



Zakplaatjes en C-profielen: een methode om de C-voorraad en CO₂-emissies van veengronden te bepalen

Rudi Hessel, Paul Gerritsen, Jan van den Akker, Harry Massop, Frank Gerritsen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Zakplaatjes en C-profielen: een methode om de C-voorraad en CO₂-emissies van veengronden te bepalen

Rudi Hessel, Paul Gerritsen, Jan van den Akker, Harry Massop, Frank Gerritsen

Het toepassen van de beschreven methode in diverse sites gebeurt in het kader van het NOBV (Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide) project, gefinancierd door LNV. Dit document is tot stand gekomen met financiering door Kennis Basis programma 34: Circulair and Climate Neutral Society Project KB-34-005-001 (Peat areas in new circular and climate positive production systems).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, april 2024

Gereviewd door:
Guido Bakema, onderzoeker, WENR

Akkoord voor publicatie:
Mirjam Hack- ten Broeke, teamleider BWL

Rapport 3347
ISSN 1566-7197

Hessel, R., P. Gerritsen, J. van den Akker, H. Massop, F. Gerritsen, 2024. *Zakplaatjes en C-profielen: een methode om de C-voorraad en CO₂-emissies van veengronden te bepalen*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3347. 36 blz.; 15 fig.; 1 tab.; 8 ref.

Dit document beschrijft een methode die gebruikt kan worden om voor veengronden het verlies van koolstof (C) en de daaruit resulterende CO₂-emissies over de tijd te schatten, op basis van herhaalde bepalingen van de C-voorraad in de bodem. Deze methode combineert C-profielen met zakplaatjes. Hierbij worden de zakplaatjes gebruikt om te bepalen tot welke diepte er bemonsterd moet worden voor de C-profielen en de C-profielen geven informatie over de totale hoeveelheid C die in de bodem aanwezig is tot de bepaalde diepte. Door dit op twee tijdstippen te doen, kan bepaald worden hoeveel C er in die periode verdwenen is.

This document describes a method that can be used for peat soils to estimate the loss of carbon (C) and resulting CO₂ emissions over time, using repeated measurements of C-stock in the soil. This method combines C-profiles with the use of subsidence platens. The subsidence platens are used to determine to what depth sampling should be performed for the C-profiles, and the C-profiles provide information on the C-stock that is present in the soil above a certain depth. By comparing the C-stock at two different moments the loss of C over time can be assessed.

Trefwoorden: Veengronden, C-voorraad, CO₂-emissies, bodemdaling

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/656482> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3347 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: H. Massop

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Zakplaatjes	12
3 C-profielen	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Werkwijze in het veld	14
3.3 Werkwijze in het laboratorium	19
3.4 Berekening C-voorraad	21
4 Resultaten	23
5 Discussie	25
5.1 Gebruik van de SOC/SOM-ratio	25
5.2 Droge bulkdichtheid	25
6 Conclusies en aanbevelingen	26
Literatuur	27
Annex 1 Vergelijking ring- en gutsmonsters	28
Annex 2 Voorbeeld toepassing methode	30



Verantwoording

Rapport: 3347

Projectnummer: Kennis Basis programma 34: Circulair and Climate Neutral Society Project KB-34-005-001
(Peat areas in new circular and climate positive production systems)

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker

naam: Guido Bakema

datum: 8 maart 2024

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 28 maart 2024

Woord vooraf

Veengronden staan de laatste jaren volop in de belangstelling, met name vanwege de CO₂-uitstoot die het gevolg is van oxidatie van veen. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat deze uitstoot voor 2030 gereduceerd moet zijn met 1 Mton CO₂-equivalent per jaar. Het is echter niet eenvoudig om te bepalen wat de huidige uitstoot van CO₂ uit veengebieden is en dus is het ook lastig om te bepalen of deze reductiedoelstelling wel of niet gehaald wordt. Dit rapport beschrijft een methode die gebruikt kan worden om de afname van C-voorraad in veenbodems te bepalen, er daarmee ook de CO₂-uitstoot.

Samenvatting

Gedraineerde veengronden oxideren, waarbij CO₂ vrijkomt en het bodemoppervlak daalt. Er bestaan verschillende manieren om CO₂-uitstoot te meten of te schatten, zoals met fluxkamersystemen, met Eddy Covariance of op basis van gemeten bodemdaling. Deze methoden hebben echter beperkingen en onzekerheden. In dit document wordt een alternatieve methode beschreven die het mogelijk maakt om het verlies van koolstof (C) en de daaruit resulterende CO₂-emissies over de tijd te schatten, op basis van herhaalde bepalingen van de C-voorraad in de bodem. Deze methode combineert C-profielen met zakplaatjes. Hierbij worden de zakplaatjes gebruikt om te bepalen tot welke diepte er bemonsterd moet worden voor de C-profielen en de C-profielen geven informatie over de totale hoeveelheid C die in de bodem aanwezig is tot de bepaalde diepte. Door dit op twee tijdstippen te doen, kan bepaald worden hoeveel C er verdwenen is. Voordelen van deze methode zijn dat er geen dure apparatuur nodig is, dat er geen interpolatie van metingen nodig is en geen aannames over de bijdrage die CO₂-emissie levert aan de totale bodemdaling. Om een verschil in hoeveelheid aanwezige C te kunnen meten, is er wel een aanzienlijk tijdsinterval nodig tussen de opeenvolgende bemonsteringen. De inschatting is dat er minimaal een periode van tien jaar nodig is. Een toepassing van deze methode in Zegveld resulteerde in CO₂-uitstootwaarden die in dezelfde orde van grootte lagen als verkregen met andere methoden.

1 Inleiding

Gedraineerde veengronden oxideren, waarbij CO₂ vrijkomt en het bodemoppervlak daalt. Het is echter niet eenvoudig om te bepalen hoeveel CO₂ er vrijkomt door oxidatie. Dit komt o.a. doordat er ook vegetatie (vaak gras) aanwezig is die 's nachts CO₂ uitstoot en overdag opneemt. Ook dient er rekening gehouden te worden met de aanvoer (bv. via mest) en de afvoer (oogst) van organische stof en daarmee van koolstof (C). Daarnaast is ook de meting van CO₂ zelf lastig, of die nu met fluxkamers gebeurt of met Eddy Covariance (EC) masten. Er is namelijk altijd interpolatie nodig om de gemeten CO₂-concentraties om te zetten in dagelijkse/jaarlijkse fluxen. Bovendien is de apparatuur die nodig is voor CO₂-metingen duur en hebben alle manieren van CO₂ meten te maken met beperkingen en onzekerheden. Voor fluxkamers bijvoorbeeld kan er sprake zijn van lekkage (bv. door scheurvorming) en kan de kamer zelf variabelen zoals de temperatuur en luchtvochtigheid beïnvloeden (Erkens et al., 2021). Voor EC-masten is een probleem dat wat gemeten wordt, een geïntegreerd signaal is afkomstig van alle bronnen binnen de footprint (behalve de bodem met vegetatie bv. ook de sloten en de boerderij) en dat de footprint zelf wisselt met windrichting (Erkens et al., 2021). Vanwege deze onzekerheden in de rechtstreekse meting van CO₂-uitstoot kan een alternatieve methode om CO₂-uitstoot te schatten additionele informatie geven. Een voorbeeld van zo'n alternatieve methode is het schatten van CO₂-uitstoot op basis van gemeten bodemdaling (Van den Akker et al., 2008). Die methode heeft echter ook onzekerheden, omdat men aannames moet maken over 1) welk deel van de bodemdaling veroorzaakt wordt door oxidatie en 2) dichtheid en C-gehalte van het veen (Massop et al., submitted).

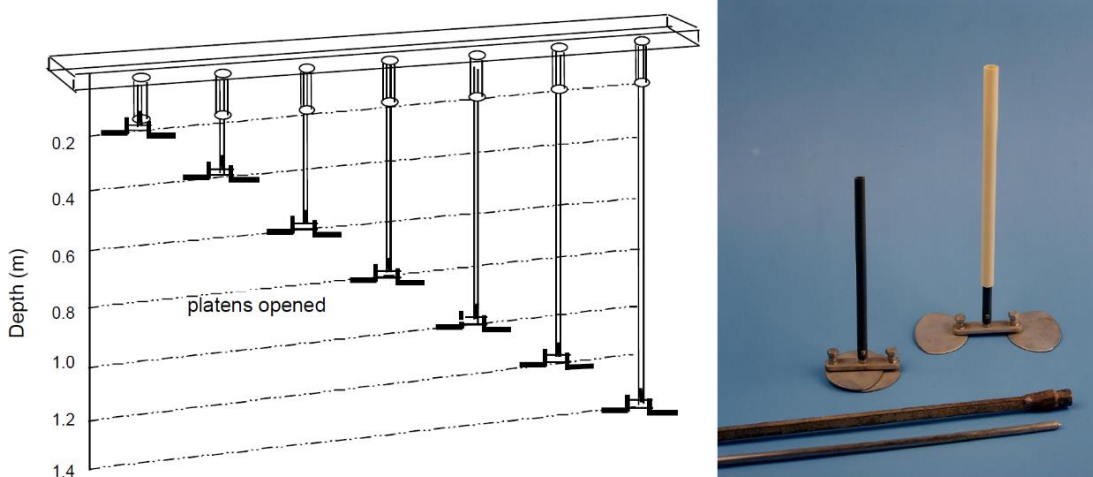
In dit document wordt een methode beschreven die het mogelijk maakt om het verlies van C en de daaruit resulterende CO₂-emissies over de tijd te schatten op basis van herhaalde bepalingen van de C-voorraad in de bodem. Deze methode combineert C-profielen met zakplaatjes (Massop et al., submitted). Hierbij worden de zakplaatjes gebruikt om te bepalen tot welke diepte er bemonsterd moet worden voor de C-profielen, en de C-profielen geven informatie over de totale hoeveelheid C die in de bodem aanwezig is tot de bepaalde diepte. Het doel van dit document is om deze methode te beschrijven.

De beschreven methode is al getest en toegepast in Zegveld (zie Annex 2) en ook in andere onderzoeksites van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV)¹ zal de methode toegepast worden.

¹ [NOB – Veenweiden \(nobveenweiden.nl\)](http://nobveenweiden.nl).

2 Zakplaatjes

Zakplaatjes bestaan uit twee aan elkaar verbonden metalen plaatjes (Figuur 1) en worden al meer dan vijftig jaar gebruikt om bodemdaling in het veenweidegebied te meten (bv. Schothorst, 1977; 1982; Massop et al., submitted). De plaatjes kunnen via een boorgat worden geïnstalleerd. Als de plaatjes op de gewenste diepte zijn, kunnen ze worden gedraaid, zodat ze in het veen snijden en zo gefixeerd worden (wat betekent dat ze de verticale beweging van het veen op installatiediepte volgen). Een pvc-buis is verbonden met de plaatjes en reikt tot ongeveer 15 cm onder het bodemoppervlak. Het bovenste deel van de pvc-buis wordt beschermd door een bredere, extra buis, met de bovenkant een paar cm onder het maaiveld. Verdere bescherming wordt geboden door een houten kist die de bovenkant van de buizen omsluit. De kist is open aan de onderkant en gesloten aan de bovenkant en is zo ontworpen dat vee en tractoren over de kist kunnen lopen/rijden zonder schade te veroorzaken. De kist kan worden verwijderd om de hoogte van de plaatjes periodiek te meten met behulp van waterpassing. Voor het meten van de hoogte kan een metalen staaf van bekende lengte in de pvc-buis worden gestoken en wanneer deze op het zakplaatje rust, kan de bovenkant van de staaf worden gemeten met een landmeterwaterpas. Door een reeks zakplaatjes op verschillende diepten te installeren (zie Figuur 1), is het mogelijk om de verticale bodembeweging op verschillende diepten te bepalen, waardoor ook kan worden bepaald waar in het bodemprofiel bodemdaling optreedt.



Figuur 1 Zakplaatjes.

De diepte van de verschillende zakplaatjes kan periodiek gemeten worden, bv. eenmaal per jaar. Vanwege de jaarlijkse fluctuaties in maaiveldhoogte die optreden in veenweidegebieden, is het van belang om het inmeten van de zakplaatjes ieder jaar onder vergelijkbare omstandigheden te doen en ten opzichte van een vast punt dat niet aan jaarlijkse schommelingen onderhevig is. Het is het beste om de waterpassing in het vroege voorjaar te doen, omdat de grond dan doorweekt en gezwollen is. Door altijd onder dezelfde, bijna verzadigde omstandigheden te meten, zouden de effecten van jaarlijkse schommelingen geminimaliseerd moeten worden.

Voor de toepassing van zakplaatjes in combinatie met C-profielen zijn deze jaarlijkse schommelingen van minder belang, omdat in dat geval de diepte van de zakplaatjes alleen gebruikt wordt om te bepalen tot welke diepte er bemonsterd moet worden voor het C-profiel. Deze schommelingen leiden namelijk niet tot een verandering van C-voorraad boven de diepte van het zakplaatje.

3 C-profielen

3.1 Inleiding

Een C-profiel beschrijft het C-gehalte van de bodem over de diepte. Om het C-gehalte te bepalen, worden monsters genomen voor analyse in het laboratorium, waarbij naast C-gehalte ook bulkdichtheid gemeten wordt. Door gebruik te maken van de metingen van het C-gehalte voor verschillende dieptes kan bepaald worden wat de totale hoeveelheid C is die in het profiel voorkomt tot een bepaalde diepte.

Voor de C-profielen worden voor het bovenste deel van de bodem bemonsteringsringen gebruikt. Hiervoor kunnen in principe pF-ringen (diameter 53 mm, hoogte 51 mm, volume 100 cm³) gebruikt worden, maar een groter monster resulteert waarschijnlijk in betrouwbaardere resultaten, omdat 1) het monster representatiever is door het grotere volume en 2) meetfouten (bv. in volume of gewicht) procentueel kleiner zullen zijn. De hier gebruikte bemonsteringsringen (zie Figuur 2) zijn 10 cm hoog en hebben een binnendiameter van 9,76 cm. Bijkomend voordeel van deze afmetingen is dat het eenvoudig is om voor iedere 10 cm van het bodemprofiel een monster te nemen. Om deze redenen is het aan te raden om 10 cm ringen te gebruiken in plaats van pF-ringen.



Figuur 2 Bemonsteringsringen (foto P. Gerritsen).

Om verstoring van de bodem zo veel mogelijk te voorkomen, is gezocht naar een methode waarbij niet te veel graafwerk nodig is. Dit is van belang, omdat de C-profielen periodiek herhaald kunnen worden, bv. iedere tien jaar. Dit dient vanzelfsprekend in ongestoord veen te gebeuren en liefst zo dicht mogelijk bij de zakplaatjes. Daarom wordt boven de grondwaterspiegel gebruikgemaakt van de genoemde ringen en daaronder van een guts. Hieronder volgt een gedetailleerde beschrijving van de methode aan de hand van de uitgevoerde metingen op locatie Zegveld.

In Zegveld is de bodem boven de grondwaterspiegel – meestal tot 50 cm -mv – bemonsterd door middel van het graven van een profielkuil in combinatie met het gebruik van monsterringen. De totale bemonsteringsdiepte was 120 cm (op die diepte is ook een zakplaatje aanwezig). Onder de grondwaterspiegel, dus van 50 cm -mv tot 120 cm -mv, is gekozen voor bemonstering met een guts (zie Figuur 3). Deze methode is vooraf getest op nauwkeurigheid t.o.v. ringen. De test heeft plaatsgevonden bij

een bemonstering op perceel 16. Hier hebben we tot 1.20 m -mv in drievoud zowel ring- als gutsmonsters genomen om te vergelijken. De vergelijking liet zien dat de resultaten met ringmonsters en gutsmonsters voldoende overeenkwamen om gutsmonsters te kunnen gebruiken in plaats van ringen (zie Annex 1).

Door gebruik van de guts hoeft er minder gegraven te worden (geen diepe, brede profielkuil die op sommige plekken snel volstroomt met grondwater). Daarnaast heeft de guts als voordeel dat in dezelfde tijd meer monsters verzameld kunnen worden en dat de verwerking op het lab minder bewerkelijk is.

Voor de dieptes waarvoor monsters genomen zijn, zijn met ringen monsters in triplo genomen. Dit om tot een representatiever resultaat te komen, waarbij een afwijkend monster geen groot effect heeft op het resultaat. Afwijkingen kunnen bv. optreden door de aanwezigheid van hout in het profiel. Voor de gutsmonsters zijn monsters in drievoud of in vijfvoud genomen. Omdat het volume van de gutsmonsters aanzienlijk kleiner is dan van de ringmonsters, is het te verwachten dat de resultaten met vijf monsters representatiever zijn dan met drie monsters. Daarom heeft het de voorkeur om vijf gutsmonsters per laag te nemen. Om de effecten van afwijkende monsters nog verder te minimaliseren, kan in de analyse gewerkt worden met de mediaan i.p.v. met het gemiddelde.



Figuur 3 Bemonstering met guts (foto: H. Massop).

3.2 Werkwijze in het veld

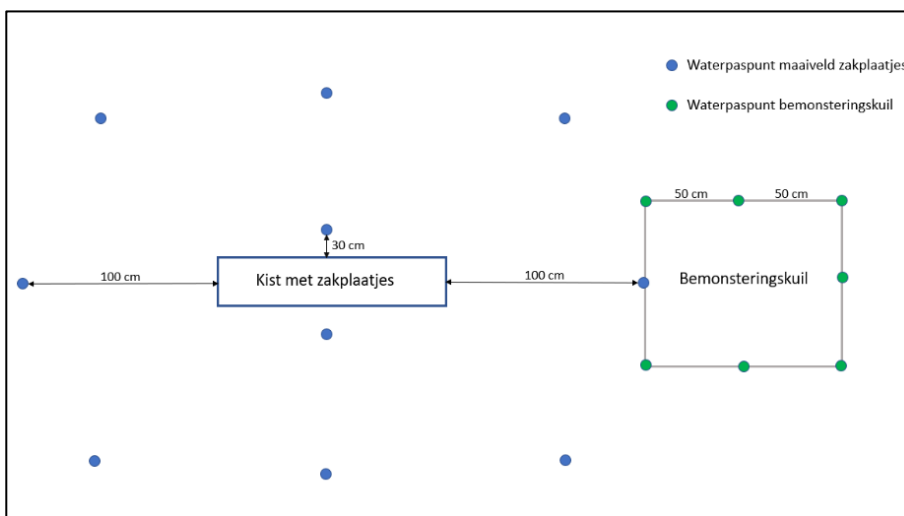
De werkwijze in het veld omvat een aantal stappen, die erop gericht zijn om ongestoorde monsters te nemen met nauwkeurige informatie over de diepte waarop de monsters genomen zijn. De gevolgde procedure is hieronder beschreven.

1: Na het bepalen van de bemonsteringslocatie wordt een bemonsteringsplek met piketten op 1 m van de bak met zakplaatjes uitgezet. De kuil die nodig is voor het bemonsteren, is ongeveer 1x1 m. In de praktijk is voor de bemonstering minder ruimte nodig, maar het kan nodig zijn dat er monsters opnieuw moeten worden gestoken. Bij een toekomstige bemonstering dient deze plek dus vermeden te worden. De bemonsteringslocatie dient daarom goed gedocumenteerd te worden, bij voorkeur met gps. Er is tot op heden steeds ten noorden van de zakplaatjes bemonsterd, zodat over bv. 10 jaar makkelijk een andere windrichting kan worden gekozen.

2: Een deel van de uitgezette plek (de zijde aan de kant van de bak met zakplaatjes) wordt zo goed mogelijk grasvrij gemaakt door het gras weg te knippen en te snijden. Niet de gehele uitgezette plek hoeft geknipt te worden, aangezien de eerste 10 cm na de eerste drie monsters verwijderd wordt. Op de rand van de bemonsteringsplek wordt een houten balkje geplaatst dat verankerd is aan de bodem (zie Figuur 4) (horizontaal waterpas). Dit balkje wordt gebruikt om een vaste referentiehoogte voor de bemonstering aan te houden, aangezien het maaiveld soms op korte afstand in hoogte kan variëren en het risico bestaat dat er tijdens het bemonsteren een net iets andere plek als referentie voor de diepte wordt aangehouden.



Figuur 4 Balkje voor referentiehoogte (foto: P. Gerritsen).



Figuur 5 Locaties waterpassingen.

3: Als de plek waar de eerste drie monsters worden genomen grasvrij is gemaakt en het balkje is geplaatst, kan er worden gewaterpast. Alle aanwezige zakplaatjes worden gewaterpast: tien locaties om de kist met zakplaatjes om het gemiddelde maaiveld te bepalen, acht locaties rondom de te maken profielkuil voor de gemiddelde maaiveldhoogte (zie Figuur 5) en tot slot het balkje dat we gebruiken om de monsterdieptes te bepalen.

4: De eerste drie ringen (voor interval 0-10 cm) worden geplaatst op het getrimde maaiveld (zie Figuur 6) en worden in de grond geslagen met een balkje van hout. Om ze compleet de grond in te krijgen, wordt een extra ring zonder snijrand gebruikt. De ringen worden ca. 3 mm dieper in de grond geslagen om een volledig gevuld monster te krijgen (zie Figuur 6).



Figuur 6 Eerste drie ringen voor interval 0 – 10 cm (links) en inslaan van de ringen (rechts) (foto's: P. Gerritsen).

5: De eerste drie ringen worden vrij gegraven. Het is van belang om er hierbij voor te zorgen dat er diep genoeg onder de ring wordt gestoken met de spade, dit verkleint het risico op het afbreken van de grond aan de onderkant in de monsterring. De uitgegraven ring wordt vervolgens afgewerkt door een deel van de zode af te snijden (de extra 3 mm) en de onderkant bij te werken. De ring hoeft in het veld nog niet perfect afgewerkt te worden, want dit kan beter onder lab-condities. Een stukje extra grond aan de ring laten zitten, zorgt juist voor een veiliger vervoer i.v.m. het mogelijk afbreken van grond. De monsters worden ingepakt in huishoudfolie en indien mogelijk koel en in de schaduw opgeborgen (Figuur 7).



Figuur 7 Bewerking van het monster (links) en het inpakken van het monster met folie voor vervoer (rechts) (foto's: P. Gerritsen).

6: De kuil wordt vervolgens uitgediept tot ongeveer 10 cm beneden maaiveld. Het beste is 9 cm en dan de ringen iets dieper de grond in slaan tot de onderkant van het gewenste interval. Dit kan dus niet direct onder de plek waar de eerste drie monsters gestoken zijn, aangezien de grond daar tot dieper dan 10 cm -mv uitgestoken is. Het interval 20-30 cm -mv kan eventueel wel weer onder deze plek als de grond nog ongestoord is.

Voor de dieptereferentie wordt een latje gebruikt dat onder het gewaterpaste blokje gestoken wordt (Figuur 8). Vervolgens worden de volgende drie monsters gestoken. Deze procedure wordt herhaald tot het laatste interval van 40-50 cm -mv. Indien er in het bosveen boomstammen voorkomen of takken die zichtbaar de gehele ring vullen, worden deze vermeden. Als er achteraf stukken hout in de ring blijken te zitten, worden deze niet verwijderd. Hout is onderdeel van het veen. Er wordt wel een notitie gemaakt van de aanwezigheid van hout, aangezien dit wel kan leiden tot een ander resultaat. In de analyse wordt de mediaan van de drie monsters gebruikt, waardoor het effect van afwijkende monsters wordt geminimaliseerd.



Figuur 8 Referentiehoogte bepalen (foto: P. Gerritsen).

Als het diepte-interval tot 50 cm -mv bereikt is (of het niveau van de grondwaterspiegel als die niet op -50 cm is), worden alle ringmonsters opgeborgen en wordt gecontroleerd of de administratie in orde is. Vervolgens moet de kuil tot ± 45 cm -mv uitgediept worden en worden afgevlakt. Om 5 steken met de guts te doen, is ongeveer een vlak van 50x50 cm nodig.

7: De guts heeft een lengte van 100 cm waarvan 80 tot 90 cm bruikbaar is om mee te bemonsteren. In het begin vanaf de bovenkant zit een kleine verdikking, waardoor de inhoud anders is. Dit deel gebruiken we niet bij de bemonstering.

Bemonsteren vanaf 50 cm tot 130 cm betekent dat er nog 80 cm interval bemonsterd moet worden. Hiervoor wordt bij voorkeur het interval 10-90 cm van de guts gebruikt, omdat dan de verdikking bovenaan de guts (0-10 cm) niet gebruikt hoeft te worden. Het veen heeft aan de onderkant van de guts de grootste kans om af te breken/los te laten, waardoor dit deel ook minder geschikt is om mee te bemonsteren.

De guts wordt vanaf 45 cm -mv tot ongeveer 95 cm van de gutslengte het veen in geduwd, dus tot ongeveer 140 cm -mv. Hierdoor wordt de verdikking in de guts vermeden en kan er een extra 5 cm van de bovenkant verwijderd worden (45-50 cm interval), die vaak door het draaien met de guts verstoord is geraakt. Ook aan de onderkant blijft er bodemmateriaal in de guts over dat verwijderd kan worden.

De guts wordt neergelegd op een zeil en het te bemonsteren interval wordt met een rolmaat afgemeten. De extra centimeters vanaf de bovenkant tot het punt dat overeenkomt met een diepte van 50 cm worden verwijderd en de guts wordt strak afgesneden met een ijzerzaagje/mes (zie Figuur 9). Als er gaten ontstaan door het afsnijden, worden deze weer gevuld met het te veel afgesneden bodemmateriaal. Het verticaal inzagen van een 10 cm interval gaat het beste met een zeer dun, gekarteld zaagje, waarbij eventuele takjes/wortels kunnen worden doorgesneden.



Figuur 9 Horizontaal afvlakken van de guts (foto: P. Gerritsen).

Daarna wordt een interval van 10 cm zeer precies gemeten, afgesneden en in een afsluitbaar genummerd verfblik geplaatst (zie Figuur 10). De resten die achterblijven in de guts worden met de vinger in het verfblik geplaatst. Vervolgens wordt het verfblik gesloten en wordt de administratie bijgewerkt. Dit wordt herhaald voor in totaal 3-5 gutssteken, verspreid over de kuil, om variatie op korte afstand goed in beeld te kunnen brengen.



Figuur 10 Uitsnijden 10 cm interval (links) en monster in verfblik plaatsen (rechts) (foto's: P. Gerritsen).

3.3 Werkwijze in het laboratorium

De monsters zijn als volgt geanalyseerd in het bodemfysisch laboratorium van WENR:²

1: De ringmonsters worden van de buitenkant schoongemaakt en exact afgewerkt, zodat de inhoud van de ring precies overeenkomt met de boven- en onderkant van de ring. Vervolgens worden de ringen gewogen onder veldcondities (zie Figuur 11). De gewichten worden in een monsterformulier genoteerd. De blikken met de monsters uit de guts zijn in het veld al afgewerkt. De blikken worden goed schoongemaakt aan de buitenkant en het monster wordt inclusief blik en deksel gewogen, waarna de resultaten worden genoteerd.

2: Na het wegen worden de ringmonsters in aluminium bakjes gezet, per ring een bakje. De bakjes met ring worden vervolgens in een grote kunststof kist gezet die rustig gevuld wordt met water, tot 1 cm onder de bovenrand van de ringmonsters, zodat lucht uit het monster kan ontsnappen en het monster geheel kan verzadigen (zie Figuur 11). De monsters moeten – afhankelijk van het verzadigingsniveau vanuit het veld en van de textuur van het monster – 2-5 dagen in de bak met water verzadigen. Als de bovenkant van het monster nat wordt, is dat een indicatie dat verzadiging bereikt is. Hoelang verzadigen duurt, hangt met name af van de grondsoort, maar ook van hoe vochtig de monsters al waren toen ze uit het veld kwamen. De monsters in de blikken zijn beneden de grondwaterspiegel gestoken en zijn dus al volledig verzadigd.



Figuur 11 Wegen ringen (links) en verzadigen monsters (rechts) in het lab. De foto rechts wijkt af van de beschrijving in de tekst door de dunnere waterlaag, maar illustreert wel de methode (foto's: P. Gerritsen).

3: Als de ringmonsters verzadigd zijn, kunnen ze opnieuw worden gewogen. Hiervoor wordt eerst het aluminium bakje voorzichtig uit de bak met water gehaald en vervolgens wordt het ringmonster voorzichtig uit het aluminium bakje gehaald. Het is aan te raden het monster met de zijkant naar beneden vast te houden, zodat de kans dat er materiaal uit de ring valt minimaal is. De ring wordt aan de buitenkant droog gedept en er wordt gekeken of er door het verzadigingsproces monstermateriaal los is gekomen uit het ringmonster (vaak minimaal). Het overtollige water wordt zo veel mogelijk uit de aluminium bakjes gegoten en het resterende minerale en organische materiaal wordt meegewogen met het ringmonster.

² De in het lab gebruikte methoden zijn beschreven in standaard werkvoorschriften van het bodemfysisch laboratorium. Voor het bepalen van het vochtgehalte is het werkvoorschrift (SHP004) gebaseerd op NEN 5781, maar wijkt daarvan af doordat alle grondsoorten gedroogd worden op 105 graden Celsius. Voor het bepalen van het organischestofgehalte is het werkvoorschrift (SHP005) gebaseerd op NEN 5754, maar zonder correctie voor het aan kleimineralen gebonden water of het aan vrij ijzer gebonden water. Omdat de werkvoorschriften uitgaan van kleinere monsters, zijn de in de tekst genoemde tijden in stoof en oven langer dan beschreven in de werkvoorschriften.

4: De verzadigde ringmonsters zijn in sommige gevallen iets gezwollen, waardoor de boven- en/of onderkant niet meer gelijk is met de dimensies van de ring. Als dit het geval is, worden de ringen opnieuw afgewerkt, gelijk met het ringmonster, net zoals beschreven in stap 1. Daarna worden de monsters opnieuw gewogen. De verhouding tussen het verzadigd gewicht voor trimmen en na trimmen, kan gebruikt worden om terug te rekenen naar de C-voorraad in het veld. Deze verhouding wordt de zwelfactor genoemd. Deze correctie is nodig, omdat anders in de berekening van de C-voorraad de getrimde delen van de monsters niet meegenomen worden.

5: De monsters kunnen nu de droogstoof in om bij 105 graden Celsius gedroogd te worden. Het deksel wordt van het blik gehaald en eronder gelegd om het niet kwijt te raken. De ringen worden teruggeplaatst in de aluminium bakjes (er kan tijdens het drogen weer monstermateriaal afbrokkelen) en vervolgens in de droogstoof gezet (Figuur 12). De monsters in de blikken hebben ongeveer 24 uur nodig om volledig vochtvrij te raken. De ringen moeten ongeveer 96 uur in de droogstoof. De verschillende tijden voor de gutsmonsters en ringmonsters zijn nodig door het grotere volume van de ringmonsters.

6: De ovenschaal met monsters wordt een uur in de desiccator (Figuur 12) gezet om af te koelen. De monsters zullen hierbuiten snel vocht aantrekken en toenemen in gewicht. Daarom worden ze er zo snel mogelijk een voor een uitgehaald en gewogen. Bij de ringen blijft er soms wat van het monster achter in het aluminium bakje; dit materiaal wordt ook meegewogen. Als alle monsters zijn gemeten, worden ook alle lege ringen, blikken en deksels apart gewogen. Deze kunnen in gewicht variëren en moeten per monster gecorrigeerd worden.

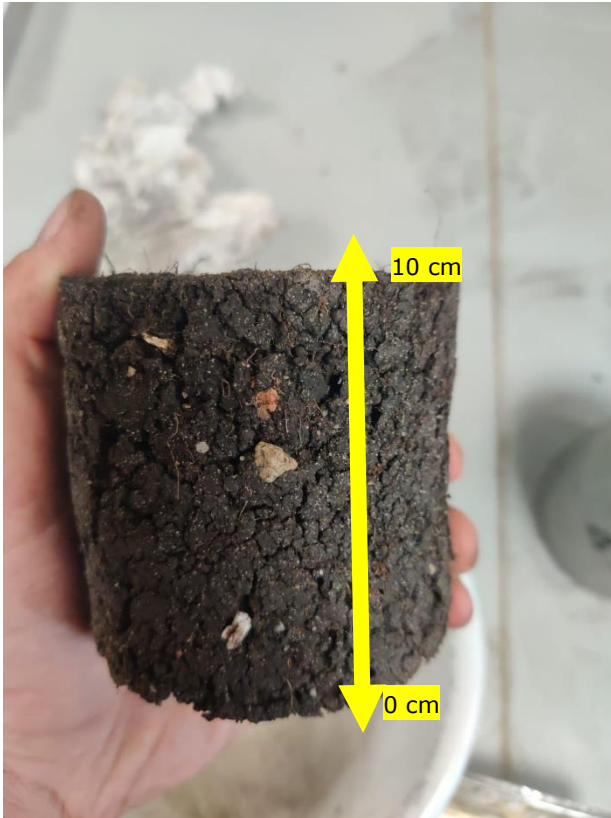
Het resultaat van stappen 1-6 zijn de volgende parameters die nodig zijn voor de berekening die beschreven is in hoofdstuk 4:

- Drooggewicht. Dit is het gewicht van het gedroogde monster (g).
- Droge bulkdichtheid. Dit is het drooggewicht gedeeld door het volume van het monster (g/cm^3).



Figuur 12 Droogstoof (links) en desiccator (rechts) (foto's: P. Gerritsen)

7: Vervolgens kunnen de monsters klaargemaakt worden om te gloeien in de oven. Hiervoor worden submonsters uit de monsters gehaald om in de keramische kroesjes te passen. Belangrijk hierbij is dat van ieder monster een gelijk deel van het gehele diepte-interval van 10 cm wordt gebruikt (zie Figuur 13). Dat kan door het monster een aantal keer, over de lengte, doormidden te breken. Dit submonster moet vervolgens worden gemalen in een vijzel en in het kroesje worden gedaan. Het originele monster wordt nog niet weggegooid, want er kan iets misgaan tijdens het gloeiproces waardoor de meting opnieuw moet worden uitgevoerd.



Figuur 13 Voor het gloeien in de oven is het belangrijk dat er van ieder monster een gelijk deel van het gehele diepte-interval van 10 cm wordt gebruikt (foto: P. Gerritsen).

Bij het uiteenvallen van het monster komen er mogelijk zaken tevoorschijn die opvallen, zoals stukjes puin, voornamelijk bij de veenbodems met toemaakdek (zie Figuur 13). Als hier sprake van is, wordt er notitie van gemaakt en worden indien mogelijk de stukjes puin gewogen. Er wordt zo veel mogelijk voorkomen dat er puin in de kroesjes komt en wordt gegloeid.

8: Het gemalen monster wordt in een kroesje geplaatst en gewogen. Daarna wordt het monster gegloeid op 550 graden Celsius voor 8 uur en opnieuw gewogen. Vervolgens wordt de inhoud van het kroesje geleegd en ook het kroesje afzonderlijk gewogen. Met deze gegevens kan het gloeiverlies worden vastgesteld.

Het resultaat van stap 7 en 8 zijn de volgende parameters die nodig zijn voor de berekeningen die beschreven is in hoofdstuk 4:

- Gewicht organische stof: dit is het gewicht voor gloeien minus het gewicht na gloeien (g).
- Gloeiverlies: dit is gewicht organische stof/drooggewicht (-).
- Gehalte organische stof. Dit is het gloeiverlies * droge bulkdichtheid * zwelfactor (g/cm^3).

3.4 Berekening C-voorraad

Uit de analyses van de monsters kan het organischestofgehalte per 10 cm van de bodem bepaald worden. Om dit om te rekenen naar het C-gehalte, is er een factor nodig die de verhouding aangeeft tussen C en OS (organische stof). In internationale literatuur heet dit de SOC/SOM-ratio, oftewel Soil Organic Carbon gedeeld door Soil Organic Matter. Deze factor is binnen NOBV bepaald door de Universiteit van Utrecht (UU) per 5cm-laag van de bodem (Hefting et al., 2023). Voor de 10cm-lagen waar in dit document mee gewerkt is, kan het gemiddelde genomen worden van twee door UU uitgevoerde metingen (voor 0-10 cm wordt het gemiddelde gebruikt van metingen 0-5 cm en 5-10 cm etc.). Bij afwezigheid van gegevens wordt deze factor vaak geschat op 0.55, maar de NOBV-gegevens laten lagere waarden zien (Hefting et al., 2023).

Om de hoeveelheid C per bodemlaag te bepalen, worden eerst droge bulkdichtheid (g/cm³) en gloeiverlies (-) (= gewicht organische stof/drooggewicht = SOM-fractie) bepaald, zoals beschreven in paragraaf 3.3. Daaruit wordt het SOM-gehalte (g/cm³) bepaald:

$$\text{SOM-gehalte} = \text{Droge bulkdichtheid} * \text{gloeiverlies} \quad (1)$$

Bulkdichtheid neemt voor veengrond over het algemeen af met de diepte, terwijl de SOM-fractie toeneemt met de diepte.

Het C-gehalte wordt vervolgens als volgt berekend:

$$C = \text{SOC/SOM} * \text{SOM-gehalte} \quad (2)$$

Waarbij C het C-gehalte is in g/cm³. Door met 10 te vermenigvuldigen, wordt de hoeveelheid C per bodemlaag bepaald voor een oppervlak van 1 cm², bijvoorbeeld:

$$C_{\text{laag1}} = C_{0-10} * 10 \quad (3)$$

De totale hoeveelheid C die aanwezig is boven een zakplaatje (t/m zakplaatje op 120 cm diepte) kan dan bepaald worden door de hoeveelheid C in ieder van de bodemlagen op te tellen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de huidige diepte van de zakplaatjes. Stel bv. dat het zakplaatje dat op 60 cm diepte was geïnstalleerd zich na verloop van tijd op een diepte van 55 cm bevindt doordat er veen is geoxideerd, dan is de hoeveelheid C boven dit zakplaatje als volgt te berekenen:

Op het moment van installatie:

$$C_{\text{totaal1}} = C_{\text{laag1}} + C_{\text{laag2}} + C_{\text{laag3}} + C_{\text{laag4}} + C_{\text{laag5}} + C_{\text{laag6}} \quad (4)$$

Bij de volgende meting:

$$C_{\text{totaal2}} = C_{\text{laag1}} + C_{\text{laag2}} + C_{\text{laag3}} + C_{\text{laag4}} + C_{\text{laag5}} + 5/10 * C_{\text{laag6}} \quad (5)$$

Om van C_{totaal} (g/cm²) om te rekenen naar C_{voorraad} (t/ha), dient C_{totaal} vermenigvuldigd te worden met 100. In het voorbeeld hierboven zou dat de totale C_{voorraad} geven tot 60 cm diepte, maar in de praktijk gebruiken we meestal het zakplaatje op 120 cm diepte. Het verschil tussen $C_{\text{voorraad1}}$ en $C_{\text{voorraad2}}$ is dan de hoeveelheid C die verdwenen is (C_{verlies} , t/ha):

$$C_{\text{verlies}} = C_{\text{voorraad1}} - C_{\text{voorraad2}} \quad (6)$$

Hieruit kan een C-verlies per jaar berekend worden en ook de emissie in ton CO₂ per hectare per jaar:

$$\text{Emissie} = (C_{\text{verlies}} * 44/12) / (t_2 - t_1) \quad (7)$$

Waarbij de factor 44/12 nodig is om van C om te rekenen naar CO₂.

4 Resultaten

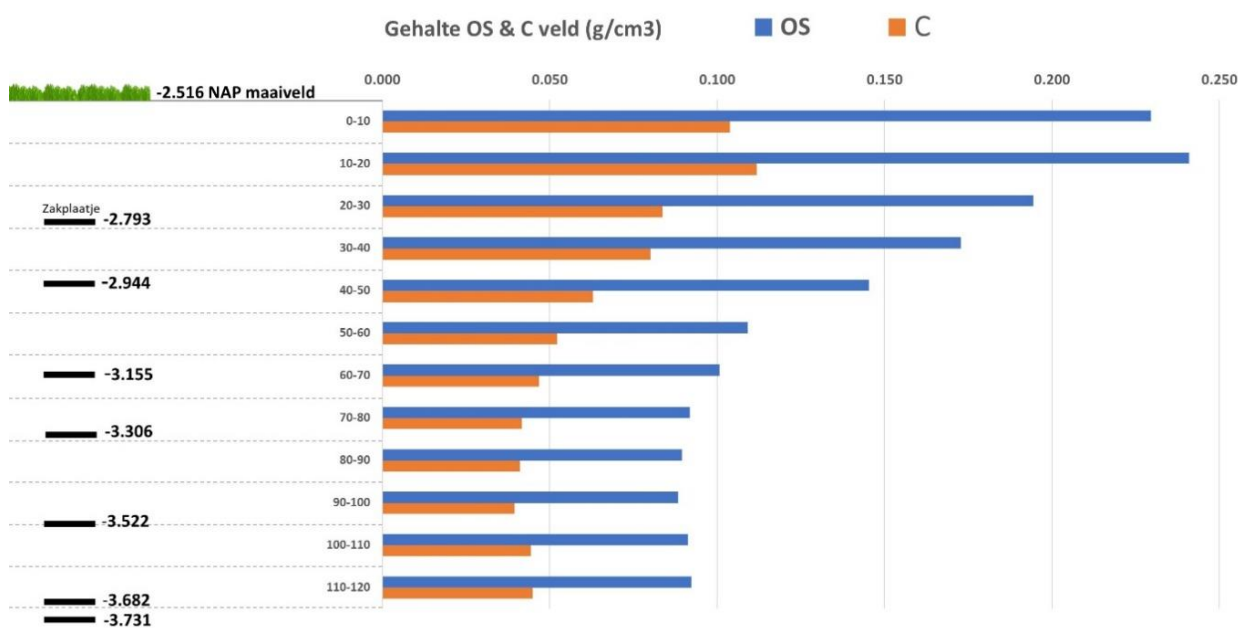
In dit document is de berekening van de huidige C-voorraad voor een van de twee locaties op perceel 13 te Zegveld uitgewerkt, namelijk de locatie aan de noordkant van P13 (zie Figuur 14). Op deze locatie worden al sinds 1973 zakplaatjes bemeten. Op perceel 13 zijn door UU geen koolstofprofielen genomen, maar er zijn wel gegevens voor perceel 16. Voor de percelen in Zegveld, op de Hoogwaterboerderij na, wordt daarom voor de SOC/SOM-ratio uitgegaan van de metingen die door UU gedaan zijn op perceel 16 (Hefting et al., 2023).



Figuur 14 Locatie noordelijk C-profiel perceel 13.

Figuur 15 en Tabel 1 laten de resultaten zien. Figuur 15 laat zien dat het C-gehalte voor de bovenste 60 cm met de diepte afneemt. De oorzaak hiervan is de grotere bulkdichtheid van de bovenste lagen, doordat door de veenafbraak dan wel veraarding het poriëngehalte sterk afneemt en de dichtheid toeneemt en doordat minerale delen op zullen hopen in het bovenste deel van het profiel doordat deze delen bij oxidatie achterblijven. Vanaf een diepte van ongeveer 60 cm blijft het C-gehalte constant.

Tabel 1 geeft informatie over de SOC/SOM-ratio, en geeft de resultaten van de verschillende berekeningen die in het vorige hoofdstuk beschreven zijn. Het eindresultaat is de C-voorraad, die voor perceel 13 is bepaald op 753 t/ha tot een diepte van 120 cm. De laatste stap (die hier niet beschreven is) is om het verschil in C-voorraad vanaf maaiveld tot aan een bepaalde zakplaatdiepte (bv. van zakplaatje '120') te bepalen ten opzichte van een eerder tijdstip; daaruit kan dan ook de CO₂-uitstoot berekend worden met vergelijking 7.



Figuur 15 OS (SOM) en C (SOC) gehalten per diepte (g/cm³), noordelijk C-profiel perceel 13, bemonstering 16 juni 2021.

Annex 2 (Van den Akker et al., 2023) geeft een ander concreet voorbeeld van resultaten die met deze methode verkregen kunnen worden. Zij vonden met deze methode dat de over 50 jaar gemiddelde jaarlijkse CO₂-uitstoot uit perceel 13 in Zegveld 10.7-14.1 t/ha/jaar was, terwijl dit voor perceel 16 18.8-19.6 t/ha/jaar was. Dit verschil kan verklaard worden uit de slootpeilen; voor perceel 13 is het slootpeil ongeveer 25 cm -mv, terwijl dit voor perceel 16 ongeveer 55 cm -mv is. Van den Akker et al. (2023) vergeleken de resultaten van deze methode ook met andere schattingen/berekeningen van uitstoot en concludeerden dat de methode die gebruikmaakt van C-profielen resulteert in getallen van dezelfde orde grootte als andere methoden (zie Tabel 1 in Annex 2).

Tabel 1 Resultaten noordelijke C-profiel op perceel 13.

Diepte (cm)	Droge bulkdichtheid (g/cm ³)	SOC/SOM-ratio (gebaseerd op data UU)	SOM-gehalte (g/cm ³)	SOC-gehalte (g/cm ³)	C _{laag} (g/cm ²)
0-10	0.441	0.45	0.230	0.104	1.04
10-20	0.504	0.46	0.241	0.112	1.12
20-30	0.404	0.43	0.194	0.084	0.84
30-40	0.219	0.46	0.173	0.080	0.80
40-50	0.193	0.43	0.145	0.063	0.63
50-60	0.148	0.48	0.109	0.052	0.52
60-70	0.123	0.46	0.101	0.047	0.47
70-80	0.119	0.45	0.092	0.042	0.42
80-90	0.112	0.46	0.090	0.041	0.41
90-100	0.111	0.45	0.088	0.039	0.39
100-110	0.114	0.49	0.091	0.044	0.44
110-120	0.125	0.49	0.092	0.045	0.45
C _{totaal} (g/cm ²) (voor 120 cm)					7.53
C _{voorraad} (t/ha) (voor 120 cm)					753

5 Discussie

Tijdens het ontwikkelen, testen en uitwerken van de testen is een aantal aandachtspunten naar voren gekomen; deze worden besproken in paragraaf 5.1 en 5.2.

5.1 Gebruik van de SOC/SOM-ratio

Er is in dit document gebruikgemaakt van eigen metingen van het SOM-gehalte en data van de Universiteit Utrecht (UU) zijn gebruikt om het SOM-gehalte om te rekenen naar SOC-gehalte door middel van de SOC/SOM-ratio. Het drooggewicht is echter bepaald door te drogen op 105 °C, terwijl UU in haar analyse 70 °C heeft gebruikt voor het drogen (Hefting et al., 2023). Dit kan effect hebben op het resultaat, omdat er bij 70 °C nog vocht in het monster achter zou kunnen blijven, terwijl er omgekeerd bij 105 °C ook al wat organische stof zou kunnen verdwijnen. Als gevolg hiervan kan de berekende droge bulkdichtheid groter zijn als er gedroogd is op 70 °C dan wanneer dat gedaan is op 105 °C. Aangezien de droge bulkdichtheid invloed heeft op het SOM-gehalte (zie vergelijking 1) kan dit ook leiden tot verschillen in het berekende SOM-gehalte. Daarnaast zal er – als het drogen is gebeurd op 70 °C – ook nog vocht verdwijnen als er vervolgens gegloeid wordt, wat resulteert in een lagere SOC/SOM-ratio. De door Hefting et al. (2023) gevonden SOC/SOM-ratio's zijn inderdaad laag in vergelijking tot andere data, zoals in Klingenuß et al. (2014). Zij vonden 0.53 voor amorf veen en 0.58 voor vers veen afkomstig van vaatplanten (waaronder bomen en riet). Voor Zegveld zou dan ook een waarde van 0.58 te verwachten zijn voor vers veen, omdat er vooral bosveen en zeggeveen aanwezig is op deze locatie en een waarde van 0.53 voor de bovenste lagen, omdat die amorf (veraard) zijn. Dit is in lijn met Schothorst (1977), die 0.55 gebruikte als gemiddelde voor het hele profiel.

Bij 105 °C is een kleinere droge bulkdichtheid te verwachten en een grotere SOC/SOM-fractie, terwijl dit bij 70 °C omgekeerd is. Uiteindelijk zouden beide methoden tot vergelijkbare resultaten voor de C-voorraad kunnen leiden, maar dan is het wel noodzakelijk dat zowel droge bulkdichtheid als SOC/SOM-ratio op dezelfde droogtemperatuur gebaseerd zijn. In het huidige document was dit niet het geval, waardoor een lagere droge bulkdichtheid is gecombineerd met een lage SOC/SOM-fractie. Voor het doel van dit document is dat niet erg; de door UU verzamelde data zijn gebruikt omdat die site-specifiek zijn en voor de verschillende bodemlagen aanwezig zijn en daarom geschikt om de methode uit te leggen. Maar voor een analyse van de C-voorraad is het aan te raden om geen data te combineren die verkregen zijn bij verschillende droogtemperaturen.

5.2 Droge bulkdichtheid

In de voorgaande paragraaf is al besproken dat de keuze van een bepaalde temperatuur voor drogen van veen effect kan hebben op de berekende droge bulkdichtheid. Er zijn echter nog twee factoren die invloed kunnen hebben op de uitkomsten:

1. Monsternamen. Omdat veen eenvoudig samen te drukken is, kan monsternamen leiden tot een toename van de bulkdichtheid. Monsternamen dient daarom zorgvuldig te gebeuren en zonder veel druk uit te oefenen op het monster. Daarom is het aan te raden om alleen te gutsen beneden de grondwaterspiegel.
2. Het kan ook uitmaken of de monsters – voor ze gedroogd worden – eerst verzadigd worden of niet. Of algemener: de resultaten kunnen afhangen van het vochtgehalte aan het begin van de analyse. Verzadiging kan namelijk leiden tot zwellings, waardoor het monster boven de monsterring uit zal gaan steken en de dichtheid van het monster in de ring afneemt. Omdat het vochtgehalte in het veld kan variëren, verdient het aanbeveling om wel eerst te verzadigen, zodat de bepalingen aan alle monsters op dezelfde manier gebeuren en de resultaten niet afhangen van het vochtgehalte tijdens bemonstering. Verzadiging is ook nodig, omdat bij andere lab-bepalingen (bv. pF-curve) altijd uit wordt gegaan van het volume van een monster bij verzadiging.

6 Conclusies en aanbevelingen

De beschreven methode met zakplaatjes en C-profielen kan gebruikt worden om een schatting te maken van het verlies van C dat optreedt door oxidatie, en daarmee van CO₂-emissie. Ten aanzien van de methode en de vergelijking met andere onderzoeksmethoden om CO₂-emissie te bepalen, kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

De zakplaatjes- en C-profielen-methode is in vergelijking met andere methoden goedkoper en vereist geen interpolatie

De methode met C-profielen biedt een relatief eenvoudige en goede mogelijkheid voor langetermijnbepalingen van veranderingen in C-voorraad en van CO₂-uitstoot. Ten opzichte van CO₂-metingen is een belangrijk voordeel dat de beschreven methode veel goedkoper is en dat het niet nodig is om continue metingen te doen. Voor de beschreven methode zijn ook geen interpolaties nodig, zoals bij fluxkamers en EC-masten, aangezien het C-verlies puur gebaseerd is op veldmetingen.

De zakplaatjes- en C-profielen-methode geeft resultaten die vergelijkbaar zijn met andere methoden

Een toepassing van deze methode in Zegveld resulteerde in CO₂-uitstootwaarden die in dezelfde orde grootte lagen als verkregen met andere methoden, waaronder de bodemdalingsmethode. Ten opzichte van de bodemdalingsmethode heeft de zakplaatjesmethode als voordeel dat de methode niet afhankelijk is van een aanname over welk deel van de bodemdaling wordt veroorzaakt door oxidatie. Oxidatie is namelijk het enige bodemdalingsproces dat resulteert in een afname van de C-voorraad; alle andere bodemdalingsprocessen leiden tot een toename van dichtheid van het veen. Als er een toename van dichtheid is geweest, wordt dit via het C-profiel gemeten, zodat dit geen invloed heeft op de schatting van CO₂-uitstoot die verkregen wordt.

De zakplaatjes en C-profielen methode is alleen bruikbaar over een lang tijdsinterval

De methode met C-profielen heeft als belangrijkste nadeel dat er tijd nodig is tussen opeenvolgende C-profielen, omdat anders de hoeveelheid C die verdwenen is te klein is om vast te kunnen stellen. Een periode van tien jaar of meer tussen metingen wordt aangeraden. Daarnaast is de methode invasief, want door het maken van het C-profiel wordt de bodem verstoord. Dit betekent dat de volgende meting niet op exact dezelfde plek uitgevoerd kan worden, waardoor het niet uit te sluiten valt dat gemeten verschillen in C-voorraad deels komen doordat een iets andere locatie is bemonsterd. Ook is de methode afhankelijk van een correcte dieptebepaling van het zakplaatje dat gebruikt wordt. Zoals beschreven in Massop et al. (submitted) kunnen zakplaatjes beschadigd raken en daardoor na verloop van tijd niet meer meetbaar zijn.

De methode heeft een sterk eenduidige werkwijze nodig om foutmarge laag te houden

De methode combineert metingen over een lange periode (> 10 jaar). Dit betekent dat het belangrijk is om de werkwijze zoals in dit document beschreven goed te volgen is. Bij het gebruik van de methode van C-profielen in combinatie met zakplaatjes is het volgende aan te raden:

- Boven de grondwaterspiegel bemonsteren met 10 cm bemonsteringsringen, in drievoud.
- Beneden de grondwaterspiegel bemonsteren met 6 cm brede guts, in vijfvoud.
- Om bemonstering uit te voeren als de bodem redelijk vochtig is. Het steken van ringmonsters is dan makkelijker en de kans op verstoring van het monster (bv. door samendrukking) geringer.
- Om geen data te gebruiken die gebaseerd zijn op verschillende temperaturen voor het drogen.
- Om veldmonsters altijd te verzadigen voordat dichtheden bepaald worden. Wel dient het C-gehalte dan vervolgens gecorrigeerd te worden vanwege de zwelling die op kan treden bij verzadiging.
- Om duidelijk te noteren waar er bemonsterd is, zodat in de toekomst (bv. over 10 jaar) de eerder bemonsterde plek vermeden kan worden.

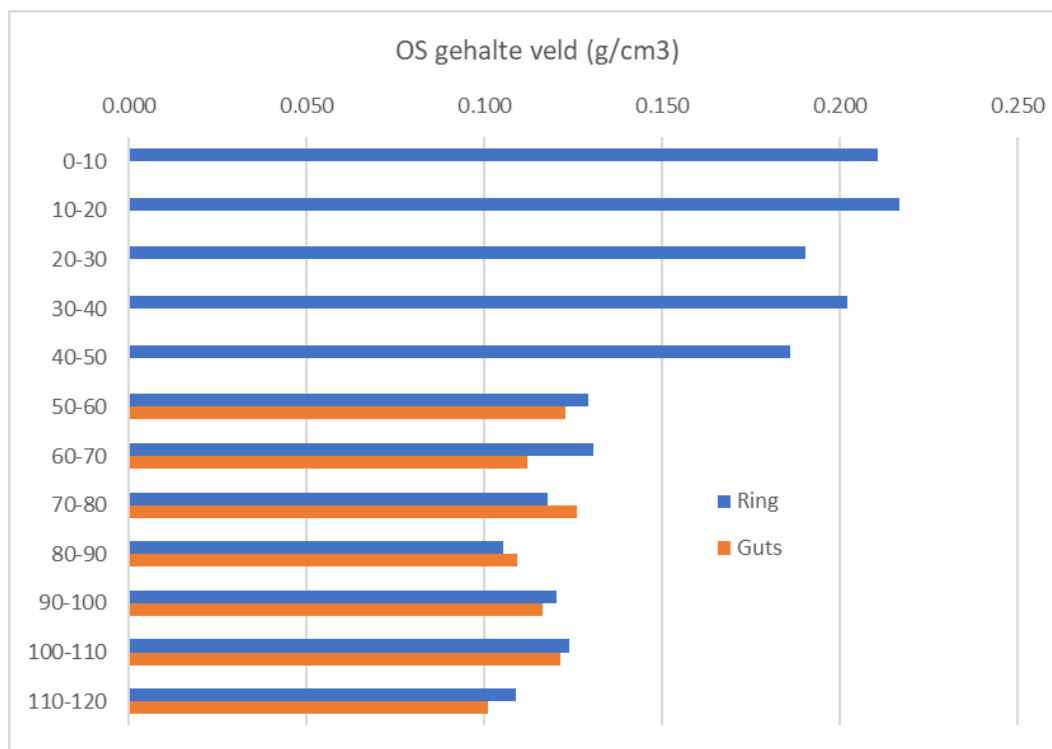
Literatuur

- Erkens, G. et al. 2021. Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). Data analyse 2020-2021 (available at [Reports – NOB \(nobveenweiden.nl\)](https://reports-nob.nobveenweiden.nl)).
- Hefting, M.M., S. van Asselen, J.A. Keuskamp, S.F. Harpenslager, G. Erkens. 2023. Carbon stocks in sight: High-resolution vertical depth profiles to quantify carbon reservoirs in the NOBV research sites. H15 NOBV rapport 2023
- Klingenuß, C. N. Roßkopf, J. Walter, C. Heller, J. Zeitz, 2014 Soil organic matter to soil organic carbon ratios of peatland soil substrates. *Geoderma* 235–236, 410–417.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.010>
- Massop, H., R. Hessel, J. van den Akker, S. van Asselen, G. Erkens, P. Gerritsen, F. Gerritsen (submitted). Monitoring long-term peat subsidence with subsidence platens in Zegveld, The Netherlands. Submitted to *Geoderma*
- Schothorst, C.J., 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. *Geoderma* 17, 265-291
- Schothorst, C.J., 1982. Drainage and Behaviour of Peat Soils. Proc. Symp. on Peatlands below Sea Level. 1982. ILRI publication 30, Wageningen, The Netherlands: 130-163
- Van den Akker, J.J.H. et al., 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. Proc. 13th Int. Peat Congress, Tullamore, Ireland. IPS, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648.
- Van den Akker, J.J.H., Massop, H., Gerritsen, P., Gerritsen, F., Van Houwelingen, K.M., 2023. Evaluation of 50 years subsidence monitoring of a peat meadow parcel as a method to determine CO₂-emissions. TISOILS 2023 excursion guide.

Annex 1 Vergelijking ring- en gutsmonsters

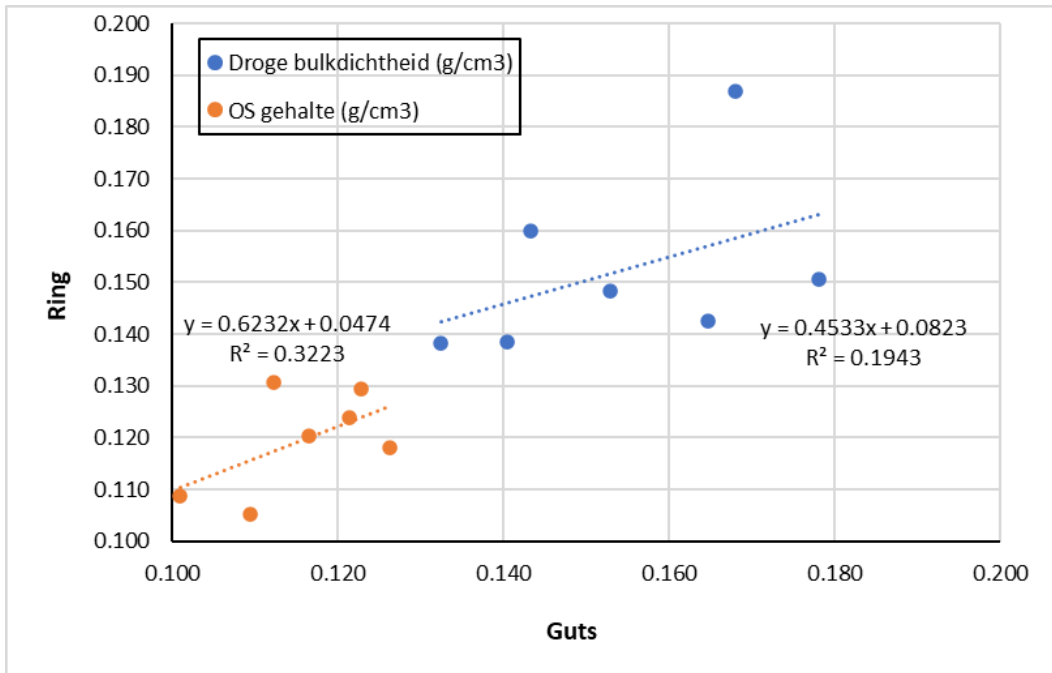
Onderstaande grafieken laten de resultaten zien van de vergelijking tussen guts- en ring-monsters. Guts-monsters zijn alleen gestoken vanaf 50 cm diepte.

Grafiek 1 laat zien dat de organischestofgehalten die met beide methoden gevonden zijn redelijk goed overeenkomen en er lijkt geen systematische afwijking te zijn (al gaf de guts in vijf van de zeven gevallen een lager organischestofgehalte).



Grafiek 1 OS gehalte gemeten met ringen en met guts.

In grafiek 2 zijn de OS-gehalten en de droge bulkdichtheid die gemeten zijn met ringen uitgezet tegen de metingen met de guts. Deze grafiek laat zien dat de correlatie voor OS-gehalte beter is dan voor droge bulkdichtheid. Beide regressielijnen laten een hellingshoek zien die kleiner is dan 1 en hebben ook een positief intercept. Dit houdt in dat als de waarde voor gutsmonster 0 is, er een waarde groter dan 0 gevonden wordt voor het ringmonster. Hoewel de lijn eigenlijk door 0,0 zou moeten lopen, geeft het toevoegen van een intercept in de regressie een vertekend beeld van de R^2 . Ook zijn heel lage droge bulkdichtheden fysisch niet mogelijk. Daarom hebben we ervoor gekozen om geen intercept in te stellen. Dat geeft naar ons idee het beste beeld van hoe de metingen met ringen en guts zich tot elkaar verhouden voor de gemeten range van waarden.



Grafiek 2 OS-gehalte en droge bulkdichtheid gemeten met ring- en met gutsmonsters.

Annex 2 Voorbeeld toepassing methode

(Van den Akker et al., 2023)

EVALUATION OF 50 YEARS SUBSIDENCE MONITORING OF A PEAT MEADOW PARCEL AS A METHOD TO DETERMINE CO₂-EMISSIONS

J.J.H. van den Akker¹ (janjh.vandenakker@wur.nl), H. Massop¹, P. Gerritsen¹, F. Gerritsen¹, K.M. van Houwelingen²

¹ Wageningen Environmental Research, Wageningen University & Research, ² KTC Zegveld, The Netherlands

Introduction

Subsidence of drained peat soils in agricultural use is a well-known problem in the Netherlands. Depending on the ditch water level, subsidence is about 4 to more than 12 mm per year. After 1965 a modernization of dairy farming started, including lowering of ditch water levels to improve the bearing capacity of peat meadow parcels. Among others to monitor the expected increase of subsidence the experimental farm Zegveld was founded in 1966. A major part of the subsidence of peat land is caused by biological degradation (peat oxidation). The associated CO₂-emission of drained peat soils in The Netherlands is about 4.2 Mton per year. More-over the mineralized N causes an extra N₂O-emission of 0.5 CO₂-eq. per year. The aim of the Dutch Government is to reduce the CO₂-emission by peat oxidation with 1 Mton per year in 2030. Therefore in 2019 the national research program NOBV commenced to determine the effectiveness of measures to reduce CO₂-emissions and subsidence of peat soils. Part of this program is the determination of the subsidence and CO₂-emissions in the past of the experimental farm Zegveld.

Subsidence Zegveld experimental farm

The altitude of the experimental farm Zegveld is measured with a water level instrument in vertical and horizontal cross sections in 1966, 1992, 2003 and in 2020 (Figure 1). In 1966 the area of the experimental farm presented in Figure 1 was divided in a Northwestern and a Southeastern part with the original high ditch water level (20/25 cm –surface) and a Southwestern and a Northeastern part with a lowered ditchwater level (55/60 cm –surface).

In historic times the Eastern part of the experimental farm is covered with a thin layer of organic waste material from nearby cities to improve fertility and trafficability of the peat soils. This material is high in mineral parts and is partly mixed into the upper 20 to 30 cm of the soil profile.

The subsidence per year is presented in Figure 2. The subsidence per parcel is subdivided in the period 1966-1992 and 1992-2020. Note that in an experiment the Southern part of parcel 5 is covered with an organic clay layer and parcel 6 is used in an experiment with paludiculture. This results in an apparent reduced subsidence in parcels 5 and 6 in the second period.

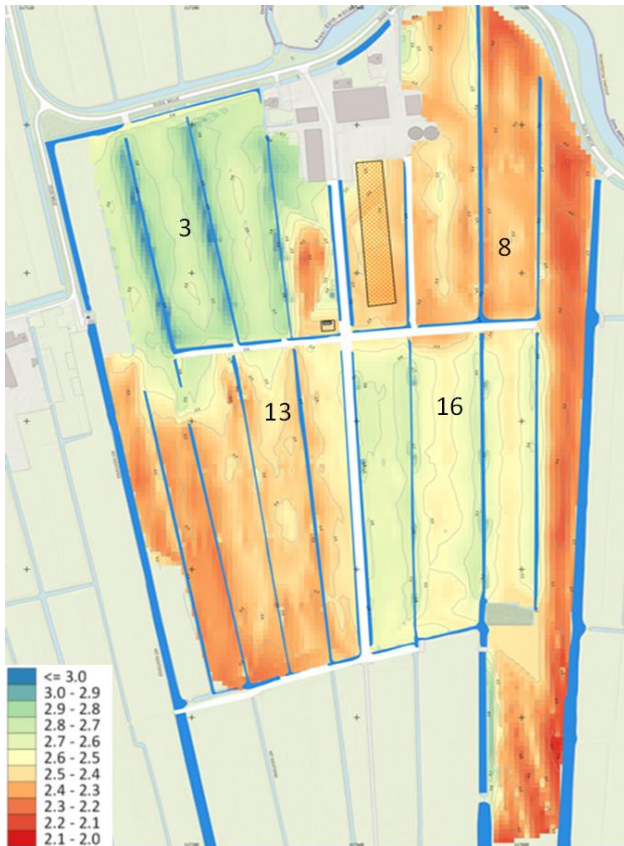


Figure 1 Altitude in 2020 experimental farm Zegveld in meters minus average see level; 3, 8, 13 and 16 are parcel numbers.

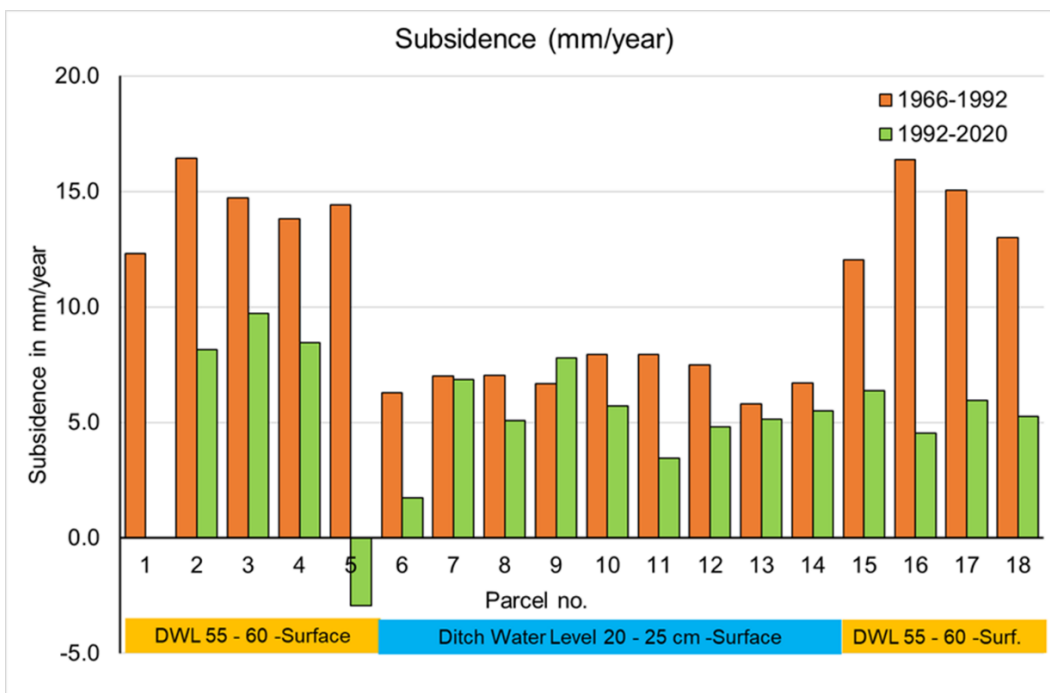


Figure 2 Subsidence in mm per year of the parcels 1-18 of the experimental farm Zegveld in the periods 1966-1992 and 1992-2020. DWL = Ditch Water Level.

In the first period 1966-1992 the subsidence of the parcels with a lowered ditch water level is significantly larger than in the second period 1992-2020, because the major part of the consolidation and compaction of the deeper peat and soft clay layers happens shortly after lowering of the ditchwater level in the first period.

However, the main cause of the decrease in subsidence in mm per year in the second period is probably the ongoing increase of bulk density due to peat oxidation and degradation and associated loss of organic matter in the upper 40 to 60 cm of the soil profile. In the second period the subsidence of parcels 15-18 may be lower than of parcels 2-4 because of the substantial higher mineral part content in the topsoil of the eastern half of the experimental farm Zegveld.

Loss of soil organic matter and CO₂-emission

In 1970 platens were installed in parcels 3 and 16 at targeted depths of 20, 40, 60, 140 cm (Figure 3). In 1973 and 1978 also platens were installed in respectively parcel 13 and 8. Also in 1973 respectively 1978 the bulk density and soil organic matter (SOM) content were determined in steps of 10 cm up to 80 cm depth. Every year in early spring when the soil is soaked and swollen the altitude of the soil surface and the platens are measured. In 1995 bulk density and soil organic matter (SOM) was determined nearby the installed platens in parcel 13 up to a depth of 330 cm. In 2021 we did the same in parcels 13 and 16 nearby the installed platens in steps of 10 cm to a depth of 120 cm. In this way we could determine the total amount of SOM up to the depths of the platens in the start and in 1995 and 2021 (Figure 4). This is the basis for calculation of the average yearly CO₂-emissions in these periods.

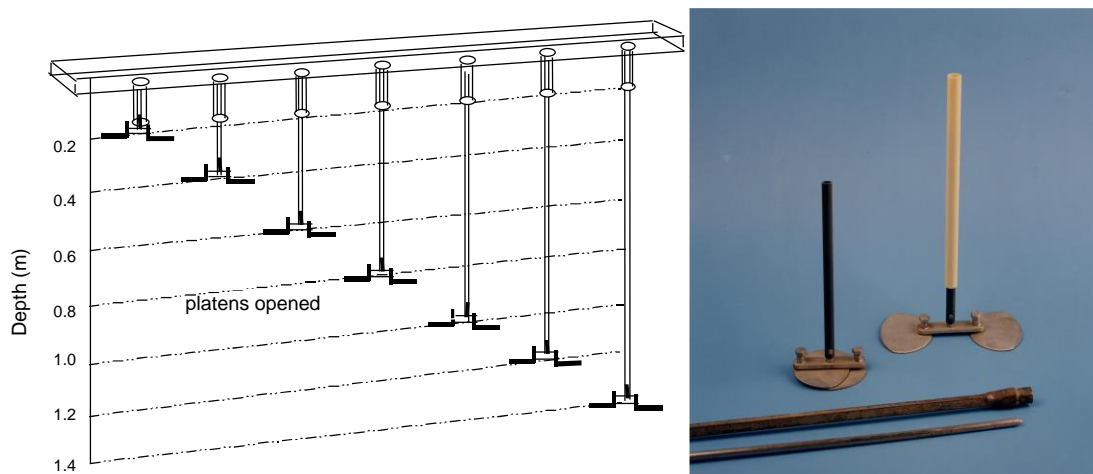


Figure 3 Platens installed in a bore hole at targeted depths of 20, 40, 60, ... 140 cm, opened and connected to the surface with two telescopic plastic tubes. The altitude is measured with aid of a steel rod lowered in the plastic tubes.

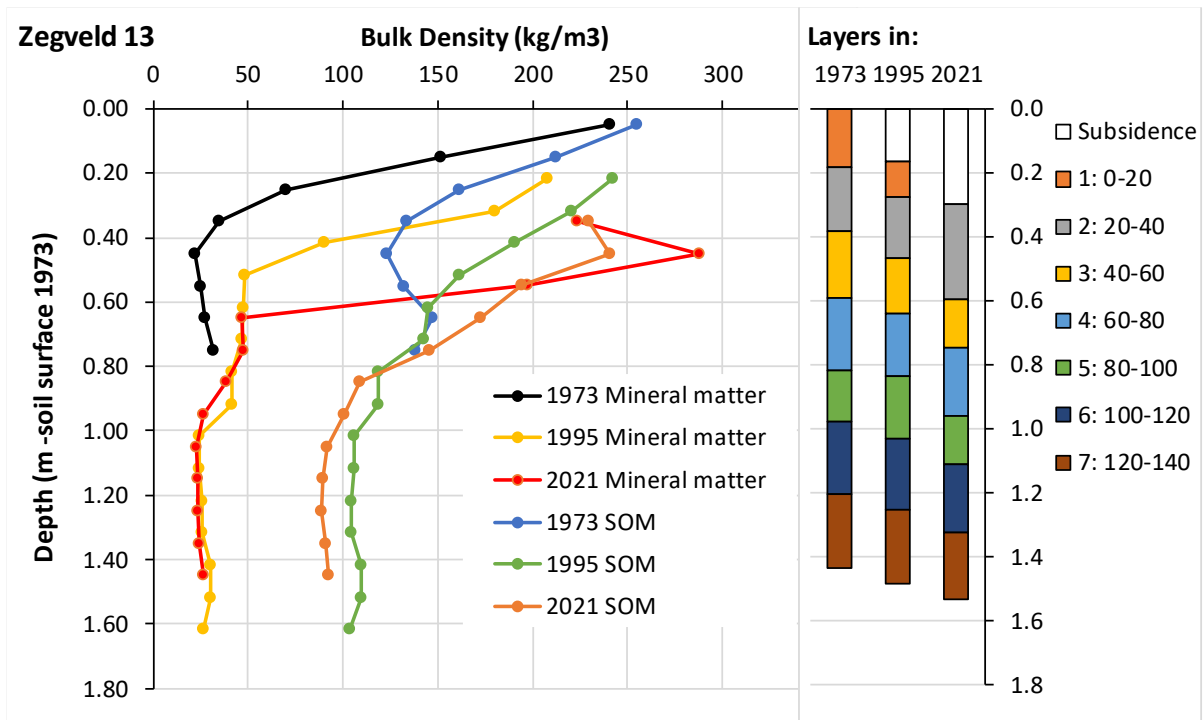


Figure 4 Bulk density SOM and bulk density Mineral matter. Layers between the depths of the installed platens in 1973, 1995 and 2021. Zegveld 13, DWL 20-25 cm –surface.

Depending on the platen considered and the assumed bulk density of the SOM in 1973 below 80 cm depth, we calculated for Zegveld 13 an average yearly CO₂-emission of 10.7 – 14.1 ton.ha⁻¹. The highest value is mainly caused by the unexpected low SOM density below 80 cm depth in 2021. For Zegveld 16 we calculated an average yearly CO₂-emission of 18.8-19.6 ton.ha⁻¹. These values were compared with literature (Table 1).

Table 1 Comparison of CO₂ emissions (t.ha⁻¹.year⁻¹) with literature. Mean yearly groundwater table WTD = 19.5 cm (Zegveld 13) and WTD= 37.0 cm (Zegveld 16). Mean yearly lowest 3 biweekly measured groundwater tables in the period 2009-2015 is GLG = 44.1 cm (Zegveld 13) and GLG = 65.9 cm (Zegveld 16).

Reference	Zegveld 13	Zegveld 16	Comments
This paper	10.7 - 14.1	18.8 - 19.6	SOM loss in 50 years
Jacobs et al., 2003	15.0/19.2	25.3/25.4	Eddy covariance (EC) measurements Zegveld
Schothorst, 1982	8.1	14.5	Based on grass yield by N-mineralisation peat
Van den Akker et al., 2008	8.4	20.0	CO ₂ = 0.5319 GLG – 0.15 (based on Dutch subsidence measurements)
Fritz et al., 2017	8.9	16.7	CO ₂ = 0.45 WTD + 0.088 (based on literature study Dutch measurements)
Tiemeyer et al., 2020	18.7	34.5	CO ₂ = -3.41+40.33EXP(-7.52EXP(-0.1297 WTD)) (based on chamber measurements Germany)
Evans et al., 2021	3.2	11.8	CO ₂ = 0.4917 WTD–6.43 (based on EC measurements UK)

Conclusions

The determined CO₂-emissions based on loss of SOM fit well in the range found in literature, however, the CO₂-emission of Zegveld 13 is higher and of Zegveld 16 lower than expected based on literature. Measurement of loss of SOM nearby the platens in parcels 3 and 8 is needed to draw sound conclusions.

Acknowledgements

This study was part of the project "Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden" NOBV funded by the Dutch government to research greenhouse gas emissions emerging from peatlands. This

project is an interdisciplinary collaboration between the following Dutch partners: STOWA, Deltares, Radboud Universiteit, Universiteit Utrecht, Wageningen Environmental Research, Wageningen Universiteit, Technische Universiteit Delft, B-ware, and Vrije Universiteit Amsterdam.

Funding was provided by the Ministry of Agriculture, Nature, and Food through the Knowledge Based Program 34: Circular and Climate Neutral Society - Project KB 34 005 001.

References

- Evans, C.D. et al., 2021. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1>.
- Fritz, C. et al., 2017. Meten is weten bij bodemdalingmitigatie (in Dutch). *Bodem* no 2, pp 20-22.
- Jacobs, C.M.J. et al., 2003. Invloed van waterbeheer op gekoppelde broeikasgasemissies in het veenweidegebied bi ROC Zegveld. *Alterra Rap. 840*, Wageningen, The Netherlands.
- Schothorst, C.J., 1982. Drainage and Behaviour of Peat Soils. *Proc. Symp. on Peatlands below Sea Level. 1982. ILRI publication 30*, Wageningen, The Netherlands: 130-163.
- Tiemeyer, B. et al., 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 109 (2020) 105838.
- Van den Akker, J.J.H. et al., 2008. Emission of CO₂ from agricultural peat soils in the Netherlands and ways to limit this emission. *Proc. 13th Int. Peat Congress, Tullamore, Ireland. IPS, Jyväskylä, Finland. ISBN 0951489046. pp 645-648.*



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3347
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3347
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

