. Poot, M.D.J.M. Heinen, D.J.M. Van Balen and M.M. Pulleman (2015). Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil and Tillage Research*, 154, 136-144.
- Edmeades, D. (2003). The long term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 66: 165-180.
- Elferink, E., P. Fischer, C.J. Koopmans en E. van Essen (2018). Bodem verdient beter: verantwoord bodemgebruik in relatie tot oppervlaktewater. P. 19-26. Van Hall Larenstein, Louis Bolk Instituut, Aequator 33 p.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter en R. Visschers (2001). Status 2001 Landelijke Steekproef Kaarteenheden en toepassingen. Gestructureerde bemonstering en karakterisering Nederlandse bodems. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 389. 64 p.
- Hanegraaf, M.C., E. Hoffland, P.J. Kuikman en L. Brussaard (2009). Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *European Journal of Soil Science* 60: 213-222.
- Hanegraaf, M., W. van Geel, W. van de Berg en J. de Haan (2018). Afbraaksnelheid bodem organische stof. Tusenrapportage. Perceelsspecifieke schatting uit bodemparameters, Wageningen University and Research. 32 p.
- Janssen, B.H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant & Soil* 76, p. 297_304.
- Jong, de C.J. en K.W. van der Hoek (2009) Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit. Resultaten tweede meetronde, 1999-2003, RIVM rapport 680718001/2009. 54 p.
- Johnson, I., S. Alexander and N. Dudley (2017). *Global Land Outlook, first edition*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. 308 p.

- Klimaatakkoord (2019). Den Haag, 28 juni 2019, 239 p.
- Koopmans, C.J., M. van Agtmaal en N. van Eekeren (2018a). Quick scan mest en bodemkwaliteit - Invloed van mest en compost op de bodemkwaliteit, gewasproductie en emissies. Louis Bolk Instituut, Publ. Nr. 2018-008 LbD, 32 p.
- Koopmans, C.J. en J. Bloem (2018). Soil quality effects of compost and manure in arable cropping – Results from using soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Instituut, Publ. Nr. 2018-001 LbD, 40 p.
- Koopmans, C.J., F.W. Smeding, M. Rutgers, J. Bloem en N. Van Eekeren (2006). Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw. Louis Bolk Instituut, RIVM, WUR-Alterra, 69 p.
- Koopmans, C.J. en T. van Schie (eds.) (2007). Bodemsignalen: Praktijkgids voor een vruchtbare bodem. Roodbont uitgeverij, Zutphen, ISBN 978-75280-81-4. NUR 940.
- Koopmans, C.J., B. Timmermans, J.P. Wagenaar, J. van 't Hull, M. Hanegraaf en J. de Haan (2019). Evaluatie van maatregelen voor het vastleggen van koolstof. Resultaten uit Lange Termijn Experimenten. Projectrapportage 2.2a binnen het projectcluster '2018-2019 Koolstof in landbouwbodems in het kader van het LNV-klimaatbeleid. Louis Bolk Instituut, Wageningen University and Research en CLM. 54 p en bijlagen.
- Koopmans, C., S. Staps, M. Hondebrink en N. van Eekeren (2018b). Verkenning perspectieven voor koolstofopslag in agrarische bodems en CO₂ in Noord-Brabant. Louis Bolk Instituut, Publ. nr. 2018-018 LbP. 38 p.
- Lal, R. (2008). Carbon Sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 363, r. 1492: 815–30.
- Leroy, B. L. M., H.M.S.K. Herath, S. Sleutel, S. De Neve, D. Gabriels, D. Reheul, M. Moens (2008). The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil Use and Management* 24(2): 139-147.
- Lesschen, J. P., H. Heesmans, J. Mol, A. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert en P. Kuikman (2012). Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 2396. 61 p.
- Lesschen, J.P., C. Hendriks, A. van der Linden, J. Keuskamp, D. Keuper, B. Timmermans, M. Hanegraaf, S. Conijn en T. Slier (in prep.). Ontwikkeling praktijktool voor bodem C. Wageningen Environmental Research, Louis Bolk Instituut en CLM. Rapport ISSN 1566-7197. 31p.
- Lesschen, J.P., P. Kuikman en M. Root (2016). Klimaatbeleid en bodem C vastlegging. Presentatie bij NAV werkgroep klimaat, 24 november 2016. Wageningen Environmental Research. URL: edepot.wur.nl/408442.
- LTO (2019). Opinie Claude van Dongen LTO: van mestbeeld naar bodembeleid. <https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/456/opinie-claude-van-dongen-lto-van-mestbeeld-naar-bodembeleid>
- Maljaars, C. (2017). Afstudeerwerkstuk: Analyse van trends in organische stofgehalte van Zeeuwse akkerbouwgrond. Aeres Hogeschool. 46 .
- Meghvansi, M.K. and A. Varma (2015) Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management. Springer International Publishing Switzerland ISBN 978-3-319-23074-0 ISBN 978-3-319-23075-7 (eBook) DOI 10.1007/978-3-319-23075-7
- Reijneveld, A., J. Van Wensum, en O. Oenema, (2009). Soil organic carbon content of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152: 231-238.
- Rietberg, P., B. Luske, A. Visser en P. Kuikman (2013). Handleiding goed koolstofbeheer. Louis Bolk Instituut, Publ. Nr 2013-002 LbP, 26 p.
- Rutgers, M., C. Mulder, A.J. Schouten A.J. (2007). Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604008/2007.
- Saby, N. P., D. Arrouays, V. Antoni, B. Lemerrier, S. Follain, C. Walter and C. Schvartz (2008). Changes in soil organic carbon in a mountainous French region, 1990–2004. *Soil Use and Management*, 24: 254-262.

- Schils, R. (2012). 30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid. Alterra, Wageningen UR. 143 p.
- Scotti, R., G. Bonanomi, R. Scelza, A. Zoina, M.A. Rao (2015). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2): 333-352.
- Sleutel, S., S. De Neve, and G. Hofman (2007). Assessing causes of recent organic carbon losses from cropland soils by means of regional-scaled input balances for the case of Flanders (Belgium). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78, 265–278.
- Slim Landgebruik (2019). <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksprojecten-LNV/Expertisegebieden/Beleidsondersteunend-onderzoek/Lopend-in-2019/Klimaatenvoloppe/Slim-Landgebruik.htm>
- Staps, S. (2018). Update - Handleiding goed koolstofbeheer. Louis Bolk Instituut, Publ. Nr 2017-038 LbP, 28 p.
- Sukkel, W., W. van Geel en J.J. de Haan (2008). Carbon sequestration in organic and conventional managed soils in the Netherlands. In 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20, 2008. <http://orgprints.org/view/projects/conference.html>.
- Sun, B., P.D. Hallett, S. Caul, T.J. Daniell and D.W. Hopkins (2011). Distribution of soil carbon and microbial biomass in arable soils under different tillage regimes. *Plant and Soil*, 338(1-2), 17-25.
- Tol-Leenders, D. van, M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond en H. Wösten (in prep.). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998 – 2018). Wageningen Environmental Research, 65 p en bijlagen.
- Tweede Kamer (2018). Bodembeleid. Brief van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit aan de Tweede Kamer van 23 mei 2018. Vergaderjaar 2017-2018, 30015, nr. 54.
- Tweede Kamer (2019). Nationaal programma landbouwbodems. Brief van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit aan de Tweede Kamer van 25 april 2019. Vergaderjaar 2018-2019, 30015, nr. 58.
- Unitip (2019). <https://www.cosunleden.nl/unitip/unitip-verslagen>
- Van Eekeren, N.J.M., S. van de Goor, J. de Wit, A. Evers en M. de Haan (2016). Inkomen 7.000 euro hoger bij betere bodemkwaliteit. *V-focus*, december: 36-37.
- Van Eekeren, N.J.M., J. Deru, N. Hoekstra en J. de Wit (2018). Carbon Valley: organische stofmanagement op melkveebedrijven. Louis Bolk Instituut, publ. nr. 2018-002 LbD, 34 p.
- Van Geel, W. en J. de Haan (2007). Effecten van organische-stofbeheer in Nutriënten Waterproof op het organische-stofgehalte en de koolstofopslag in de bodem. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Lelystad, 27 pp.
- Velthof, G.L., T. de Koeijer, J.J. Schröder, M. Timmerman, A. Hooijboer, J. Rozemeijer, C. van Bruggen en P. Groenendijk (2017). Effecten van het mestbeleid op landbouw en milieu: Beantwoording van de ex-postvragen in het kader van de evaluatie van de Meststoffenwet. Wageningen Environmental Research . Rapport 2782 rapport. 133 p.
- Wattel-Koekkoek E.J.W., M.E. van Vliet, L.J.M. Boumans, J. Ferreira, J. Spijker en T.C. van Leeuwen (2012). De bodemkwaliteit in Nederland in 2006-2010 en de verandering ten opzichte van 1993-1997. Resultaten van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit. RIVM rapport 680718003/2012. 190 p.
- www.bodemacademie.nl
- www.beterbodembeheer.nl
- www.handboekbodemenbemest.nl
- www.coolfarmtool.org
- Yang, H.S. en B.H. Janssen (2000). A mono-component model of carbon mineralization with a dynamic rate constant. *European Journal of Soil Science* 51, p. 571-529.