

Klei in veen als maatregel tegen veenafbraak

Verkennde laboratoriumproeven met
veen en klei uit Friesland

Maaïke van Agtmaal, Joost Keuskamp



Onderzoek gefinancierd door:



© 2023 Louis Bolk Instituut

Klei in veen als maatregel tegen veenafbraak - Verkennende laboratoriumproeven met veen en klei uit Friesland

Maike van Agtmaal¹, Joost Keuskamp^{2,3}

¹ Louis Bolk Instituut, ² Biont Research, ³Universiteit van Utrecht

Publicatienummer: 2023-007 LbP

27 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via

www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

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

Voorwoord

Maar liefst 2,5% van de totale Nederlandse broeikasgasemissie is afkomstig van veenafbraak (Van den Akker et al., 2008). Omgerekend naar CO₂-equivalenten komt er jaarlijks ongeveer 4,7 miljoen ton aan broeikasgassen vrij uit de Nederlandse veenweidegebieden (Kwakernaak et al., 2010). In 2030 moeten de veengronden 1 miljoen ton (Mton) CO₂-eq. per jaar minder uitstoten ten opzichte van 1990 (Klimaatakkoord). In Friesland is er ca 52.700 ha. veenweidegebied. Het merendeel hiervan is ontwaterd en in gebruik voor de landbouw, net als in de andere veengebieden in Nederland. Door deze ontwatering vindt er veenoxidatie en daarmee broeikasgasemissie plaats. Om de emissies uit het veenweidegebied te beperken en bodemdaling te verminderen is het belangrijk om te onderzoeken welke maatregelen effect hebben op het reduceren van de veenafbraak.

Klei (her)gebruiken in veenweidebodems is een veelbelovend concept. Doordat klei-inspoeling de potentie heeft de veenafbraak te reduceren is er in de landbouwpraktijk en vanuit beleid veel interesse voor deze maatregel. Het doel van de projecten beschreven in deze rapportage waren om door middel van laboratoriumonderzoek een indicatie te krijgen van de potentiële emissiereductie van (I) toepassing van Friese zeeklei in verschillende veensoorten (II) kleitoepassing in twee soorten Fries veen en (III) om de potentiële emissiereductie vast te stellen van lutumrijke keileem toepassing in veenmonsters uit twee proefvelden en referentieveen.

De hier beschreven projecten zijn tot stand gekomen vanuit de provincie Friesland en het Veenweide Innovatie Centrum (VIC) en gefinancierd door de provincie Friesland. Het onderzoek is uitgevoerd in het laboratorium van de Universiteit van Utrecht en was niet mogelijk geweest zonder de faciliteiten en ondersteuning van de Universiteit. Dank aan Mariet Heffing, Peter Veenhuizen en Rosalie Dudink van de Universiteit van Utrecht en Joachim Deru en Thom van der Sluijs van het Louis Bolk Instituut voor hun bijdrage aan het onderzoek. Daarnaast ook veel dank aan Nicolette Harttong, Klaas Kooistra en Margit Goossen voor hun input en hulp bij het identificeren en bemonsteren van het veen en de klei. Hartelijk dank aan Minne en Theunis Holtrop en Kees en Rik Boon voor deelname aan dit project.

De auteurs, februari 2023

Inhoud

Voorwoord	3
1 Samenvatting	7
2 Inleiding en context	9
2.1 Onderzoeksvragen en doelen	10
3 Proefopzet	13
3.1 Proefopzet incubatieproef I en II	13
3.2 Proefopzet incubatieproef III	14
4 Resultaten	15
5 Conclusies	23
6 Discussie	25
7 Literatuur	27

1 Samenvatting

Het opbrengen van kleine hoeveelheden (1-2 cm) klei op veen is een nieuwe mogelijke maatregel. Er is nog weinig bekend over de interactie van kleideeltjes en veengrond. Door de binding van het veen aan de kleimineralen en andere fysische, chemische en biologische veranderingen door de kleitoepassing wordt de afbraak mogelijk geremd. Echter, het wetenschappelijke onderzoek naar toevoegen van klei, welke effecten deze toevoeging heeft op de veenafbraak en welke factoren daarbij van belang zijn is nog in volle gang.

Het onderzoek beschreven in dit rapport, met als doelstelling het meten van het effect van een Friese zeeklei op veenafbraak en het testen van de effecten van kleitoepassing op een tweetal Friese veensoorten is hierin een belangrijke stap.

Om deze effecten te onderzoeken is er een drietal proeven uitgevoerd in het laboratorium. In deze proeven werden verschillende soorten klei door verschillende veenmonsters gemengd om antwoord te kunnen geven op de vraag wat de potentiële emissie reductie van (I) toepassing van Friese zeeklei in verschillende veensoorten is (II) wat de potentiële emissie reductie van kleitoepassing in twee soorten Fries veen is en (III) om de potentiële emissiereductie vast te stellen van lutumrijke keileem toepassing in veenmonsters uit twee proefvelden en referentiveen (veen uit Zegveld om lopende onderzoek aan elkaar te kunnen verbinden).

Belangrijke resultaten zijn dat de werking zowel kleisoort als veensoort specifiek kan zijn. Op het referentiveen uit Zegveld is bij de meeste toegevoegde kleisoorten de cumulatieve CO₂-emissie over de gehele incubatieperiode van >1000 dagen lager dan de controle zonder klei. De Friese zeeklei gaf hierin het sterkste effect met een cumulatieve CO₂-emissie die 46% lager lag dan de controle. Ook de beide kleisoorten toegevoegd aan Gersloot veen geven een 9-37% lagere cumulatieve CO₂-emissie, echter bij veen uit Oldelamer werkte slechts een van de twee toegepaste kleisoorten remmend, de cumulatieve emissie was bij kleitoevoeging 32% lager. De toepassing van Friese zeeklei daarentegen remde in dit veen de CO₂-emissie niet maar stimuleerde deze juist, de cumulatieve emissie nam wel met 75% toe. Het toevoegen van lutumhoudende keileem in veen van de twee proefpercelen en in referentiveen, gaf in geen van de gevallen remming van de CO₂-emissie.

De bovenstaande proeven zijn uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium. Hoe deze resultaten zich vertalen naar veldtoepassing zal in het VIPNL-programma klei in veen verder worden onderzocht. In dit onderzoeksprogramma zal ook verder onderzoek gedaan worden hoe de interactie tussen kleimineralen en veen precies werkt en welke klei en veeneigenschappen bijdragen aan de werking van de maatregel.

2 Inleiding en context

In Nederland zijn grote gebieden met veengrond gedraineerd. Door een verlaagd grondwaterpeil komt er zuurstof in de bodem en daardoor breekt de organische stof uit het veen af en hebben we te maken met bodemdaling en CO₂-emissie. Tot nu toe werden maatregelen die de emissie en bodemdaling kunnen beperken vooral gezocht in het vernatten van het veen, bijvoorbeeld met grondwaterpeilverhoging en drainagemaatregelen. Echter, op niet alle percelen kunnen watermaatregelen genomen worden, o.a. vanwege wegzijging en de toegenomen watervraag. Met 'klei in veen' ontstaat mogelijk een nieuw perspectief voor reductie van veenafbraak dat niet rechtstreeks aan (grond)waterbeheer is gekoppeld.



Foto 1: Veenmonster uit een proefveld met kleitoevoeging (rechts) en zonder kleitoevoeging (links) 3 maanden na toepassing

Klei in veen gaat uit van de toevoeging van een kleine hoeveelheid klei, 1-2 cm, die in de bodem inspoelt en het veen verrijkt met kleideeltjes. Klei is een verzamelnaam voor grond met veel kleine deeltjes (< 2µm). De vorm van de kleimineralen zorgt ervoor dat klei een groot uitwisselingoppervlakte heeft met veel bindingsplaatsen. Deze structuur en eigenschappen maakt dat klei veel verbindingen aan kan gaan met organische stofdeeltjes in de bodem. Er is echter weinig bekend over de interactie tussen kleimineralen en veengrond (van Agtmaal et al. 2019).

In 2019 is gestart met het onderzoek naar deze maatregel. De eerste fase van het onderzoek vond plaats in het laboratorium. Het onderzoeksdoel was om te testen of het principe van klei toepassen een effect geeft op veenafbraak. Om dat te testen is er onder gecontroleerde omstandigheden in een incubatie-experiment klei

toegevoegd aan veenkolommen om vervolgens de veenafbraak te volgen door periodiek CO₂ te meten gedurende 1,5 – 3 jaar. Als controlebehandeling zijn er ook veenkolommen waaraan geen klei is toegevoegd, maar die verder dezelfde behandeling hebben gekregen, meegenomen. Dit onderzoek was een 'proof of principle', een eerste stap om te kijken of toevoegen van klei onder lab omstandigheden de veenafbraak daadwerkelijk reduceert. In deze laboratoriumproeven zagen we veel verschillen tussen kleisoorten en door de tijd. Een aantal kleisoorten gaf een duidelijke reductie van de CO₂-emissie, tot een reductie van 32% ten opzichte van de controle zonder klei, gemeten over de hele periode. Daarna lijkt het erop dat de werking in ieder geval onder laboratoriumomstandigheden afneemt.

Zowel de eigenschappen van de klei (rivier of zeeklei, hoeveelheid lutum, kleimineralen, bezetting, kationen-uitwisselingscapaciteit, pH en andere fysisch-chemische eigenschappen) als de

eigenschappen van het veen kunnen invloed hebben op de werking van de maatregel. In 2019 is met veen uit Zegveld een 'proof of principle' onderzoek gestart in het laboratorium met een beperkte variatie in kleisoorten. Om ook het effect van kleitoepassing op Fries veen en de werking van een uit Friesland afkomstige klei te onderzoeken is het laboratoriumonderzoek uitgebreid met een Friese zeeklei (incubatieproef I) en twee Friese veensoorten (incubatieproef II). De resultaten daarvan worden in dit rapport gepresenteerd in context met andere onderzoeken naar klei in veen.

Veldtoepassing

Parallel met de eerste laboratoriumonderzoeken is er ook gestart met de eerste onderzoeken naar veldtoepassing. Het eerste proefveld is in 2019 aangelegd in de Krimpenerwaard (Pijlman et al, 2020) gevolgd door een proefveld in Zegveld (zie foto 1 voor een bodemmonster na toepassing). In 2020 volgde een proef op een tweetal percelen in Delfstrahuizen met lutumrijke keileem als kleibron. Om een indicatie te krijgen van de potentiële effecten van de toevoeging van deze keileem op de CO₂-emissie van veen is er ook een incubatie experiment gestart in het laboratorium waarin onder gecontroleerde omstandigheden keileem werd gemengd met veen gemonsterd uit deze percelen (incubatieproef III). De resultaten van dit experiment worden hier ook gepresenteerd.

2.1 Onderzoeksvragen en doelen

Om het effect van kleitoepassing op Friese veensoorten te onderzoeken is er een tweetal proeven uitgevoerd (incubatieproef I en II) met respectievelijk de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is het effect van toevoeging van Friese zeeklei op de CO₂-emissie in referentiveen*?
- Wat is het effect van toevoeging van twee verschillende kleisoorten op twee verschillende veensoorten uit Friesland?

Het doel van deze proeven is driedig: i) het beoogt een eerste indicatie te geven van de potentiële emissiereductie van CO₂ bij verschillende veensoorten, ii) het beoogt een indicatie te geven of Friese zeeklei geschikt is als kleibron bij toepassing van de maatregel en iii) het beoogt deze resultaten in de context van resultaten uit aanverwante onderzoeken te zetten.

Om ook een indruk te krijgen van de potentiële emissiereductie van keileem is de volgende onderzoeksvraag opgesteld (incubatieproef III):

- Wat is het effect op de CO₂-emissie van menging van lutumrijke keileem met veen gemonsterd uit twee proefpercelen en referentiveen*?

Doel van deze proef is om door middel van laboratoriumonderzoek een indicatie te krijgen van de potentiële emissiereductie van de toepassing van keileem in beide proefvelden. Daarnaast is deze keileem ook toegevoegd aan het referentieveen om de resultaten van dit onderzoek te kunnen koppelen aan resultaten uit aanverwante onderzoeken

* referentieveen is veen uit Zegveld, meegenomen om dit onderzoek te koppelen aan andere lopende onderzoeken

3 Proefopzet

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden zijn er verschillende incubatie-experimenten opgezet en een aantal analyses uitgevoerd op de gebruikte klei en veensoorten.

3.1 Proefopzet incubatieproef I en II

Selectie kleisoorten

Voor het laboratorium incubatie-experiment is gekozen voor een ongerijpte Friese zeeklei aangevuld met een kleisoort uit het Blankenburg tunnel traject. Deze laatste is gekozen omdat deze klei in een al lopend laboratoriumexperiment met veen een remmend effect liet zien. Eigenschappen van deze beide kleisoorten staan in tabel 1.



Foto 2: Veenkolommen in geperforeerde 30mL buisjes voor optimale gasuitwisseling



Foto 3: Veenkolommen in incubatieflessen aangesloten aan de respirometer voor periodieke CO₂ metingen

Selectie veensoorten

Op drie plekken in het Friese veenweidegebied zijn veenmonsters genomen voor een eerste selectie. De criteria voor de eerste selectie waren, i) dat het een veensoort is die representatief is voor de Friese venen, ii) dat de veensoorten onderling verschillen in oorsprong of mate van oxidatie, en iii) dat ze een hoog organische stofgehalte hebben en een laag kleigehalte. Na een eerste organischestof-analyse zijn er twee plekken geselecteerd: Oldelamer en Gersloot waar de toplaag (0-20 cm) werd bemonsterd.

Vorbewerking

De klei is gedroogd (24 uur bij 70°C) en gemalen. Een deel van de klei is uitgestuurd voor analyse door het CBLB te Wageningen (resultaten in tabel 1). De veenmonsters zijn gezeefd door een 4mm zeef om de graswortels te verwijderen. Een deel van het veen werd eerst gedroogd (24 uur bij 70°C) om het vochtgehalte te bepalen en vervolgens verast bij 550°C om het organische stofgehalte te bepalen.

Incubatie-experiment

Om het effect van kleitoepassing op twee soorten Fries veen (Oldelamer, Gersloot) en een 'referentieveen' (Zegveld) te onderzoeken is gedroogde en gemalen klei onder gecontroleerde omstandigheden toegevoegd aan de veenmonsters. Aan 200 gram gezeefd veen is 30 gram klei toegevoegd en gedurende 5 minuten gemengd. Het zo ontstane mengsel heeft een klei:veen gewichtsverhouding van 1:0,15, vergelijkbaar met 1cm klei op 20 cm veen.

Met dit mengsel werden veenkolommen gevuld. De veenkolommen bestonden uit twee 30 ml Sarstedt buisjes die geperforeerd waren om de gasuitwisseling met de omgeving optimaal te laten verlopen (foto 2). Als controle werden veenkolommen gevuld met puur veen. Per behandeling werden 4 500mL Duran flessen ingezet met elk twee veenkolommen. Deze kolommen werden in het donker geïncubeerd bij een temperatuur van 18-22 graden. Om de luchtvochtigheid in de flessen te verhogen en zo uitdroging van het veen te minimaliseren was de bodem van de flessen voorzien van 50 mL perliet met 30 mL water (foto 3).

Respiratiemetingen

Om de CO₂-emissiesnelheid uit de veenkolommen te bepalen werd periodiek CO₂ gemeten met een respirometer (Keuskamp et al, 2013). In deze meting wordt gedurende 24-48 uur elke twee uur de CO₂ concentratie gemeten in de incubatiefles die vervolgens wordt omgerekend naar de respiratiesnelheid per gram veen. Omdat elke veenkolom gedurende de incubatieperiode meerdere keren gemeten wordt, kan de ontwikkeling van de respiratie in de tijd worden gefit (spline fitting). Hieruit wordt dan de cumulatieve respiratie over langere tijd berekend.

3.2 Proefopzet incubatieproef III

Incubatieproef III lijkt qua opzet op de incubatieproeven hierboven beschreven en volgden grotendeels hetzelfde protocol. Uit beide klei in veen proefvelden in Delfstrahuizen werd veen bemonsterd (0-20cm) en gezeefd. Tevens werd ook veen uit Zegveld, gebruikt in eerdere proeven, gezeefd. De lutumhoudende keileem die voor het veldexperiment gebruikt is, werd gedroogd en gemalen en in de gewichtsverhouding 1:0.15 op eenzelfde wijze als in proef I door de drie veensoorten gemengd. Per veensoort werden vier incubatieflessen ingezet met veenkolommen gevuld met puur veen en vier met een veen-klei mengsel. De incubatieomstandigheden waren hetzelfde als in incubatieproef I en II.

4 Resultaten

Tabel 1: Analyses klei

	CEC gebufferd			CEC ongebufferd			granulaire samenstelling
	ICP-AES			ICP-AES			
kleibron	Ca [cmol(+)/kg]	CEC [cmol(+)/kg]	Mg [cmol(+)/kg]	Ca [cmol(+)/kg]	CEC [cmol(+)/kg]	Mg [cmol(+)/kg]	pipet < 2 µm [%]
Blankenburg	36	39	10	39,5	41	9,8	44,8
Friesland	16	24	8	16,0	27	8,3	52,9
Keileem	23	30	4	24,3	28	4,2	42,8

	LECO-CHN		pH-H2O	pH-KCl	OS	Kurmies
	C-elementair [g/kg]	N-elementair [g/kg]	pH-meter pH [bij 20±1 °C]	pH [bij 20±1 °C]	550°C OS [%]	spectrofotometer C [g/kg]
kleibron						
Blankenburg	63,2	4,76	7,74	7,33		57
Friesland	6,11	0,88	7,58	6,02	3,9	8
Keileem	30,1	1,88	7,25	6,64	7,5	32

	destructie HNO3-HCL (aqua regia)											
	ICP-AES											
kleibron	Al [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Na [mg/kg]	Ni [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
Blankenburg	24218	21238	53,5	20	30557	4971	8421	307	473	35,6	626	9549
Friesland	27034	4211	57,5	9	35171	7878	8240	307	243	24,2	557	151
Keileem	23569	6147	46,8	27	19903	4979	5101	307	166	26,6	395	1523

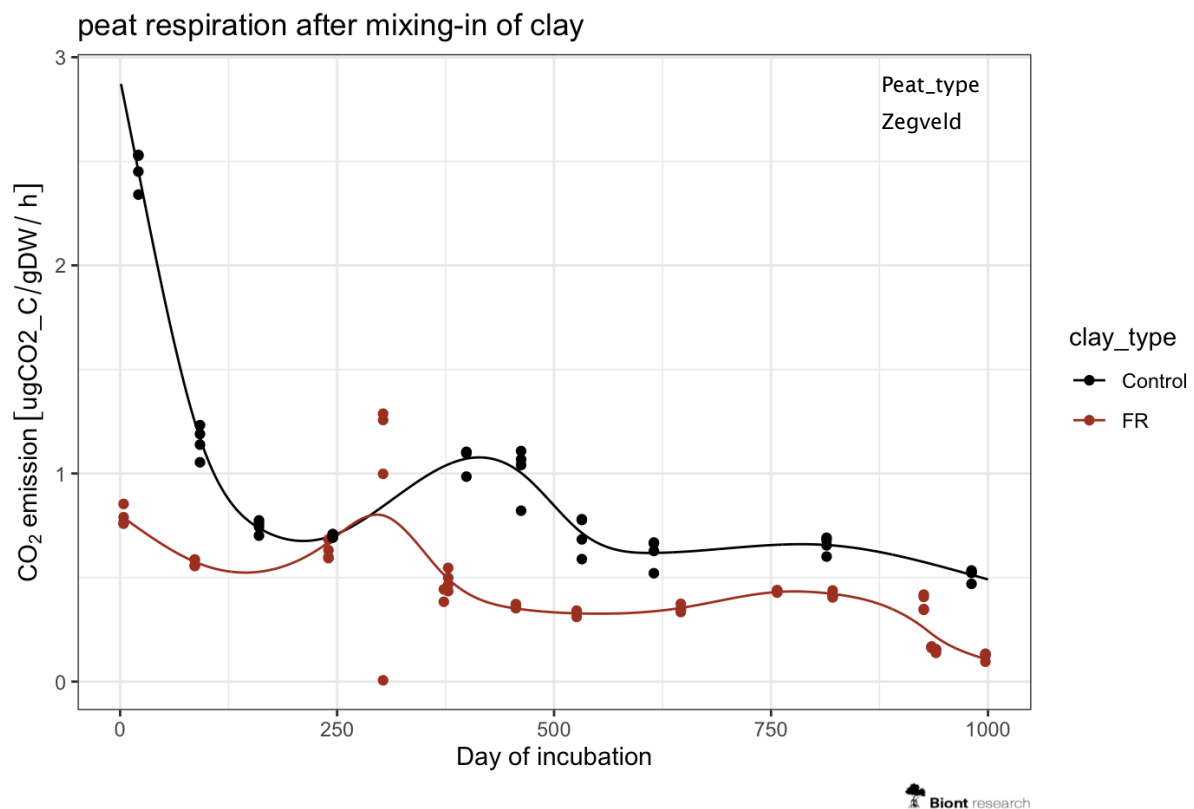
	destructie HNO3-HCL (aqua regia)							extractie ammoniumoxalaat-	
	ICP-AES				ICP-MS			ICP-AES	oxaalzuur
kleibron	Zn [mg/kg]	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Mo [mg/kg]	Pb [mg/kg]	V [mg/kg]	Fe [mg/kg]	
Blankenburg	90	11,3	0,19	8,76	1,1	16,5	47,0	4858	
Friesland	80	23,7	0,10	27,8	0,3	19,6	62,4	2688	
Keileem	89	5,08	0,26	17,3	0,3	19,2	48,1	2920	

Resultaten klei-analyses

De drie kleisoorten in de laboratoriumexperimenten verschillen op een aantal aspecten. Het gehalte lutum was in alle gevallen hoog en lag tussen de 43 en 53%. Om potentiële vervuiling door het opbrengen van klei te voorkomen is ook getest op o.a. zware metalen. In Besluit Bodemkwaliteit staan normen waaraan de grond moet voldoen: Klei-houdende grond met waarden die binnen de achtergrondwaarden vallen, gebaseerd op natuurlijk voorkomen, zijn altijd geschikt voor toepassing. Alle toegepaste kleisoorten in de gepresenteerde proeven vallen daarbinnen.

Resultaten incubatieproeven (I)

- I. Wat is het effect van toevoeging van Friese zeeklei op de CO₂-emissie in referentie veen?



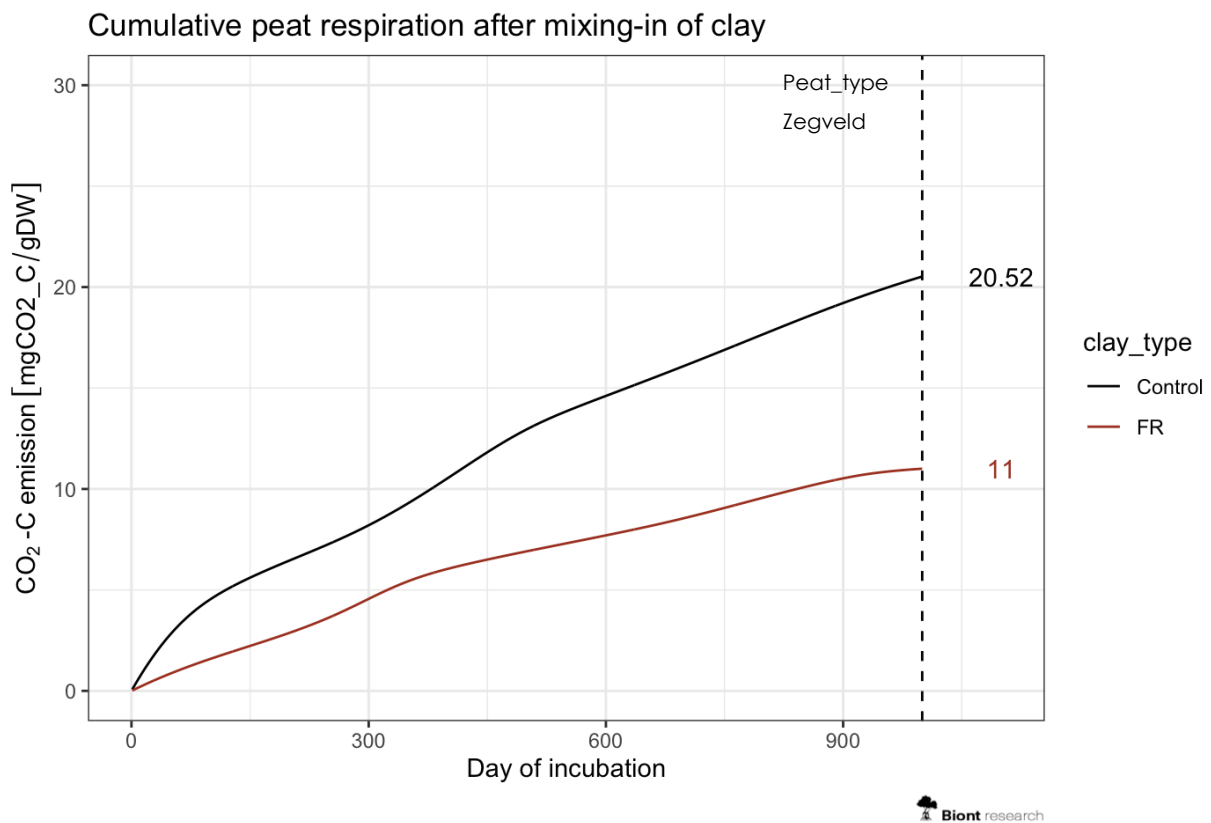
Figuur 1. Respiratiesnelheid van Zegveld veen met en zonder toevoeging van klei over een incubatieperiode van 1000 dagen. Rode lijn geeft de respiratiesnelheid na mixen met Friese zeeklei, zwarte lijn geeft controle zonder kleitoevoeging weer. Om te corrigeren voor het gewichtsverschil tussen de controle en de veen-klei mengsels is de respiratiesnelheid uitgedrukt per gram drooggewicht veen.

Wat opvalt in figuur 1 is dat de respiratiesnelheid in de tijd wisselt. Voor een deel komt dit omdat de in het veen aanwezige labiele koolstof (met name wortellexudaten) verdwijnt en het meer moeilijk afbreekbare materiaal overblijft. Maar ook als het labiele materiaal is verdwenen zien we nog enige fluctuaties. Naar de oorzaak hiervan wordt nog onderzoek gedaan. Mogelijk worden

deze veroorzaakt door microbiële successie: een groep micro-organismen sterft door gebrek aan voedsel en dienen dan als voedsel voor een volgende groep micro-organismen. Het is niet waarschijnlijk dat zich dat in het veld ook voordoet.

Om zo goed mogelijk iets te zeggen over de potentie van klei bij veldtoepassing focussen we daarom op de cumulatieve emissie: dat is de beste weergave van de hoeveelheid koolstof die over de *gehele periode* is geoxideerd, zonder dat tijdelijke effecten daar een grote rol bij spelen.

Wél kan uit de respiratiesnelheid worden afgelezen hoe het klei-effect zich *in de tijd* ontwikkelt. Bij de meeste kleisoorten in het 'proof of principle' onderzoek is het klei-effect rond de 1000 dagen nihil. Dit is niet het geval met de Friese zeeklei, deze is nog steeds remmend na 1000 dagen. Hoe dit komt en waarom de Friese zeeklei anders reageert dan de andere geteste kleisoorten is nog onderwerp van onderzoek.



Figuur 2. Cumulatieve respiratie uit veen gedurende 1000 dagen. De zwarte lijn geeft het cumulatieve koolstofverlies door CO₂-emissie zonder kleitoevoeging weer over de incubatieperiode, de rode lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie met toevoeging van Friese zeeklei weer.

Tabel 2: CO₂- emissie bij referentie veen (Zegveld) als % van de controle

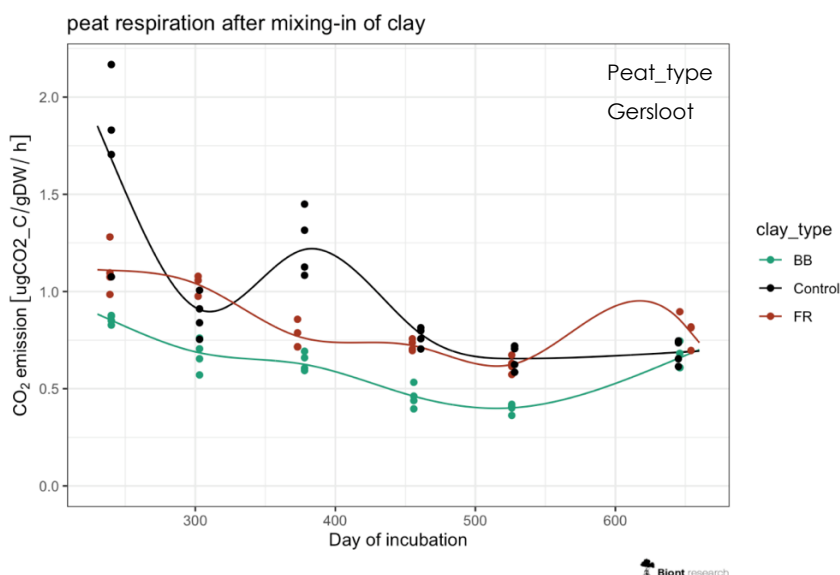
kleisoort	CO ₂ -emissie (%) t.o.v. geen kleitoevoeging
Friese zeeklei	-46
Betuwe klei -180	-32
Blankenburg traject	-29
Betuwe klei -100	-30
Uiterwaarden klei 1	-13
Uiterwaarden kei 2	-8
kleibagger	-0,5
Betuwe klei -50	5

Toevoeging van Friese zeeklei (FR) aan veen uit Zegveld, een veensoort die ingezet wordt als referentie om alle lopende onderzoeken aan elkaar te koppelen, laat duidelijk verminderde CO₂-emissie zien in vergelijking met de controle behandeling waarin geen klei is toegevoegd. De cumulatieve emissie was bij kleitoevoeging 46% van die van de controle.

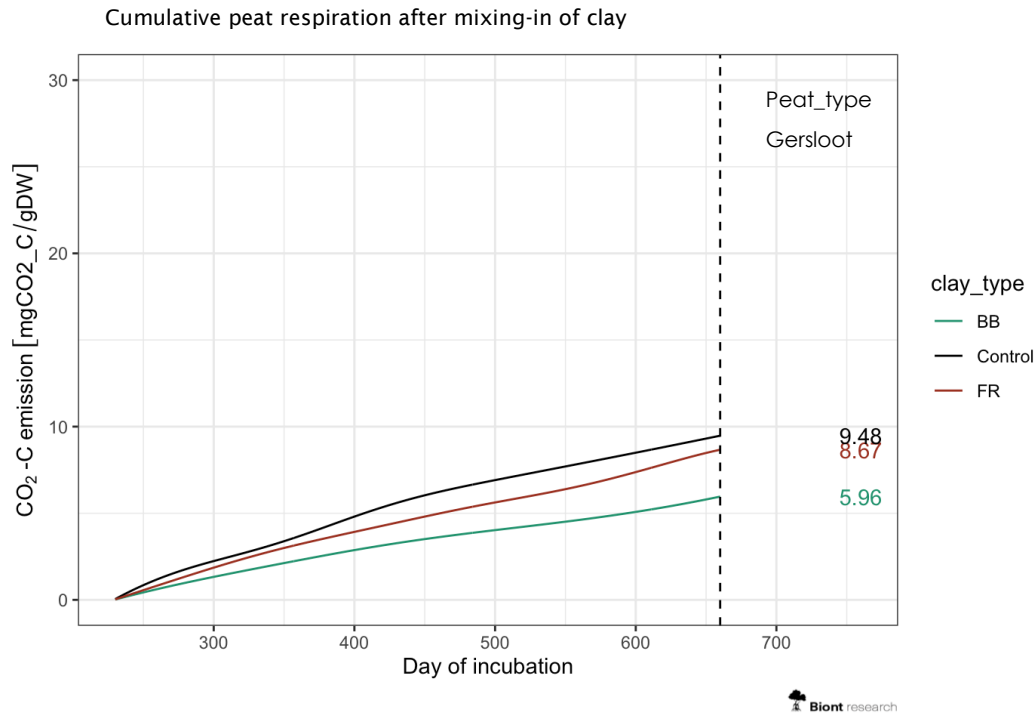
Vergeleken met andere kleisoorten uit een lopend onderzoek met hetzelfde veen, veen uit Zegveld, geeft Friese zeeklei (FR) een sterkere remming dan de andere geteste kleisoorten. Zeven van de acht soorten klei geven na toevoeging verminderde CO₂-emissie, variërend van 0,5 tot 46% minder emissie (zie tabel 2).

4.1.1 Resultaten incubatieproeven (II)

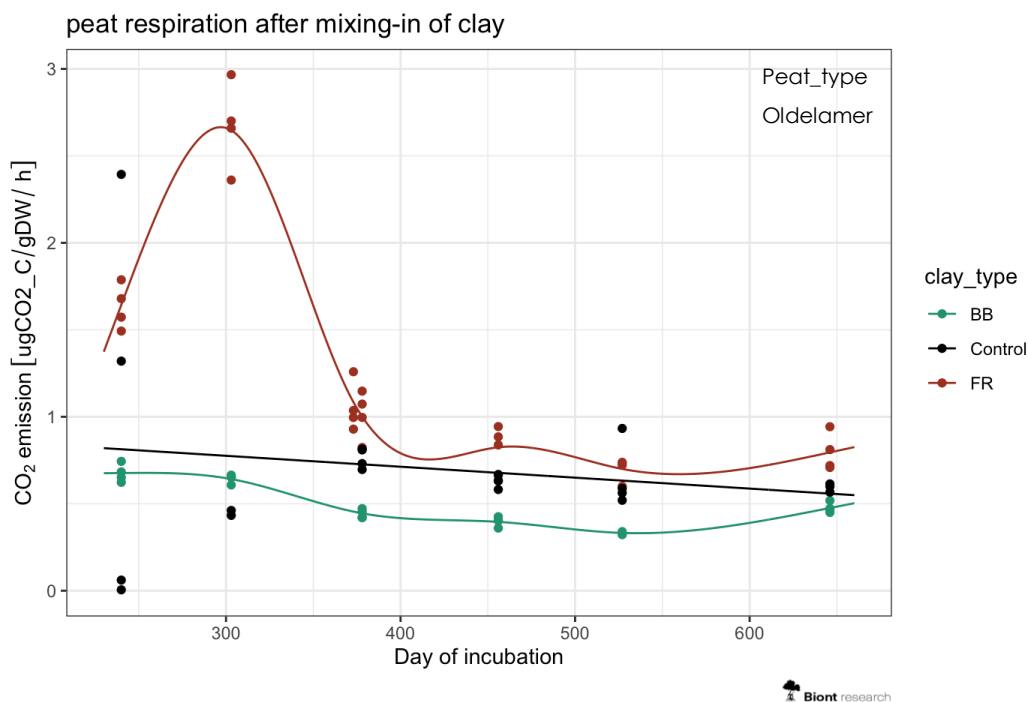
- II. Wat is het effect van toevoeging van twee verschillende kleisoorten op twee verschillende veensoorten?



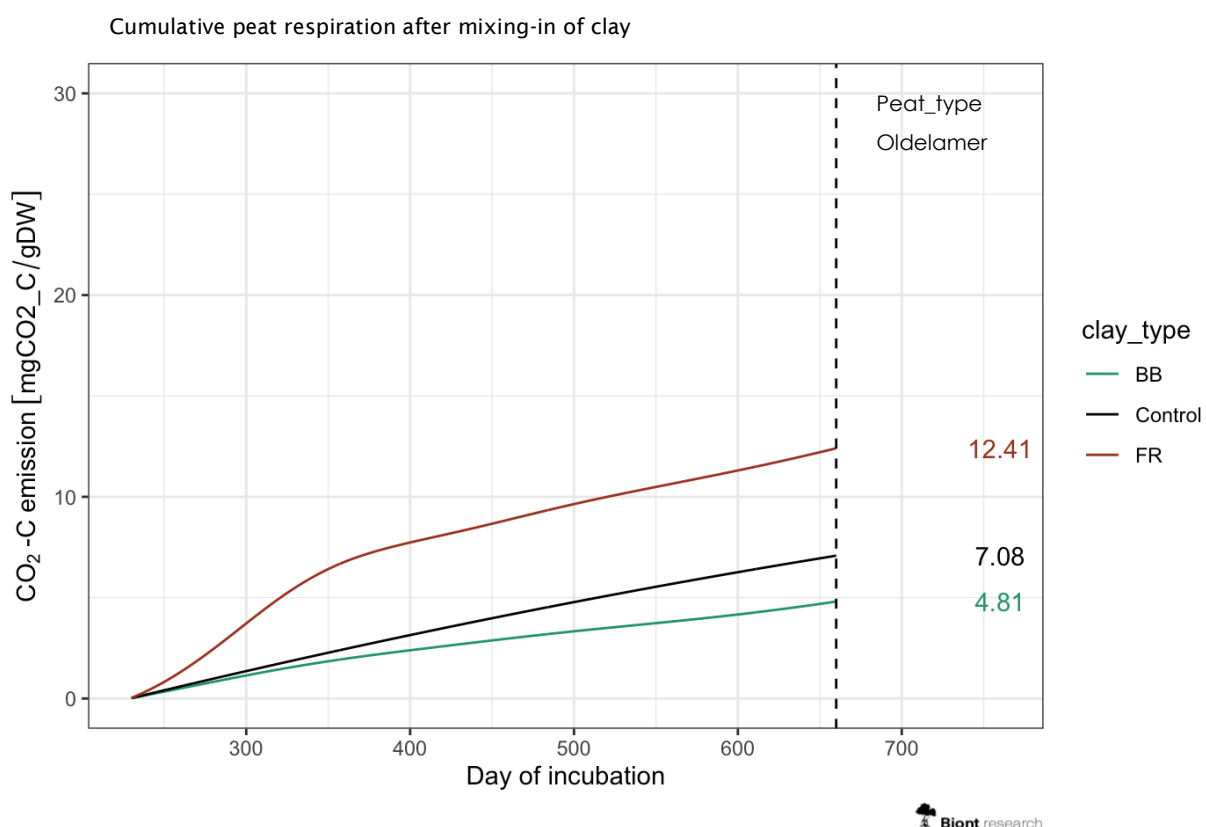
Figuur 3. Respiratiesnelheid van veen uit Gersloot met en zonder toevoeging van klei. De rode lijn geeft de respiratiesnelheid na toevoeging van Friese zeeklei weer, de groene lijn geeft de respiratiesnelheid na toevoeging klei uit het Blankenburg traject en de zwarte lijn geeft de respiratiesnelheid zonder kleitoevoeging weer.



Figuur 4. Cumulatieve respiratie uit Gersloot veen met en zonder klei. De zwarte lijn geeft het cumulatieve koolstofverlies door CO₂-emissie zonder kleitoevoeging over de incubatieperiode weer, de rode lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie na toevoeging van Friese zeelei weer, groene lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie na toevoeging van klei uit het Blankenburg traject weer.



Figuur 5. Respiratiesnelheid van veen uit Oldelamer met en zonder toevoeging van klei. Rode lijn geeft de respiratiesnelheid na toevoeging Friese zeelei weer, de groene lijn geeft de respiratiesnelheid na toevoeging klei uit het Blankenburg traject en de zwarte lijn geeft de respiratiesnelheid zonder kleitoevoeging weer.



Figuur 6. Cumulatieve respiratie uit Oldelamer veen. De zwarte lijn geeft het cumulatieve koolstofverlies door CO₂-emissie zonder kleitoevoeging weer over de incubatieperiode, de rode lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie na toevoeging van Friese zeeklei weer, groene lijn geeft het koolstofverlies CO₂-emissie na toevoeging van klei uit het Blankenburg traject weer.

Effect van toevoeging Friese zeeklei en Blankenburg klei op verschillende veensoorten

Het effect van toevoeging van twee verschillende kleisoorten op twee verschillende veensoorten is kleisoort- maar vooral ook veensoort-specifiek. Bij toevoegen van klei in Gersloot veen (figuren 3 en 4) gaven beide kleisoorten remming, waarbij de Blankenburg klei het sterkste effect gaf. De cumulatieve emissie was bij kleitoevoeging 37% lager, gerekend over de totale incubatieperiode. Het effect van Friese zeeklei was minder sterk, de cumulatieve emissie was bij kleitoevoeging 9% lager. Kleitoevoeging aan veen uit Oldelamer gaf een ander beeld (figuur 5 en 6). Ook daar was de Blankenburg-klei remmend, de cumulatieve emissie was bij kleitoevoeging 32% lager. De Friese zeeklei daarentegen remde de CO₂-emissie niet maar stimuleerde deze juist, de cumulatieve emissie nam wel met 75% toe (figuur 6). Met name 300 dagen na toepassing was er een zeer sterke toename van CO₂-emissie door toepassing van deze klei (figuur 5).

Effect Friese zeeklei versus Blankenburg klei

In alle geteste veensoorten (Zegveld, Gersloot en Oldelamer) gaf klei uit het Blankenburg traject een remmende werking op de veenoxidatie, wel verschilde deze per veensoort van 32-46%. Deze

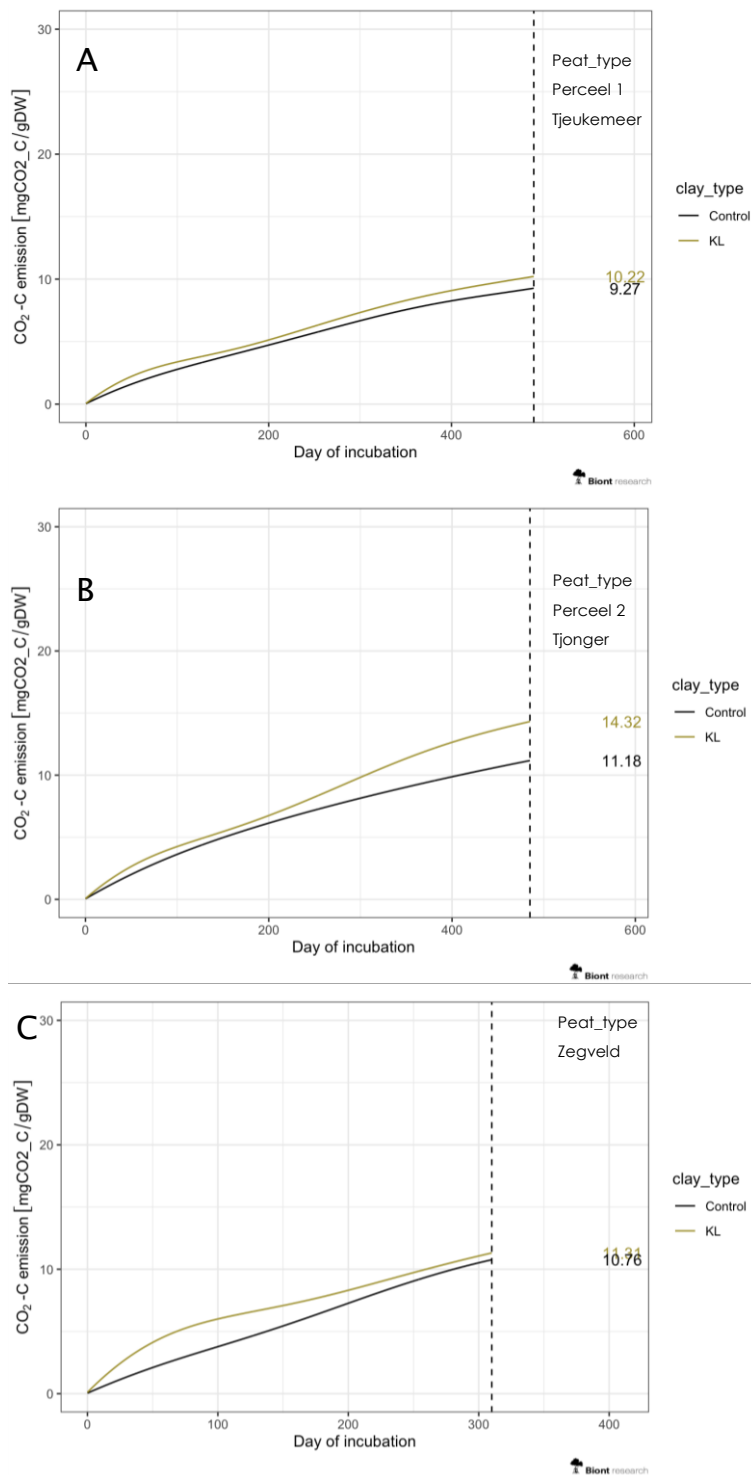
klei lijkt dus toepasbaar op veel verschillende veensoorten. Echter het effect van Friese zeeklei was zeer veensoort specifiek. In Zegveld veen gaf toepassing van deze klei een sterke remming van wel 46% minder cumulatieve emissie, in Gersloot veen was het effect niet zo sterk en zorgde de toevoeging van de Friese klei voor een reductie van 9%. In Oldelamer zorgde de kleitoevoeging voor een substantiële versnelling van de veenafbraak, de cumulatieve emissie nam tot 75% toe.

Resultaten incubatieproeven (III)

- III. Wat is het effect van lutumhoudende keileem toevoeging op de CO₂-emissie in veen van twee proefpercelen en in referentieveen?

Om een indicatie te krijgen van mogelijk te verwachte veldeffecten is veen bemonsterd van de twee proefpercelen waar klei in het veld is toegepast. Door dit veen is de toegepaste klei, lutumhoudende keileem, gemengd in een laboratorium incubatieproef. Naast veen van de twee proefvelden is ook veen uit Zegveld, het referentieveen, meegenomen in deze opzet. Op perceel 1, aan het Tjeukemeer, was in de meetperiode geen remmend effect van de kleitoevoeging meetbaar, toevoeging van klei zorgde zelfs voor een 9% toename in cumulatieve CO₂-emissie (figuur 7). Ook op perceel 2 was er geen remmend effect van de kleitoepassing te meten en zorgde de kleitoevoeging voor een toename van CO₂-emissie met 28% over de gemeten periode. Ook het referentieveen uit Zegveld gaf geen remmend effect na toevoeging, hier was er eveneens een toename van 4% in emissie.

De meetperiode van deze proef was korter dan van de andere proeven, zodat de langere termijn effecten nog niet zichtbaar zijn. Echter de eerste meetgegevens geven geen indicatie dat de kleitoevoeging remming van de CO₂-emissie geeft.



Figuur 7. Cumulatieve respiratie over A:490, B:485 dagen en C:310 dagen na kleitoevoeging in twee proefpercelen en in referentieveen. De zwarte lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie zonder kleitoevoeging weer over de incubatieperiode, de gele lijn geeft het koolstofverlies door CO₂-emissie na toevoeging van lutumhoudende keileem weer. Panel A zijn de effecten van veen uit proefperceel 1 aan het Tjeukemeer, Panel B zijn de effecten van veen uit proefperceel 2 aan de Tjonger, Panel C zijn de effecten van veen uit Zegveld.

5 Conclusies

- I. Wat is het effect van toevoeging van Friese zeeklei op de CO₂-emissie in referentiveen
 - Friese zeeklei was sterk remmend in referentiveen (veen uit Zegveld) waarin tot 46% remming werd gemeten over de meetperiode.
 - Vergeleken met andere kleisoorten uit een lopend onderzoek met hetzelfde veen, veen uit Zegveld, gaf Friese zeeklei een sterkere remming dan de andere geteste kleisoorten

- II. Wat is het effect van toevoeging van twee verschillende kleisoorten in twee verschillende veensoorten?
 - Het effect van kleitoepassing is klei- en veensoort specifiek
 - In Gersloot-veen gaven beide toegevoegde kleisoorten remming, waarbij de Blankenburg-klei het sterkste effect gaf met een remming van 37%. Het effect van Friese zeeklei was minder sterk met een remming van 9%.
 - In Oldelamer-veen was de Blankenburg-klei remmend, echter iets minder sterk dan in Gersloot met 32% minder CO₂-emissie. De Friese zeeklei daarentegen remde de CO₂-emissie niet maar stimuleerde deze juist, de emissie nam wel tot 75% toe. 300 dagen na toepassing was er een zeer sterke toename van CO₂-emissie door de Friese zeeklei; bij het volgende meetpunt tien weken later was deze piek in emissie niet meer aanwezig.

- III. Wat is het effect van lutumhoudende keileem toevoeging op de CO₂-emissie in veen van twee proefpercelen en in referentiveen?
 - Op veen van perceel 1 was in de meetperiode geen remmend effect van de kleitoevoeging meetbaar, toevoeging van klei zorgde voor een 9% toename in CO₂-emissie.
 - Op veen van perceel 2 was er geen remmend effect van de kleitoevoeging te meten en zorgde de kleitoevoeging voor een toename van CO₂-emissie met 28% toe over de gemeten periode.
 - Het referentiveen uit Zegveld liet geen remming in uitstoot zien na toevoeging van lutumhoudende keileem, hier was er eveneens een toename van 4% in emissie.
 - Het lijkt erop dat keileem geen remmend effect heeft op veenafbraak, de meetperiode van deze proef is echter korter dan van de andere proeven zodat langere termijneffecten nog niet zichtbaar zijn.

6 Discussie

Met de resultaten van de hier gepresenteerde proeven is het onderzoek naar klei in veen als maatregel tegen veenoxidatie weer een stap verder. Deze resultaten en de resultaten uit eerder onderzoek geven een indicatie dat kleitoevoeging aan veen de CO₂-emissie kan verminderen, tot maximaal 46% minder, afhankelijk van de kleisoort. Deze proeven zijn echter allemaal onder gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium uitgevoerd, hoe de resultaten zich vertalen naar veldtoepassing is nog niet bekend. Ook is nog niet zo goed bekend hóe kleitoepassing werkt. In het vervolg op dit onderzoek, het onderzoeksprogramma VIPNL-klei in veen, willen we ontrafelen welke mechanismen er achter de werking van klei in veen zitten.

Het belangrijkste resultaat van de drie incubatieproeven is dat de werking van kleitoepassing zowel kleisoort- als veensoort- specifiek kan zijn. Dat betekent dat zowel de eigenschappen van de klei als de eigenschappen van het veen, maar ook de interactie tussen die twee de werking van de maatregel beïnvloeden. De resultaten uit het hier beschreven onderzoek geven belangrijke aanwijzingen voor het ontrafelen welke klei- en veeneigenschappen hierin een rol spelen. Één van de in dit onderzoek geteste kleisoorten, de lutumhoudende keileem, geeft op geen van de geteste veensoorten een reductie van CO₂-emissie, terwijl een ander geteste kleisoort (uit het Blankenburg traject) juist wél effectief is op alle geteste veensoorten. Weer een andere kleisoort (Friese zeeklei) heeft een remmend effect op sommige veensoorten (Zegveld veen en Gersloot veen) maar stimuleert juist de veenoxidatie in Oldelamer veen. Inzoomen op deze klei- en veensoorten geeft een beeld welke eigenschappen belangrijk zijn voor de werking. Dit is onderwerp van verder onderzoek binnen VIPNL-klei in veen.

In verschillende figuren (1, 3, 5) was te zien dat de respiratiesnelheid in de tijd sterk wisselt. De initiële afname wordt veroorzaakt doordat de labiele koolstof verdwijnt en het meer moeilijk afbreekbare materiaal overblijft. Toch zijn er ook nog fluctuaties als het labiele materiaal is verdwenen. Mogelijk worden deze veroorzaakt door microbiële successie. Het is niet waarschijnlijk dat zich dat in het veld ook voordoet omdat er altijd labiele koolstof aanwezig is door de doorlopende input van wortellexudaten. Ondanks dat dit voor veldsituaties waarschijnlijk minder relevant is, willen we dit toch graag verder onderzoeken omdat hier informatie uitgehaald kan worden over het werkingsmechanisme. Daarnaast willen we het voorkomen van emissiepieken, zoals te zien in figuur 5, beter begrijpen om uit te sluiten dat dit ook in het veld voor kan komen. Het is mogelijk dat we in onze metingen, door de gekozen meetfrequentie, pieken hebben gemist. In het vervolgonderzoek willen we met continuumetingen de emissiedynamiek in kaart brengen.

Het lijkt erop dat de werking van Blankenburg traject klei afneemt over de tijd. Hoe dit komt is nog onderwerp van onderzoek. Één van de mogelijkheden daarbij is dat de klei in de loop der tijd verzadigd raakt met organische verbindingen, waardoor het effect afneemt. Dit zou zich óók in het veld voor kunnen doen en moet verder worden onderzocht.

7 Literatuur

Cees Kwakernaak, Jan van den Akker, Elmar Veenendaal, Ko van Huissteden en Petra Kroon, Bodem, nummer 3 (2010), thema Veenweiden en Klimaat

Klimaatakkoord, hoofdstuk Landbouw en Landgebruik

Jeroen Pijlman, Maaïke van Agtmaal, Joachim G.C. Deru, Ruud van Uffelen. 2020. Veenverrijking met klei.

van den Akker, J.J.H., Kuikman, P.J., De Vries, F., Hoving, I.E., Pleijter, M., Hendriks, R.F., Wolleswinkel, R.J., Simões, R.T.L., Kwakernaak, C., 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission, in: Farrell, C and J. Feehan (Eds.), 2008. Proceedings of the 13th International Peat Congress After Wise Use – The Future of Peatlands, Vol. 1. International Peat Society, pp. 645–648.

Maaïke van Agtmaal, Joachim G.C. Deru, Frank Lenssinck. 2019. Klei voor behoud van veen.

JA Keuskamp, H Schmitt, HJ Laanbroek, JT Verhoeven, MM Heffing. - Nutrient amendment does not increase mineralisation of sequestered carbon during incubation of a nitrogen limited mangrove soil Soil Biology and Biochemistry, 2013