

Project: Organische stofbeheer in de akkerbouw voor behoud van bodemvruchtbaarheid en voor efficiënte bemesting

Penvoerder: Wijnand Sukkel, WUR Open teelten
Uitvoerende partijen. Wageningen University & Research (Wageningen Plant Research, Wageningen Environmental Research), Nutriënten Management Instituut (NMI),

Doel.

Hoofdoel:

- A. Instandhouding of verhoging van de bodemvruchtbaarheid in de akkerbouw door betere meetmethoden voor het vaststellen van de bodemorganische stof voorraad/kwaliteit en de veranderingen hierin.
- B. Efficiënt gebruik van organische en minerale N inputs voor gewasproductie, bodemkwaliteit en klimaat

Onderliggende doelen:

Bij A.

- Vaststellen van de huidige toestand van bodem organische stof kwantiteit en kwaliteit in de akkerbouw praktijk en de potentiële veranderingen hierin op de midden en lange termijn
- Update van de basisdata voor berekening van organische stof balansen
- Verbeterde mogelijkheden voor bedrijfsspecifieke berekening van organische stof balansen afhankelijk van grondsoort, management en bedrijfstype
- Verbeterde indicatoren, streefwaarden en instrumenten voor het vaststellen van de kwantiteit en de kwaliteit van de bodemorganische stof en de potentiële veranderingen hierin.

Bij B.

- Vaststellen maatregelen om sleutelprocessen (N immobilisatie, N mineralisatie, bijbehorende N verliesroutes, C-priming, N-priming) te sturen en optimaliseren, door uitgekiend combineren van organische en minerale inputs.
- Vertalen naar eisen die optimaal gebruik in de akkerbouw stelt aan mestverwerkingsproducten en andere restproducten

Aanleiding

Bodem organische stof speelt een zeer centrale rol in de bodemvruchtbaarheid. Het heeft invloed op de bodemstructuur, weerbaarheid tegen fysische stress (droogte, overmaat neerslag), weerbaarheid tegen biologische stress (ziekten en plagen), bemesting, N- uitspoeling etc. Er zijn veel signalen vanuit praktijk en onderzoek dat de kwantiteit en kwaliteit van de bodemorganische stof in de Nederlandse akkerbouw onder druk staat. Veranderingen in bodem organische stof gaan echter zeer langzaam en blijven vaak onopgemerkt. Het is onduidelijk of en hoeveel het organische stofgehalte en de kwaliteit daarvan, verandert in de Nederlandse akkerbouw bodems. Ook over de consequenties van het huidige organische stof beheer voor de korte maar vooral ook voor de lange termijn productiviteit, bewerkbaarheid en weerbaarheid van de bodem is relatief weinig bekend.

Het is ook onduidelijk hoeveel en welke kwaliteit bodem organische stof eigenlijk gewenst is. Daarnaast zijn veranderingen in de bodemorganische stof moeilijk vast te stellen zonder daar meer dan 20 jaar voor te hoeven meten. De huidige meest gebruikte indicator voor de bodemorganische stof (totaal organische stof gehalte) heeft een vrij grote meetvariatie en is zeer weinig gevoelig voor veranderingen in het organische stof management. Schattingen van het toekomstig verloop van de bodemorganisch stof kunnen gemaakt worden met de organische stof balansen. De basisdata hiervoor zijn gebaseerd op gegevens voor de bijdrage van verschillende gewassen aan de bodem organische stof en van de snelheid van afbraak in de bodem van organische stof inputs zoals gewasresten en mest. Deze data zijn echter sterk verouderd en aan herijking toe.

Krappe stikstofgebruiksnormen nopen, zeker op de lichte gronden, tot hoge N benutting. Daarnaast beperken de gebruiksnormen voor dierlijke mest en de fosfaatgebruiksnorm de aanvoer van dierlijke mest en producten uit organische reststromen. In deze 'begrensde' situatie blijven hoge productiviteit en rendement van onverminderd belang voor de ondernemer. Om die te realiseren en te combineren met een duurzaam beheer van de bodem, is het nodig om scherp te kunnen sturen in het gebruik van organische inputs. Dat vereist:

- (1) inzicht in hoe organische inputs, als functie van hun samenstelling, de N kringloop (immobilisatie, mineralisatie, priming, verliezen door denitrificatie en uitspoeling) rechtstreeks beïnvloeden;
- (2) inzicht in hoe organische inputs de benutting van N (uit kunstmest, organische inputs en bodem) indirect beïnvloeden, d.w.z. via hun effect op fysische eigenschappen als vochthoudend vermogen, bewerkbaarheid, structuurstabiliteit en slempgevoeligheid van de bodem; en
- (3) het beschikbaar maken van restproducten (o.a. mestbewerkingsproducten) die zijn toegesneden op de behoeften in de akkerbouw, gegeven de bedrijfssituatie (grondsoort, bouwplan, actuele status van de bodem).

Terwijl aspect (3) deels is belegd onder PPS Beter BodemBeheer in Werkpakket 1b 'Sturen op Mestkwaliteit', richt voorliggend project zich op aspecten (1) en (2). Inzicht in genoemde aspecten kan tevens bijdragen aan de interpretatie van resultaten uit het systeemonderzoek op Vredepeel, waar gebruik van organische inputs in verband gebracht wordt met verlaging van de nitraatuitspoeling.

Kennisvragen

De voorgenoemde aanleiding voor het onderzoek vertaalt zich in de volgende kennisvragen:

Bij A.

- a) Wat zijn de regio en grondsoort specifieke veranderingen in bodem organische stof in de Nederlandse akkerbouw?
- b) Welke kengetallen zijn nodig voor aanvoer van organische stof via gewasresten en mest en afbraak van organische stof inputs en wat is de bruikbaarheid van huidige kengetallen?
- c) Welke indicatoren voor de bodem organische stof zijn geschikt om veranderingen in de bodemorganische stof op perceelsniveau te meten c.q. te berekenen?
- d) Met welk instrumentarium kunnen akkerbouwers en adviseurs concreet aan de slag met de geactualiseerde en nieuwe kennis over organische stofbeheer in relatie tot bodemvruchtbaarheid?

Bij B.

- e) Hoe kan de rol van bodemleven bij het tijdelijk vastleggen (retentie) van minerale N worden geoptimaliseerd door gebruik van organische inputs, en welke eigenschappen moeten die inputs daartoe hebben?
- f) Welke verliezen treden op bij immobilisatie gevolgd door (re)mineralisatie, en hoe kunnen die beperkt worden teneinde de benutting van N (uit kunstmest, organische inputs, en bodem) maximaal te benutten?
- g) Hoe worden bestaande C en N pools in de bodem beïnvloed (o.a. via 'priming') door externe inputs van (organisch en kunstmest), en hoe hangt die beïnvloeding af van samenstelling (waaronder verteerbaarheid) van die inputs?
- h) Hoe dragen organische inputs indirect (bv. via verbetering bodemfysische eigenschappen) bij aan het verhogen van N benutting?
- i) Welke organische stof management strategieën dragen bij aan verbeterde bodemkwaliteit en verhoging N benutting?

Wat zijn de regio en grondsoort specifieke veranderingen in bodem organische stof in de Nederlandse akkerbouw?

In ons omringende landen is vastgesteld dat organische stofgehalten dalende zijn (o.a. Sleutel, 2007; Bellamy, 2005). Volgens Reijneveld (2009) is het organische stof gehalte in de Nederlandse akkerbouw echter stabiel. Bij deze constatering zijn meerdere vraagtekens te stellen. Veel hangt af van het schaalniveau (perceel, bedrijf, regio, nationaal) waarvan de basisgegevens zijn betrokken. Daarnaast heeft de constatering van Reijneveld betrekking op de periode t/m 2004. Het is goed mogelijk dat in de periode na dit jaar veranderingen zijn opgetreden in zowel hoeveelheid als kwaliteit organische stof als gevolg van de aanscherping van mineralenregelgeving vanaf 2006. Er zijn verschillende aanwijzingen (Hanegraaf et al, 2009; Sukkel et al 2008) dat de conclusie van Reijneveld niet overeenkomt met de huidige toestand in de praktijk. Er is op zijn minst een grote variatie per regio en per bedrijfstype (Hanegraaf 2009, Sukkel 2008). Langjarige metingen van OS-gehalten in het bedrijfssystemen onderzoek laten (ondanks een relatief hoge aanvoer van effectieve organische stof) een dalende trend zien (OBS, Vredepeel, Meterik). Ervaringen op praktijkbedrijven ondersteunen dit beeld. Volgens de TCB (2016) is het nodig om bij een trendanalyse van organische stof onderscheid te maken tussen jonge en oude organische stof, gezien de verschillende functies van deze fracties. Het is mogelijk dat een stijging in de jonge organische stof gepaard gaat met een daling van de fractie oude organische stof, die niet tot uiting komt in het totaal organische stofgehalte.

Met kennis over de huidige toestand en de potentiële veranderingen in de bodemorganische stof, en de mogelijke oorzaken hiervan, kan de urgentie van mogelijke daling van bodemorganische stof worden vastgesteld. Op basis hiervan kan besloten worden of er zowel op beleidsniveau als in het bedrijfsmanagement actie dient te worden ondernomen.

Regionale streefwaarden kunnen hierbij zinvol zijn, mits afgestemd op de agro-ecologische omstandigheden (o.a. bodemtype en grondwatertrap). De vraag naar het gewenste organische stofgehalte is, ook bij een afbakening tot bodemvruchtbaarheid, niet eenvoudig te beantwoorden. Zowel een laag als een hoog OS-gehalte kunnen gepaard gaan met een matige N-benutting, door respectievelijk een matige algehele bodemkwaliteit en door een beperkte N-beschikbaarheid als gevolg van immobilisatie.

Welke kengetallen zijn nodig en beschikbaar om de aanvoer en afbraak van organische stof via gewasresten en mest te berekenen, wat is de bruikbaarheid daarvan en zijn verbeteringen mogelijk?

Voorgesteld wordt om in een deelproject de toestand en verandering van de bodemorganische stof in de akkerbouw, in kaart te brengen, via literatuuranalyse, data-analyse en via het verzamelen van nieuwe data. Een update dient twee doelen, namelijk zowel de mineralisatie van stikstof als ook de opbouw van het OS-gehalte. Behalve het C-gehalte en de humificatiecoëfficiënt zijn ook gegevens nodig over het drogestof-gehalte van het verse product en minimaal de N-inhoud. Gewenst zijn ook de gegevens van gehalten aan P en S. De bestaande overzichtstijsten zijn vaak niet volledig en divers van oorsprong en hebben actualisatie nodig. De hoeveelheid wortels kan bijvoorbeeld veranderd zijn door veredeling via veranderde Harvest Index. Er is momenteel vrij veel aandacht voor het meten aan wortels en de benodigde kennis zal mogelijk voor een deel in lopende projecten kunnen worden verzameld.

Welke indicatoren voor de bodem organische stof zijn geschikt om veranderingen in de bodemorganische stof op perceelsniveau te meten c.q. te berekenen?

Gezien de traagheid waarmee een verandering in het totaal bodem organische-stofgehalte tot uiting komt, is er behoefte aan indicatoren die sneller reageren op veranderingen in kwantiteit, kwaliteit en activiteit van de bodem organische stof. Gedacht kan worden aan makkelijk afbreekbare fracties organische stof (ook wel labiele fracties genoemd), zoals de C/N-ratio, de in Heet Water Extraheerbare Koolstof (HWC), de fractie particulate organic matter (POM) en/of de microrespiration method. Ook het isotoop aandeel ¹³C verschaft informatie over veranderingen. Met voor management meer gevoelige indicatoren en streefwaarden voor bodem organische stof, kan sneller worden bijgestuurd om de bodemvruchtbaarheid op het gewenste peil te houden. In combinatie met de kengetallen over de aanvoer van organische stof kan de C- en N-dynamiek in de bouwvoor na toediening van vers organisch materiaal worden gemodelleerd. Dit kan inzicht verschaffen in de mogelijkheden om via C- en/of N- priming de bodemkwaliteit in de gewenste richting te sturen.

Met welk instrumentarium kunnen akkerbouwers en adviseurs concreet aan de slag met de geactualiseerde en nieuwe kennis over organische stofbeheer in relatie tot bodemvruchtbaarheid?

Sinds 2014 is op Kennisakker.nl een tool beschikbaar waarmee op eenvoudige wijze een organische stofbalans kan worden berekend op perceelsniveau. De tool is gebaseerd op model Wadman; dit model gaat uit van twee pools aan organische stof in de bodem en dat is een pluspunt. De uitkomst van de hiermee berekende balans geeft echter geen informatie over effecten op de bodemvruchtbaarheid. Andere sites bieden een tool aan op basis van het Minip-reenmodel, dat wel de mogelijkheid biedt om de gevolgen van de afbraak van organische stof op de N-mineralisatie te schatten, maar uitgaat van slechts één organische stofpool. Een gemeenschappelijk minpunt van beide modellen is de zeer beperkte validatie die heeft plaatsgevonden op basis van veldgegevens. Momenteel wordt een verbeterde versie van model Wadman, uitgebreid met snelheidsparameters voor bodemeigenschappen, getoetst aan langjarige (buitenlandse) veldgegevens. Toetsing onder Nederlandse omstandigheden heeft echter nog niet plaatsgevonden. Een ander instrument op basis van model Wadman betreft de Toolkit 'Sluiten regionale kringlopen' (Postma & Ros, 2014). Het programma is ontwikkeld met als doel akkerbouwers te adviseren welke organische meststof het beste kan worden ingepast in het bemestingsplan. De door de gebruiker te selecteren voorkeuren betreffen: organische stof en nutriënten, bekalking, prijs, en de CO₂-voetafdruk van de meststof. Van de tool is een prototype gereed. Voor gebruik in verschillende regio's dient de tool te worden aangepast naar o.a. bouwplannen, beschikbaarheid organische inputs, en geactualiseerde kengetallen. Om de kosten en baten van organische stofbeheer beter te kunnen inschatten, is een aanvulling nodig op de resultaten vanuit het Masterplan Mineralen Management (2013), met name wat betreft de baten van organische stof in termen van o.a. nutriënten-uitspoeling en vochthuishouding.

Hoe kan het gebruik van organische inputs worden geoptimaliseerd voor gewasproductie, efficiënte stikstofbenutting, bodemkwaliteit en klimaat?

Beantwoording van genoemde kennisvragen (Deel B) is nodig voor een geïntegreerd beheer van de nutriënten- en koolstofkringloop ten behoeve van hoge gewasproductie en bodemkwaliteit bij geringe emissies (Drinkwater en Snapp, 2007; Bos et al., 2017). Hoewel gericht op ontwikkelen van directe handvaten voor de praktijk, vereist dit vrij fundamenteel, procesgericht onderzoek. Het ligt daarom voor de hand dit onderwerp in nauwe samenhang met de PPS Bodem te ontwikkelen. Voorgesteld wordt om in 2017 procesonderzoek aan immobilisatie en re-mineralisatie voort te zetten, dat in najaar 2016 werd gestart. Daarin wordt in potproeven onder gewas, de dynamiek gevolgd van vastlegging en vrijkomen van N in aanwezigheid van organische inputs met verschillende samenstelling, voortbouwend op Heijboer et al. (2016). Centraal daarbij staat een combinatie van ¹⁵N isotoop met bodem-biologische indicatoren als potentiële N mineralisatie (een snelheid, die tijdens het proces van negatief naar positief kan verlopen, zoals bij toedienen van stro), en potentieel mineraliseerbare N (een 'pool', die in relatief korte tijd - dagen tot weken - opgebouwd en weer afgebroken wordt, en waarbij grote N verliezen kunnen optreden). Daarnaast kan HWC als snelle en eenvoudiger indicator worden opgenomen, om de betekenis en bruikbaarheid t.b.v. N management te kunnen evalueren in relatie tot voornoemde 'biologische' indicatoren. Voorgesteld wordt om in 2017 tevens (1) een deskstudie naar vragen d., e., f. (zie Kennisvragen Deel B) uit te voeren, als basis voor experimenteel werk in 2018 en verder. (2) afhankelijk van resultaten uit voornoemde deskstudie een werkplan voor komende jaren uit te werken, dat maximaal gebruik maakt van bestaande systeem-experimenten en lange-termijnproeven in binnen en buitenland, en aansluit bij de bevindingen uit Deel A (dit voorstel), in nauwe afstemming met de PPS Bodem.

Aanpak, planning en fasering

Werkpakket 1. Toestand en verandering van bodemorganische stof in de akkerbouw in Nederland bij verschillende grondsoorten, regio's en/of bedrijfstypen.

- a) Literatuur en data inventarisatie uit bijv BOBI en PPS duurzame bodem en projecten met registratie van o.s. aanvoer (september – december 2018, grotendeels uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik; jan 2019 beperkte aanvulling specifiek voor BO Akkerbouw)
- b) Trendanalyse OS% van dataset Eurofins o.b.v. standaard teeltgegevens. (jan- april 2019)
- c) Bijdrage in de selectie van bedrijven voor het meetnetwerk en in het verzamelen van basisdata van het gezamenlijke meetnetwerk (september – december 2018, uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik)
- d) Meten van organische stof gehalten en verzamelen van (historische) data op praktijkbedrijven (meetnetwerk) i.s.m. deelproject 3 (september – december 2018, uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik; jan – april 2019 beperkte aanvulling specifiek voor BO Akkerbouw mbt relatie o.s. met opbrengst en waterbeheer)
- e) Op basis van bedrijfsregistratie (huidig en historisch management) de organische stof aanvoer op de meetbedrijven vaststellen en op basis van de huidige modellen en kengetallen voor organische stof balans, voorspellen of en hoe het organische stof gehalte in de toekomst zal veranderen (september – december 2018, uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik)

- f) Analyse en Synthese van verzamelde data en literatuur met als uitkomst: (augustus – december 2019):
 - o indicaties voor veranderingen van bodem org stof in verschillende regio's en bij verschillende grondsoorten en grondgebruik.
 - o analyse van oorzaken van veranderingen in o.s. gehalte
 - o analyse van verband tussen organische-stofgehalte en N-benutting (bij beschikbaarheid nutriëntenbalans uit bedrijfsregistratie)
- g) Inventarisatie van kosten en baten van organische stof management bij instandhouding van huidig o.s. gehalte en bij strategieën voor verhoging (gebaseerd op kengetallen vanuit o.a. systeemprouven PPS bodem)
- h) Schrijven rapportage en vakbladpublicaties op basis van a tm g (oktober – december 2019)
- i) Update rapportage met inbreng van gegevens uit deelproject 2 en 3 en andere nieuwe data bijvoorbeeld uit PPS Beter Bodembeheer (oktober – december 2022)

Werkpakket 2: Inventarisatie en update van de huidige bruikbaarheid van kengetallen voor de berekening van organische stof balansen.

- a) Literatuur en data inventarisatie, bij lopende projecten in binnen en, zo mogelijk, buitenland, met name noord-west Europa (september – december 2018, grotendeels uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik;). Inventarisatie gericht op:
 - o Organische stof aanvoer door gewasresten, gericht op de belangrijkste akkerbouwgewassen
 - o Afbraaksnelheid van belangrijkste organische stof inputs.
 - b) Tussen rapportage op basis van a. (juni –september 2019)
- Na Go – no- go eind 2019:
- c) Meten van omvang o.s. inputs bij verschillende gewassen, groenbemesters, meststoffen en bodemverbeters; middels handwerk (uitspoelen wortelstelsels) en/of beeldverwerkende software deels uitgevoerd september – december 2018, uitgevoerd i.k.v. LNV Slim landgebruik; aanvulling vanuit BO akkerbouw september 2019 tm september 2020)
 - d) Meten van afbraaksnelheid van verschillende organische stof inputs aan de hand van een geschikt meetprotocol voor incubatie in het laboratorium en/of via litter bags in het veld. (januari 2020 tm september 2021)
 - e) Analyse en synthese van verkregen data en eindrapportage (oktober- november 2021)

Werkpakket 3. Verbeterde indicatoren voor het op perceels en bedrijfsniveau meten en/of berekenen van toestand en verandering van de kwantiteit en de kwaliteit van de bodem organische stof

- a) Inventarisatie van huidig beschikbare indicatoren en meetmethoden voor organische stof gehalte en kwaliteit. Keuze van meest perspectiefvolle indicatoren (jan-maart 2019)
 - b) Op basis van voorgaande en literatuur vaststellen van indicaties van streefwaarden en referentiewaarden (bijv uit BoBI en Eurofins data) voor verschillende grondsoorten, gebruiksdoelen en voor verschillende indicatoren voor bodemorganische stof. Inclusief afstemming met deskundigen panel (maart – mei 2019)
 - c) Tussenrapportage indicatoren en streefwaarden en voorstel voor metingen in meetnetwerk (juni – juli 2019)
- Na Go – no- go augustus 2019:
- d) Meten van bodemorganische stof gehalten en kwaliteiten met verschillende indicatoren op ca 15 praktijkbedrijven (september 2019 tm september 2020). De uit te voeren metingen worden nauw afgestemd met de ander projecten die gebruik maken van het meetnetwerk zodat er niet dubbel gemeten wordt en zodat gebruik gemaakt kan worden van elkaars metingen.
 - e) Meten van organische stof aanvoer (meetnetwerk) en op basis hiervan berekenen van organische stof balansen en voorspellen van verandering in bodem organische stof (in nauwe samenwerking met deelproject 1) (september 2019 tm september 2020)
 - f) Analyse van praktische toepasbaarheid van verschillende indicatoren voor meten en voorspellen van veranderingen in de kwantiteit en kwaliteit van de bodem organische stof (september 2020 – november 2020)
 - g) Tussenrapportage resultaten 2019 – 2020. Keuzen naar aanleiding van tussenrapportage (december 2020)
- Go no go voor vervolgtraject metingen in meetnetwerk
- h) Meten van bodemorganische stof gehalten en kwaliteiten met verschillende indicatoren op ca 15 praktijkbedrijven (meetnetwerk), (januari 2021 tm maart 2022)
 - i) Meten van organische stof aanvoer (meetnetwerk) en op basis hiervan berekenen van organische stof balansen en voorspellen van verandering in bodem organische stof. (januari 2021 tm maart 2022)
 - j) Analyse van praktische toepasbaarheid van verschillende indicatoren voor meten en voorspellen van veranderingen in de kwantiteit en kwaliteit van de bodem organische stof (maart 2022–september 2022)
 - k) Eindrapportage en publicaties resultaten 2019 – 2022 (oktober – december 2022)

Werkpakket 4. Organische inputs voor een hogere N benutting

- a) 2017. Afronden doorloop pot- en incubatieproef 2016. Uit deze proef: uitvoeren 15N analyses aan gewas- en bodemmonsters en aan extracten voor en na incubatie bij meten van resp. potentiële mineralisatie en mineraliseerbare N uit potproef 2016 waar 15N gelabeld N-kunstmest wordt geïncubeerd met organische inputs. Indien mogelijk: PLFA en HWC op geconserveerde monsters. (afronding is in beperkte omvang uitgevoerd uit LNV budget vanuit de PPS Beter Bodembeheer)
- b) 2019. Desk study naar tijdelijke retentie en remobilisatie van N en de beïnvloeding daarvan door organische inputs, naar daarmee gepaard gaande N verliezen, naar priming van bestaande C en N pools door anorganische en organische N bronnen.

Go / no Go

- c) Opstellen experimenteel werkplan 2019-2021, inclusief afstemming PPS Beter BodemBeheer; waar mogelijk aansluiting bij systeemexperimenten en andere lange-termijn proeven in NL en EU.
- d) 2019-2021. Uitvoering combinatie experimenteel onderzoek in veld, mesocosms (onverstoorte bodemprofielen), incubatie.
- e) 2022 eindrapportage. Formulering maatregelen voor optimale N benutting (uit kunstmest, organische bronnen, en bodem) en optimaal onderhoud van bodemvruchtbaarheid, met duiding van de gewenste eigenschappen van organische inputs t.b.v. deze doelen.

Planning en fasering

Er zijn een aantal go-no-go momenten ingepland. Zie ook aanpak per deelproject. De go – no- go momenten zijn als volgt

- WP2. Go-no-go na literatuur en data analyse in november 2017. Go no go op basis van beoordeling of literatuur voldoende betrouwbare waarden heeft opgeleverd en/of aanwijzingen geeft voor relevante veranderingen in kengetallen.
- WP3. Go-no-go na literatuur analyse en synthese en data inventarisatie. Afstemming over noodzaak van metingen en keuze van indicatoren
- WP3. Go-no-go naar aanleiding van eerste meetsessie. Beslissing over nieuwe meetsessie en keuze van te meten indicatoren

Voor fasering zie ook onderstaand schema.

	2019				2020				2021				2022			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
WP1 a tm d																
WP1 e tm h																
WP1 i																
WP2 a tm b																
WP2 c tm e																
WP3 a tm c																
WP3 d tm g																
WP3 h tm k																
WP4 a																
WP4 b																
WP4 c																
WP4 d																
WP4 e																

Meerwaarde en impact voor de akkerbouw

Bodemvruchtbaarheid bepaald de opbrengst en kwaliteit in de plantaardige productie. De hoeveelheid en kwaliteit van de bodemorganische stof speelt een centrale rol in de bodemvruchtbaarheid. Met de resultaten van dit project kan de akkerbouw concrete stappen zetten naar een duurzame bodemkwaliteit in termen van organische stof en nutriënten efficiëntie. De nieuwe indicatoren en streefwaarden maken gericht management van organische stof mogelijk, zowel wat betreft de hoeveelheid als de kwaliteit ervan. Dit zal een impact hebben op de kennis van met name de N-beschikbaarheid uit de bodem en minerale N bemesting en aanvoerposten van organische stof. De globale vuistregel dat toediening van organische stof goed is voor de landbouwkundige productie krijgt een kwantitatieve invulling in termen van C, N, en P, bruikbaar voor berekeningen op teelt-, bouwplan- en bedrijfsniveau. Hiermee behoort optimalisatie van bodemkwaliteit (lange termijn denken) en bemesting (korte termijn denken) tot de mogelijkheden.

Maatschappelijke meerwaarde en impact

Voor de maatschappij is dit project van grote waarde, daar het bijdraagt aan een duurzame, economisch rendabele akkerbouw in Nederland, die bovendien veel meer dan nu het geval is, gebruik zal kunnen maken van organische reststromen uit onder meer stedelijk gebied. De betere bodemkwaliteit en verhoogde mineralen-efficiëntie zullen bijdragen aan een schone en aantrekkelijke leefomgeving, aan klimaat mitigatie en adaptatie en met positieve effecten op biodiversiteit en de burger.

Wetenschappelijk meerwaarde

Dit project beoogt kennis over organische stof te ontwikkelen waarmee akkerbouwers in staat stelt perceels- en regio-specifiek aan de slag te gaan met het verbeteren van het organische stofgehalte en de daarvan afgeleide bodemvruchtbaarheid. Nieuwe denkmodellen, indicatoren en streefwaarden worden gebaseerd op een kritische evaluatie van de bestaande kennis en volgens wetenschappelijke principes getoetst op proefbedrijven en een geselecteerde (meetnetwerk) variatie van praktijkpercelen en omstandigheden. Dit project draagt bij aan de ontwikkeling van nieuwe modellen over enerzijds opbouw van organische stof en anderzijds N-mineralisatie. Daarnaast levert het meer fundamentele inzichten over de relatie tussen organische stof aanvoer, aanvoer van minerale N en N verliezen. Ook staat het aan de basis van brede verzameling van bodemdata van bedrijven in genoemde netwerk, kansen biedend aan toekomstige analyses van relaties tussen bodemkwaliteit en voedselproductie. Sterk is in dit verband de connectie met de PPS Bodem.

Verwachte resultaten en Producten

Dit project leidt onder meer tot de volgende inhoudelijke resultaten (tussen haakjes het jaar van gereedkomen):

Laaghangend fruit:

- Genuanceerd beeld van de trend in organische stof in Nederlandse akkerbouw en mogelijke oorzaken hiervan, op drie niveaus: bedrijfs-, regionaal en nationaal schaalniveau (2019)
- Inzicht in implicaties van voornoemde trends en oorzaken voor beleid en voor bedrijfsmanagement, en de onderlinge strijdigheid en synergie
- Verbeterde berekening van organische stof balansen op bedrijfsniveau door een update van huidige kengetallen voor de aanvoer van organische stof, hun kwaliteit en bruikbaarheid (2019)

- Globaal inzicht in kosten en baten van bedrijfsmanagement om kwantiteit en kwaliteit van bodemorganische stof op peil te houden (2019)

Vervolg onderzoek:

- Inzicht in de beschikbaarheid van meetmethoden die de ondernemer beter in staat stellen om op bodemorganische stof kwantiteit en kwaliteit te sturen door inventarisatie o.b.v. (inter-)nationale literatuur van mogelijke indicatoren en meetmethoden voor organische stof en organische N-verbindingen (gehalte en kwaliteit) en hun streefwaarden (2019)
- Protocol voor bepalen afbraaksnelheid van bodem organische stof en van organische aanvoerposten in lab en/of veld (2019)

Nieuwe oogst:

- Concrete handvatten voor het gecombineerd OS- en N-management na analyse van organische stofbalansen en N-efficiëntie van de bedrijven in het meetnetwerk (2020).
- Verbeterde organische stofbalans door actualisatie input gegevens van gewasresten, incl. beworteling, van gewassen en groenbemesters, uitgesplitst naar biologisch en conventioneel teeltmanagement (2021)
- Verbeterde mineralisatiemodellen door toetsing van nieuwe indicatoren voor organische stof, organische N-verbindingen en hun streefwaarden (2021)
- Wetenschappelijk paper over de wijze waarop diverse organische inputs de N kringloop, N retentie, N benutting en N verliezen beïnvloeden afhankelijk van de eigenschappen van die inputs (in samenhang met PPS Beter BodemBeheer, 2020 of 2021))
- Fact sheet voor de praktijk over maatregelen die in de open teelten genomen kunnen worden om N benutting te optimaliseren via gericht gebruik van organische inputs (2022).

Aan concrete producten is het volgende voorzien:

- Digitale databestanden (kengetallen aanvoerposten organische stof; afbraaksnelheid bodemorganische stof; referentiewaarden indicatoren)
- Verbeterd model organische stofbalans op kennisakker.nl
- Praktijkrijpe tool 'sluiten regionale kringlopen'
- Minimaal 3 Deelrapportages en eindrapportage
- Vakbladartikelen (minimaal 2 over de gehele projectperiode)
- Minimaal 2 wetenschappelijke papers (klaar voor submission)
- Discussie notitie Toepassing Nieuwe Kennis Organische Stof, inclusief vervolgacties, t.b.v. o.a. CBAV
- Discussie notitie Beleidsaanbevelingen Organische Stof t.b.v. o.a. BO Akkerbouw en I&M
- Zie hierboven: paper en factsheet over interacties tussen organische inputs en N benutting

Samenhang met ander (lopend) onderzoek?

Dit project is sterk ingebed in en afgestemd met onderzoek uit de afgeronde PPS duurzame bodem en haar vervolg, de PPS Beter Bodem Beheer. Deze inbedding geeft tevens een nauwe relatie met fundamenteel onderzoek, EU onderzoek en nationale en regionale valorisatie en communicatie activiteiten. Door deze samenwerking kan in dit project veel meer gedaan worden dan als 'stand alone' project. Het omschreven voorstel is afhankelijk van data en samenwerking met de genoemde PPS en. Mocht onverhoopt de PPS Beter bodembeheer niet goedgekeurd worden dan zullen er voor de werkpakketten 1 tm 3 minder data beschikbaar zijn. Voor WP4 zal dan het onderzoek alleen nog in afgeslankte vorm uitgevoerd kunnen worden.

Samenhang met PPS duurzame Bodem en opvolger PPS Beter BodemBeheer

Vanuit de PPS duurzame bodem is gestart met een werkgroep die zich buigt over de toestand van de bodemorganische stof in de Nederlandse akker en tuinbouw. Resultaten uit deze werkgroep zijn relevante input voor dit BO akkerbouw project. Verder zal intensief gebruik gemaakt worden van data en resultaten uit de PPS duurzame bodem.. Daarnaast maken de systeemprouven deel uit van het voorgestelde meetnetwerk voor bodemkwaliteit. Verder wordt nauw samengewerkt met een project uit de PPS duurzame bodem en haar opvolger dat zich richt op de relatie tussen het soort organische stof aanvoer en stikstofbemesting.

Samenhang andere NMI,BO akkerbouwprojecten en LNV Slim Landgebruik

Dit project borduurt voort op de resultaten van onderzoek naar de afbraaksnelheid van bodemorganische stof van NMI, zoals onder meer gepresenteerd voor de CBAV in juni 2016. Ook worden resultaten uit het PA-project 'Ontsluiting en kennisoverdracht bodembiodiversiteit' ingebracht (o.a. praktijkmaatregelen organische stof, HWC-metingen in regionale demovelden). Een belangrijk deel van de startmetingen rond organische koolstof in de bodem (meetwerk en systeemprouven) en van de verbetering van de kengetallen voor de organische stofbalans wordt uitgevoerd in het LNV project Slimlandgebruik (2018). Met het vervolg van Slim Landgebruik zal nauw worden afgestemd zodat dit BO A project en Slim Landgebruik volledig complementair zijn en niet overlappend.

Dit BO project maakt verder intensief gebruik van een in te stellen BO-akkerbouw meetnetwerk rond bodemkwaliteit. Hiervoor wordt een apart voorstel ingediend. De verschillende betrokken focusonderwerpen dragen bij aan dit meetnetwerk. Dit meetnetwerk is een faciliteit die door een aantal BO akkerbouw focusonderwerpen (Minimale dataset, bodemkwaliteitsplan en bodembioecologie) intensief gebruikt zal worden. Vanuit verschillende focusonderwerpen wordt gebruik gemaakt van basisgegevens van het meetnetwerk (rotatie, bemesting, groenbemesters etc.) en gezamenlijke bodemdata. Door deze samenwerking ontstaat een efficiëntie slag (één keer basisgegevens verzamelen en voor verschillende indicatoren maar één keer meten) en een meerwaarde doordat er meer bodemdata beschikbaar zijn die integraal kunnen worden geanalyseerd.

Samenhang met fundamenteel onderzoek

In de PPS duurzame bodem wordt nauw samengewerkt met het meer fundamentele onderzoek. Onder andere met NIOO en de WU leerstoelgroep bodemkwaliteit. Het fundamentele onderzoek richt zich o.a. op de relaties tussen bodem organische stof en opbrengst, opbrengst stabiliteit en bodemleven. De kennis voortvloeiend uit dit meer fundamentele werk wordt ingebracht in dit BO project. Daarnaast zal het project gebruik maken van en samenwerken met lopend onderzoek rond de relaties tussen bodem organische stof en organische stof inputs met N-(kunstmest) bemesting.

Samenhang met ander onderzoek

Voor de beoordeling van de 'state of the art' rond bodem organische stof in Nederland en voor nieuwe indicatoren voor actieve organische stof zal o.a. gebruik gemaakt worden van data van Eurofins (BLGG) en van data uit het BOBI netwerk.

Uitvoerders en Governance

De hoofduitvoerders zijn Wageningen University & Research en NMI.

NMI is een onderzoek- en adviesbureau dat zich onder andere richt op de vertaling van wetenschappelijk onderzoek naar de landbouwpraktijk. Een van de speerpunten is kennisontwikkeling over bodemvitaliteit, als basis voor duurzame gewasproductie. Centraal hierbij staat de rol van organische stof als belangrijke drager van chemische, fysische en bodem-biologische aspecten van bodemkwaliteit. NMI benadert bodemvitaliteit vanuit het concept van bodem ecosysteemdiensten. Voor de landbouw gaat het vooral om nutriëntenvoorziening, vochtbehoud, structuurstabiliteit en bodemweerbaarheid. Vanuit deze brede begripsbepaling werkt NMI onder andere aan instrumenten die aangeven hoe het bodemmanagement kan inspelen op veranderingen in bemesting en bouwplan.

Wageningen University & Research (Onderdelen WUR Open teelten en Agrosysteemkunde) doet in samenwerking met een groot aantal partijen onderzoek aan bodemkwaliteit in brede zin. Onderzoek is voor een belangrijk deel gericht op maatregelen die de boer kan nemen om zijn bodemkwaliteit te beïnvloeden.

Daarnaast voert Wageningen University & Research, inclusief de leerstoelgroepen van Wageningen Universiteit fundamenteel onderzoek aan onder andere de relaties tussen minerale stikstof bemesting, organische stof management, bodemkwaliteit, klimaat en stikstof emissies naar lucht en grondwater.

De bedrijven die participeren in het meetnetwerk stellen hun percelen beschikbaar voor bodemanalyses, stellen registratiegegevens beschikbaar en participeren in bijeenkomsten rond het meetnetwerk.

De aansturing van het project op hoofdlijnen wordt gedaan door de opdrachtgever (BO-akkerbouw). BO akkerbouw wordt via haar eigen kanalen geadviseerd door haar achterban. BO-akkerbouw kan geadviseerd worden door de stuurgroep van de PPS duurzame bodem. De groep van betrokken meetbedrijven zal dienen als praktisch klankbord. Voor de wetenschappelijke aansturing wordt voorgesteld om een wetenschappelijke klankbordgroep te gebruiken die ook voor de PPS beter Bodem Beheer zal worden ingesteld..

Over de rol van organische stof in de bodem en het opstellen van een eenvoudige organische stofbalans is veel algemene informatie beschikbaar. Echter over vragen of het gehalte daalt, of wat het gewenste gehalte is voor de nutriëntenlevering is nog geen eenduidig antwoord te geven. Veel telers en hun adviseurs hebben er wel een mening over. Dit project is gericht op het beantwoorden van kennisvragen. We willen boeren en andere stakeholders meenemen in dit traject om tussentijds kennis met hen te delen en bij de discussie in te kunnen spelen op de actualiteit. Hiertoe zal een klankbordgroep worden gevormd van telers (o.a. uit het netwerk), adviseurs en andere stakeholders, die jaarlijks bijeenkomt.

Communicatie

De communicatie vanuit het project wordt opgepakt in nauwe samenhang met de (nog goed te keuren) PPS Beter Bodembeheer. Er zal gebruik gemaakt worden van de website, nieuwsbrieven en andere communicatie activiteiten zoals bijeenkomsten en lezingen van de PPS Beter Bodembeheer. Daarnaast zullen specifiek voor dit project een tweetal lezingen worden verzorgd op Boerenbijeenkomsten (bijv. bijeenkomsten van Veldleeuwierik of LTO). Ook zal gebruik worden gemaakt van de communicatiemedia van BO akkerbouw (kennisakker) NMI en communicatiekanalen van partners uit de PPS Beter Bodembeheer.

De rapportages zullen (in overleg met de opdrachtgever) ontsloten worden via de websites van Kennisakker en Beter Bodembeheer. Daarnaast zullen er een tweetal vakbladpublicaties worden geschreven. Ook is voorzien in minimaal één wetenschappelijke artikel. Financiering voor het schrijven hiervan zal worden voorzien uit de PPS Beter Bodembeheer. Andere communicatie-uitingen worden gaandeweg het traject gekozen.

Concrete resultaten in de vorm van kengetallen over organische stof (gehalten, indicatoren, streefwaarden) wordt digitaal beschikbaar gesteld, inclusief een handleiding over het gebruik ervan. Over de wetenschappelijk onderbouwing van deze kengetallen en de belangrijkste onderzoeksbevindingen wordt gepubliceerd in zelfstandige deelrapporten, eindrapportages en papers.

Kosten en financiering

De in de tabellen benoemde kosten zijn exclusief BTW! Tabel 1 geeft een meer gespecificeerde begroting per uitvoerder voor het jaar 2019. De verdeling over de uitvoerders 1 Wageningen Research en 2 (NMI) is onder voorbehoud. Deze verdeling is nog niet helemaal duidelijk omdat:

- a. een deel van de werkzaamheden al in het kader van het LNV programma al door Wageningen Research zijn uitgevoerd, hiermee beschikken zij ook over de data. Besproken moet worden of deze dat ook gemakkelijk aan NMI mogen/kunnen worden overgedragen.
- b. De uitvoering door NMI destijds gebaseerd was op de expertise van een NMI medewerker die inmiddels bij Wageningen Plant Research werkzaam is.

Nader overleg tussen NMI en WR is noodzakelijk om tot een passende en efficiënte werk en budget verdeling te komen.

Voor de jaren 2020 t.m. 2021 is in een meer globale begroting per activiteit voorzien (tabel 2). Omdat er eind 2019 voor de verschillende werkpakketten go-no-go momenten zijn, zal de begroting afhankelijk zijn van de go-no-go besluiten en van de aanwijzingen voor verdere invulling.

De kosten zijn per activiteit of per samenhangende groep van activiteiten begroot. Zie voor een meer gedetailleerde beschrijving van activiteiten het hoofdstuk 'aanpak , planning en fasering, de lettercodes van de benoemde activiteiten in de begroting komen overeen met de lettercodes voor de in het in het hoofdstuk 'aanpak, planning en fasering 'beschreven activiteiten.

De algemene kosten voor het meetnetwerk zoals voor de selectie van bedrijven, het inventariseren en vastleggen van de beschikbare bedrijfs- en bodemdata en het vastleggen van de bedrijfsregistratie zijn niet in deze begroting opgenomen. Deze kosten zijn begroot in een apart voorstel voor het meetnetwerk. Kosten in het meetnetwerk voor onderzoek en metingen specifiek voor dit Organische stof project zijn wel in de begroting opgenomen.

Bij schrijven van dit (aangepaste) voorstel is nog niet duidelijk welke metingen aan organische stof en organische stof balansen vanaf 2019 vanuit het door LNV gefinancierde project 'Slim Landgebruik' uitgevoerd zullen worden. Er is in de begroting beperkt rekening gehouden met door LNV gefinancierde metingen. Wanneer LNV meer metingen zal financieren zullen deze kosten in mindering worden gebracht op de begroting voor het door BO akkerbouw gefinancierde deel.

Tabel 1. Kosten per cluster van activiteiten per uitvoerder voor het jaar 2019 in k€.

Activiteit	Uitvoerder 1 = Wageningen Plant Research + Wageningen Environmental Research			
	Personeel	Materieel	Facilitair	Totaal
WP1 a+b, literatuur en dataanalyse	2			2
WP1 c+d, activiteiten meetnetwerk, (zie ook project meetnetwerk) ¹⁾	4	2		6
WP1 e, analyse gegevens meetbedrijven	2			2
WP1 f-h, totaalanalyse, synthese, rapportage, communicatie	9			9
WP2 a-b, literatuur en datanalyse aanvoer en afbraak	2			2
WP3 a-c, indicatoren en streefwaarde o.s kwantiteit en kwaliteit	2			2
WP3 d-e, meten o.s indicatoren en bereken o.s balansen in netwerk	7	6		13
WP4 a pot en incubatieproef 2017	0	0	0	0
WP4 b deskstuy retentie en remobilisatie N in combi met o.s.	23	2		25
WP4 c-d combi pot en veldproeven o.s en N strategien	30	15	15	60
Totaal uitvoerder 1	81	25	15	121
Activiteit	Uitvoerder 2 = NMI			
	Personeel	Materieel	Facilitair	Totaal
WP1 a+b, literatuur en dataanalyse	12			12
WP1 c+d, activiteiten meetnetwerk, (zie ook project meetnetwerk) ¹⁾	1			1
WP1 e, analyse gegevens meetbedrijven	0	0		0
WP1 f-h, totaalanalyse, synthese, rapportage, communicatie	6			6
WP2 a-b, literatuur en datanalyse aanvoer en afbraak	4	1		5
WP3 a-c, indicatoren en streefwaarde o.s kwantiteit en kwaliteit	7			7
WP3 d-e, meten o.s indicatoren en bereken o.s balansen in netwerk	7	6		13
WP4 a pot en incubatieproef 2017				0
WP4 b deskstuy retentie en remobilisatie N in combi met o.s.				0
WP4 c-d combi pot en veldproeven o.s en N strategien				
Totaal uitvoerder 2	37	7	0	44
totaal uitvoerders 1+2	118	32	15	165

1). Hier zijn alleen de kosten voor activiteiten in het meetnetwerk opgenomen die specifiek ten laste komen aan dit project. De overige algemene kosten voor het meetnetwerk zoals selectie van bedrijven en vastleggen van de bedrijfsregistratie zijn begroot in het projectvoorstel voor het meetnetwerk.

Tabel 2. Begroting per cluster van activiteiten voor de jaren 2017 tm 2020 in k€.

Activiteit	Jaar				Totaal
	2019	2020	2021	2022	
WP1 a+b, literatuur en dataanalyse	14				14
WP1 c+d, activiteiten meetnetwerk, (zie ook project meetnetwerk)1)	7	pm + 7	pm + 7	pm + 7	28
WP1 e, analyse gegevens meetbedrijven	2				2
WP1 f-h, totaalanalyse, synthese, rapportage, communicatie	15				15
WP1 i update op basis van nieuwe kengetallen				5	5
WP2 a-b, literatuur en datanalyse aanvoer en afbraak	7				7
WP2 c-e. Meten, analyseren, rapporteren nieuwe data		30	30		60
WP3 a-c, indicatoren en streefwaarde o.s kwantiteit en kwaliteit	9				9
WP3 d-e, meten o.s indicatoren en bereken o.s balansen in netwerk	26	24			50
WP3 f-g, tussen analyse en rapportage geschiktheid indicatoren		10			10
WP3 h-i 2e meetsessie indicatoren en o.a balansen		24	24	24	72
WP3 j-k totaal analyse en eindrapportgae WP3				10	10
WP4 a pot en incubatieproef 2017	0				0
WP4 b deskstuy retentie en remobilisatie N in combi met o.s.	25				25
WP4 c-d combi pot en veldproeven o.s en N strategien	60	100	120	40	320
WP4 e analyse synthese en rapportage				35	35
Totaal	165	195	181	121	662
Financiering	Jaar				Totaal
	2017	2018	2019	2020	
Brancheorganisatie Akkerbouw	165	195	181	121	662
Derden (aangeven wie of vanuit welk programma)	0	0	0	0	
Totaal	165	195	181	121	662

1). Hier zijn alleen de kosten voor activiteiten in het meetnetwerk opgenomen die specifiek ten laste komen aan dit project. De overige algemene kosten voor het meetnetwerk zoals selectie van bedrijven en vastleggen van de bedrijfsregistratie zijn begroot in het projectvoorstel voor het meetnetwerk.

Tabel 3. Financiering k€.

Financiering	Jaar				Totaal
	2017	2018	2019	2020	
Brancheorganisatie Akkerbouw	176	195	181	181	733
Derden (aangeven wie of vanuit welk programma)	0	0	0	0	
Totaal	176	195	181	181	733

Literatuur

- Bellamy PH, Loveland PJ, Bradley IR, Lark MR & GID Kirk (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*. 2005, DOI: 10.1038/nature04038, PMID: 16148931
- Bos, J.J.F.P, H.F.M. ten Berge, J.J. Verhagen, M.K. van Ittersum. Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural Systems*, in press.
- Drinkwater, L.E., and S.S. Snapp, 2007. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Adv. Agron.* 92, 163-186.
- Hanegraaf MC, E Hoffland, PJ Kuikman & L Brussaard (2009) Trends in Soil Organic Matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils. *Eur. J. Soil Sc.* 60:213-222.
- Hanegraaf MC (2016) Parameterisatie afbraakmodel bodemorganische stof. Presentatie voor de CBAV, 9 juni 2016, Wageningen.
- Heijboer A., H.F.M. ten Berge, P.C. de Rooter, H.B. Jorgensen, G.A. Kowalchuk, J. Bloem, 2016. Plant biomass, soil microbial community structure and nitrogen cycling under different organic amendment regimes; a ¹⁵N tracer-based approach. *Applied Soil Ecology* (2016), pp. 251-260.
- Masterplan Mineralen Management (2013) Organische stof: wat levert het op? Kosten en baten van organische stof voor de akkerbouwer. Zwart K, kikkert A, van den Burgt GJ & A Termorshuizen (Eds.) MMM, Zoetermeer.
- Postma R & G Ros (2014) Toolkit 'Sluiten regionale kringlopen'. NMI, Wageningen
- Reineveld JA, Van Wensem J & O Oenema (2009) Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma*, Vol152, 3-4:231-238.
- Schroder JJ, de Haan JJ, & JR van der Schoot (2015) Meststofgebruiksruimte in relatie tot opbrengstniveaus, mestsoort en rijenbemesting Verkenning van equivalenten maatregelen met het WOG 2.0 rekenmodel. PPO-rapport nr. 638, Wageningen.
- Sleutel S, De Neve S & G Hoffman (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*. 2007, DOI: 10.1007/s10705-007-9090-x.
- Sukkel, W., Geel, W. van, de Haan, J.J. de (2008). Carbon sequestration in organic and conventional managed soils in the Netherlands 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20, 2008. Archived at <http://orgprints.org/view/projects/conference.html>
- TCB (2016) Advies toestand en dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems. TCB-A110. Den Haag.
- Willekens K (2016) Nitrogen dynamics in relation to soil management and soil quality in field vegetable cropping systems. Proefschrift, Universiteit Gent.