

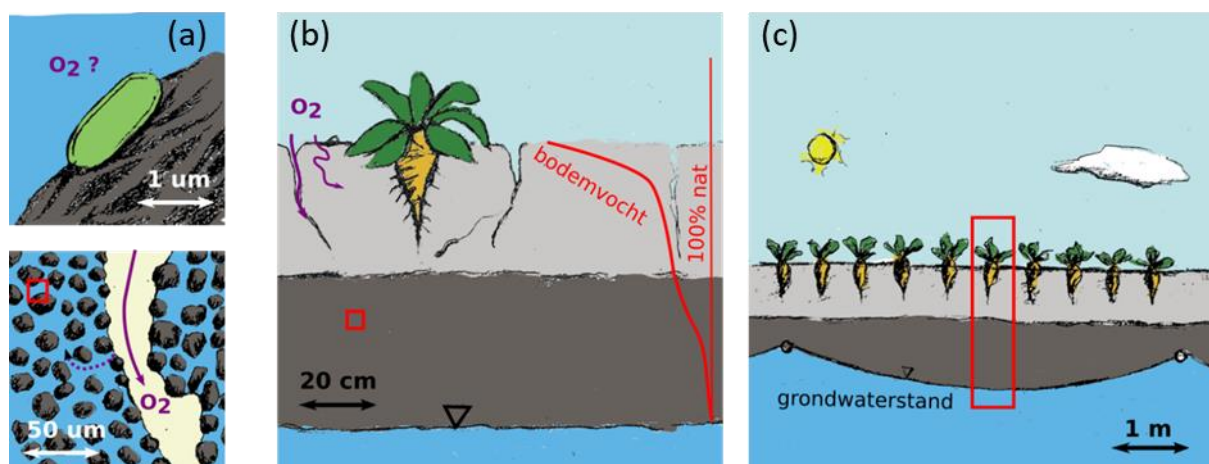
Bacteriën bepalen de snelheid van veenafbraak

Frouke Hoogland, Arjen Roelandse, Beatriz de La Loma Gonzalez (Acacia Water), Aleida de Vos (Orvion B.V.)

Veenafbraak in veenbodems leidt tot bodemdaling en uitstoot van broeikasgassen. Hoewel de grondwaterstand zeker invloed heeft op de zuurstofindringing in de bodem, is het geen directe maatstaf voor de microbiologische processen die plaatsvinden in het veen en de resulterende snelheid waarmee veen wordt afgebroken. Om de effectiviteit van maatregelen te bepalen, zoals verhoging van de grondwaterstand door middel van infiltratie, kan de focus beter worden verlegd naar bodemvocht, waterkwaliteit en temperatuur. Door naar de juiste factoren te kijken kunnen effectieve maatregelen worden genomen en daarmee tijd worden gewonnen voor de omschakeling naar alternatief landgebruik op veengronden.

Afbraak van veenbodems leidt tot bodemdaling, met een verscheidenheid aan problemen tot gevolg. Voor landbouw en veeteelt is een bepaalde mate van drooglegging nodig waarbij geen natschade optreedt en het land begaanbaar blijft. Tegelijk zorgt deze drooglegging ervoor dat een deel van het veen boven het grondwater komt te staan en daar in contact kan komen met zuurstof, waardoor veenafbraak en bodemdaling versnellen. Ook wordt bij de afbraak CO₂ geproduceerd. Deze komt vervolgens in de atmosfeer terecht. Veenbodems leveren daardoor een niet geringe bijdrage aan de landelijke CO₂-uitstoot. Maar welke oplossingen zijn er om de veenafbraak te vertragen?

Veenafbraak wordt veroorzaakt door micro-organismen in de bodem (voornamelijk bacteriën), voor wie het organisch veenmateriaal een belangrijke voedselbron is. Hoe snel de afbraak gaat hangt af van de activiteit en samenstelling van de bacteriepopulatie in de bodem. De temperatuur en pH hebben een belangrijke invloed op de activiteit van bacteriën. Daarnaast heeft de beschikbaarheid van zuurstof en nutriënten een grote invloed op de samenstelling van de bacteriepopulatie.



Afbeelding 1. Schets van factoren op verschillende schaalniveaus die de leefomgeving en activiteit van bacteriën kunnen beïnvloeden: (a) op bacterieschaal bepalen o.a. zuurstofbeschikbaarheid en nutriënten het type bacteriën en hun activiteit. (b) Zuurstof kan via luchtgevulde porieruimtes de bodem indringen en oplossen in het bodemvocht. De indringing van zuurstof wordt grotendeels beïnvloedt door de vochtverdeling in de onverzadigde zone en de snelheid waarmee het onderweg wordt verbruikt. (c) De vochtverdeling hangt af van de bodemopbouw (hier klei op veen), gewasverdamping en grondwaterstandsfluctuaties

Maatregelen om veenafbraak te vertragen zijn vaak gericht op het verminderen van zuurstofindringing in het veen door het verhogen van de grondwaterstand [1], [2]. De basisgedachte hierachter is dat het veen zo natter blijft en zuurstof minder diep de bodem indringt, met minder veenoxidatie tot gevolg. Hoewel de grondwaterstand zeker invloed heeft op de zuurstofindringing in de bodem, is het geen directe maatstaf voor de microbiologische processen die plaatsvinden in het veen en de resulterende snelheid waarmee veen wordt afgebroken.

Hiervoor zijn twee redenen: bacteriën in de bodem hebben een grootte van 1-5 µm. Hun activiteit wordt daardoor beïnvloed door de omstandigheden op deze microschaal, een heel andere schaal dan die waar men normaal naar kijkt [3]. Indirect beïnvloedt de grondwaterstand de leefomgeving van de bacterie, door de interactie tussen grondwaterstand en vochtgehalte van het veen. Maar wanneer de bodem niet volledig verzadigd is (onder verzadiging zijn alle porieruimtes gevuld met water) kunnen er op bacterieschaal hele gebieden zijn die nog steeds volledig gevuld zijn met water, en daarmee grotendeels afgesloten van eventuele zuurstoftoevoer (zie afbeelding 1).

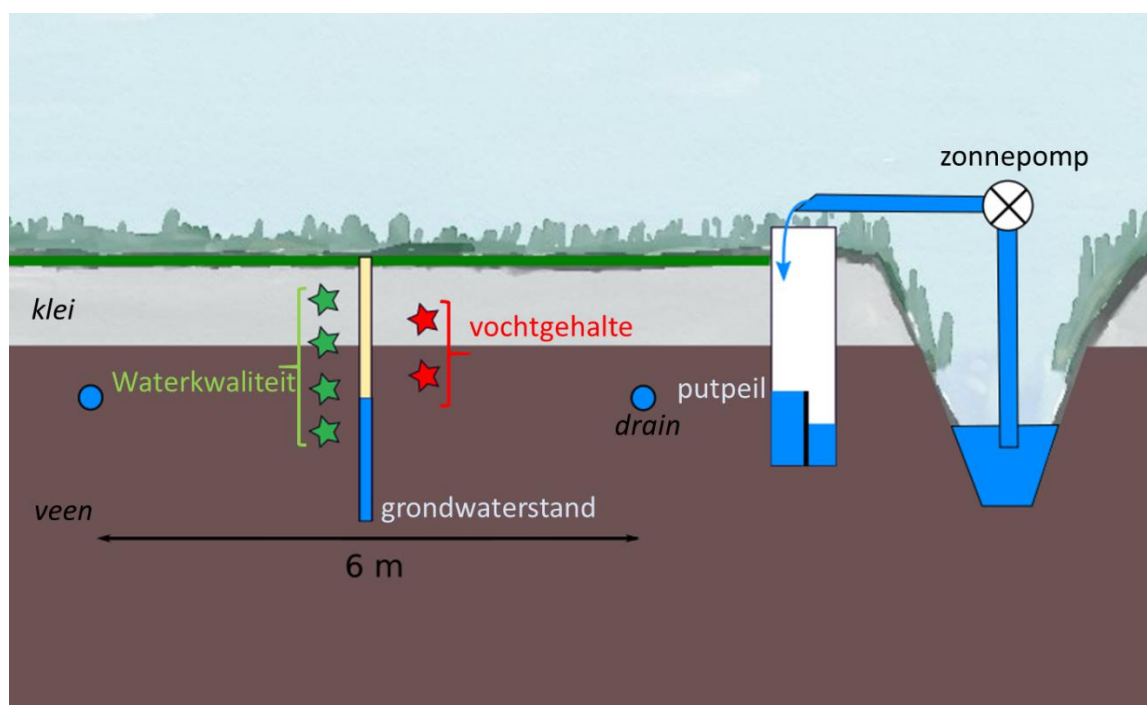
Ten tweede zullen bacteriën de energetisch gunstigste reactie, die waarbij de meeste energie vrijkomt, als eerste laten plaatsvinden. Voor veenafbraak is dit in veel gevallen de omzetting met zuurstof. Onder zuurstofrijke omstandigheden zijn bacteriën die zuurstof gebruiken daarom dominant. Wanneer er echter niet direct zuurstof aanwezig is kunnen andere typen bacteriën achtereenvolgens nitraat en sulfaat gaan benutten voor de afbraak. Dit betekent dat bij een hoog bodemvochtpercentage de afbraakprocessen in het veen niet per definitie worden gedomineerd door bacteriën die zuurstof gebruiken. De invloed van grondwaterstandsverhoging op de snelheid van veenafbraak moet daarom ook aan de hand van andere parameters worden gemeten dan alleen de grondwaterstand.

In dit artikel worden de resultaten van het project Spaarwater Flevoland beschreven. Daarbij wordt steeds verder ingezoomd, van macro- naar microschaal, om de relaties tussen grondwaterstand, bodemvocht, chemie en bacteriepopulaties beter te begrijpen. Door een beter begrip te krijgen van de factoren die invloed hebben op verschillende afbraakprocessen en de snelheid van elk van die processen wordt steeds meer bekend over de knoppen waaraan gedraaid kan worden om veenafbraak zoveel mogelijk te vertragen. Zo kunnen de juiste locatiespecifieke maatregelen worden gekozen om de nadelige gevolgen van bodemdaling voor de landbouw zo lang mogelijk uit te stellen en tijd te winnen voor de omschakeling naar alternatief landgebruik op veengronden.

Aanpak Spaarwater Flevoland

In het onderzoeksproject Spaarwater Flevoland meet Acacia Water op diverse manieren aan percelen met veengrond. Met een aangepast drainagesysteem, waarmee ook infiltratie van water mogelijk is, wordt de grondwaterstand in de zomer hoog gehouden. Het principe achter deze methode is hetzelfde als bij onderwater- of drukdrainage, methodes die ook op andere plekken in Nederland zijn toegepast tegen veenafbraak.

Het onderzoek vindt onder andere plaats op een pilotperceel in de Noordoostpolder in de buurt van Nagele. Hier ligt een kleidek van ongeveer een halve meter dikte en daaronder een dik veenpakket (>3 m, riet- en zeggeveen) gevolgd door zand. De grondwaterstand kan worden gestuurd via drains (drainafstand 6 m) aangesloten op een puttensysteem. Door het putpeil te variëren kan ook water worden geïnfilteerd. Op de locatie worden waterkwantiteit- en kwaliteitsmetingen gedaan (de belangrijkste zijn te zien in afbeelding 2).



Afbeelding 2. Schematische weergave van de belangrijkste meetpunten van de proef, namelijk bodemvochtmetingen (0.4 en 0.7 m diepte), waterkwaliteit van bodemvocht (0.25, 0.5, 0.75 en 1 m diepte) en grondwaterstand (GWS) midden tussen de drains

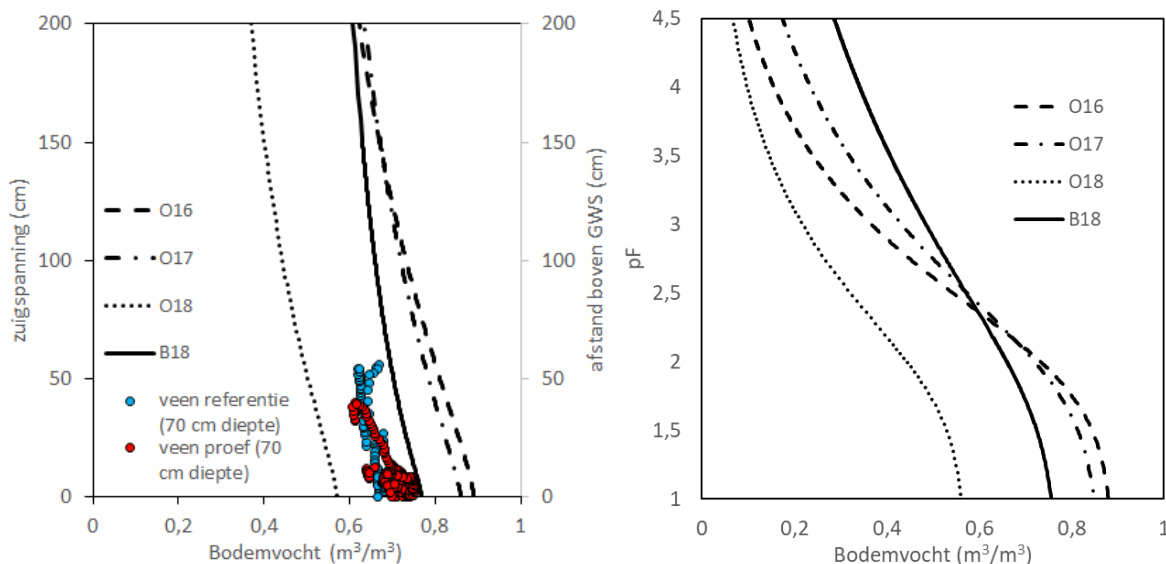
Resultaten

Relaties tussen grondwaterstand en bodemvocht

Uit de grondwaterstandsmetingen op het perceel bleek dat deze goed te sturen is via het drainage-/infiltratiesysteem. Dit komt doordat het veen redelijk doorlatend is (10-20 cm/dag) waardoor het ook midden tussen de drains kan worden vernat. Tevens is er voldoende weerstand onder de drains aanwezig, waardoor geïnfiltreerd water niet verdwijnt naar de diepere zandlaag. Door technische problemen met het puttensysteem was de grondwaterstand in de zomer van 2018 nog uitgezakt tot een diepte van 1.2 m onder maaiveld. Die uitzakking heeft wel belangrijke inzichten opgeleverd in de interactie tussen grondwater en bodemvocht.

In afbeelding 3a zijn de bodemvochtmetingen op twee meetpunten (beide 70 cm diepte in het veen, midden tussen twee drains) uitgezet tegen grondwaterstand ten opzichte van het meetpunt. Onder natte omstandigheden, waarbij de grondwaterstand (GWS) op of boven de meetpunten staat en alle poriën gevuld zijn met water, geven de bodemvochtmetingen waarden van plusminus 70%. Bij een grondwaterstand van 50 cm onder meetpunt (120 cm – mv) wordt ongeveer 60% bodemvocht gemeten. Hieruit blijkt dat het veen voor maximaal 15% is uitgedroogd (ongeveer 70% bodemvocht onder volledig natte omstandigheden en 60% bodemvocht bij de laagste grondwaterstand van 120 cm - mv). Dit betekent ook dat veel van de poriën nog gevuld zijn met water. Het hoge bodemvochtpercentage is te verklaren door de goede sponswerking van veen en de aanwezigheid van het kleidek. Het kleidek van een halve meter zorgt ervoor dat gewasverdamping vooral plaatsvindt vanuit de kleilaag en de veenlaag nauwelijks beïnvloed wordt door verdampingsprocessen. Onder die omstandigheden is de zuigspanning in de bodem in evenwicht met zijn omgeving en wordt deze bepaald door de afstand tot het grondwater. De metingen beschrijven dan de waterretentiekaracteristiek van het veen, de relatie tussen bodemvocht en grondwaterstand.

Afbeelding 3 laat deze relatie ook zien voor verschillende veentypes die in Nederland voorkomen [4]. Al deze types verliezen bij geringe zuigspanning (van 0-2 pF) weinig bodemvocht. Op bijvoorbeeld een halve meter boven de grondwaterstand (pF=1.7) is het vochtverlies ten opzichte van volledig natte omstandigheden slechts rond de 10%, vergelijkbaar met de metingen in dit onderzoek. De vraag is of er onder zulke natte omstandigheden genoeg zuurstof de bodem in kan dringen om uiteindelijk het merendeel van het veen, en de bacteriën die het afbreken, te bereiken.



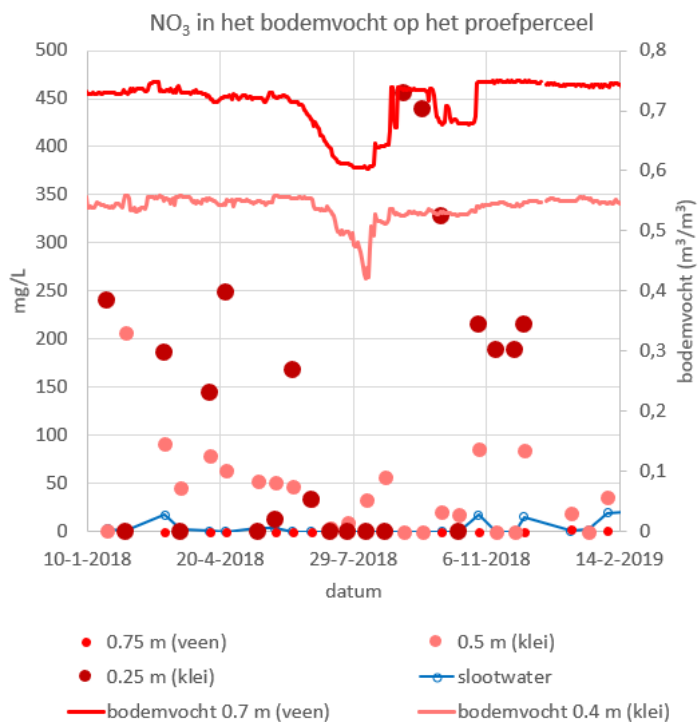
Afbeelding 3. (a) Waterretentiecurve voor verschillende types veen zoals beschreven in de Staring-reeksen [4], met O16=oligotroof veen, O17=mesotroof en eutroof veen, O18=moerige tussenlaag en B18=kleilig veen, uitgedrukt in cm zuigspanning. In rood en blauw zijn de metingen van bodemvocht op 70 cm diepte in het veen uitgezet tegen de afstand tussen sensor en grondwater, zoals gemeten op proef- en referentieperceel midden tussen twee drains. (b) Waterretentiekaracteristiek voor dezelfde types veen uitgedrukt in pF-waarden

Chemische processen in de bodem

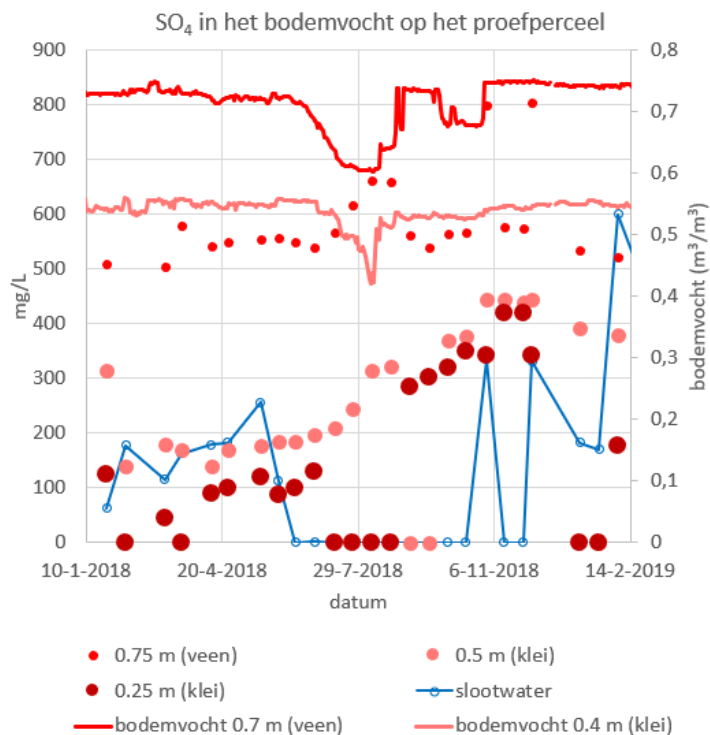
Om uitspraken te kunnen doen over de aanwezigheid van zuurstof en nutriënten in het veen is het bodemvocht elke twee weken bemonsterd en geanalyseerd. Nitraat- en sulfaatconcentraties zijn hierbij interessant omdat ze iets zeggen over de stoffen die worden verbruikt bij de afbraakprocessen die in de bodem plaatsvinden. Zo wordt in aanwezigheid van zuurstof vooral zuurstof verbruikt voor veenafbraak, en blijven nitraat en sulfaat aanwezig in het bodemwater. Wanneer er niet direct zuurstof aanwezig is kunnen andere typen bacteriën nitraat gaan gebruiken voor de afbraak. Als ook nitraat afwezig is vervult sulfaat deze rol. Het vóórkomen van deze stoffen in het bodemvocht is daarmee een aanwijzing voor het milieu waarin de bacteriën in de bodem verkeren.

Afbeeldingen 4 en 5 tonen nitraat- en sulfaatconcentraties op verschillende dieptes samen met het bodemvocht in klei en veen. Daarnaast is ook het slootwater bemonsterd, aangezien dit in de zomer wordt gebruikt als infiltratiewater en daarmee van invloed kan zijn op de afbraak. Uit de nitraatconcentraties in het bodemvocht blijkt dat hoewel nitraat aanwezig is in de kleilaag en op de grens tussen klei en veen (50 cm diepte), de concentraties in het veen hieronder (75 cm diepte) te allen tijden vrijwel nul blijven, ook als het bodemvocht daalt. Dit suggereert dat het hele jaar door bacteriën actief zijn die nitraat gebruiken voor veenafbraak, ook bij een gedeeltelijke uitdroging van 15%, en dat daarmee zuurstofloze omstandigheden domineren. Daarnaast toont sulfaat op 75 cm diepte een duidelijke toename op het moment dat het bodemvochtgehalte naar beneden gaat (deze trend komt op grotere diepte niet voor en is dus niet gerelateerd aan veranderingen in de kwelflux). Dit wordt

mogelijk verklaard door een verschuiving in bacteriologische afbraakprocessen, waarbij de afbraak via sulfaat vrijwel uitsluitend plaatsvindt onder volledige verzadiging (volledige anaerobie) en onder onverzadigde omstandigheden de afbraak via nitraat bij hoge bodemvochtpercentages domineert. Om te kijken of dit beeld klopt zijn de aanwezige bacteriepopulaties geanalyseerd.



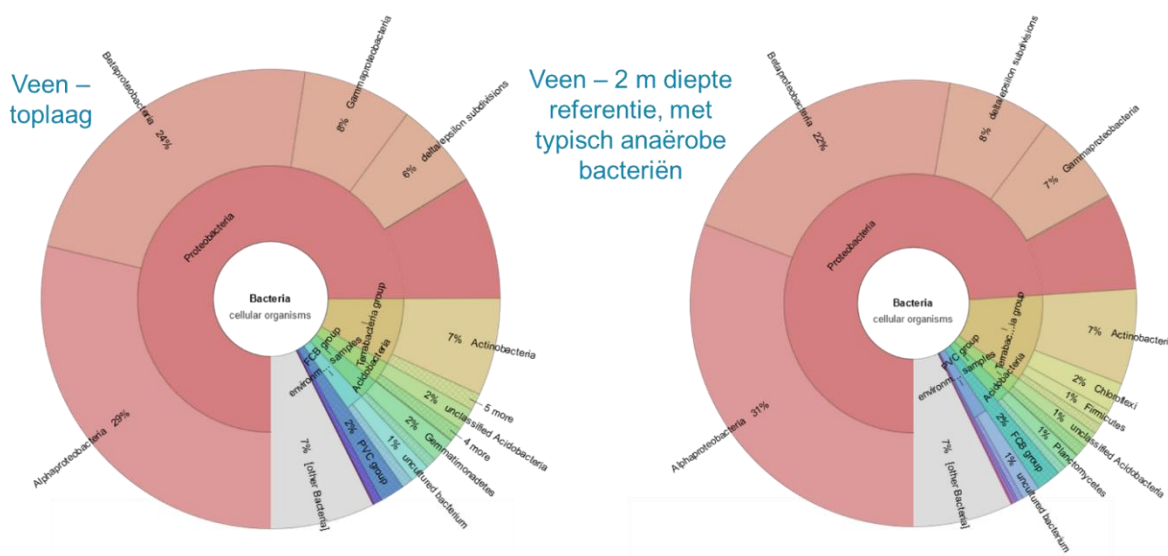
Afbeelding 4. Verloop van NO₃-concentraties in het bodemvocht op verschillende dieptes in klei en veen en in het sloopwater (primaire as) samen met het bodemvocht verloop (secundaire as)



Afbeelding 5. Verloop van SO₄-concentraties in het bodemvocht op verschillende dieptes in klei en veen en in het slootwater (primaire as) samen met het bodemvochtverloop (secundaire as)

Bacteriepopulatie in het veen

De trends in sulfaat- en nitraatconcentraties in het veen suggereren dat het hele jaar door zuurstofarme omstandigheden domineren. Veenafbraak kan dan plaatsvinden door nitraatreducerende bacteriën. Nitraatconcentraties zijn echter laag gebleven. Dit kan komen doordat er daadwerkelijk geen nitraat in het veen wordt opgenomen, ofwel doordat het aanwezige nitraat direct wordt geconsumeerd door bacteriën. Om hier uitsluitsel over te geven is de bacteriepopulatie in het veen in maart 2019 voor het eerst geanalyseerd om te bepalen of er nitraatreducerende bacteriën aanwezig zijn. Er zijn mengmonsters genomen op een diepte van 70 cm (toplaag van het veen) en 2 meter, waar vermoedelijk strikt zuurstofloze condities heersen. Beide monsters zijn geanalyseerd middels Next Generation Sequencing (NGS) waarmee het totale DNA wordt gekarakteriseerd en geïdentificeerd.

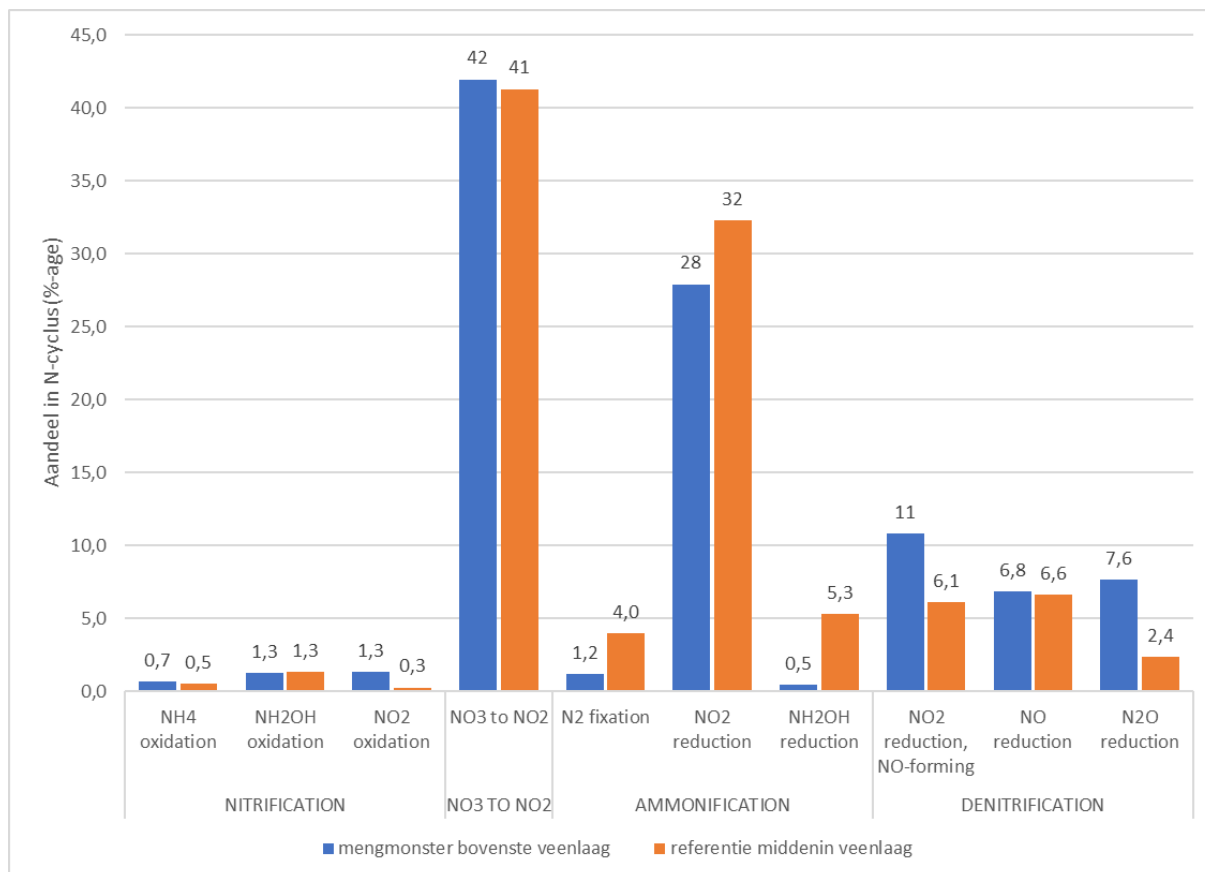


Afbeelding 6. Aandeel van verschillende typen bacteriën in de totale populatie op 70 cm (veentoplaag) en 2 m diepte

Afbeelding 6 laat de verdeling van de bacteriepopulaties op elk van de dieptes zien op basis van de verkregen DNA-data. De samenstelling van de populaties vertonen veel gelijkheid. Uit de toplaag is wel zeven keer zo veel DNA geïsoleerd. Dit betekent dat er meer bacteriën aanwezig zijn dan op grotere diepte. De verkregen data zijn nader geanalyseerd voor de biologische stikstofcyclus waar nitraatreductie een onderdeel van is. Zowel de reductie van nitraat naar nitriet als de opeenvolgende denitrificatie (nitriet naar stikstofgas) of nitrietreductie naar ammonium (onderdeel van ammonificatie) vereisen een bron van organische koolstof als elektrondonor en kunnen daardoor bijdragen aan veenoxidatie.

Op beide dieptes zijn nauwelijks nitrificerende bacteriën gevonden die ammonium omzetten naar nitraat. Deze zijn alleen actief onder aerobe omstandigheden (zie afbeelding 7). In beide monsters is een groot aandeel nitraatreductie aangetroffen ('NO₃' to NO₂'), waarbij opvalt dat in de toplaag een groter aandeel denitrificatie is aangetoond (nitriet naar stikstofgas) en in de diepe laag een groter aandeel ammonificatie (vorming van ammonium uit stikstofgas of nitriet). Dit geeft aan dat in de

toplaag waarschijnlijk een hogere nitraat/organische-stofratio aanwezig is dan in het diepe monster (ammonificatie vindt vooral plaats als nitraat limiterend is en onder meer anaerobe condities). Daarmee is aangetoond dat in het veen nitraatreducerende bacteriën aanwezig zijn en dat deze, mits er een influx is van nitraat, bij kunnen dragen aan veenoxidatie in afwezigheid van zuurstof. In het vervolg zal het van belang zijn om deze processen te kwantificeren en te modelleren om een beter beeld te krijgen van de grootte van dit aandeel.



Afbeelding 7. Vergelijking van type bacteriën geassocieerd met verschillende bodemprocessen in de populatie op 70 cm diepte en 2 m diepte

Conclusies en discussie

Een jaar veenonderzoek in Flevoland heeft belangrijke inzichten opgeleverd in de factoren die invloed hebben op veenafbraak. De resultaten laten zien dat grondwaterstandsverhoging niet op elke locatie efficiënt is als maatregel tegen veenafbraak. De maatregel kan de afbraak niet compleet stoppen, maar slechts vertragen. Om te bepalen hoeveel is het belangrijk ook rekening te houden met afbraakprocessen onder zuurstofarme omstandigheden en de afbraaksnelheden via deze verschillende routes te kwantificeren.

Daarnaast speelt bodemopbouw een belangrijke rol bij de vragen of grondwaterstandsverhoging mogelijk is en of dit leidt tot significante vernatting van het veen. Een veelbelovende manier om uiteindelijk voor beleidsmakers in beeld te krijgen waar maatregelen zin hebben is bijvoorbeeld het maken van kansencarten op basis van bodemopbouw (aanwezigheid kleidek, dikte van het veenpakket), veentype en beschikbaarheid en kwaliteit van infiltratiewater. Zo wordt duidelijk waar

maatregelen efficiënt zijn en tijd kan worden gewonnen voordat voortgaande bodemdaling de landbouw op veen onmogelijk maakt.

Interactie bodemvocht en grondwaterstand

Doordat bacteriën een grootte hebben van slechts enkele micrometers wordt hun activiteit beïnvloed door de beschikbaarheid van nutriënten en zuurstof op deze schaal. Hierop heeft de grondwaterstand slechts indirect en beperkt invloed, via de interactie tussen grondwater en de vochtigheid van de bodem. Bodemvochtgehalten zijn daarbij veel directere indicatoren voor de beschikbaarheid van zuurstof en de resulterende afbraakprocessen die in de bodem plaatsvinden. Zo zorgt de goede sponswerking van veen ervoor dat dit onder de wortelzone, waar bodemvocht niet wordt beïnvloed door (gewas)verdamping, relatief nat blijft, ook boven de grondwaterstand. Voor de meeste veensoorten in Nederland blijft een halve meter boven de grondwaterstand nog 80-85 procent van de porieruimtes gevuld met water. Onder deze natte omstandigheden is maar een klein deel van de bacteriën in de bodem direct in contact met lucht. Zo is de indringing van zuurstof beperkt en wordt het al opgebruikt voor het de kans heeft het merendeel van de bacteriën te bereiken.

Voor de activiteit van bacteriën is er daarom een optimale vochtigheid van de bodem: is de bodem te droog, dan is de beschikbaarheid van nutriënten beperkt, is deze te nat, dan wordt zuurstof de limiterende factor [3]. In deze proef heerste in het veen het gehele jaar een zuurstofarm milieu onder het kleidek. Een belangrijke conclusie is daarmee dat de aanwezigheid van een kleidek uitdroging en zuurstofindringing kan voorkomen.

Factoren van invloed op veenafbraak

Helaas kan ook zonder zuurstof veenafbraak plaatsvinden, namelijk door bacteriën die nitraat gebruiken om het veen af te breken. Dit type bacteriën blijkt inderdaad aanwezig te zijn. Hoeveel langzamer deze afbraak gaat ten opzichte van een zuurstofrijk milieu hangt van veel factoren af, zoals de beschikbaarheid van nitraat en de samenstelling van het veen. In de literatuur worden factoren genoemd van 5 tot 10 keer langzamer (of zelfs maar 2 keer langzamer [5]) dan met zuurstof. Dit betekent dat maatregelen gericht op het vertragen van veenafbraak niet alleen gericht moeten zijn op de aanwezigheid van zuurstof, maar ook rekening moeten houden met onder andere de invloed van nitraat, temperatuur en pH op de activiteit van bacteriën. Infiltratie van nutriëntenrijk en warm oppervlaktewater kan daarmee zelfs een tegenovergesteld effect hebben op de afbraak.

Referenties

1. STOWA. *Deltafact. Onderwaterdrains*.
<http://deltaproof.stowa.nl/Publicaties/deltafact/Onderwaterdrains.aspx>
2. Akker, J.J.H. van den, Hendriks, R., Hoving, I., Pleijter, M. (2010). Toepassing van onderwaterdrains in veenweidegebieden. Effecten op maaiveld daling, broeikasgasemissies en het water. Werkgemeenschap voor Landschapsonderzoek (WLO), Utrecht, *Landschap* 27/3. 137-149.
3. Tecon, R., Or, D. (2017). Biophysical processes supporting the diversity of microbial life in soil. *FEMS Microbiology Reviews* 41, 599-623.
4. Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., Groot, W.J.M. de, Stolte, J. (2001). *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave. Alterra-rapport 153.

5. Akker, J.J.H. van den, Hendriks, R.F.A., Delft, B. van (2017). *De organische veenbasis. Afbraakprocessen in relatie tot hydrologie*. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen, Rapport 2017/OBN218-NZ, 102 p.