

Effect van kunstmestgift op afbraak van organische stof in veenweidebodems

Maaike van Agtmaal
Goaitske Iepema
Joachim Deru
Nick van Eekeren

LOUIS BOLK
I N S T I T U U T

de natuurlijke kennisbron

*Onderzoek uitgevoerd door het
Louis Bolk Instituut i.s.m.*

 **van hall
larenstein**
university of applied sciences

© 2018 Louis Bolk Instituut

Effect van kunstmestgift op afbraak van
organische stof in veenweidebodems

Dr. ir. Maaïke van Agtmaal¹, Ir. Goaitske Iepema²
Ir. Joachim Deru¹, Dr. ir. Nick van Eekeren¹

¹Louis Bolk Instituut ²Hogeschool Van Hall Larenstein, Leeuwarden

Publicatienummer 2018-016 LbD

32 pagina's

Deze publicatie is als download beschikbaar op
www.louisbolk.nl/publicaties


www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: onafhankelijk, internationaal kennisinstituut
ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
Leeswijzer	7
2 Literatuurstudie	8
2.1 Veensoorten	8
2.2 Processen van organische stof-afbraak in veen	9
2.3 Effecten van bemesting op afbraak van organische stof in de bodem	13
3 Effecten van bemesting en kunstmest op veen: resultaten van proeven	15
3.1 Bemestingsproef westelijk veenweidegebied:	15
3.2 Landelijke bodemmonitoring BoBl	18
4 Koppeling literatuurstudie en meetreeksen, conclusies en aanbevelingen	20
4.1 Koppeling literatuurstudie met gegevens meetreeksen	20
4.2 Conclusie	20
4.3 Aanbevelingen en verder onderzoek	20
Literatuur	22
Bijlage: Powerpoint van presentatie tussenresultaten	24

Samenvatting

In Nederland zijn bijna alle veengronden ontwaterd en ca. 80 % van deze grond is in gebruik voor de landbouw/melkveehouderij. In Friesland gaat het om ca 52.700 ha. Wanneer het huidige beleid niet wordt aangepast is het Friese veen over honderd jaar nagenoeg verdwenen. Daarom is het belangrijk om de oorzaken van de afbraak van het veen te onderzoeken en te kijken welke maatregelen effect hebben op het reduceren van de veenafbraak. Maatregelen met betrekking tot graslandbeheer en bemesting zijn hier een voorbeeld van. In productiegasland worden verschillende soorten organische en anorganische mest gebruikt voor een goede grasopbrengst. Verschillen in de samenstelling en het gebruik van meststoffen leiden tot verschillen in de bodem chemische, fysische en biologische processen. Deze processen bepalen ook de (netto) organische stof opbouw/afbraak en kunnen daarmee direct of indirect van invloed zijn op de afbraak van het veen.

Doelstelling van deze studie is het geven van een onderbouwing van de effecten van bemestingsregimes (specifiek kunstmest) op de veenafbraak. Deze onderbouwing is in dit rapport zowel vanuit de theorie (literatuurstudie) als vanuit de praktijk (een proef en metingen in de veenweiden) benaderd. Het eerste deel omvat een literatuurstudie naar de theoretische onderbouwing van de bodem chemische, fysische en biologische processen die een rol spelen in de relatie tussen (kunst)mest en veenoxidatie. Omdat de veensamenstelling en oorsprong niet overal hetzelfde is, is dit aspect ook in de literatuurstudie opgenomen. Het tweede deel van dit onderzoek is een data-analyse die de resultaten uit de literatuurstudie koppelt aan bestaande meetgegevens. Hierin wordt een bemestingsproef in het westelijk veenweidegebied geanalyseerd en worden deze resultaten gestaafd aan de gegevens uit het landelijke bodembioologische meetnet (BoBi). Deze studie gaat specifiek in op het effect van bemesting (kunstmest) op veenafbraak maar gaat verder niet in op andere milieukundige effecten van (kunstmest)bemesting.

Literatuurstudie

Er zijn veel processen die bijdragen aan de afbraak van organische stof. In veenbodems wordt niet alleen verse organische stof (afkomstig van gewasresten en organische mest) maar ook oude organische stof (afkomstig van het veen) afgebroken. De afbraak vindt plaats door enzymen, die uitgescheiden worden door de microbiële gemeenschap in de bodem (bacteriën en schimmels). De activiteit van de bodemmicroben wordt beïnvloed door omgevingseigenschappen en eigenschappen van het veen. De combinatie van beide bepaalt de afbraaksnelheid. Factoren die deze snelheid beïnvloeden zijn bijvoorbeeld de samenstelling van de organische stof, het zuurstof gehalte en de pH. Een veenbodem met een hoge C:N-verhouding en de aanwezigheid van fenolen heeft vaak een langzame afbraak. Fenolen kunnen namelijk de actieve enzymen, die voor veenafbraak zorgen, blokkeren. Deze remmende werking van fenolen uit het veen wordt in de zuurstofrijke bodemlaag tenietgedaan door de productie van het enzym fenoloxidase, die fenolen afbreekt. Naast de aanwezigheid van zuurstof is de pH belangrijk: bij een lagere pH is niet alleen de microbiële activiteit lager maar neemt ook de fenoloxidase en hydrolyse enzymactiviteit af, en daarmee ook de veenafbraak. Naast microbiële processen zijn meststoffen als stikstof en fosfor van invloed op het organische stofgehalte in de bodem. Bij een tekort aan stikstof wordt er extra oude organische stof (veen) afgebroken om de tekorten aan te vullen (= stikstof mining). Als de hoeveelheid nutriënten in evenwicht is (stoichiometrie) kan aanvulling van de fosforvoorraad de algehele afbraak van organische stof vergroten. De aanwezigheid van stikstof stimuleert enzymen die gemakkelijk afbreekbaar organische stof (bijv. cellulose) afbreken en remt het enzym

fenoloxidase en daardoor de afbraak van fenolrijk organische stof (bijv. lignine) uit veen. Dus, de aanwezigheid van stikstof beïnvloedt de activiteit van enzymen en daarmee de afbraak van het veen. Verse gemakkelijk afbreekbare en daardoor snel beschikbare koolstofverbindingen uit organische stof kunnen de microbiële gemeenschap stimuleren. In hoeverre dit een rol speelt in afbraak van veen is niet precies bekend.

Meetreeksen

De belangrijkste vraag in de analyse van de meetreeksen is of er een verschil te zien is in afbraak van bodem organische stof bij gebruik van verschillende soorten mest, en specifiek of kunstmest de veenafbraak versnelt. Om deze vraag te beantwoorden werden gegevens gebruikt van een driejarige bemestingsproef in het westelijk veenweidegebied. Deze proef is van 2013 tot 2015 uitgevoerd in Zegveld. Eerst zijn er drie jaar lang zeven verschillende mestsoorten aangebracht op het proefveld. Na drie jaar bemesten is de grasproductie gemeten en is de bodem geanalyseerd. Naast deze experimentele gegevens zijn er ook bodemgegevens van veenpercelen beschikbaar uit het landelijk bodembioologisch meetnet (BoBI): in 2008 is een breed scala aan bodemparameters gemeten op verschillende veenweidepercelen in Noord en Zuid Holland, Utrecht en Friesland.

Uit de bemestingsproef in Zegveld blijkt dat kunstmestbemesting het hoogste gehalte bodemorganische stof (0-10cm) geeft na drie jaar, samen met de vaste mestsoorten en de onbemeste controle. Het type bemesting geeft geen significant verschil in drogestof opbrengst van gras, alleen de controle (geen bemesting) is lager. Deze twee effecten samen duiden erop dat bij bemesting de afbraak van organische stof in de bovenlaag (0-10cm) mogelijk hoger is, maar dat er bij kunstmest ook een grotere aanvoer van organische stof is waardoor het netto effect bij kunstmest gelijk is aan de onbemeste controle. Bij kunstmestbemesting is er ook een klein maar significant effect op de bodem-pH waarneembaar: deze is het laagst bij de kunstmest, wat de veenafbraak kan vertragen. De resultaten van het landelijke bodembioologisch meetnet geven geen indicatie dat kunstmest veenafbraak versnelt: er is geen significant verschil in het organische stofstofgehalte van de biologische melkveebedrijven (waar kunstmest niet is toegestaan) en de gangbare melkveebedrijven (met kunstmestbemesting).

Conclusie

Doordat het gebruik van kunstmest

- tot verhoogde aanvoer van organische stof via plantresten en wortels kan leiden,
- de afbraak van oude organische stof uit veen kan remmen,
- en in de meetreeksen het hoogste organische stof gehalte gaf,

geven de gegevens zowel uit de literatuur als de data analyse geen indicatie dat kunstmest veenafbraak bevordert. Deze conclusie geldt voor de bovenlaag. Op grond van de meetgegevens gepresenteerd in dit onderzoek kan geen conclusie worden getrokken over de gehele ontwaterde veenlaag.

1 Inleiding

In 2015 is door de provincie Friesland in nauwe samenwerking met Wetterskip Fryslân, de Friese gemeenten, belangenorganisaties, en de mensen die er wonen en werken de Veenweidevisie vastgesteld. De aanleiding van deze visie was dat in het Friese veenweidegebied het maaiveld daalt doordat de veenlaag langzaam verdwijnt. De gevolgen daarvan zijn ingrijpend voor de functies en de gebruikers van het gebied. Wanneer het huidige beleid en maatregelen niet worden aangepast, is het veen over honderd jaar nagenoeg verdwenen. De Veenweidevisie brengt de gevolgen van maaiveldaling in beeld en kijkt naar de mogelijkheden om daar wat aan te doen. In de visie is als hoofddoel benoemd: “een duurzaam ontwikkelingsperspectief voor een aantrekkelijk en leefbaar veenweidegebied waarvoor alle belanghebbenden zich in willen spannen.”

Op dit moment loopt het 2^e Uitvoeringprogramma Feangreidefisy (2018-2019). Hierin is een aantal lopende projecten (bouwstenen) beschreven. Ook is er aandacht voor innovatie. “De programmalijn innovatie heeft als doel het ontwikkelen én het stimuleren van het toepassen van kennis en innovaties die bijdragen aan vertraging van de veenoxidatie tegen acceptabele kosten”. Hierbij is het van belang dat alle mogelijke effecten en oorzaken van de afbraak van het veen scherp in beeld zijn, zodat er voor het definitieve maatregelenprogramma goede en (kosten-) effectieven maatregelen genomen kunnen worden.

De overkoepelende vraag is dus hoe de maaiveldaling beperkt kan worden. Dit kan door maatregelen op het gebied van slootwaterpeil en drainage. Daarnaast zijn bodemaatregelen van invloed op de veenafbraak en daarmee op de daling van het maaiveld. Daarom is het essentieel te onderscheiden welk landgebruik en welke landbouwpraktijken de veenoxidatie stimuleren en welke niet.

Dit rapport behandelt een specifiek aspect van landgebruik, namelijk grasproductie/beweiding voor de melkveehouderij. Dit landgebruik is verreweg de belangrijkste op veen in Nederland (>80% van het areaal). In productiegrasland worden verschillende soorten organische en anorganische mest gebruikt om de grasopbrengst te waarborgen. De centrale vraag in dit rapport is of bemesting, en specifiek het gebruik van kunstmest een stimulerend effect heeft op veenoxidatie en welke processen hieraan ten grondslag liggen. Deze vraag komt direct voort uit de vraag van de PS Fryslân “om een analyse van bestaande meetreeksen aan effecten van verschillende bemestingsregimes op de bodem, specifiek veenweide” waarin volgens de offerte, de punten aan bod komen:

- Inventarisatie relevante meetreeksen (bemesting en effect op veenweidebodem)
- Analyse meetreeksen effect van kunstmest op bodembioïologie en indicatoren voor opbouw en afbraak van organische stof. Aandacht voor verschillen veen in Fryslân en westelijk veenweidegebied
- Aanvullende literatuurstudie
- Korte aanbevelingen voor maatregelen en of verder onderzoek

De in dit rapport gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op een literatuurstudie naar veenafbraak en de verschillende bodem chemische, fysische en biologische processen die hieraan ten grondslag liggen. Daarnaast zijn deze gegevens uit de literatuur gekoppeld aan de analyse van een driejarige bemestingsproef in het westelijk veenweidegebied en de analyse van de meetgegevens van veenweidepercelen in het landelijke bodembioïologische meetnet (BoBi). In beide

datasets is gekeken naar de invloed van bemesting op een breed scala aan bodemparameters en is specifiek gekeken naar het effect van bemesting op het organische stofgehalte in veen.

In dit rapport is ingegaan op de specifieke vraag of toevoegen van (kunst)mest veenafbraak versneld. Deze vraag is vanuit een wetenschappelijk perspectief benaderd. Dit rapport geeft de achtergrondinformatie bij deze complexe processen. In deze studie wordt niet ingegaan op eventuele andere milieueffecten van (kunst)mestbemesting.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de resultaten van de literatuurstudie beschreven. Hierin is aandacht voor de verschillen tussen het Westelijk veenweidegebied en de Friese veenweiden. Daarnaast worden de verschillende mechanismen die een rol spelen bij de afbraak van organische stof in de bodem, en meer specifiek in veenweidegronden, uitgewerkt. Er wordt in detail ingegaan op verschillende processen die een rol spelen bij de afbraak van organische stof uit veen en de rol van bemesting op afbraak. Ook worden de variabelen die veenoxidatie versterken of remmen besproken.

Hoofdstuk 3 koppelt de verschillende theoretische aspecten aan experimentele data. Twee meetreeksen met gegevens over het effect van (kunst)mest op bodembioïecologie en indicatoren voor opbouw en afbraak van organische stof zijn verwerkt en geanalyseerd.

Hoofdstuk 4 bevat de integrale conclusies en aanbevelingen voor maatregelen en verder onderzoek.

2 Literatuurstudie

In eerdere studies is gevonden dat veenafbraak over het algemeen geremd wordt door stikstofbemesting (Craine et al. 2007; Knorr et al. 2005; Mack et al. 2004; Dell et al. 2012; Matocha et al. 2004). Met name de afbraak van moeilijk afbreekbare componenten wordt geremd. Ook essentiële enzymprocessen die veenafbraak stimuleren worden door stikstofbemesting geremd. In dit hoofdstuk wordt de theoretische onderbouwing beschreven van eventuele relaties tussen (kunst)mest en veenoxidatie: Wat zijn de mechanismen die een rol spelen bij de afbraak van organische stof en welke variabelen beïnvloeden deze?

Voor een goed begrip van de afbraak van veen is het van belang iets te weten over het ontstaan van veen. Veenbodems zijn niet zoals zand en klei van elders aangevoerd en gesedimenteerd, maar ter plaatse ontstaan door afsterfing van planten tijdens de afgelopen ca. 10.000 jaar. Als gevolg van zeer natte omstandigheden (geen lucht en dus ook geen bodemleven) en soms ook lage pH, verteerden de planten slechts gedeeltelijk. Er vond dus een ophoping van organische stof plaats, soms tot pakketten van tientallen meters.

2.1 Veensoorten

De veensoorten die we kennen zijn het gevolg van de plantensoorten die tot veenvorming hebben geleid en de omstandigheden waarin veen is ontstaan: voedselarm of voedselrijk.

In het Friese landschap onderscheiden we drie soorten veen (Cnossen, 1971):

- Veenmosveen: ontstaan onder voedselarme omstandigheden (regenwater), meestal vrij sterk vergaan. In geoxideerde toestand zwart van kleur, zonder zuurstof roodbruin van kleur. Als oud, zeer geschikt voor turfwinning, hierdoor veelal (deels) afgegraven.
- Zeggeveen: gegroeid in een iets voedselrijker milieu, te vinden langs waterlopen die voedsel aanvoerden. Bestaat meestal uit een nogal amorfe veenmassa met kleine, van zeggen afkomstige worteltjes.
- Spalterveen: een zeer dun gelaagde veensoort, ontstaan uit fijne, vezelige veenmossen. Laagje op het veenmosveen. Komt voor in Zuidwesthoek, bijna niet in het Lage Midden.

Daarnaast komen in andere delen van Nederland ook nog de volgende veensoorten voor:

- Bosveen – meestal vermengd met klei, voedselrijk. Ongeschikt voor turfwinning
- Rietveen – zeer zuur, voedselrijk, dit komt voor op de overgang van veen naar klei

In Tabel 1 een overzicht van de verschillende veensoorten en haar eigenschappen:

Tabel 1. Veensoorten en eigenschappen van diepere veenlagen (Bronnen: Kuipers 1996, Brouns, 2015)

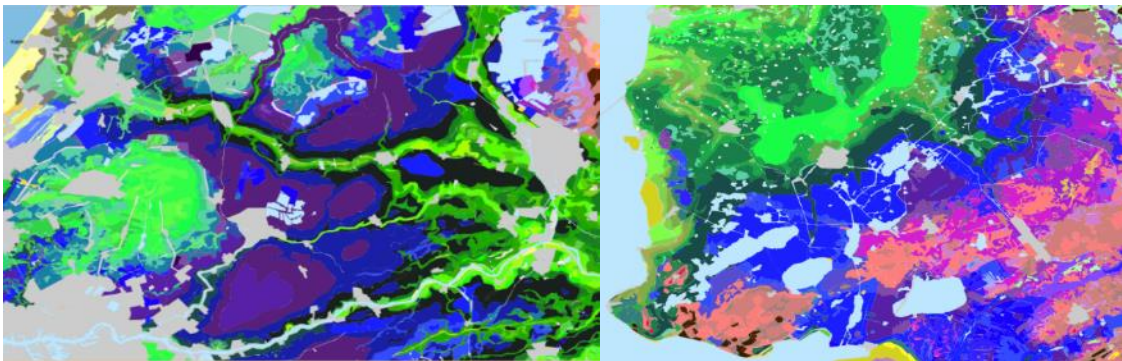
Soort veen	C:N	pH	Fenolen	Spagnumzuur
Veenmosveen	50	laag-gemiddeld	gemiddeld-hoog	Hoog
Zeggeveen	30	hoog	laag-gemiddeld	Laag
Spalterveen	50	laag-gemiddeld	gemiddeld-hoog	Hoog
Bosveen	20	hoog	laag-gemiddeld	Laag
Rietveen	40	laag	laag-gemiddeld	Laag

2.1.1 Verschillen veen in Friesland en veen in 'West-Nederland'

Volgens de veenweidevisie (2015) is het huidige Friese veenweidegebied 85.000 ha groot en bestaat voor 62% (ca 52.700 ha) uit landbouwgronden (overwegende grasland), 17% uit

natuurgebieden, 17% uit water en 4% uit bebouwing en infrastructuur. In West-Nederland en met name in Zegveld is veel onderzoek gedaan naar de afbraak van het veen. De resultaten van deze studies zijn niet altijd één op één te vertalen naar de Friese situatie. Hieronder worden de belangrijkste verschillen tussen het veen in West-Nederland en het Friese veen weergegeven.

1. Dikte van de veenlaag: 3 à 4 m en soms nog veel dikker veenpakket in het Westen. In Friesland is het veen over het algemeen minder dik; variërend van 40 cm tot 3 m (de Vries, 2014).
2. Ontwatering: in Friesland is men gewend aan een lagere slootwaterpeil dan in west-Nederland; een groot deel van de peilvakken in Friesland heeft een drooglegging dieper dan 90 cm (van den Akker, 2018) tegenover 40-50 cm in het westelijk veenweidegebied.
3. In Friesland is een groot deel van het veen vermengd met zand, in West-Nederland zit over het algemeen meer klei door het veen.



Figuur 1. Bodemkaarten Friesland (rechts) en bodemkaarten westelijk veenweidegebied (links)

Aan de kleuren op de bodemkaart zijn al verschillen te zien tussen Friesland en het westen van Nederland. Het veen in West-Nederland is op de kaart donkerder en paarser gekleurd. Dit duidt op een meer voedselrijke veenvariant. Ook is het aandeel klei in het veen in West-Nederland over het algemeen hoger dan in Friesland. Dit heeft effect op de bodemeigenschappen (hoe meer klei, hoe groter het zwel- en krimpvermogen) en de bodemvruchtbaarheid. Verder valt op dat in West-Nederland het veen door een aantal rivieren wordt doorkruist terwijl in Friesland het veen zich op de scheidslijn tussen de zeeklei en het zand bevindt.

2.2 Processen van organische stof-afbraak in veen

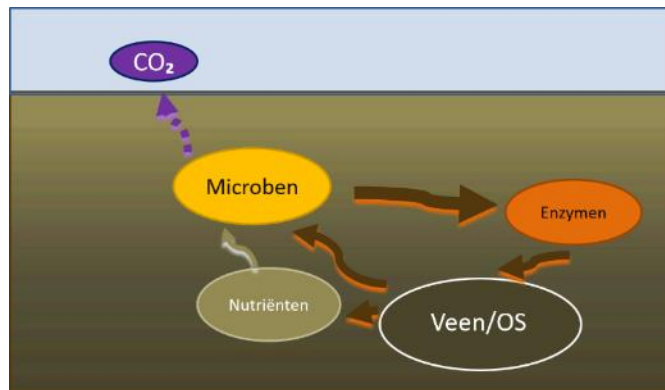
2.2.1 Organisch materiaal

Organische stof in de bodem bestaat grotendeels uit gewasresten en is belangrijk in allerlei bodemprocessen. Organische stof bepaalt o.a. bodemeigenschappen zoals bodemstructuur, watervasthoudend vermogen, infiltratiecapaciteit en levering van nutriënten voor plantengroei. Organische stof is een verzamelnaam voor alle stoffen met een koolstofketen en bestaat voor een groot gedeelte uit koolstof. De samenstelling van de organische stof bepaalt of het makkelijk afbreekbaar is of juist niet. De verhouding tussen koolstof en stikstof (de C:N-verhouding) is een belangrijke indicator voor het gemak waarmee organische stof kan worden afgebroken. Organisch materiaal met een relatief lage C:N-verhouding (< 15) zoals drijfmest en verse gewasresten, verteert makkelijk. Organisch materiaal met een relatief hoge C:N-verhouding (>20), zoals stro, zal daarentegen langer in de bodem aanwezig blijven. Naast dat de C:N verhouding iets kan zeggen over hoe gemakkelijk verse organische stof wordt afgebroken is het ook een indicator voor de afbraakgeschiedenis van het veen zelf. In veengrond is, afhankelijk van

de herkomst en eigenschappen van het veen, van nature een hoge C:N verhouding van 20-50 (zie tabel 1). Deze verhouding is hoog doordat veen veel moeilijk afbreekbare componenten en zuren bevat. Fenol houdende verbindingen en sphagnumzuur spelen hierin een belangrijke rol, beide kunnen het afbraakproces remmen. In veengrond is de C:N-verhouding een maat voor hoever het veen is afgebroken (Malmer et al., 1984). Veen dat nauwelijks is afgebroken heeft nog steeds een hoge C:N verhouding en sterke veenaafbraak resulteert in een lage C:N-verhouding. Dit is ook te zien in het bodemprofiel van veenweidegrond, de toplaag heeft een lager C:N-verhouding dan de diepere bodemlagen.

2.2.2 Afbraak van organisch materiaal

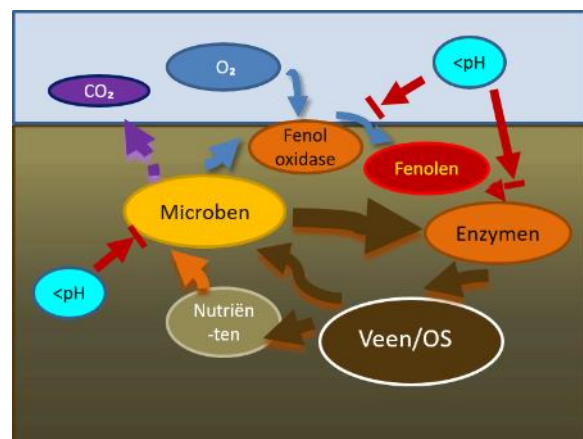
De macro- en meso-fauna in de bodem, zoals insecten en wormen, zorgt voor de eerste stap in het afbraakproces van organische stof door het dode plantmateriaal te mixen met te bodem en te verkleinen. Vervolgens breken microben het organische materiaal verder af. Dit doen ze met behulp van uitgescheiden enzymen (exo-enzymen) die het organische materiaal dat uit complexe verbindingen bestaat omzetten naar simpelere verbindingen, met als eindproduct voornamelijk CO₂, water en mineraal



Figuur 2. Afbraak organische stof door exoenzymen

stikstof. Enzymactiviteit is essentieel voor afbraak van chemische verbindingen, en bij de afbraak van het grootste gedeelte van het organische stof gaat het om hydrolytische enzymen: enzymen die de chemische verbinding tussen moleculen afbreken onder opname van water. Een voorbeeld van deze enzymen zijn glucosidases die koolstof verbindingen afbreken.

Omdat de afbraak plaats vindt door de microbiële gemeenschap in de grond, zijn omgevings-eigenschappen die de activiteit van de microben beïnvloeden ook van invloed op de afbraaksnelheid van organische stof. De pH van de bodem, de temperatuur en de aanwezigheid van zuurstof zijn hierin de belangrijkste elementen. Temperatuur en pH bepalen de activiteit en de diversiteit van de microbiële bodemgemeenschap. Hoe dichter bij een neutrale pH hoe hoger de diversiteit en activiteit in de bodem (Fierer et al., 2006). Een lage pH wordt genoemd als een factor in lagere afbraaksnelheid in veen (Freeman et al., 2001, Kalbitz et al., 2000, Bergman et al., 1999). Het mechanisme hierachter is dat een lagere pH de productie van hydrolyse enzymen en fenoloxidase remt: dit zijn enzymen die direct van invloed zijn op de afbraak van organische stof.



Figuur 3. Effect van pH op enzym activiteit en daarmee afbraak

- pH beïnvloedt fenoloxidase enzymactiviteit: lagere pH betekent minder fenoloxidase-activiteit
- pH beïnvloedt hydrolaseactiviteit: lagere pH betekent minder hydrolaseactiviteit

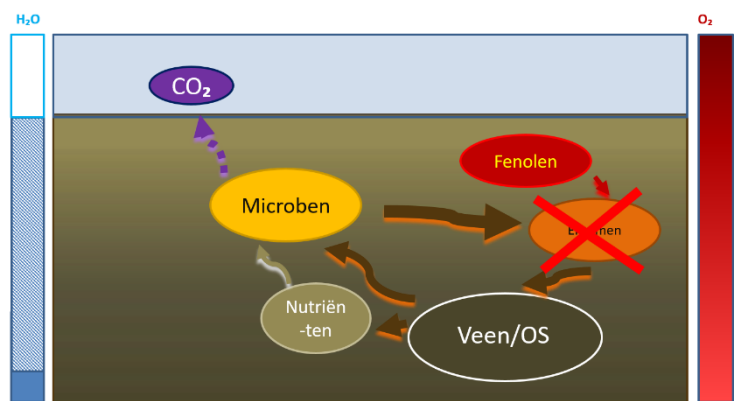
Daarnaast is de aanwezigheid van zuurstof erg belangrijk. In een zuurstofrijke bodemomgeving vindt aerobe omzetting plaats; de afbraak van organische stof eindigt met mineralisatie, ofwel de omzetting van organisch materiaal tot nutriënten en gas. In deze laatste stap in decompositie is de organische stof de elektrondonor en is zuurstof meestal de elektronacceptor. Dit verandert als er geen of weinig zuurstof aanwezig is, zoals in de diepere veenlagen. Hier kunnen ook alternatieve afbraakstappen plaatsvinden met andere elektronacceptoren zoals sulfaat (bij pyrietoxidatie) en nitraat. Dit proces gaat echter veel langzamer dan aerobe afbraak.

2.2.3 Fenolen

Een deel van de moeilijk afbreekbare componenten van organische stof bestaat uit fenolen. Fenolen zijn organische verbindingen die uit minimaal 1 aromatische ring bestaan. Deze ring maakt het moeilijk(er) afbreekbaar. Voorbeelden van fenolen zijn lignine (hout), tannine en humuszuren. Naast dat ze op zichzelf moeilijk afbreekbaar zijn, kunnen fenolen ook interfereren met de afbraak van andere makkelijk afbreekbare organische stof deeltjes. Dit gebeurt doordat ze binden aan de enzymen die sulfaat, fosfaat of koolstof verbindingen afbreken. Dit gebeurt echter voornamelijk onder zuurstofarme omstandigheden. Juist in veen, met door de hoge waterstand vaak een zuurstofarme omgeving, vertragen fenolen de afbraak door verbindingen te vormen met exo-enzymen (bijvoorbeeld hydrolyse enzymen) en zo de werking van deze enzymen te blokkeren (Verhoeven et al., 1995, Sinsabaugh et al., 2010).

Zuurstof tekort -> veel fenolen-> binding met exo-enzymen -> inactivatie afbraak enzymen

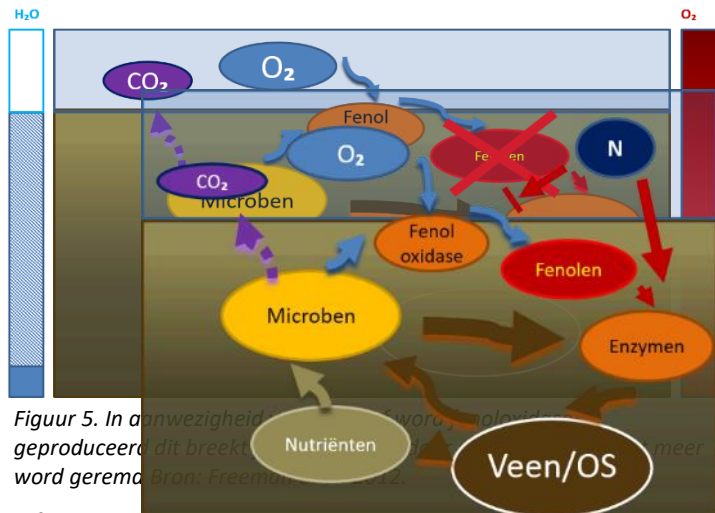
Op hun beurt kunnen fenolen weer worden afgebroken door het enzym fenoloxidase, die de afbraak van verschillende organische moleculen die fenolen bevatten stimuleert. Ontwatering zorgt dat er zuurstof in het veen komt waardoor de activiteit van fenoloxidase toeneemt.



Figuur 4. Effect van fenolen op enzym activiteit en daarmee afbraak

Zuurstof -> actief fenoloxidase -> weinig fenolen -> actieve afbraak enzymen

Dit zorgt voor een verhoogde afbraak van organische stof (Freeman et al., 2001). De potentiële activiteit van oxidatieve exo-enzymes (zoals fenoloxidase) is echter afhankelijk van veentype en wijst erop dat substraatsamenstelling van belang is voor de afbraak. Ook is de bodemzuurgraad van belang: fenoloxidase-activiteit is lager bij een hogere (>6) pH (Pind et al., 1996). De fenolconcentraties in een experiment waar anaeroob veen werd blootgesteld aan zuurstof nuanceert de rol van fenol oxidase. Mogelijk speelt niet de kwantiteit maar de kwaliteit van de fenolhoudende organische stof een rol (Brouns, 2016).



Figuur 5. In aanwezigheid van zuurstof wordt fenol afgebroken tot fenolen en CO₂. Fenol wordt geproduceerd door microben die organische stof afbreken. Fenolen worden afgebroken tot CO₂ en water. Fenol wordt geproduceerd door microben die organische stof afbreken. Fenolen worden afgebroken tot CO₂ en water. Fenol wordt geproduceerd door microben die organische stof afbreken. Fenolen worden afgebroken tot CO₂ en water.

Figuur 6. De remmende werking van stikstof op fenoloxidase en de productie van hydrolyse enzymen

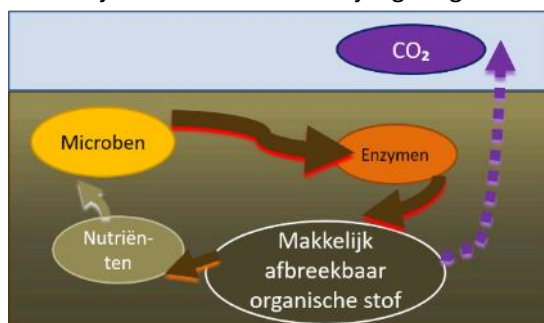
2.2.4 Stikstof

Stikstof toevoeging stimuleert de afbraak van gemakkelijk afbreekbare organische stof en remt de afbraak van de moeilijker afbreekbare verbindingen zoals lignine en andere fenolen. Dit heeft als gevolg dat de afbraaksnelheid van recalcitrant organisch stof afneemt als resultaat van het toevoegen van stikstofhoudende meststoffen (Craine et al., 2007).

*Stikstof -> stimulatie hydrolyse en glucosidase enzymen -> vermindering fenoloxidase-enzymen
-> afbraak van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal neemt toe, afbraak moeilijker afbreekbaar materiaal (lignine, fenolen) neemt af*

2.2.5 'Priming effect' in veenoxidatie

Naast landgebruik en ontwatering kan ook het toevoegen van (verse) organische stof effect hebben op veenafbraak. In veenbodems is er een mix van organische stof aanwezig, afkomstig uit het veen (oude organische stof) en afkomstig uit recente plantengroei, gewasresten en bemesting (jonge organische stof). Doordat de oude organische stof uit de veenlaag voornamelijk uit recalcitrante componenten bestaat zoals lignine is het minder makkelijk afbreekbaar dan de jonge organische stof (Leifeld et al., 2012). Bij de aanwezigheid van makkelijk afbreekbaar organische stof in veengrond is het mogelijk dat er een 'priming effect' ontstaat. Priming ontstaat als de gemakkelijk afbreekbare organische stof als energiebron gaat dienen voor microben die verantwoordelijk zijn voor de afbraak. Als de groei en activiteit van deze microben toeneemt, neemt ook de hoeveelheid uitgescheiden exo-enzymen toe. Dit kan de afbraak van het moeilijker afbreekbare veen stimuleren (Blagodatskaya and Kuzyakov, 2008; Fontaine et al., 2003). Het onderzoek van



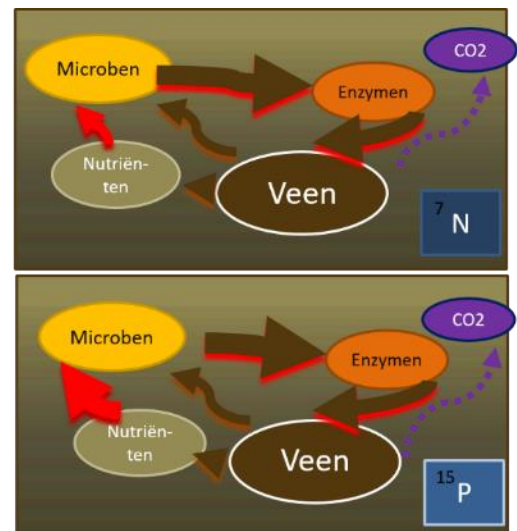
Figuur 7. Priming effect: De toevoer van vers (makkelijk afbreekbaar) organisch materiaal kan afbraak van oud/moeilijk afbreekbaar organisch materiaal stimuleren.

Basiliko et al., (2012) toont bijvoorbeeld aan dat wortellexudatie, het lekken van suikers en aminozuren uit plantenwortels, de afbraak van veen bevordert (Basiliko et al., 2012). Naast een stimulerend effect, kan de afbraak van veen juist ook afnemen door de aanwezigheid van makkelijk afbreekbaar ('jong') organische stof. Een mogelijk mechanisme is dat de microbiële gemeenschap die verantwoordelijk is voor de afbraak en voorkeur heeft voor de makkelijk afbreekbare organische stof zoals polysaccharide uit het 'jonge' organische materiaal waardoor het 'oude' moeilijk afbreekbare veen, minder wordt afgebroken (Kuzyakov et al., 2000). Of, wanneer, onder welke omstandigheden dit primingproces plaatsvindt en welk resultaat dit geeft is echter niet volledig onderzocht voor veenweidegebieden. Onderzoek van Bader et al. (2018) is specifiek gericht op priming in veen. Ze keken naar het effect van de toevoeging van gewasresten (mais) als verse organische stof op veenafbraak. Hun belangrijkste bevinding is dat het sterk afhangt van de samenstelling van de toegevoegde organische stof of er een priming effect is en of deze veenafbraak stimuleert of juist afremt. Wanneer de toegevoegde organische stof een hoge C:N verhouding heeft, kan de afbraak van veen worden gestimuleerd (Kuzyakov et al., 2002; Kuzyakov et al., 2010). Begrazing door schapen en de aanwezigheid van schapenmest heeft geen invloed op de afbraaksnelheid van de veengrond (Leiber-Sauheitel et al., 2015).

2.3 Effecten van bemesting op afbraak van organische stof in de bodem

Bemesting stimuleert de grasgroei en waarborgt daarmee de grasopbrengst maar ook gedeeltelijk organische stof aanvoer via gewasresten en wortels. Echter, de input van nutriënten beïnvloedt de afbraak van organische stof in de bodem (zie 2.2). Een belangrijke vraag is wat de rol is van nutriënten in de afbraak van organische stof (bijvoorbeeld bij toevoeging door bemesting) en welke mechanismen hierachter zitten. Dit is getest in de experimenten van Craine (2007) die koolstof mineralisatie in 50 bodems onderzocht met standaard plantmateriaal (elke bodem dezelfde samenstelling van te testen plantresten), waaronder een aantal veenbodems. Dit werd gedaan met en zonder stikstof toevoeging. Uit deze proef werd geconcludeerd dat wanneer er weinig stikstof aanwezig was in de grond, de afbraak van organische stof toenam, omdat de microben verantwoordelijk voor de afbraak de koolstof uit de toegevoegde plantenresten gebruikten om stikstof vrij te maken uit het moeilijk afbreekbare deel van de organische stof in de bodem (de zogenaamde stikstof-'mining'). Dit proces wordt vertraagd door toevoeging van stikstof aan de bodem. Een andere uitkomst van deze studie was dat wanneer stikstof-'mining' plaatsvindt, de afbraak van moeilijk afbreekbaar organische stof het grootst is als suikers/gemakkelijk afbreekbare koolstof aanwezig is en het stikstofniveau in de bodem laag is, bijvoorbeeld in bodem met een laag mineraal stikstofgehalte en geen (stikstof) bemesting (Craine, 2007; Brouns, 2016).

Hartley et al. (2010) vonden een vergelijkbaar resultaat. Wanneer bemesting niet in combinatie maar als enkelvoudig component wordt toegepast (stikstof of fosfor alleen), wordt de totale CO₂ productie (resultaat van afbraak van organische stof) in organische grond niet verhoogd door NH₄NO₃ of NaPO₄ (Hartley et al 2010). Het lijkt erop dat de CO₂ respiratie relatief ongevoelig is voor



Figuur 8. Twee mechanismen waarop nutriënten toevoeging organische stof-afbraak beïnvloeden. Boven: 'mining' effect. Bij tekort aan nutriënten worden tekorten aangevuld uit extra afbraak (oude) organische stof. Onder: Stoichiometrie van nutriënten. Bij voldoende nutriënten aanwezig is afbraak het grootst.

enkelvoudige nutriëntentoevoeging. Stikstof toevoeging is herhaaldelijk gerapporteerd als juist remmend op organische stof-afbraak (Soderstrom, 1983; Fog, 1988; Cheshire, 1996; Fierer, 2003; Ouyang, 2008; Brouns, 2016) of neutraal (Yoshitake 2007). Daarnaast is ook bekend dat stikstof de CO₂ respiratie kan stimuleren (Cheshire, 1996; Fierer, 2003). Echter, de studie van Fierer (2003) wijst uit dat dit niet aan de oppervlakte maar in de diepere bodemlagen gebeurt. In de bovenste bodemlaag was er juist remming te zien. Welke nutriënten reeds aanwezig zijn in de bodem is belangrijk: de studies van Amador & Jones (1993) en van Cheshire & Chapman (1996) vonden dat stikstof toediening in veengrond de afbraak remde als er een lage hoeveelheid fosfor aanwezig was in de bodem, maar dit effect was neutraal of juist stimulerend bij een hoog fosfor gehalte in de grond. Een verklarend mechanisme kan zijn dat hogere stikstofbeschikbaarheid kan resulteren in de vorming van meer moeilijk afbreekbare organische stof en in een vertraging van de afbraak van moeilijk afbreekbare organische stof (Berg, 2000). In samenvatting is het effect van stikstof toevoeging niet eenduidig: vaak wordt de afbraak van organische stof vertraagd door anorganische stikstof, hoewel dit ook afhangt van het type organische stof en het fosforgehalte in de bodem. Daarentegen is het toevoegen van stikstof in combinatie met fosfor bijna altijd stimulerend voor afbraak. Priming effecten werden niet gemeten bij stikstof toevoeging (Hartley et al., 2010)

3 Effecten van bemesting en kunstmest op veen: resultaten van proeven

Wat voor effect heeft het toevoegen van (kunst)mest op de afbraak van organische stof in veenweidegrond? In dit hoofdstuk worden hiervoor twee datasets geanalyseerd; één van een bemestingsproef in het westelijk veenweidegebied en één van het landelijke bodem biologische meetnet (BoBl).

3.1 Bemestingsproef westelijk veenweidegebied:

In productiegrasland is bemesting een belangrijke maatregel voor een goede grasopbrengst. Daarbij worden verschillende soorten organische en anorganische mest gebruikt. Verschillen in samenstelling en toepassing van meststoffen leiden tot verschillen in zowel chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen: het doel van de bemestingsproef uitgevoerd op veengrond in Zegveld in 2013-2015 was om het effect van type meststof op bodemkwaliteit en levering van ecosysteemdiensten in brede zin te evalueren, maar met name ook op het effect op weidevogels.

3.1.1 Proefopzet

Van 2013-2015 is er op proefboerderij KTC Zegveld een bemestingsexperiment uitgevoerd waarin zes verschillende mestsoorten en een controle zonder bemesting op een breed scala aan bodem ecosysteemdiensten is onderzocht in een gerandomiseerde proefopzet met zes herhalingen. De volgende meststoffen zijn in het experiment meegenomen: rundveedrijfmest (DM), dikke fractie van gescheiden rundveedrijfmest (DFr), ruige stalmest (RM) en GFT-compost (GFT), en drie referentie-behandelingen: onbemeste controle (C), kunstmest (KM) en zaagsel met kunstmest (Za). De hoeveelheid toegevoegde mest van alle toegevoegde mestsoorten was berekend op 120 kg stikstof per hectare, verdeeld over twee mestgiftten per jaar. Doordat mestanalyses pas na bemesting bekend waren is de daadwerkelijke mestgift iets afwijkend (tabel 2). Na drie jaar volgens de verschillende bemestingsregimes gewerkt te hebben zijn er bodem- en grasopbrengstmetingen uitgevoerd.

Tabel 2. De verschillende mestsoorten en de C/N/P toevoeging per jaar.

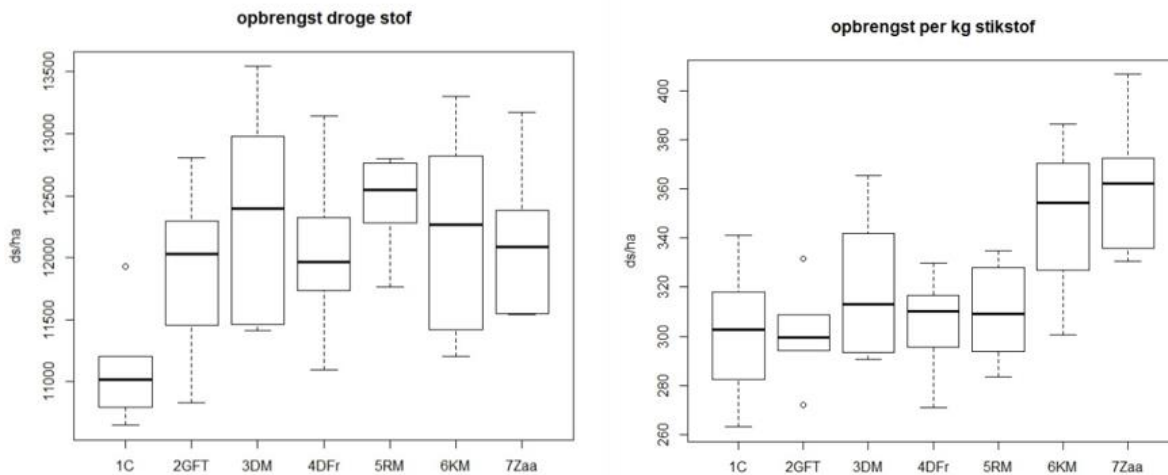
	Behandeling	Gemiddelde 2013-2015 (kg/ha/jaar)			
		N	C	C/N	P ₂ O ₅
1	C	0	0	0	0
2	GFT	114	1470	13	50
3	DM	119	795	7	43
4	DFr	123	2800	23	69
5	RM	134	1920	14	73
6	KM	120	0	0	0
7	Za	123	1445	12	0

3.1.2 Effect van bemesting op grasopbrengsten

Het type bemesting heeft duidelijk effect op jaaropbrengst van het gras, zowel in droge stof als in stikstofopbrengst. De opbrengsten in jaaropbrengst droge stof verschilden niet tussen de verschillende soorten bemesting maar waren wel significant hoger dan de controle (geen mest) (zie tabel 3, figuur 9). De hoogste totaal stikstofopbrengst is te zien bij bemesting met kunstmest. De eerste twee sneden hadden een significant hogere opbrengst in droge stof en stikstof bij de kunstmest bemesting, de 3^e en 4^e sneden waren daarentegen significant lager bij kunstmest.

Tabel 3. Bemestingseffecten op droge stof (DS) en stikstof (N) opbrengsten. Voor afkortingen behandelingen zie Tabel 2. Per variabele, twee gemiddelden met verschillende letters zijn significant verschillend (LSD 5%).

Variable	Unit	P-waarde	C	DM	DFr	RM	GFT	KM	Za	LSD
DS opbrengst totaal	kg ha ⁻¹ y ⁻¹	0.016	11101 a	12363 B	12039 b	12450 b	11908 b	12214 b	12136 b	731
DS snede 1	kg ha ⁻¹	0.002	3110 a	3931 Bc	3726 bc	3930 bc	3611 b	4114 c	4120 c	478
DS snede 2	kg ha ⁻¹	<.001	2862 ab	2892 Ab	2761 a	3029 b	2830 ab	3504 c	3349 c	210
DS snede 3	kg ha ⁻¹	<.001	3652 b	3885 B	3836 b	3741 b	3711 b	3156 a	3217 a	345
DS snede 4	kg ha ⁻¹	<.001	1477 a	1655 B	1716 b	1750 b	1755 b	1439 a	1450 a	145
N opbrengst totaal	kg ha ⁻¹ y ⁻¹	<.001	302 a	320 A	306 a	310 a	301 a	349 b	362 b	29
N snede 1	kg ha ⁻¹	<.001	88 a	96 A	89 a	88 a	84 a	119 b	137 b	21
N snede 2	kg ha ⁻¹	<.001	69 a	67 A	62 a	67 a	65 a	94 b	89 b	8.8
N snede 3	kg ha ⁻¹	0.056	102	110	104	106	101	92	92	13
N snede 4	kg ha ⁻¹	0.001	43 a	47 Abc	50 c	48 bc	51 c	44 ab	43 a	4.4



Figuur 9. Bemestingseffecten op droge stof en stikstof opbrengsten. Links: droge stof opbrengst totaal. Rechts: stikstof opbrengst totaal. Voor afkortingen behandelingen zie Tabel 2.

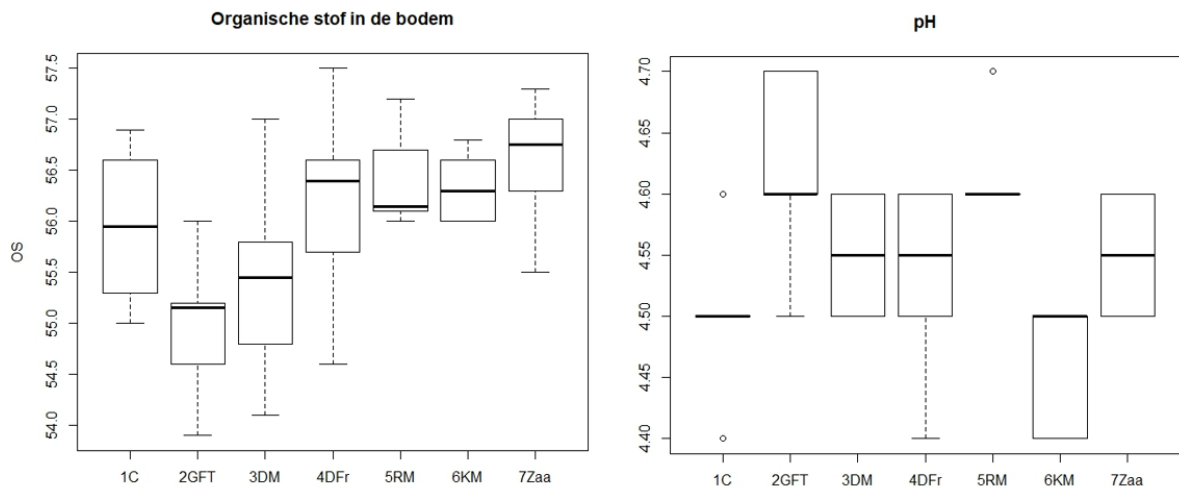
3.1.3 Effect van bemesting op pH en bodem organische stof

Na drie jaar bemesting was het organische stofgehalte in de bodem het hoogst in de twee kunstmestbehandelingen en de twee soorten vaste mest (ruige stalmest en dikke fractie van runderdrijfmest) gevolgd door de controle zonder bemesting. In de drijfmest proefvelden en bij de GFT toevoeging was deze het laagst. Dit laatste is deels een resultaat van een verdunningseffect door het hoge zandgehalte in de GFT.

De bodem-pH in de kunstmestbehandeling was het laagst vergeleken met de andere behandelingen, gevolgd door de pH in de controlebehandeling en de dikke fractie-behandeling. De hoogste pH werd gemeten bij GFT en ruige mest.

Tabel 4. Bemestingseffecten op bodemchemische eigenschappen. Voor afkortingen behandelingen zie tabel 2. Per variabele, twee gemiddelden met verschillende letters zijn significant verschillend (LSD 5%).

Variable	Unit	P-waarde	C	DM	DFr	RM	GFT	KM	Za	LSD
OS	g 100 g ⁻¹	0.003	56.0 bc	55.4 ab	56.2 bc	56.4 c	55.0 a	56.3 c	56.6 c	0.8
pH KCl	Log [H ⁺]	<.001	4.50 ab	4.55 bc	4.53 ab	4.62 c	4.62 c	4.47 a	4.55 bc	0.07



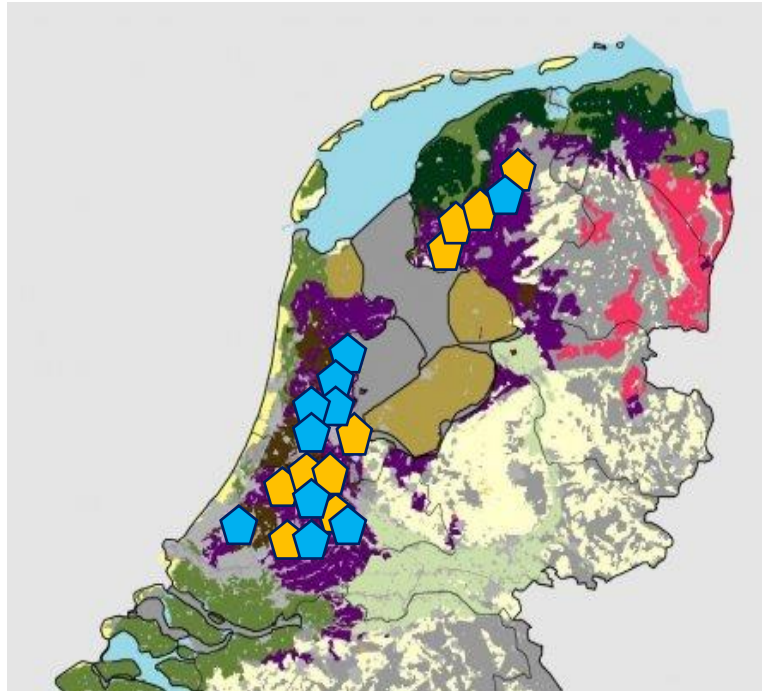
Figuur 10. Bemestingseffecten op bodem organische stof en pH, voor afkortingen behandelingen zie Tabel 2.

3.1.4 Conclusies bemestingsproef Zegveld

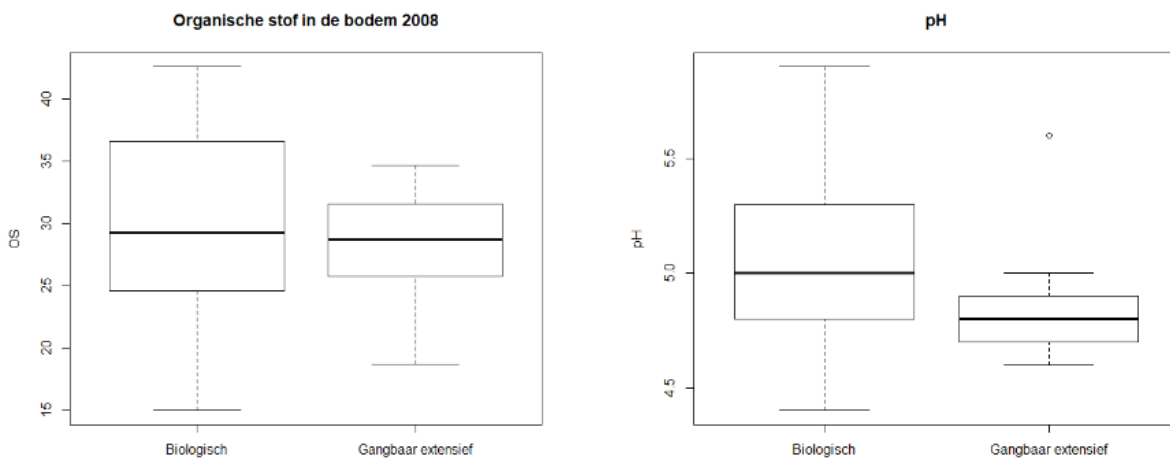
- Er is een klein maar significant effect meetbaar op pH, die is iets lager bij de bemesting met kunstmest. Dit kan op de langere duur mogelijk zorgen voor een afname in de afbraaksnelheid van de organische stof.
- Het type bemesting heeft duidelijk effect op grasopbrengst (zowel in droge stof als in stikstof). De hoogste stikstofjaaropbrengst is te zien bij bemesting met kunstmest. De jaaropbrengsten in droge stof verschillen niet tussen de verschillende soorten bemesting.
- Er is geen duidelijke aanwijzing dat kunstmest een grotere invloed heeft op veenafbraak dan de andere mestsoorten. In tegendeel, het organische stof gehalte in de bodem was het hoogste in de kunstmestvelden. Echter, de verschillen gemeten na drie jaar zijn klein. Effecten op de langere termijn zouden in vervolgonderzoek uitgezocht moeten worden.
- De gemeten verschillen in organische stof, pH en grasopbrengsten geven een indicatie dat kunstmestbemesting veenafbraak vertraagt: Kunstmestbemesting geeft het hoogste gehalte bodemorganische stof (0-10cm) na drie jaar, en een hogere opbrengst dan de onbemeste controle. Deze twee effecten samen duiden erop dat bij bemesting de afbraak in de bovenlaag (0-10cm) weliswaar hoger is, maar dat er bij kunstmest ook een grotere aanvoer van organische stof is waardoor het netto effect bij kunstmest gelijk is aan de onbemeste controle velden. Ook de pH in de kunstmestbemesting is lager dan andere mestsoorten, wat de veenafbraak kan vertragen.
- De metingen zijn gedaan in de laag 0-10 cm: er is geen uitspraak mogelijk voor de hele ontwaterde laag.

3.2 Landelijke bodemmonitoring BoBI

Het landelijke bodembioologische meetnet (BoBI) (Schouten et al., 2002) had als doelstelling het monitoren van bodembiodiversiteit en -functies. BoBI was een meerjarige activiteit waarin veldbiologische gegevens werden verzameld van een breed scala aan bodemorganismen en bodemprocessen. In totaal zijn gegevens verzameld op ca. 175 locaties. Deze vormen een steekproef uit vijf categorieën van bodemgebruik. Uit deze dataset zijn uit de meetgegevens van de in 2008 bemonsterde veenweidepercelen genomen (voor locaties zie figuur 11). Hierin zitten tien gangbare en tien biologische melkveebedrijven uit Utrecht, Noord Holland, Zuid Holland en Friesland. Het verschil tussen de gangbare en biologische bedrijven is de toepassing van kunstmest. Dit verschil geeft de gelegenheid om binnen de natuurlijke variatie die aanwezig is tussen bedrijven te toetsen of er een effect van kunstmest te vinden is in de Bobi data.



Figuur 11. Locatie van de bemonsterde veenweide percelen in de Bobi monitoring.
Geel = gangbaar, Blauw = biologisch



Figuur 12. Organische stofgehalte (links) en pH (rechts) van de verschillende veenweide percelen.

3.2.1 Verschil in organische stofgehalte tussen gangbare (met kunstmest) en biologische melkveebedrijven in het veenweidegebieden

Er zijn geen significante verschillen tussen het organische stofgehalte in de bodem van biologische melkveebedrijven ten opzichte van gangbare, extensieve bedrijfsvoering. De pH is bij de gangbare bedrijven iets lager, maar bij de biologische bedrijven is een zeer grote spreiding in bodem pH

aanwezig. Uitgesplitst per provincie, gangbaar en biologisch samengenomen, zijn de gemeten waarden in Friesland niet wezenlijk verschillend vergeleken met andere veenweidegebieden.

3.2.2 Conclusies BoBI data

- Er is geen duidelijke aanwijzing dat kunstmest op de gangbare extensieve melkveebedrijven grotere invloed heeft op veenafbraak in vergelijking met alleen organische bemesting op de biologische melkveebedrijven.
- De gegevens van de Friese veenweiden uit de dataset wijken niet sterk af van de andere veenweide gebieden.

4 Koppeling literatuurstudie en meetreeksen, conclusies en aanbevelingen

4.1 Koppeling literatuurstudie met gegevens meetreeksen

Bodemorganische stof in veenweidebodems vormt de kern van dit onderzoek. De aanwezige organische stof is de resultante van de historisch opgebouwde organische stof, de afbraak in de bodem en de aanvoer vanuit mest, wortels en gewasresten. Het bemestingsexperiment in Zegveld laat zien dat de organische stofgehalte in de behandeling met kunstmest het hoogste was. Dit is hoogstwaarschijnlijk een combinatie van een hoge grasopbrengst en daarmee ook een hoge aanvoer van organische stof via gewasresten en plantenwortels. Daarnaast blijkt uit de literatuur dat stikstof de afbraak van oude, recalcitrante organische stof (veen) remt en de afbraak van verse organische stof uit gewasresten bevordert.

De belangrijkste factor voor veenafbraak is zuurstof die in de bodem komt door ontwatering. Door de aanwezigheid van zuurstof krijgt de afbraak van organisch materiaal een impuls: afbraakprocessen verlopen veel sneller onder zuurstofrijke dan onder zuurstofarme omstandigheden. Daarnaast wordt de afbraak van fenolen door fenoloxidase mogelijk versneld bij de aanwezigheid van zuurstof en verdwijnt de 'rem' op verschillende afbraakenzymen. Naast zuurstof zijn er in de literatuur een aantal andere factoren gevonden die invloed hebben op de afbraak van organische stof in veenweidebodems. De pH in de bodem is belangrijk voor de afbraaksnelheid: bij een lagere pH vermindert niet alleen de microbiële activiteit, maar ook de fenoloxidase en hydrolyse enzymactiviteit. De controle en kunstmestbehandelingen in het bemestingsexperiment hadden de laagste pH, mogelijk is dat ook van invloed geweest op de verschillen in organische stof die werden gemeten tussen de behandelingen.

4.2 Conclusie

Zowel in de literatuurstudie als in de meetreeksen zijn er geen aanwijzingen dat kunstmest de veenafbraak versnelt. De gemeten gehalten aan organische stof was het hoogste in de behandeling die drie jaar lang kunstmest heeft gekregen. Daarnaast is er in het landelijke meetnet BoBi geen verschil gemeten in organische stof tussen gangbare (met kunstmest) en biologische melkveebedrijven (zonder kunstmest).

4.3 Aanbevelingen en verder onderzoek

- Bodem- en watermaatregelen

In dit rapport is specifiek gekeken naar de rol van kunstmest. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de toevoeging van kunstmest in de vorm van stikstof de afbraak versnelt. Het gebruik van kunstmest zou mogelijk zelfs marginaal kunnen bijdragen aan de vermindering van de afbraak. De aanwezigheid van zuurstof is een van de belangrijkste factoren die bijdragen aan de afbraak van de veenlaag. Zoals het woord veenoxidatie al zegt is dit een proces dat onder de zuurstofrijke condities plaatsvindt. Een belangrijke maatregel in de vermindering van veenafbraak is daarom het zo beperkt mogelijk houden van de zuurstofrijke bodemlaag, wat op de eerste plaats gerealiseerd kan worden door de waterstand omhoog te brengen eventueel in combinatie met onderwaterdrainage en natte teelten.

- Onderzoek naar de rol van pH in afbraaksnelheid en eventuele aanpassing van het bekalkingsadvies in veen.

Uit de literatuurgegevens die in dit rapport gepresenteerd zijn komt naar voren dat de pH van de bodem een rol speelt in de afbraak van de organische stof in veenweidebodems. Ook in de meetgegevens was een effect van pH op het organische stofgehalte meetbaar. Hoewel dit verschil over drie jaar genomen misschien klein lijkt, was het verschil wel significant. Diepgaander onderzoek naar de rol van pH in het verminderen van de veenafbraaksnelheid zou nieuwe inzichten kunnen geven voor het beheer van de veenweiden. Zo kan in een vervolgonderzoek gekeken worden hoe het pH-advies op veen in het verleden tot stand gekomen is en of het huidige advies aangepast zou moeten worden.

- Effecten in de gehele zuurstofrijke bodemlaag.

Dit rapport bevat gegevens over de bovenste bodemlaag, 0-10 cm in het bemestingsexperiment in Zegveld en 0-10/0-15 en 0-20 cm voor de Bobi meetreeks. Hoewel de toplaag voor het gewas en belangrijke ecosysteemdiensten van essentieel belang is, is in deze toplaag het oorspronkelijke veen al het meest afgebroken. De conclusies van dit rapport zijn mogelijk breder te trekken naar diepere bodemlagen. Het promotie onderzoek van Karlijn Brouns (Brouns, 2016) heeft in het westelijk veenweidegebied en Friesland in de gehele ontwaterde (zuurstofrijke) bodemlaag van 0-60 cm een lagere fenoloxidase (POX)activiteit gemeten onder landbouw- dan natuurpercelen. Het enzym fenoloxidase wordt volgens meerdere studies geremd door stikstof (Dell et al. 2012; Matocha et al. 2004); mogelijkwijs is dit een verklaring voor de lage POX activiteit die wordt gemeten onder landbouwpercelen. Voor maatregelen voor beperking van veenafbraak zou het goed zijn een gedetailleerd beeld te hebben wat er in de gehele ontwaterde bodemlaag gebeurt onder invloed van verschillen in nutriënten- en zuurstofgehalten.

Literatuur

1. Amador, J., & Jones, R. D. (1993). Nutrient limitations on microbial respiration in peat soils with different total phosphorus content. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(6), 793-801.
2. Bader, C., Müller, M., Schulin, R., & Leifeld, J. (2018). Peat decomposability in managed organic soils in relation to land use, organic matter composition and temperature. *Biogeosciences*, 15(3), 703.
3. Basiliko, N., Stewart, H., Roulet, N.T., Moore, T.R. (2012). Do root exudates enhance peat decomposition? *Geomicrobiology Journal.*, 29 (4) pp. 374-378
4. Blagodatskaya, E., Kuzyakov, E. (2008). Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review *Biology and Fertility of Soils*, 45 (2) pp. 115-131
5. Berg, B. (2000). Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest ecology and Management*, 133(1-2), 13-22.
6. Bergman, I., Lundberg, P., & Nilsson, M. (1999). Microbial carbon mineralisation in an acid surface peat: effects of environmental factors in laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(13), 1867-1877.
7. Brouns, K. (2016). The effects of climate change on decomposition in Dutch peatlands: an exploration of peat origin and land use effects (Doctoral dissertation, Utrecht University).
8. Cheshire, M. V., & Chapman, S. J. (1996). Influence of the N and P status of plant material and of added N and P on the mineralization of C from 14 C-labelled ryegrass in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 21(3), 166-170.
9. Cnossen, J. (1971). De bodem van Friesland. Toelichting bij blad 2 van de bodemkaart van Nederland schaal 1:200 000. Stichting voor bodemkartering Wageningen, 1971
10. Craine, J. M., Morrow, C., & Fierer, N. (2007). Microbial nitrogen limitation increases decomposition. *Ecology*, 88(8), 2105-2113.
11. Dell E. A., Carley, D. S., Rufty, D. S., Shi, W. (2012). Heat stress and N fertilization affect soil microbial and enzyme activities in the creeping bentgrass (*Agrostis Stolonifera* L.) rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 56:19-26.
12. Fierer, N., Allen, A. S., Schimel, J. P., & Holden, P. A. (2003). Controls on microbial CO₂ production: a comparison of surface and subsurface soil horizons. *Global Change Biology*, 9(9), 1322-1332.
13. Fierer, N., and Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103.3 pp. 626-631.
14. Freeman, C., et al. (2001). Export of organic carbon from peat soils. *Nature* 412.6849: 785.
15. Freeman, C., Ostle, N. J., Fenner, N., & Kang, H. (2004). A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10), 1663-1667.
16. Freeman, C., Fenner, N. & Shirsat, A. (2012). Peatland geoengineering: An alternative approach to terrestrial carbon sequestration. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*. 370. 4404-21Fog, K. (1988). The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Reviews*, 63(3), 433-462.
17. Fontaine, S., Mariotti, A., Abbadie, L. (2003). The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (6) pp. 837-843
18. Hartley, I. P., Hopkins, D. W., Sommerkorn, M., & Wookey, P. A. (2010). The response of organic matter mineralisation to nutrient and substrate additions in sub-arctic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1), 92-100.
19. Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J. H., Michalzik, B., & Matzner, E. (2000). Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil science*, 165(4), 277-304.

20. Knorr, M., Frey, S. D., Curtis, P. S. (2005). Nitrogen additions and litter decomposition: A meta-analysis. *Ecology*, 86:3252-3257.
21. Krueger, J.P., Leifeld, J., Glatzel, S., Szidat, S., Alewell, C. (2015). Biogeochemical indicators of peatland degradation - a case study of a temperate bog in northern Germany *Biogeosciences*, 12 (10) pp. 2861-2871
22. Kuipers, S.F. (1996) Bodemkunde. Wolters-Noordhoff BV, Houten
23. Kuzyakov, Y., Friedel, J. K., & Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11-12), 1485-1498.
24. Kuzyakov, Y. (2002). Review: factors affecting rhizosphere priming effects *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165 (4) pp. 382-396
25. Kuzyakov, Y. (2010). Priming effects: interactions between living and dead organic matter *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (9) pp. 1363-1371
26. Leiber-Sauheitl, K., Fuss, R., Burkart, S., Buegger, F., Danicke, S. Meyer, U., Petzke, K.J., Freibauer, A. (2015). Sheep excreta cause no positive priming of peat-derived CO₂ and N₂O emissions. *Soil Biology and Biochemistry*, 88:282-293
27. Leifeld, J., Steffens, M., Galego-Sala, A. (2012). Sensitivity of peatland carbon loss to organic matter quality. *Geophysical resource letters*, 39
28. Mack, M. C., Schuur, E. A. G., Bret-Harte, M. S., Shaver, G. R., Chapin F. S. (2004). Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduce by long-term nutrient fertilization. *Nature*, 431:440-443.
29. Malmer, N., Holm, E. (1984). Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with 210 Pb. *Oikos* 171-182.
30. Matocha, C. J., Haszler, G. R., Grove, J H. (2004). Nitrogen fertilization suppresses soil phenol oxidase enzyme activity in no-tillage systems. *Soil Science*, 169:708-714. Ouyang, X., Guoyi, Z., Huang, Z., Cunyu, Z., Jiong, L., Junhui, S., & Zhang, D. (2008). Effect of N and P addition on soil organic C potential mineralization in forest soils in South China. *Journal of Environmental Sciences*, 20(9), 1082-1089.
31. Pind, A., Freeman, C., & Lock, M. A. (1994). Enzymic degradation of phenolic materials in peatlands—measurement of phenol oxidase activity. *Plant and Soil*, 159(2), 227-231.
32. Söderström, B., Bååth, E., & Lundgren, B. (1983). Decrease in soil microbial activity and biomasses owing to nitrogen amendments. *Canadian Journal of Microbiology*, 29(11), 1500-1506.
33. Sinsabaugh, R. L. (2010). Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(3), 391-404.
34. Schouten, A. J., Rutgers, M., & Breure, A. M. (2002). BoBI op weg. Tussentijdse evaluatie van het project Bodembiologische Indicator. RIVM Rapport 607604002
35. Verhoeven, J. T. A., & Toth, E. (1995). Decomposition of Carex and Sphagnum litter in fens: effect of litter quality and inhibition by living tissue homogenates. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(3), 271-275.
36. Yoshitake, S., Uchida, M., Koizumi, H., & Nakatsubo, T. (2007). Carbon and nitrogen limitation of soil microbial respiration in a High Arctic successional glacier foreland near Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 26(1), 22-30.

Bijlage: Powerpoint van presentatie tussenresultaten

Factoren die veenoxidatie en organische stofgehalte in de bodem beïnvloeden

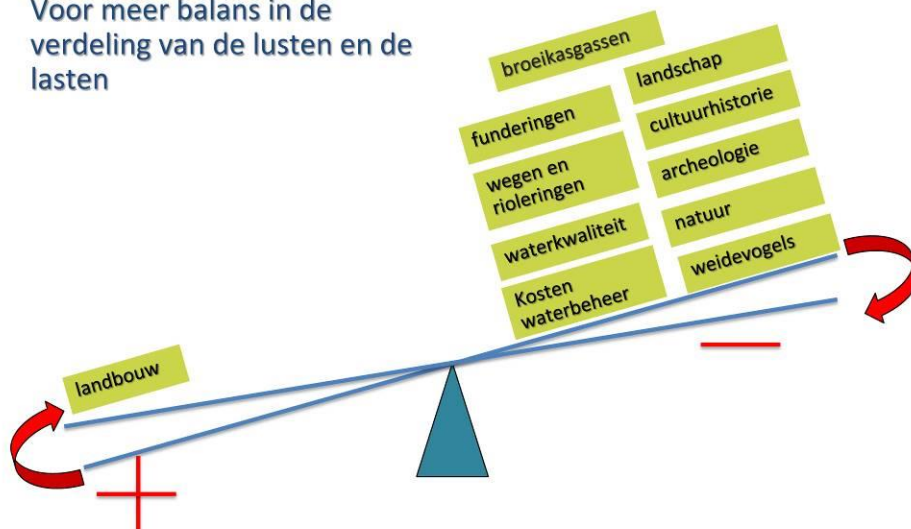
Maaïke van Agtmaal
Goaitske Iepema
Joachim Deru
Nick van Eekeren



LOUIS BOLK
I N S T I T U T E

provinsje fryslân provincie fryslân

WAAROM EEN FEANGREIDEFISY?
Voor meer balans in de
verdeling van de lusten en de
lasten



LOUIS BOLK
I N S T I T U T E

Factoren die veenoxidatie en organische stofgehalte in de bodem beïnvloeden

1) Literatuuronderzoek:

Theoretisch onderbouwing van eventuele relaties tussen (kunst)mest en veenoxidatie:

- Wat zijn de mechanismen die een rol spelen bij de afbraak van organische stof en welke variabelen beïnvloeden deze?

2) Data analyse

Analyse bestaande meetreeksen bemesting op veenweidegrond:

- Analyse bemestingsproef westelijk veenweidegebied en landelijke bodemmonitoring (Bobi)

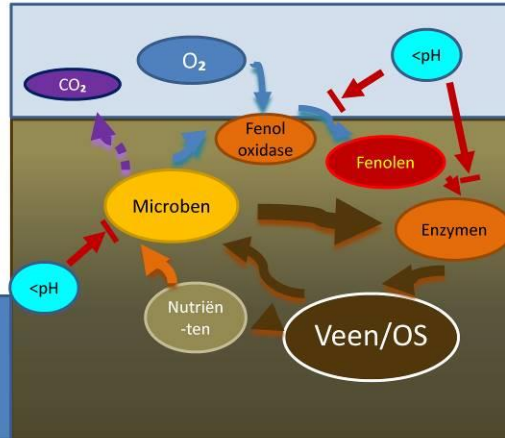
Wat zijn de mechanismen die een rol spelen bij de afbraak van organische stof en welke variabelen beïnvloeden deze?



Factoren die de processen beïnvloeden in veengrond

- Zuurstof > fenol oxidase actief > drainage
- pH beïnvloedt fenol oxidase enzym activiteit, lagere pH = minder fenol oxidase activiteit
- pH beïnvloedt hydrolase activiteit, lagere pH=minder hydrolase activiteit

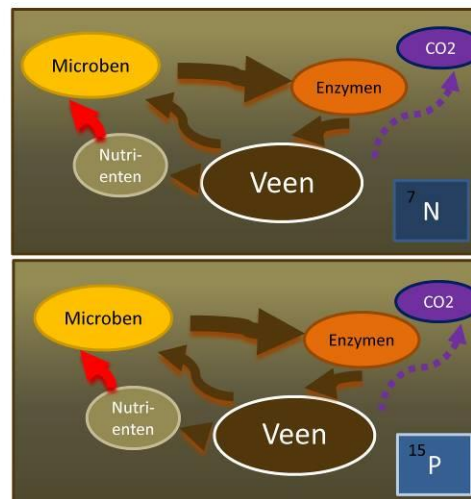
Hydrolyse is de splitsing van een chemische verbinding onder opname van water.
Hydrolase = hydrolase enzym wat (organische) verbindingen verbreekt=afbraak



Potentiele manieren waarop nutriënten afbraak beïnvloeden: N & P

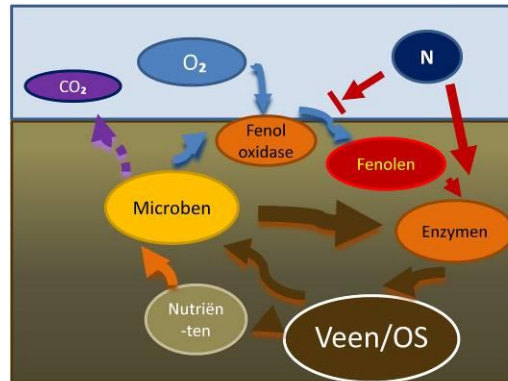
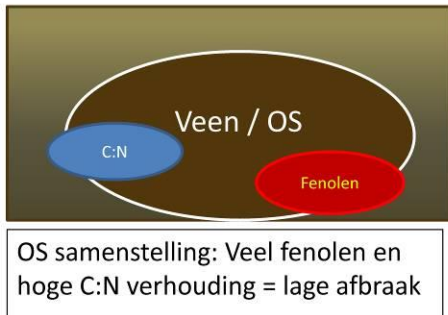
Twee theorieën:

- Nutriënten 'mining': tekorten worden uit decompositie gehaald
= hogere afbraak bij tekort
- Nutriënten 'stoichiometrie': activiteit het hoogst als benodigde nutriënten voldoende aanwezig zijn
= hogere afbraak bij plus
- Stikstof = 'mining'
- Fosfor = 'stoichiometrie'



Potentiele manieren waarop nutriënten afbraak beïnvloeden: Organische stof samenstelling en Stikstof

Eigenschappen van veen organische stof die van invloed zijn op afbraak



N stimuleert enzymen die gemakkelijk afbreekbaar OS afbreekt (bijv. cellulose) en remt fenol oxidase en daardoor afbraak fenol rijk OS (bijv. lignine) uit veen

Van literatuur naar data-analyse



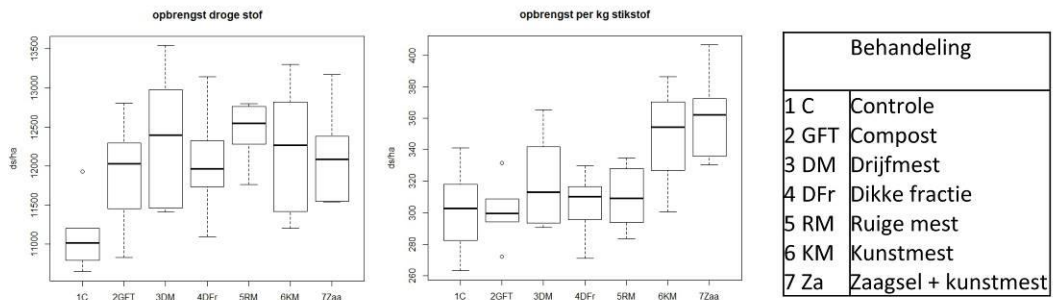
Experimentele data

- Wat voor effect heeft het toevoegen van meststoffen of kunstmest op het afbraakproces?
- 3 jarig experiment met 6 mestsoorten in Zegveld
- Metingen: - Grasproductie 4 snedes na 3 jaar bemesting
- Overige bodemmetingen, chemisch, biologisch



Behandeling		Gemiddelde 2013-2015 (kg/ha/jaar)			
		N	C	C/N	P ₂ O ₅
1 C	Controle	0	0	0	0
2 GFT	Compost	114	1470	13	50
3 DM	Drijfmest	119	795	7	43
4 DFr	Dikke fractie	123	2800	23	69
5 RM	Ruige mest	134	1920	14	73
6 KM	Kunstmest	120	0	0	0
7 Za	Zaagsel + kunstmest	123	1445	12	0

Resultaten: Effect bemesting op opbrengst



- Bemesting heeft geen significant effect op ds opbrengst (wel t.o.v. controle)
- Opbrengst per kg N is hoger bij kunstmest

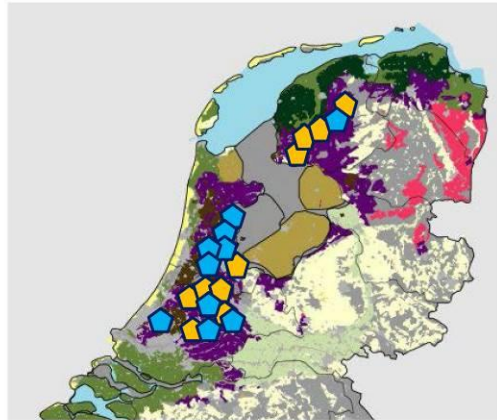
Deru et al., in prep.

BoBI (Bodembioologische Indicator) dataset

Van experiment naar de praktijk

Is er verschil te zien tussen biologische bedrijven (= geen kunstmest, n=10, blauw) en gangbare bedrijven (n=10, geel) in organische stofgehalte?

BoBI = Bodembioologische Indicator van LMB=Landelijk meetnet bodemkwaliteit

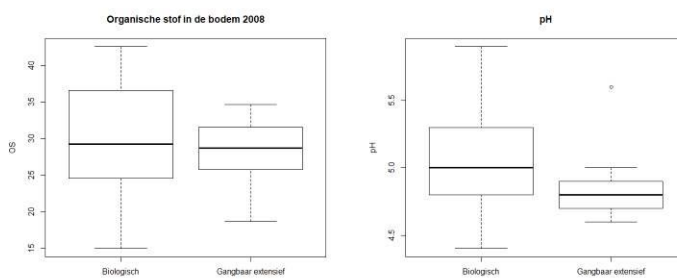
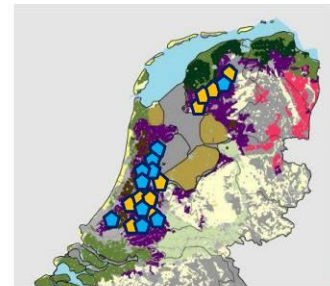


Bron kaart: Alterra MNP/MNC/aug05/1034

BoBi bodemsurvey

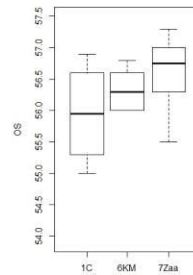
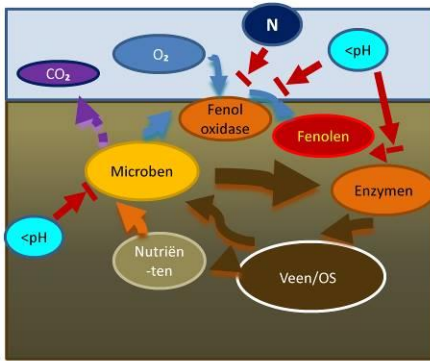
10 gangbaar en 10 biologisch in veenweidegebied NH, ZH, Ut, Fr

Verskil tussen gangbaar en biologisch is o.a. gebruik van kunstmest



Synthese: koppeling theorie en resultaten effect van stikstof in de vorm van kunstmest op afbraak

- Geen aanwijzing dat kunstmest veenafbraak bevordert (N)
- N zorgt voor aanvoer OS via plantrest en wortel
- N remt afbraak oud C uit veen



pH lager = gunstig, $< \text{pH}$ = minder afbraak

