



# Potentiële effecten van het gebruik van thermisch gereinigde grond als dijkversteviging

- een effectstudie aan omgevingseffecten en veenafbraak -



## CONCEPT RAPPORTAGE

Opdrachtgever: Waterschap Vallei & Veluwe • Projectnummer: PR-16.128 • Rapportnummer: RP-16.128.17.32  
Auteurs: G. van Dijk, Y. Verstijnen, M. Poelen & A. Smolders • Datum: 22.05.2017

*Titel rapport:*

*Potentiële effecten van het gebruik van thermisch gereinigde grond als dijkversteving. Een effectstudie aan omgevingseffecten en veenafbraak*

*Auteurs:*

*Gijs van Dijk, Yvon Verstijnen, Moni Poelen & Fons Smolders*

*Opdrachtgever:*

*J. Valk (Waterschap Vallei en Veluwe)*

*Rapportnummer: RP-16.128.17.32*

**Informatie:**

Onderzoekcentrum B-WARE B.V.  
Radboud Universiteit Nijmegen  
Mercator III, Toernooiveld 1  
6525 ED Nijmegen  
Kamernummer: 02.019  
Tel: 024-2122203  
g.vandijk@b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Nijmegen, 2017.

## Samenvatting

*Wordt pas geschreven nadat alle resultaten beschikbaar zijn en reactie op concept rapportage is ontvangen, per hoofdstuk is wel reeds een kader opgenomen met conclusies*

# Inhoudsopgave

Samenvatting .....	3
Inhoudsopgave .....	4
1. Inleiding .....	6
2. Materiaal & Methode .....	9
2.1 Chemische samenstelling van bodem en potentiële uitspoeling naar omgeving .....	9
2.2 Effecten van uitspoeling uit TGG laag op de onderliggende veenlaag .....	11
2.3 Bemonstering en chemische analyse van bodem en water .....	12
3. Resultaten .....	17
3.1 Wat is de chemische samenstelling van de TGG en de onderliggende bodemlagen? .....	17
3.1.1. <i>Wat is de chemische samenstelling van de thermisch gereinigde grond en verschilt deze van de van nature aanwezige bodemlagen?</i> .....	17
3.1.2. <i>Is de samenstelling van TGG anders als de omgeving en voldoet deze aan de normen?</i> 19	
3.2 Heeft de thermisch gereinigde grond een effect op de omgeving? .....	22
3.2.1. <i>Is er kans op uitspoeling van vervuiling uit de TGG</i> .....	22
3.2.2. <i>Zijn er in het veld effecten op onderliggende bodemlagen?</i> .....	24
3.2.3. <i>Effecten op oppervlaktewater</i> .....	31
3.3 Hoe functioneert de dijk hydrologisch en in welk mate kan vervuiling uit de TGG laag zich in de omgeving verplaatsen? .....	34
3.4 Effecten van uitspoeling van sulfaat en zouten uit de thermisch gereinigde grond op biogeochemische processen en afbraakprocessen in de onderliggende veenlaag? .....	35
3.4.1. <i>Uitspoeling vanuit TGG laag en de consequenties voor de onderliggende veenlaag</i> 35	
3.4.2. <i>Effecten van TGG op afbraakprocessen in de onderliggende veenlaag</i> .....	38
4. Discussie .....	41
4.1 Eigenschappen van TGG .....	41
4.1.1 <i>Samenstelling van TGG in relatie tot de omgeving en het milieu</i> .....	41
4.1.2 <i>Uitspoeling van natrium en sulfaat uit de TGG laag</i> .....	42
4.2 Effecten van uitspoeling uit de TGG laag naar de omgeving .....	43
4.2.1 <i>Kation-mobilisatie</i> .....	43
4.2.2 <i>Verhoogde pH &amp; mobilisatie van reactief organisch materiaal</i> .....	43
4.2.3 <i>Beschikbaarheid van nutriënten in de bodem</i> .....	44
4.2.4 <i>Consequenties van verhoogde sulfaat uitspoeling en hieruit volgende sulfaatbelasting op oppervlaktewater</i> .....	44
4.2.5 <i>Consequenties van verhoogde natrium uitspoeling en hieruit volgende natriumbelasting op oppervlaktewater</i> .....	46
4.3 Effecten van uitspoeling uit TGG op afbraakprocessen en structuur in de onderliggende veenlaag .....	46
4.3.1 <i>Effecten van uitspoeling uit TGG op afbraakprocessen in de veenlaag</i> .....	46
4.3.2 <i>Fysische effecten van uitspoeling uit TGG op de veenlaag i.r.t. de bodemstructuur</i> .....	48
5. Conclusies & Aanbevelingen .....	49
5.1 Conclusies .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Aanbevelingen .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.1 <i>Hoe om te gaan met de huidige onderzoek locatie</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.2 <i>Productie van en toekomstige toepassing van TGG</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.3 <i>aanbevelingen voor vervolgonderzoek</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6. Literatuur .....	53
Bijlage .....	54
I. Bodemprofielen bodemboringen en locaties peilbuizen en ceramische cups .....	54

II.	Zijaanzichten transecten .....	54
III.	Tabellen met resultaten .....	54
IV.	Correlatie grafieken welke we niet in rapportage opnemen.....	54
V.	Etc. ....	54

## 1. Inleiding

De dijk langs het Eemmeer tussen Bunschoten-Spakenburg en Eemdijk is in 2016 verstevigd. Met deze dijkversteviging is de dijk aan de landinwaartse zijde verbreed en verstevigd. Tijdens deze werkzaamheden zijn er aan de binnenzijde van de dijk verschillende materialen aangebracht en is de parallel aan de dijk gelegen sloot gedempt. Daarna is er verder landinwaarts een nieuwe sloot aangelegd. Voor de versteviging van de dijk is thermische gereinigde grond (TGG) toegepast. Nadat een deel van de dijkverstevigingswerkzaamheden verzet waren werd geconstateerd dat de waterkwaliteit, in enkele watergangen welke in contact stonden met het dijklichaam, aanzienlijk verslechterde in vergelijking met andere watergangen in de polder. Tevens werd er in de media vervolgens een verband gelegd tussen de veranderende waterkwaliteit en de gezondheid c.q. sterfte van kalveren van een aangrenzend gelegen agrarisch bedrijf.



Foto xxx: Vee op perceel aangrenzend aan de dijk (foto J. Graafland).

Bij nadere analyse van de waterkwaliteit van dit oppervlaktewater door Waterschap Vallei en Veluwe bleek dat het oppervlaktewater een hoge geleidbaarheid (EGV, elektrisch geleidend vermogen) en hoge sulfaatconcentraties bevatte (970 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$  en een EGV van 484 mS/cm). Tevens is er melding gemaakt een stank van rotte eieren in de watergangen door omwonende na de dijkversteviging. In eerste instantie was de oorsprong hiervan onbekend. Naar aanleiding hiervan heeft Waterschap Vallei en Veluwe de tijdens de dijkversteviging gebruikte thermisch gereinigde grond laten analyseren en hier bleek dat deze grond hoge chloride- en zwavelconcentraties bevat en zeer waarschijnlijk de bron is geweest voor de verhoogde concentraties in het oppervlaktewater en hiermee wellicht ook een van de mogelijke oorzaken voor de dode kalveren. Aangezien de opgebrachte laag met thermisch gereinigde grond een periode van enkele maanden onafgedekt op de dijk heeft gelegen (vanuit wet- en regelgeving is dit normaliter toegestaan in de periode dat het werk niet is opgeleverd) zijn er waarschijnlijk via neerslag water veel ionen (zoals natrium en sulfaat) uit deze laag gespoeld naar het omliggende oppervlaktewater. Vervolgens is in de periode augustus 2016, zoals gepland, de laag met TGG afgedekt met een kleilaag en is het Waterschap Vallei en Veluwe de sloot sneller gaan doorspoelen met oppervlaktewater uit de omgeving. Daarnaast is de waterbodem van de omringende sloten van derden geanalyseerd en waar nodig is deze opgeschoond en afgevoerd. Na deze maatregelen is het elektrisch geleidend vermogen en zijn de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater afgenomen. Ondanks de afname van het elektrisch geleidend vermogen en de sulfaatconcentraties waren echter de consequenties van de TGG laag in

de dijk op de omgeving (aangrenzend oppervlaktewater, percelen, het grondwater) nog maar deels bekend. Tevens was er onzekerheid in hoeverre (vervuilende) elementen uit de TGG laag in contact konden komen met de onder het dijklichaam aanwezige veenlaag en in hoeverre dit mogelijk de stabiliteit van de dijk zou kunnen beïnvloeden. Om deze onzekerheden te verkleinen en de effecten en risico's van de TGG laag beter in te kunnen schatten is hierom besloten om Onderzoekcentrum B-WARE een onderzoek uit te laten voeren. Het huidige rapport doet verslag van het de resultaten die dit onderzoek.

**Doelstelling:** *Het doel van het huidige onderzoek was om de chemische samenstelling van en uitspoeling uit de opgebrachte thermisch gereinigde grond vast te stellen en te onderzoeken hoe de uitspoeling van stoffen uit deze laag biogeochemische processen in de omgeving kunnen beïnvloeden en of dit potentiële risico's met zich mee brengt voor de dijkveiligheid.*

Om tot deze doelstelling te komen zijn de onderstaande onderzoeksvragen geformuleerd;

*Onderzoeksvragen:*

- A. Wat is de chemische samenstelling van het opgebrachte materiaal en de onderliggende bodemlagen?
- B. Welke consequenties heeft de samenstelling van het materiaal op de uitspoeling van zwavel, zouten en zware metalen naar de omgeving?
- C. In welke mate kan de uitspoeling van stoffen uit de thermisch gereinigde grond biogeochemische en ecologische processen in de omgeving beïnvloeden?
- D. In welke mate kan uitspoeling van sulfaat uit de thermisch gereinigde grond afbraakprocessen in de onder het dijklichaam aanwezige veenlaag beïnvloeden en welke potentiële risico's brengt dit met zich mee voor dijkveiligheid.

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden is er op verschillende manieren onderzoek verricht, ten weten; biogeochemisch en hydrologisch onderzoek in het veld en aanvullende experimenten in het laboratorium (zie hoofdstuk 2).

Een van de belangrijkste vragen binnen dit onderzoek betroffen de vragen of er uitspoeling van stoffen (zoals sulfaat- en ander ionen) uit de TGG laag plaatsvindt en wat de potentiële consequenties van deze uitspoeling op de omgeving kunnen zijn. Het gaat hier grotendeels om stoffen die van nature in het milieu voorkomen (zoals natrium en sulfaat) in variërende concentraties. De in de watergangen aangetroffen sulfaatconcentraties en elektrisch geleidend vermogen in augustus 2016 waren echter hoger dan de concentraties die van nature worden aangetroffen in een zoet water of zelfs licht brak milieu. Een verhoogd EGv en verhoogde sulfaatconcentraties kunnen verschillende oorzaken hebben (zie ook kader 1). Hierbij kan gedacht worden aan de invloed van brak water, in de landbouw gehanteerde stoffen of zout strooien op de wegen tijdens vorstperiode. Vaak gaat een toename van het elektrisch geleidend vermogen en sulfaat samen omdat sulfaat een vast onderdeel vormt van brakwater en zeewater. Ondanks dat zowel een verhoogd elektrisch geleidend vermogen als een verhoogde sulfaatconcentratie van nature voor kan komen, kunnen verhogingen wel degelijk grote consequenties hebben voor biogeochemische en ecologische processen in de omgeving met mogelijke gevolgen voor de (grond- en oppervlakte-)waterkwaliteit en biodiversiteit.

### Kader 1. Het element zwavel (S) in het milieu

Zwavel komt van nature in het oppervlaktewater en de bodem voor. Tevens wordt zwavel bijvoorbeeld op verschillende wijze in de landbouw gebruikt en in grote mate toegediend. Zo wordt zwavel op het land gebracht doormiddel van bemesting via dierlijke mest en/of kunstmest en via de toediening van gips. Zwavel is dan ook een belangrijk element voor levende organismen, zo is zwavel een belangrijk onderdeel in vitaminen, eiwitten, enzymen en aminozuren.

Zwavel kan in verschillende vormen en oxidatieve toestanden in het milieu aanwezig zijn, zo kan zwavel in het (grond)water voorkomen als sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), in de bodem als ijzersulfide (pyriet) ( $\text{FeS}_x$ ) of als calciumsulfaat (gips) ( $\text{CaSO}_4$ ), als gas in de atmosfeer als zwaveloxide ( $\text{SO}_2$ ) of als (opgelost) gas in anaerobe omgeving als sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Zwavel kan in de vorm van sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) gemakkelijk oplossen in de bodem en uitspoelen naar het oppervlaktewater of grondwater. Sulfaat kan verschillende oorsprongen hebben, zoals het oplossen van gips (calciumsulfaat), de afbraak (oxidatie) van organisch materiaal, oxidatie gereduceerd zwavel waaronder pyriet ( $\text{FeS}_x$  verbindingen), desorptie van aan aluminium en ijzer(hydr)oxides gebonden sulfaat) ofwel door directe toediening via de landbouw (vanuit (kunst)mest, gips etc.). Het merendeel van deze processen kunnen beide kanten op werken en ook leiden tot binding ofwel mobilisatie van zwavel. Eenmaal in het grondwater en of oppervlaktewater kan sulfaat zich gemakkelijk verspreiden. Indien het grond- en of oppervlaktewater waarin sulfaat zich bevindt anaeroob wordt (zoals in dieper grondwater, in waterbodems ofwel tijdens algenbloei in de zomerperiode) kan het microbiologische proces sulfaatreductie plaatsvinden door sulfaat reducerende bacteriën. Hiervoor is ook reactief organisch materiaal nodig in de vorm van bijvoorbeeld DOC (opgelost organisch koolstof).

#### *Sulfaat, veen en redox processen*

Onder aerobe omstandigheden domineert zuurstof de afbraakprocessen (oxidatie van organisch materiaal). Indien er echter anaerobe condities ontstaan wordt de afbraak overgenomen door zogenaamde alternatieve elektronenacceptoren waarvan nitraat en vervolgens geoxideerd ijzer de meest krachtige zijn. Indien de gemakkelijker te reduceren verbindingen op raken kan sulfaatreductie plaatsvinden. Bij het proces van sulfaatreductie wordt het **toxische sulfide  $\text{S}^-$**  geproduceerd. Sulfide bindt echter gemakkelijk aan gereduceerd ijzer, de zwavelcyclus en ijzercyclus zijn hierom dan ook nauw aan elkaar verbonden in het milieu. Indien er veel vrij ijzer aanwezig is zal dit ijzer binden aan het sulfide waarbij pyrietvormig plaatsvindt. Indien er geen of weinig ijzer aanwezig is kan sulfide in oplossing blijven met potentiële toxische effecten voor soorten en ecosystemen (o.a. Lamers *et al.* 2013). Waterstofsulfide kan dus van nature voorkomen onder anaerobe sulfaatrijke omstandigheden (sulfide ontstaat bijvoorbeeld bij de anaerobe afbraak van eiwitten, welke zwavelrijk zijn). Waterstofsulfide is kleurloos maar ruikt sterk, het is dan ook bekend als de geur die vrij komt bij rotte eieren (de rotting van eiwitten in het ei onder zuurstofloze omstandigheden zorgen voor de vorming van sulfide). Verhoogde sulfaatconcentraties kunnen in het milieu dan ook grote negatieve gevolgen hebben, met name in ecosystemen met veel organisch materiaal en anaerobe omstandigheden (zoals veenbodems).

Zo kunnen verhoogde sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater grote invloed hebben op de ijzer, zwavel en fosfor cycli en decompositieprocessen in de bodem. De als gevolg van verhoogde sulfaatconcentraties toenemende reductie van sulfaat en toenemende sulfideconcentraties kunnen leiden tot de mobilisatie van aan ijzer gebonden fosfaat en hiermee tot (interne-) eutrofiering (Smolders & Roelofs 1993, Smolders *et al.* 2006). Dit proces kan met name in systemen met veenbodems leiden tot algenbloei en een verlaagde biodiversiteit (o.a. Lamers 2000).

In gebieden met veenbodems is met name de drooglegging van de veenbodems verantwoordelijk voor de veenoxidatie. Zuurstof is namelijk een veel sterkere electronenacceptor dan sulfaat. Wanneer er zuurstof bij het anaerobe veen komt, zoals het geval is in de toplaag van de percelen, dan wordt het organische materiaal (veen) onder invloed van zuurstof afgebroken (geoxideerd, figuur 8). Hierbij wordt het organische materiaal deels omgezet in kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ). Het overgebleven veen verliest structuur en kan uiteindelijk ook als bagger in de sloten terecht komen. Het gereduceerde zwavel uit de bodems komt na oxidatie vrij als sulfaat. Dit sulfaat is zeer mobiel en kan gemakkelijk uitspoelen uit de bodem. Het gereduceerde ijzer wordt onder invloed van zuurstof geoxideerd tot de geoxideerde vorm van ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Deze ijzervorm is slecht oplosbaar en slaat gemakkelijk neer als ijzeroxide in de bodem. Onder invloed van oxidatieprocessen wordt de toplaag van de bodems, dus steeds armer aan zwavel en organisch materiaal en steeds rijker aan ijzer. Verder komen bij de afbraak van het organische materiaal natuurlijk ook nutriënten vrij, met name in de vorm van fosfor en ammonium.

Het sulfaat dat vrijkomt kan uitspoelen naar diepere anaerobe bodemlagen waar het voor een anaerobe afbraak van veen kan zorgen. Er wordt echter aangenomen dat de bijdrage van sulfaat aan de afbraak van veen gering is. Anaerobe afbraak onder invloed van sulfaat draagt in zwavelrijke veengebieden naar schatting maar voor maximaal 5 % bij aan de veenafbraak (Vermaat *e.a.* 2013). Dit alles is echter relatief en indiceert vooral ook dat de veenafbraak als gevolg van drooglegging enorm is.



## 2. Materiaal & Methode

Om te achterhalen wat de chemische samenstelling van, en de uitspoeling uit de opgebrachte thermische gereinigde grond laag is op de omgeving is er een combinatie van veld en laboratoriumonderzoek verricht.

Allereerst is er, aanvullend op reeds eerder door andere partijen verricht bodemonderzoek, bodemonderzoek verricht om de chemische samenstelling van de opgebrachte thermisch gereinigde grond en onderliggende bodemlagen te bepalen (onderzoeksvraag A). Vervolgens is er met behulp van analyses, welke langs diepte profielen langs transecten verzameld zijn de uitspoeling van een serie elementen bepaald (onderzoeksvraag B). Vervolgens is er in kaart gebracht of er daadwerkelijk uitspoeling van stoffen uit de TGG laag naar de omgeving plaatsvindt en zo ja in welke mate doormiddel van chemische analyses van het grondwater en op verschillende diepte in combinatie met hydrologisch onderzoek (onderzoeksvragen B & C). Op basis van de kennis uit het chemisch bodem- en grondwateronderzoek op locatie, zijn er twee laboratoriumexperimenten uitgevoerd waarin onder gecontroleerde condities versneld de effecten van uitspoeling van stoffen uit de TGG laag op biogeochemische (afbraak) processen in de onderliggende veenlaag te onderzoeken (onderzoeksvraag C & D).

### 2.1 Chemische samenstelling van bodem en potentiële uitspoeling naar omgeving

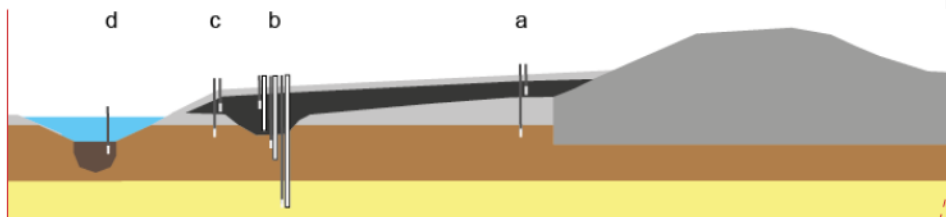
#### *Chemische samenstelling bodem en grondwater*

Om de chemische samenstelling en kans op van uitspoeling van elementen van de TGG laag en onderliggende bodemlagen te bepalen (onderzoeksvragen A & B) zijn er langs een vijftal transecten loodrecht op het dijklichaam bodemprofielen geboord en bodemonsters verzameld en geanalyseerd. Vier transecten zijn geplaatst in het dijklichaam waar TGG is aangebracht (transect 1 t/m 4, rode vak in figuur 1) en één referentie raai (nummer 5, oranje vak in figuur 1) is geplaatst in een dijklichaam waar geen TGG is aangebracht.



**Figuur 1:** Schematisch bovenaanzicht met de vier transecten langs de dijk met aangebracht ATM zand (zwarte strepen in rode rechthoek), en het referentie transect (zwarte streep in oranje rechthoek).

In elk transect zijn op vier punten (a t/m d in figuur 1) bodemonsters en grond- en oppervlaktewatermonsters verzameld. Op locaties a t/m c zijn bodemboringen verricht, profielbeschrijvingen (conform NEN5104) gemaakt en bodemonsters verzameld (zie paragraaf 2.3 voor details over de bodemanalyses). Op elke locatie zijn 4 tot 5 bodemonsters verzameld in een diepte gradiënt, waarvan één in de TGG laag zelf, twee in de bodemlaag (veen of klei) direct onder de TGG laag (op twee diepten 0-20cm en 20-40cm onder de TGG laag) en een ofwel twee aanvullende monsters in de onderliggende veen- en/of zandlaag. Van alle verzamelde bodemonsters zijn verschillende analyses verricht om zowel de totale elementconcentraties in de bodem te bepalen als de fractie welke uit kan spoelen (zie paragraaf 2.3 voor bodemanalyses). Na het verrichten van de bodemboringen en profielbeschrijvingen zijn op deze locaties op verschillende diepten peilbuizen en keramische cups geplaatst (zie schematische weergave figuur 2) om hiermee over een periode van vier maanden de grondwaterkwaliteit en de grondwaterstand op verschillende locaties en diepten in het dijklichaam te kunnen monitoren. De keramische cups zijn geplaatst om het mogelijk te maken om zo ongestoord mogelijk een gefilterd grondwatermonster te kunnen verzamelen onder anaërobie condities (dit is niet goed mogelijk in peilbuizen). De locaties van de keramische cups is vooral gericht om uitspoeling van elementen uit de TGG laag en de effecten op de onderliggende veenlaag, in beeld te brengen. Keramische cups zijn hierom in de TGG laag zelf en in de onderliggende veenlaag geplaatst, aanvullend hierop is er op één locatie per transect tevens een keramische cups in de onderliggende zandbodem geplaatst. In bijlage xxx zijn de exacte bemonsteringlocaties, bodemprofielen en dwarsprofielen van de transecten opgenomen. In bijlage xxx zijn de exacte locaties en diepten van de geplaatste keramische cups en peilbuizen opgenomen.



Figuur 2: Schematisch dwarsprofiel van de dijk met bemonsteringstransect (rechts de dijk (noord), links de inlandse zijde van de dijk), met kleilagen in grijs, veenlagen in bruin, zandlagen in geel en de thermisch gereinigde grond (TGG) in zwart. Op locaties a, b, c en d zijn keramische cups geplaatst, op locatie b zijn ook peilbuizen geplaatst.

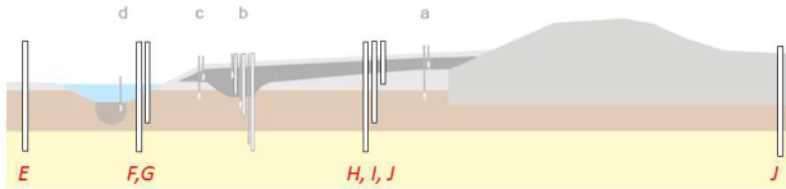
### Hydrologie

Langs alle vijf de transecten zijn er drie peilbuizen geplaatst in een diepte gradiënt op de locatie waar de voormalige sloot aanwezig was en de TGG laag het dikst is en direct op de onderliggende veenbodem ligt. Om een inschatting te kunnen maken van de effecten van potentiële uitspoeling van stoffen vanuit de TGG laag op de omgeving zijn er in twee transecten (transect 2 en transect 4) aanvullende peilbuizen geplaatst op verschillende afstand en diepte in het dijklichaam (zie figuur 3). In transect 2 zijn zeven aanvullende peilbuizen geplaatst, in transect 4 zijn 5 aanvullende peilbuizen geplaatst. In alle tijdens dit project geplaatste peilbuizen zijn divers opgehangen (xxxtype diverxxx) om gedurende een periode van vier maanden de grondwaterstand in de verschillende peilbuizen te monitoren. Met behulp van de combinatie van chemische analyses van het grondwater in de peilbuizen en de (grond)waterstanden in én in de omgeving van het dijklichaam is via een modelmatige aanpak de potentiële verspreiding van stoffen uit de TGG laag in het dijklichaam naar de omgeving ingeschat.

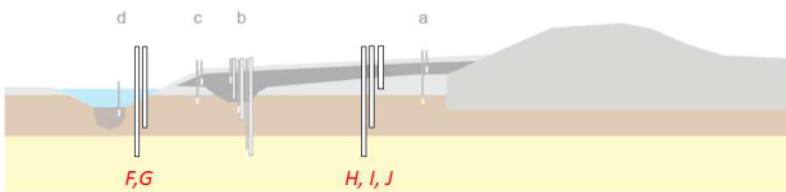
**Commented [ ]:** Hier worden in de definitieve versie definitieve figuren per transect weergegeven in de bijlage met in dit hoofdstuk een voorbeeld van 1 transect

**Commented [ ]:** Hier komt nog een methode aanvulling hoe de grondwatergegevens uiteindelijk verwerkt en gemodelleerd zijn

### Transect 2



### Transect 4



Figuur 3: Schematisch dwarsprofiel van de dijk met bemonsteringstransect (rechts de dijk, links de inlandse zijde van de dijk), met kleilagen in grijs, veenlagen in bruin, zandlagen in geel en de thermisch gereinigde grond (ATM zand) in donker grijs. Met zwarte lijnen zijn de aanvullende peilbuizen weergegeven welke langs transect 2 (bovenin figuur) en transect 4 (onderin figuur) geplaatst zullen worden. Het betreft een aantal peilbuizen met een filter in de onderliggende pleistocene zandlaag (E, F, H, J) en peilbuizen met een filter in de onderliggende veenlaag (G en I) en een aanvullende peilbuis in de opgebrachte kleilaag (J).

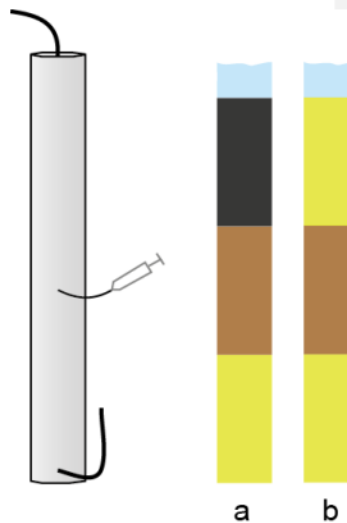
Commented [ ]: Idem dito voor vorige schematisch figuur, hier komen nog verbeterde figuren

## 2.2 Effecten van uitspoeling uit TGG laag op de onderliggende veenlaag

Aanvullend op de bodem en grondwater analyses langs verschillende transecten op locatie zijn er twee laboratoriumexperimenten uitgevoerd. Met behulp van deze laboratoriumexperimenten zijn onder gecontroleerde condities de effecten van uitspoeling uit de TGG laag op biogeochemische (afbraak) processen in de onderliggende veenlaag onderzocht (onderzoeksvragen C & D). In deze gecontroleerde laboratoriumexperimenten zijn processen in het veld versneld nagebootst en zijn verschillende behandelingen met en zonder TGG onderzocht. Zo is er (1) een kolomexperiment uitgevoerd waarin biogeochemische processen in veenbodems welke wel of niet door uitspoeling uit een TGG laag beïnvloed werden. Daarnaast is er (2) een incubatie-experiment uitgevoerd waarin verschillende afbraakprocessen (doormiddel van het monitoren van de productie van verschillende gassen door de tijd) in veenbodems met verschillende hoeveelheden TGG gevolgd zijn.

### Kolomexperiment

Om in detail te onderzoeken wat de effecten zijn van uitspoeling vanuit TGG op de biogeochemische processen in de onderliggende veenbodem zijn is de veldsituatie onder gecontroleerde condities in een kolomexperiment gesimuleerd. Om de veldsituatie zo goed mogelijk te simuleren zijn hiervoor



Figuur 4: Schematische weergave van experiment 1 met kolommen met twee behandelingen, a) met thermisch gereinigde grond en b) zonder thermisch gereinigde grond. Geel is inert filterzand, bruin is veenbodem, zwart is thermisch gereinigde grond.

op locatie veenkernen verzameld welke op een laag schoon gespoeld filterzand geplaatst zijn en waar ofwel (a) een laag TGG bovenop is gezet (n=4 replica's) ofwel (b) een laag schoon gespoeld filterzand op is geplaatst (n=4 replica's), zie figuur 4. De hiervoor benodigde TGG is verzameld tijdens de bodemboringen voor de veldtransecten. De kolommen hadden een diameter van 10,5 cm en de bodemlagen een dikte van ongeveer 10 cm. Het experiment is onder gecontroleerde condities uitgevoerd (15 °C en donker). Vervolgens is op deze bodem circa 1,3L (15 cm in de kolom) artificieel (anaeroob, doormiddel van doorborreling met N<sub>2</sub> gas) regenwater gezet (zie bijlage xxx voor regenwatersamenstelling). Om gecontroleerde doorspoeling mogelijk te maken, werd een afvoerslang aan de onderzijde bevestigd. Er was continue een waterlaag van circa 15 cm (1,3 L) boven de bodem aanwezig om zuurstofinringing te verminderen. Gedurende een periode van 10 weken is hier een gecontroleerde verhoogde doorspoeling ingesteld van gemiddeld 0.04 l/dag (komt overeen met een wegzijging van 4 mm/dag) gevolgd door een stagnante periode van 8 weken om hiermee onder beide condities de effecten op biogeochemische processen in de veenbodem te kunnen analyseren. De gemiddelde wegzijging is bewust hoog ingesteld om op deze wijze versneld een resultaat te kunnen zien van de effecten van uitspoeling uit de TGG laag op de onderliggende veenlaag. De biogeochemische processen in de veenlaag zijn vervolgens gemonitord doormiddel van het bemonsteren en monitoren van de chemische samenstelling van het bodemporiewater midden in de veenlaag (met behulp van rhizon poriewaterbemonsteraars (Eijkelkamp)). Op zes tijdstippen over een periode van 18 weken is het bodemporiewater in alle kolommen verzameld en geanalyseerd. De hieruit voortgekomen watermonsters zijn geanalyseerd op dezelfde reeks paramaters als de andere watermonsters binnen dit project (zie paragraaf 2.3).

#### *Incubatie-experiment*

Om de effecten van TGG op afbraakprocessen in de onderliggende veenlaag in te kunnen schatten is er een laboratoriumexperiment uitgevoerd waarin de productie van verschillende gassen onderzocht is. Binnen dit experiment zijn onder gecontroleerde condities (10 °C, anaeroob en donker) veldmonsters van de veenlaag geïncubeerd in afgesloten flessen (0.34 L). Binnen dit experiment zijn drie behandelingen onderzocht, elk met n=4 replica's, met behandeling (a) 100% veen (50 gram), (b) 95 % veen en 5% TGG (47,5 g veen/2.5 g TGG) en (c) 50% veen en 50% TGG (25 g veen/25 g TGG). De flessen werden voor circa 20% gevuld het materiaal, waarna er 25 ml regenwateroplossing werd toegevoegd om er een slurry van te maken. Na geringe menging werd de gasfase van de fles met stikstof gespoeld om deze anaëroob te maken en vervolgens afgesloten. Vervolgens zijn de concentraties van een selectie van gassen (koolstofdioxide, methaan en sulfide, allen als proxy voor verschillende afbraakprocessen in veen) in de gasfase van de flessen gevolgd over een periode van 7 weken met 10 bemonsteringen. Na iedere bemonstering werd stikstofgas aangevuld in dezelfde hoeveelheid als er onttrokken werd voor de bemonstering. De methode van gasanalyses staat beschreven in paragraaf 2.3. Met behulp van de resultaten uit dit experiment kan een inschatting worden gemaakt van de effecten (verschillende hoeveelheden van) die TGG heeft op verschillende afbraak processen in de veenbodem (kooldioxide productie, methanogenese (methaan productie) en sulfaatreductie (sulfideproductie)). Aan het einde van het experiment, na 7 weken, zijn aanvullend hierop bodemporiewater monsters verzameld van de bodemslurries in de flessen geanalyseerd (volgens de in paragraaf 2.3 beschreven methode).

### **2.3 Bemonstering en chemische analyse van bodem en water**

#### **Grond- en oppervlaktewateranalyses**

- Oppervlaktewatermonsters zijn 10 cm onder het wateroppervlak verzameld en luchtdicht afgesloten in HDPE potten gekoeld getransporteerd naar het laboratorium.

- Grondwatermonsters uit peilbuizen zijn verzameld door de peilbuis leeg te pompen en vervolgens vanaf het moment dat de EGV van het opgepompte water constant is, het toestromend grondwater verzameld in luchtdicht afgesloten HDPE potten.
- Grondwater/bodemvocht is anaeroob verzameld (via ceramische cups in het veld en met rhizon bodemvochtbemonsteraars (Eijkelkamp Agrisearch Equipment) in de laboratorium experimenten) waaraan vacuüm getrokken 60 ml injectiespuiten zijn verbonden.
- Aan alle watermonsters zijn dezelfde parameters bepaald.
  - De pH is gemeten met een standaard Ag/AgCl<sub>2</sub> elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840).
  - De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO<sub>2</sub> en HCO<sub>3</sub>) is bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA).
  - De alkaliniteit is bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l<sup>-1</sup> zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit.
  - De EGV is bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters wordt bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5).
  - De monsters voor de auto-analyzer zijn bewaard bij een temperatuur van -18 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES zijn aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.
  - DOC (opgelost organisch koolstof) en DON (opgelost organisch stikstof) is in water gemeten met behulp van een TOC-L CPH/CPN analyser (Shimadzu). Vooraf zijn de monsters in de monsterbuis aangezuurd met een HCl-oplossing, gemengd en vervolgens doorborrelt met een inert gas voor verwijdering van TIC (totaal anorganisch koolstof). Via een katalytische oxidatie is alle C en N omgezet in CO<sub>2</sub>, NO en NO<sub>2</sub>. Deze gassen worden vervolgens gemeten, CO<sub>2</sub> met een Niet Dispersieve Infrarood (NDIR) sensor en NO en NO<sub>2</sub> met een chemiluminiscentie detector (CLD).
  - Extra bodemporiewater monsters zijn verzameld in anaerobe vacuüm glazen buisjes (Labco exetainer®, High Wycimbe, UK) waarin vervolgens de in de gasfase aanwezige methaan- en sulfideconcentraties zijn bepaald met behulp van gaschromatografie (welke vervolgens met behulp van de gasconstante gecorrigeerd zijn naar de concentraties in de poriewaterfase).



Foto xxx. Machinale bemonstering van bodemmonsters langs de transecten

#### **Bodem analyses**

De chemische samenstelling van de bodem is geanalyseerd op de totale elementconcentraties als mede op de fracties welke onder invloed van neerslag of grondwater beschikbaar kunnen komen. Hierom zijn destructie-analyses, waterextracties en zoutextracties op de bodems uitgevoerd, welke vervolgens op een brede range van elementen zijn geanalyseerd.

- **Drooggewicht en organisch stofgehalte**

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen is het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes zijn precies tot aan de rand afgevuld (volume = 45 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems zijn vervolgens gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens zijn de bakjes met bodemmateriaal opnieuw gewogen en is het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem is berekend via het gloeiverlies. Hiertoe is gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien is het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en is het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

- **Destructie**

Door de bodem en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor is 200 mg fijn gemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal is 5 ml geconcentreerd salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ , 65%) en 2 ml waterstofperoxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$  30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega) zijn geplaatst. De monsters zijn vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie is het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. De destruaat is bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.



- **Waterextractie**

Met behulp van een anaerobe waterextractie zijn de vrij in de bodem aanwezige ionen bepaald. Hiervoor is 17,5 gram verse bodem 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH is gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten zijn gefilterd met behulp van rhizons.

- **Strontiumextractie**

Met een strontiumextractie is de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald. Hiervoor is vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) of 2,5 gram droog materiaal (veenbodems) en met 200 ml strontiumchloride (0,2 mol l-1), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH is gemeten met HQD pH-electrode. De extracten zijn gefilterd met behulp van rhizons.

- **Aanvullende serie waterextracten**

Aangezien uit de eerste waterbodemanalyses naar voren kwam dat enkele elementen, waaronder met name zwavel en natrium extreem hoge concentraties lieten zien in het standaard waterextract, is besloten om op een aantal TGG monsters (n=4) achtereenvolgens

meerdere waterextracten uit te voeren (in totaal zeven waterextracten). Met behulp van deze methode kan een betere inschatting worden gemaakt van de totale hoeveelheid aan elementen die uit de TGG bodem kan uitspoelen. In een polyethyleen pot werd 25 gram verse TGG gedaan, waaraan 500 ml demiwater werd toegevoegd. Dit werd gedaan voor vier replica's. De potten werden geschud op een schudmachine gedurende 2 uur bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl<sub>2</sub> elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l<sup>-1</sup> zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. De volgende dag werd het water afgegoten, opnieuw 500 ml demiwater erop gegoten, gemeten en een deel van het filtraat afgenomen voor verdere analyse. In totaal werd dit zeven keer herhaald.

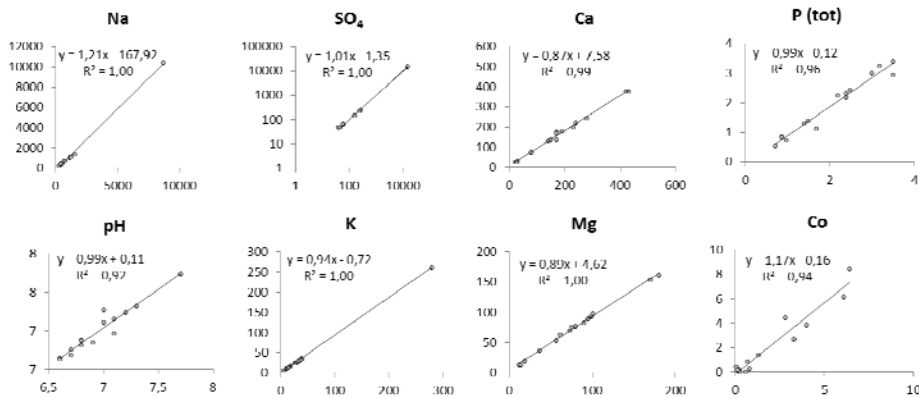
### **Chemische analyses**

#### *Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)*

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) zijn bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific). Er is een aanvullend programma voor zware metalen verricht op de ICP-MS om concentraties van zware metalen te bepalen (o.a.; arseen (As), boor (B), cadmium (Cd), cobalt (Co), chroom (Cr), koper (Cu), kwik (Hg), molybdeen (Mo), lood (Pb) en strontium (Sr)). De concentraties nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en fosfaat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) zijn colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl<sup>-</sup>) is colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na<sup>+</sup>) en kalium (K<sup>+</sup>) zijn vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

#### *Certificering*

Het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE en de Radboud Universiteit is niet NEN gecertificeerd, er wordt gewerkt conform een intern kwaliteitssysteem en er wordt deelgenomen aan ringonderzoeken. Aanvullend op het kwaliteitssysteem wordt een groot aandeel van het onderzoek wat bij Onderzoekcentrum B-WARE verricht gepubliceerd in peer-review wetenschappelijke tijdschriften. Ter extra controle zijn er twee aanvullende bemonsteringen verricht waarbij grondwatermonsters (in totaal 33 monsters) welke uit verschillende peilbuizen verdeeld over de vijf transecten verzameld en geanalyseerd door een NEN-gecertificeerd laboratorium (Waterproef) en Onderzoekcentrum B-WARE en (laboratorium van Waterproef, Edam en laboratorium Eurofins Omegam, Amsterdam). Tijdens deze bemonstering (volgens NEN protocol) zijn door beide partijen gezamenlijk met dezelfde methode in duplo grondwatermonsters verzameld en geanalyseerd (telkens één naar het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE en één naar het NEN-gecertificeerde laboratorium).



**Figuur 5: Vergelijking tussen de analyse resultaten van het NEN gecertificeerde laboratorium van waterproef (op de x-as) vergeleken met de resultaten van het laboratorium van Onderzoekcentrum B-WARE (op de y-as). In deze figuren zijn meerdere elementen weergegeven (in mg/l) van in totaal 15 grondwatermonsters.**

Uit de vergelijking tussen de analysesresultaten van beide laboratoria blijkt dat de resultaten goed vergelijkbaar zijn. Ondanks dat resultaten natuurlijk nooit identiek zijn, blijkt uit de in figuur 5 weergegeven verbanden voor een serie elementen dat de resultaten goed vergelijkbaar zijn. Aanvullend daarop moet vermeld worden dat het merendeel van de binnen dit project verzamelde gegevens, zoals de middels ceramische cups in het veld en middels rhyzons in de laboratorium experimenten verzamelde watermonsters niet volgens NEN-protocol verzameld zijn. Hier is bewust voor gekozen omdat deze wijze van monsternemen de beste methode is om de biogeochemische processen te kunnen onderzoeken en voor deze methode is geen NEN protocol.

**Commented [ ]:** Hier worden in definitieve versie nog de resultaten van de volgende reeks van 18 monsters welke op 22 en 23 mei bemonsterd worden aan toegevoegd



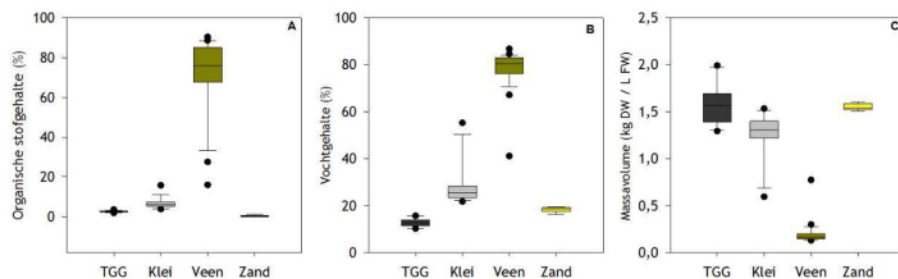
## 3. Resultaten

Commented [ ]: De eenheden in dit hoofdstuk worden in de definitieve versie allemaal omgezet in gram i.p.v. in molen

### 3.1 Wat is de chemische samenstelling van de TGG en de onderliggende bodemlagen?

#### 3.1.1. Wat is de chemische samenstelling van de thermisch gereinigde grond en verschilt deze van de van nature aanwezige bodemlagen?

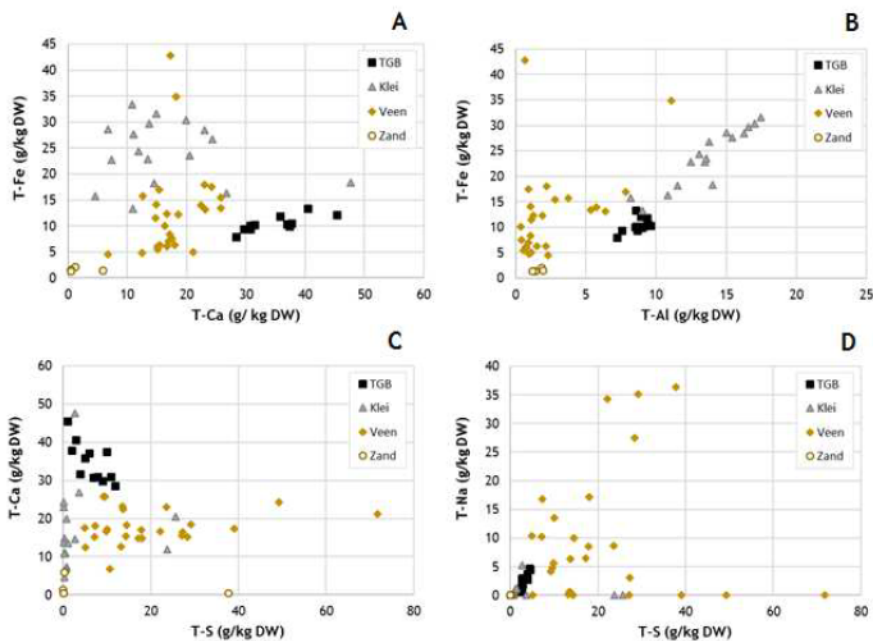
Om te kunnen bepalen of de aanwezigheid van en uitspoeling uit de TGG laag in het dijklichaam consequenties kan hebben voor de omgeving zijn er bodemonsters verzameld en biogeochemische analyses uitgevoerd van alle in het dijklichaam aanwezige bodemtypen op verschillende diepten langs een vijftal transecten. Het gaat hierbij in totaal om klei- (n=17), veen- (n=26) en zandbodems (n=5). Daarnaast is de thermisch gereinigde grond (TGG) zelf onderzocht (n=12). De boxplots in Fig. 6 A, B en C geven respectievelijk de spreiding weer van het organische stofgehalte (%), het vochtgehalte (%) en massavolume (kilogram droog gewicht (DW) per liter verse bodem (FW)).



Figuur 6: A) Organische stofgehalte (%), B) vochtgehalte (%) en C) massavolume (kg DW// L FW) per bodemtype (TGG, Klei, Veen, Zand). De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

De organische stofgehalten (OS) voor TGG, klei en zand liggen dicht bij elkaar en zijn relatief laag, waarbij OS voor zand het laagst is. Veen heeft gemiddeld een OS van 70% met enkele lagere waarden rond de 20%. Op basis van OS zit de TGG laag tussen klei en zand in. Het vochtgehalte laat grofweg een vergelijkbaar patroon zien als OS, met gemiddeld het hoogste vochtgehalte voor veen. Het vochtgehalte in TGG is het laagst (gemiddeld 13%), waarbij het massavolume (MV) gemiddeld het hoogste is voor TGG en bijna gelijk aan het MV voor zand. Tijdens de bodemboringen bleek de TGG laag een donkergrijs tot zwarte kleur te hebben. De TGG bestaat uit een mengsel van zeer fijne deeltjes, zand en kiezels.

De chemische samenstellingen van de verschillende bodemtype zijn weergegeven in spreidingsdiagrammen (Figuur 7 A, B en C). Van verschillende elementen zijn de totaalconcentraties (g/kg DW) tegen elkaar uitgezet.



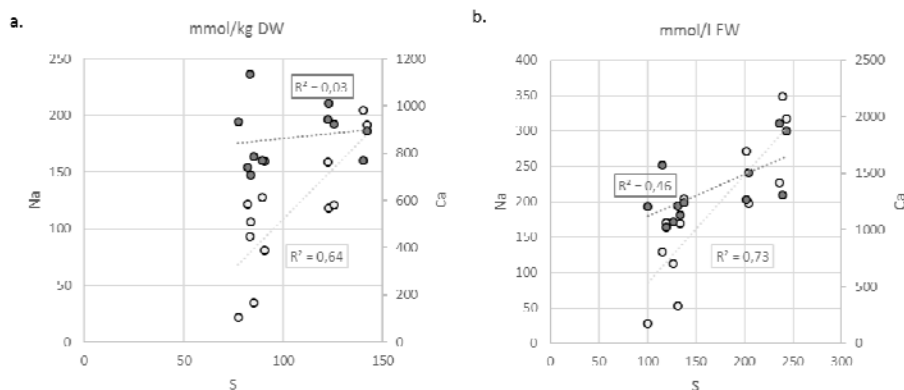
Figuur 7: Correlatie tussen verschillende elementen (g/kg DW) per bodemtype (TGG, Klei, Veen, Zand). A) Totaal-ijzer en totaal-calcium. B) Totaal-ijzer en totaal-aluminium. C) Totaal-calcium en totaal-zwavel.

Uit deze resultaten blijkt dat de vier verschillende bodemtype duidelijk van elkaar verschillen in totale elementconcentraties (Figuur 7). Figuur 7A (linksboven) laat zien dat de TGG hoge concentraties aan calcium (T-Ca) bevat bij relatief lage ijzerconcentraties (T-Fe), terwijl klei- en in mindere mate veenbodems juist lagere T-Ca concentraties bevatten en hogere T-Fe concentraties. Zand heeft zowel lage calcium- als ijzergehaltes (<7 g/kg T-Ca, <3 g/kg T-Fe). De hoogste ijzerconcentraties zijn over het algemeen te zien in kleibodems, op twee veenbodems na (beide in referentieraai).

Tussen ijzer en aluminium (T-Al) is een sterke correlatie te zien voor met name klei ( $R^2=0,85$ ) (Figuur 7 rechtsboven). De T-Al concentratie is een goede proxy voor de hoeveelheid verweerbare lutumdeeltjes in de bodem (lutum bevat veel Al). De TGG-lagen lijken ook op de correlatielijn te liggen, waarbij TGG lagere concentraties heeft dan klei. Veenbodem laat meer spreiding zien met overwegend lagere concentraties aluminium dan klei en TGG, die in dezelfde range liggen als de zandconcentraties (<100 mmol/kg T-Al). De twee veenbodempunten met de hoogste ijzerconcentraties liggen in de referentieraai en blijken wat ijzerrijker en zwavelrijker veen te betreffen, waarschijnlijk pyrietrijker veen.

De correlatie tussen totaal calcium en totaal zwavel (T-S) is verschillend per bodemtype (Figuur 8 linksonder). De zwavelconcentraties voor veen lopen sterk uiteen in vergelijking met de overige bodemtypes en er zijn relatief hoge zwavelconcentraties te zien in figuur 7C. De TGG bevat lagere zwavelconcentraties bij aanzienlijk hogere calciumconcentraties ten opzichte van veen. Klei bevat per kg droge bodem ook minder totaal zwavel dan veen (op een monster na, referentielocatie), maar wel gelijke calciumwaarden. De T-S concentraties boven 10 g/kg behoren tot de referentieraai (locatie A en B) en tot raai 3 (locatie C). Per liter bodemvolume bevatten de veenbodems in verband met de veel lagere bodemdichtheid, echter veel minder Ca en zwavel dan de minerale bodems. Als er naar de TGG gekeken wordt blijkt er een betere correlatie te bestaan tussen de totaal zwavel concentratie met de totaal natrium concentratie dan tussen de totaal

zwavelconcentratie met de totaal calciumconcentratie (figuur 8), dit kan een aanwijzing zijn dat het hier meer om natriumsulfaat verbindingen gaat als om calciumsulfaat verbindingen.



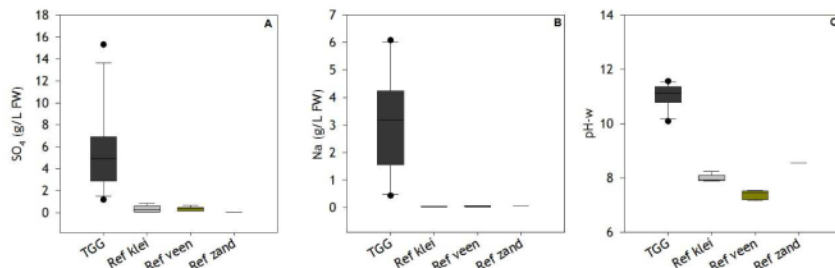
Figuur 8: De correlatie tussen Totaal-Zwavel in (a. mmol/kg DW en b. mmol/l FW) voor de TGG bodems uitgezet tegen de totaal-natrium concentratie op de linker as en de totaal-calcium contractie op de rechter as.

### 3.1.2. Is de samenstelling van TGG anders als de omgeving en voldoet deze aan de normen?

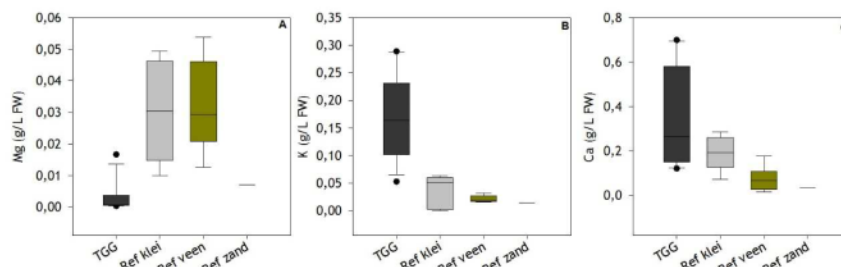
Om een inschatting te krijgen of de TGG laag verhoogde zware metalen, zouten en zwavel concentraties bevat ten opzichte van de in de omgeving aanwezige bodemlagen en in hoeverre deze de normen overschrijden zijn zowel totaalconcentraties als via water uitspoelbare fracties geanalyseerd. Verbindingen als PAK's (Polycyclische koolwaterstoffen) en PCB's (Polychloorbifenylen) zijn niet in het huidige onderzoek meegenomen. Uit bodemanalyses verricht in opdracht van Vallei en Veluwe voorgeand aan dit onderzoek bleek dat de totale PAK's concentraties maximaal 1,3 maal de achtergrondwaarde voor klasse wonen overschreed, en de totale concentratie PCB's 6,1 maal de achtergrondwaarde voor klasse wonen industrie (in de omliggende kleibodems overschreden deze stoffen niet de achtergrond waarde). Tevens is uit de binnen dit onderzoek verrichte uitloogtesten van TGG gebleken dat bromide, chloride en sulfaat de emissie waarde overschrijden. Totaalconcentraties van Nikkel, Chroom, kwik en zink overschrijden in enkele monsters van TGG de achtergrondwaarde voor de klasse industrie en arseen, cadmium en cobalt overschrijden in enkele monsters van TGG de achtergrond waarde voor de klasse wonen.

In figuur 9 zijn de resultaten van de via water beschikbare sulfaatconcentratie en natriumconcentratie (als indicator voor zouten) in boxplots weergegeven voor de TGG laag (n=12) naast de bodems in de referentieraai. Op deze wijze kan de TGG vergeleken worden met referentie bodem en wordt voorkomen dat de bodems waarmee vergeleken wordt zijn beïnvloed door mogelijke uitgespoelde elementen uit de TGG laag (Ref klei: n=6, Ref veen: n=6 en Ref zand: n=1). Zie figuur 9 voor de mobiele concentraties sulfaat en natrium en de pH.

Commented [ ]: De toetsing aan de normen kan pas verricht worden als de extra analyses verricht zijn en de toetsing aan de normen ook daadwerkelijk is verricht



**Figuur 9:** A) Sulfaatconcentratie (g/l FW), B) natriumconcentratie (g/l FW) en C) pH van de waterextractie voor TGG en de referentie per bodemtype. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

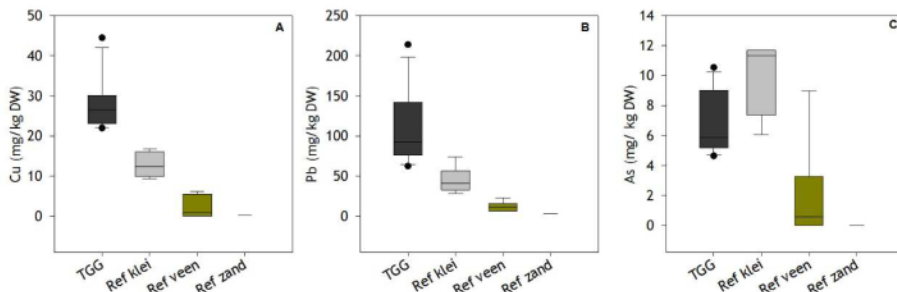


**Figuur 10:** A) Magnesiumconcentratie (g/l FW), B) kaliumconcentratie (g/l FW) en C) de calciumconcentratie (g/l FW) van de waterextractie voor TGG en de referentie per bodemtype. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

Figuur 9A laat zien dat de concentraties uitspoelbare sulfaat in de TGG in de meeste gevallen (gemiddeld 5,9 g/l) aanzienlijk hoger ligt dan in de referentieraai (zowel klei als veen en zand). Wel is er een grote spreiding waar te nemen in de verschillende concentraties van de TGG. De sulfaatconcentraties in de referentiebodems komen voor klei, veen en zand overeen en liggen allen lager dan 200 mg/l. Voor natrium is eenzelfde patroon te zien. Andere kationen zoals kalium en calcium zijn ook verhoogd in de TGG laag, voor magnesium is dit niet het geval (figuur 10). TGG bevat ruimschoots meer uitwisselbaar natrium dan de concentraties in de referentieraai voor zowel klei als veen en zand. De concentraties in de referentieraai zijn voor de drie bodemtypes vergelijkbaar (rond 2 mmol/l). De in de TGG laag aangetroffen S, Na en Ca concentraties zijn erg hoog in vergelijking met de van nature in bodems aanwezige concentraties. Ook de pH is voor TGG het hoogst (een onnatuurlijk hoog gemiddelde van 11,0) in vergelijking met de referentiebodems met een pH rond de 7-8 (Figuur 9C). In de referentiebodems zijn er echter ook verschillen te zien tussen klei, veen en zand. De veenbodems hebben de laagste pH (gemiddeld 7,4) en de zandbodem heeft een pH van 8,5. De calciumconcentratie is gemiddeld het hoogste voor TGG (8,9 ± 1,6 mmol/l FW). De calciumconcentratie in de referentieraai ligt gemiddeld op 4,7 mmol/l FW voor klei, voor veen is dit 1,9 en voor zand 0,9 mmol/l. Deze zijn daarmee aanzienlijk lager dan de gemeten waarden in de TGG.

De bodems zijn tevens geanalyseerd op concentraties zware metalen. In figuur 10 zijn van koper (Cu), lood (Pb) en Arseen (As) de totale concentraties weergegeven (in mmol/kg DW).

**Commented [ ]:** Hier wordt in definitieve versie nog ingegaan op in hoeverre dit per locatie op de dijk verschilt



**Figuur 11: Totaalconcentraties koper (A), lood (B) en arseen (mmol/kg DW) voor TGG en de referentie per bodemtype. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.**

TGG bevat voor zowel koper (Cu) als lood (Pb) de hoogste hoeveelheid per kilogram drooggewicht (Figuur 11 A en B). De gemiddelde concentraties zijn 0,4 mmol Cu/kg DW en 0,5 mmol Pb/kg DW. In de referentiebodems zijn de concentraties lager, waarbij de concentraties in klei hoger zijn dan in veen of zand. Voor cadmium, zink en silicium zijn dezelfde trends gevonden, waarbij TGG de hoogste concentratie bevat ten opzichte van de referentie. Ook is bij deze elementen te zien dat klei hogere concentraties bevat dan veen (behalve voor silicium) en zand. Bij arseen zijn de concentraties lager voor TGG (gemiddeld 0,09 mmol/kg DW) dan klei (gemiddeld 0,13 mmol/kg DW). Wel bevatten veen en zand de laagste waarden voor arseen (Figuur 11C). In bijlage xxx zijn de resultaten van een reeks elementen opgenomen, welke niet allemaal in deze tekst beschreven zijn.

**Commented [ ]:** De zware metalen concentraties in de bodem kunnen we pas met de normen vergelijken indien we het lutum gehalte hebben. Deze moet nog aanvullend geanalyseerd worden. Zie hiervoor aanvullende vragen in de email.

**Commented [ ]:** Hier vervolgens in rapportage enkel zware metalen laten zien welke de norm overschrijden. De rest van de resultaten kan in de bijlage opgenomen worden

#### Kader 2. Wat is de bron van de hoge zwavel- en natriumconcentraties in de TGG\*

De thermische gereinigde grond die bij de dijkversteving van het huidige project gebruikt is, is afkomstig van ATM in Moerdijk. TGG bestaat uit een mengsel van vervuilde bodem, olie- en asfaltresten welke bij een hoge temperatuur verbrand zijn (850°C). De oorsprong van de hoge zwavel- en natriumconcentraties in de TGG is echter onzeker. De auteurs van het huidige rapport hebben geen contact opgenomen met het bedrijf ATM in Moerdijk of met andere TGG producerende bedrijven. Er zijn meerdere potentiële bronnen welke de hoge natrium- en zwavelconcentraties in de TGG kunnen verklaren. (1) het thermische gereinigde materiaal (mengsel van vervuilde bodem, olie- en asfaltresten) (2) het potentieel blussen met brakwater of zeewater ofwel (3) andere stappen in het reinigingsproces (zoals bijvoorbeeld de zuivering van tijdens de verbranding vrijgekomen zwaveloxide met kalk waarbij gipsvorming ontstaat). Over de oorsprong en oorzaak van de verhoogde zwavel- en natriumconcentraties in de TGG laag kunnen op basis van de binnen dit project verzamelde gegevens dan ook enkel speculaties gedaan worden, aanvullend onderzoek zal uitgevoerd moeten worden om hier meer kennis over beschikbaar te krijgen.

*\*) De binnen dit kader beschreven informatie is afkomstig van enkele via internet beschikbare beschrijvende bronnen over het proces van thermische reiniging*

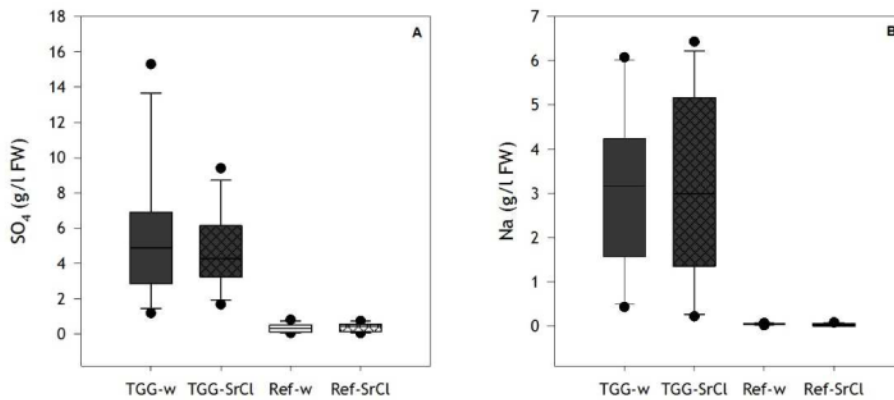
#### Conclusies:

- De in het dijklichaam aanwezige bodemlagen vertonen sterke verschillen in organisch stof gehalte en vochtgehalte, de eigenschappen van de TGG laag zijn het meest vergelijkbaar met zand. De TGG bestaat uit een mengsel van fijne deeltjes, zand en kiezels.
- Er zijn sterke verschillen in de chemische samenstelling van de aanwezige bodemtype. Er zijn correlaties tussen T-Fe en T-Al concentraties. De TGG bodems bevatten in vergelijking met andere bodemtype hoge T-Ca concentraties.
- Uit de vergelijking tussen de TGG bodem en lokale referentie- klei, veen en zandbodems blijkt dat de TGG laag significant hogere uitwisselbaar zwavel-, natrium-, en calciumconcentraties bevat. Deze stoffen kunnen gemakkelijk uitspoelen indien de TGG laag in contact komt met water. De in de TGG laag aangetroffen S, Na en Ca concentraties zijn erg hoog in vergelijking met van nature aanwezige concentraties in bodemtype in, onder en nabij de dijk. Ook de pH in de TGG bodems is onnatuurlijk hoog (pH 10,0-11,5).
- Totaalconcentraties van Nikkel, Chroom, kwik en zink overschrijden in enkele monsters van TGG de achtergrondwaarde voor de klasse industrie en arseen, cadmium en kobalt overschrijden in enkele monsters van TGG de achtergrond waarde voor de klasse wonen.
- Over de oorsprong en oorzaak van de verhoogde zwavel en zoutconcentraties in de TGG laag kunnen op basis van de binnen dit project verzamelde gegevens enkel speculaties gedaan worden, aanvullend onderzoek zal uitgevoerd moeten worden om hier meer kennis over beschikbaar te krijgen. Op basis van totale element analyses bestaat er een betere correlatie tussen S en Na dan tussen S en Ca wat duidt op natriumsulfaat verbindingen.

### 3.2 Heeft de thermisch gereinigde grond een effect op de omgeving?

#### 3.2.1. Is er kans op uitspoeling van vervuiling uit de TGG

Om een inschatting te maken van potentiële effecten van de aanwezigheid van de TGG laag in het dijklichaam op de omgeving zijn verschillende bodemanalyses uitgevoerd op de TGG laag en vergeleken met referentie bodems. Op deze wijze kan ingeschat worden in hoeverre er elementen uit de TGG uit kunnen spoelen naar de omgeving. Door middel van waterextracties (w) zijn de makkelijk beschikbare element fracties bepaald en doormiddel van strontiumchloride-extracties (SrCl) zijn de potentieel kation-uitwisselbare fracties bepaald (middels kationuitwisseling van het kationadsorptiecomplex van de bodem). In figuur 12 zijn deze fracties weergegeven voor zwavel (A) en natrium (B), zowel voor de TGG-laag (links in de figuren) en alle bodems (veen, klei en zand) van de referentieraii gezamenlijk (rechts in de figuren).



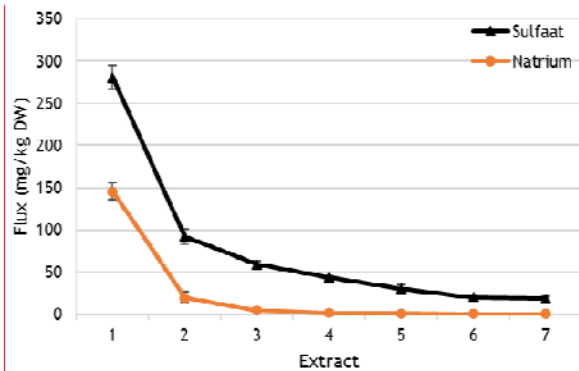
**Figuur 12:** Concentratie A) zwavel en B) natrium (mmol/l FW) bij waterextractie (w) en strontiumextractie (SrCl) voor TGG-laag en de referentieraai. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

In figuur 12A is te zien dat zowel de makkelijk uitwisselbare als de potentieel uitwisselbare fractie van sulfaat in de TGG aanzienlijk hoger ligt dan in de referentieraai. De resultaten in de referentieraai bevatten alle bodemtypen (klei, veen en zand), maar er is weinig variatie in de concentraties. De medianen van TGG voor zowel de water- als SrCl-extraheerbare fractie liggen dicht bij elkaar, waar bij de waterextractie wat meer variatie is in de concentraties. Gemiddeld liggen de sulfaat fracties in de TGG meer dan twaalf keer hoger dan de referenties.

Voor natrium is ook te zien dat de concentraties voor beide fracties aanzienlijk hoger zijn dan de referentie (Figuur 12B). De medianen van beide extracties voor TGG liggen dicht bij elkaar, als ook de medianen van de referentie. Gemiddeld is de natriumconcentratie van de waterextractie in TGG circa 68 keer zo hoog als de referentie en circa 100 keer zo hoog in de SrCl-extractie.

#### *Inschatting van totale flux van elementen vanuit TGG bodem*

Uit de analyses van de eerste waterextracten van TGG monsters bleek dat deze veel wateroplosbaar zwavel- en natrium bevatten. De kans bestond hierom dat met het tijdens een standaard waterextract gebruikte water oververzadigd is geweest en hiermee een onderschatting geeft van de totale beschikbare elementconcentraties. Om dit beter in beeld te brengen zijn er met dezelfde TGG monsters achtereenvolgens zeven waterextracten uitgevoerd waarmee een inschatting is gemaakt van de totale uitspoelbare fractie in milligram per kilogram droge bodem (mg/kg DW) (zie materiaal en methode voor details). In figuur 13 zijn de resultaten weergegeven van alle waterextracten voor sulfaat en natrium. Uit de resultaten blijkt dat gedurende het eerste waterextract grofweg 70% van al het sulfaat en natrium uitspoelt, maar dit betekent ook dat bij dit soort hoge concentraties het eerste waterextract een 30% onderschatting kan zijn. Natriumuitspoeling is minder dan 5 mg/kg DW na het derde extract, sulfaat blijft nog langduriger uitspoelen. In totaal spoelt er na zeven extracties gemiddeld 548 mg/kg DW sulfaat uit en 177 mg/kg DW natrium.



Figuur 13: verloop van sulfaat- en natriumflux over serie extracten waaruit vervolgens de totale flux is berekend.

Commented [ ]: Dit zal in definitieve versie zowel opgenomen worden in g per kg door gewicht (DW) als in gram per liter vers gewicht (FW)

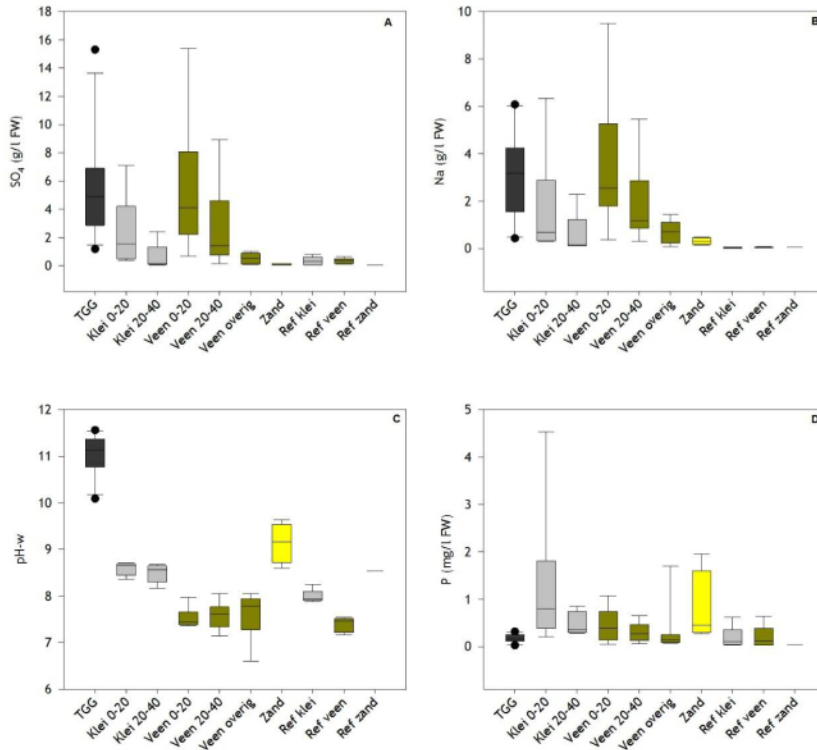
### 3.2.2. Zijn er in het veld effecten op onderliggende bodemlagen?

In het onderzoek zijn de aanwezige klei- en veenlagen op diverse dieptes geanalyseerd onder de TGG-laag. De klei- en veenlagen zijn bemonsterd op 0 tot 20 cm onder de TGG-laag (klei 0-20, n=6; veen 0-20, n=6) en op 20-40 cm onder de TGG-laag (klei 20-40, n=5; veen 20-40, n=6). Ook is veen bemonsterd dieper dan 40 cm onder TGG (veen overig, n=8). De boxplots in Fig. 14 A, B, C en D geven respectievelijk de spreiding weer van de zwavelconcentratie (mmol/l FW), B) natriumconcentratie (mmol/l FW), C) pH en D) fosforconcentratie (mmol/l FW), van de waterextracties (makkelijk beschikbare en tevens uitspoelbare fractie).



Foto xxx. Een voorbeeld van een van de transecten met peilbuizen en ceramische cups langs de dijk.





**Figuur 14:** A) Sulfaatconcentratie (g/l FW), B) natriumconcentratie (g/l FW), C) pH en D) fosforconcentratie (mg/l FW) van de waterextractie voor TGG, onderliggende bodemlagen en de referentie per bodemtype. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

Figuur 14A geeft de sulfaatconcentratie weer (mmol/l) en laat zien dat er veel spreiding is in de concentratie van TGG en de onderliggende lagen. De mediaan en het gemiddelde (5,9 g/l) liggen voor TGG het hoogst. Voor zowel klei als veen zijn de concentraties gemiddeld hoger dan de referentiebodems en neemt de concentratie zwavel af in de diepte. De waarden voor de diepere veenlaag, gemiddeld 0,54 g/l, komen overeen met de referentie monsters van veen.

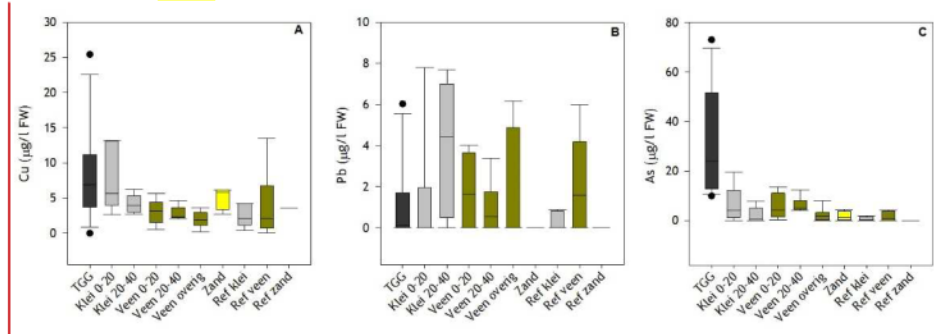
Voor natrium is een vergelijkbaar patroon waar te nemen in figuur 14B als voor sulfaat. De spreiding in de concentraties voor TGG is kleiner dan voor Veen 0-20. De mediane waarde is het hoogst voor TGG, waar het gemiddelde iets lager ligt (132,0 mmol/l ten opzichte van 152,3 mmol/l voor veen 0-20). Voor zowel klei als veen is een afnemende trend te zien in concentratie in de diepte. De referentieconcentraties liggen allen tussen 1,6 en 2,9 mmol/l.

De pH in de verschillende dieptes laat weinig verschil zien tussen de verschillende dieptes (0-20-, 20-40 en overig) en met de referentie (Figuur 14C). Gemiddeld ligt de pH iets hoger in de kleilagen (8,5 en 8,6) ten opzichte van de referentie (8,0). Ook de pH voor zand (9,1) in de raaien ligt gemiddeld wel hoger dan de referentieraai (8,5). Voor veen is de zuurgraad vergelijkbaar met de waarden in de referentieraai.

De fosforconcentraties zijn relatief laag in TGG (Figuur 14D) ten opzichte van de onderliggende klei-veen- en zandlagen. De hoogste fosforconcentraties zijn gemeten in de kleilaag op 0-20 cm onder de TGG-laag. Ook in de zandlaag onder de TGG zijn relatief hoge concentraties gevonden. In de

klei- en veenlagen is er een tendens van lagere concentraties in de diepere lagen. Gemiddeld liggen de concentraties hoger dan de referentieraai, echter de concentraties vallen doorgaans wel in de range van de referentielagen (klei:  $0,9 \cdot 10^{-3}$  -  $0,02$  mmol/l; veen:  $0,8 \cdot 10^{-3}$  -  $0,02$  mmol/l), op enkele uitschieters na.

De mobiele fracties aan enkele zware metalen (koper, lood en arseen) in de bodem zijn weergegeven in **Figuur 15**.



**Figuur 15:** Mobiele concentraties koper (A), lood (B) en arseen (mmol/kg DW) voor TGG, de onderliggende bodemlagen en de referentie per bodemtype. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. De rode lijnen geven de grondwaternormen weer voor deze metalen (RIVM).

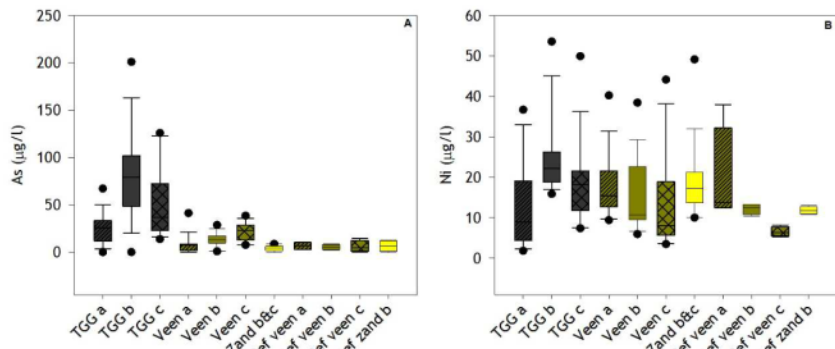
De koperconcentraties (Cu) liggen bijna allemaal onder de grondwaternorm ( $0,236 \mu\text{mol/l} = 15 \mu\text{g/l}$ ), op enkele metingen na in de TGG-laag (**Figuur 15A**). Het is te zien in **figuur 15** dat de kleilaag direct onder TGG (klei 0-20) in de meeste gevallen hogere concentraties koper heeft dan de diepere kleilaag en de referentie laag. De concentraties voor de veenbodems komen in alle lagen overeen, waarbij in de referentie laag de meeste variatie is.

Voor lood (Pb) zijn alle gemeten mobiele concentraties onder de norm voor grondwater (**Figuur 15B**). In elke laag was er minstens één monster waarin geen lood is terug gemeten (concentratie onder detectielimiet).

De mobiele concentraties voor arseen (As) in TGG liggen rond of boven de grondwaternorm ( $0,133 \mu\text{mol/l} = 10 \mu\text{g/l}$ ). Alle concentraties voor de referenties liggen onder de norm, waarbij in enkele monsters geen arseen is terug gemeten (onder detectielimiet). Bij de kleilaag 0-20 (raai 2) en veenlaag 20-40 (raai 3), ligt bij beide één meting boven de norm en bij de veenlaag 0-20 (raai 3) liggen twee metingen boven norm. De metingen in de overige lagen liggen allen onder de norm.

In **figuur 16** is de arseen- en de nikkelconcentratie ( $\mu\text{mol/l}$ ) in het poriewater (bemonsterd met ceramische cups) weergegeven. De data van raai 1 tot en met 4 is samengevoegd en weergegeven per bodemsoort (TGG, veen en zand) en locatie (a, b, c). Zo ook zijn de gegevens van de referentieraai weergegeven.

**Commented [ ]:** Misschien hier in rapportage enkel grafieken laten zien van stoffen welke de norm overschrijden of waar effecten zichtbaar zijn, de rest kan dan in bijlage

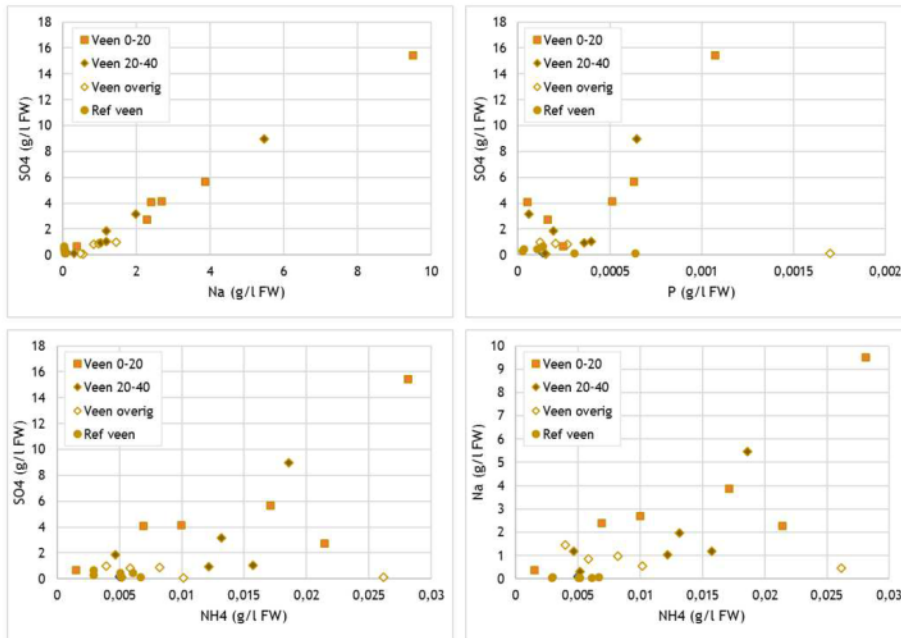


**Figuur 16:** A) Arseenconcentratie ( $\mu\text{mol/l}$ ) en B) Nikkelconcentratie ( $\mu\text{mol/l}$ ) in het poriewater van de TGG-, veen- en zandbodem per locatie (a, b, c) op de raaien en referentieraai. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

In **figuur 16A** is te zien dat de arseenconcentraties in het poriewater van TGG doorgaans hoger liggen dan in de overige bodemtypen. Locatie TGG-b heeft de hoogste concentraties, maar er is wel meer spreiding in de gemeten waarden. In de veenlagen zijn de concentraties allen onder de  $0,6 \mu\text{mol/l}$ . Gemiddeld zijn de concentraties op elke locatie in het veen van raai 1-4 hoger dan in de referentie. In het zand komen de concentraties arseen in het poriewater overeen met de referentie.

Bij de concentraties aan nikkel in het poriewater is er relatief veel spreiding te zien op bijna elke locatie (**Figuur 16B**). Er zijn geen duidelijke verschillen te zien tussen de verschillende lagen, locaties of ten opzichte van de referentie. Het hoogste gemiddelde en mediane waarde voor nikkel is gevonden voor TGG locatie b, en het laagste gemiddelde en mediaan voor de referentie veenlaag op locatie c.

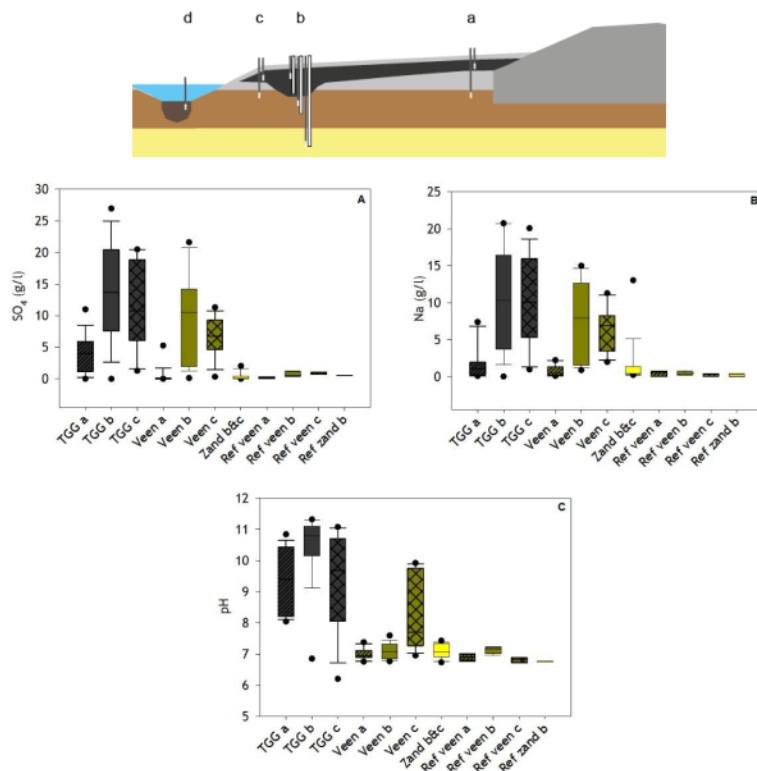
In **figuur 17** zijn de mobiele concentraties van sulfaat uitgezet tegen A) natrium, B) fosfor en C) ammonium ( $\text{NH}_4$ ) (g/l FW), voor de veenlagen onder de TGG en in de referentieraai.



**Figuur 17:** Correlatie tussen verschillende mobiele vormen van elementen (mmol/l FW) per veenlaag. A) Sulfaat en natrium. B) Zwavel en fosfor. C) Zwavel en ammonium (NH<sub>4</sub>). D) Zwavel en natrium.

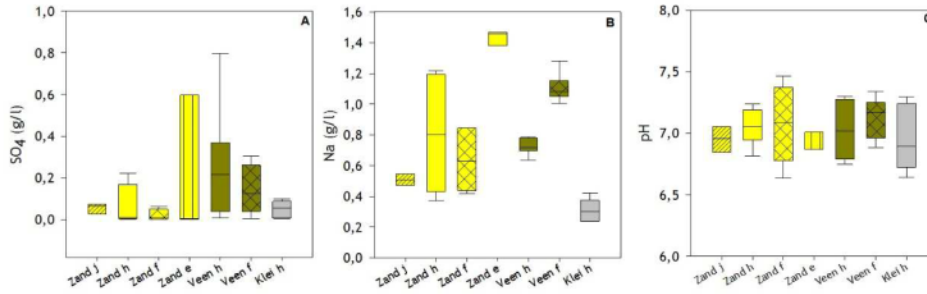
De mobiele (water-extraheerbare) concentraties natrium correleren sterk positief met sulfaat ( $R^2=0,9746$ ) (zie Figuur 7A). In de referenties zijn de laagste waarden voor zowel natrium als sulfaat. Tussen sulfaat en fosfor is voor de gehele dataset geen duidelijke correlatie waar te nemen, maar zijn er wel enkele veenbodems (onder de TGG laag) waarin er een correlatie lijkt te zijn tussen water-extraheerbare fractie sulfaat en fosfor (B). Tussen ammonium en sulfaat én ammonium en natrium is een correlatie aanwezig (C & D). Dit duidt erop dat de uitspoeling van natrium en sulfaat in de onderliggende veenlaag tot de mobilisatie van fosfor en ammonium kunnen leiden.

Figuur 18 geeft de zuurgraad, sulfaat- en natriumconcentratie weer van het poriewater in g/l (bemonsterd met de ceramische cups). De data van raai 1 tot en met 4 is samengevoegd en weergegeven per bodemsoort (TGG, veen en zand) en locatie (a, b, c). Zo ook zijn de gegevens van de referentieraai weergegeven. Figuur 18 geeft dezelfde variabelen weer als figuur 9, maar dan voor het grondwater (bemonsterd uit peilbuizen) bij raai 2 en 4 (locaties e, f, h en j).



**Figuur 18:** A) Sulfaatconcentratie (g/l), B) natriumconcentratie (g/l) en C) pH van het poriewater in de TGG-, veen- en zandbodem per locatie (a, b, c) op de raaien en referentieraai. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer. Boven het figuur is een schematische dwarsdoorsnede weergegeven met de locaties waar de ceramische cups zijn geplaatst.

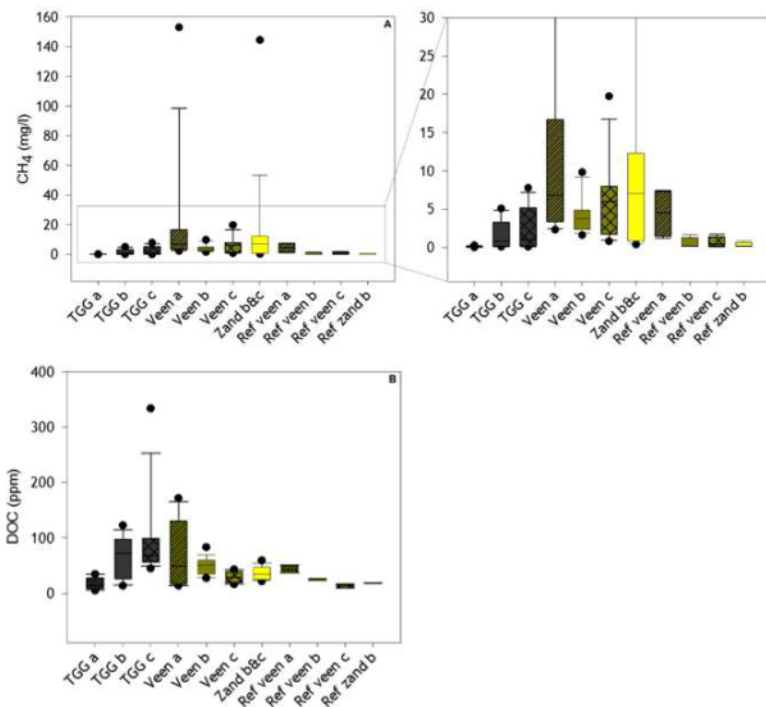
Voor zowel zwavel als natrium zijn de concentraties voor het poriewater van TGG het laagst op locatie A. Dit is ook het geval voor de veenlaag (Figuur 18 A en B). Locatie A ligt het dichtst bij de weg (hoger op de dijk) en de TGG ligt hoger ten opzichte van NAP, vergeleken met locatie B en C. Tussen de veenlaag op locatie A en de TGG ligt een kleilaag. Het veen op locatie B ligt direct onder de TGG-laag ligt, wat ook het geval is op locatie C in drie van de vier raaien. De concentraties voor beide stoffen op locatie B en C liggen grotendeels in dezelfde range, waarbij voor locatie B meer spreiding is in de gemeten concentraties. De zuurgraad is op elke locatie hoog in het TGG-poriewater (meestal > 8). Opvallend is dat de pH in de veenlaag op locatie C ook relatief hoog is ten opzichte van veen A en B, en referentie-veenlaag C.



**Figuur 19:** A) Sulfaatconcentratie (g/l), B) natriumconcentratie (g/l) en C) pH van het grondwater in de veen- en zandbodem per locatie (E, F, H en J) op raai 2 en 4. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

In **figuur 19** is te zien dat de zwavelconcentratie in het grondwater het hoogste is voor zand (locatie e) en veen locatie h). Echter de spreiding is hoog. Natrium is het laagste in de kleibodem. Tussen de zand- en veenlocaties is veel spreiding, waarbij het hoogste natriumgehalte is gemeten in de zandbodem op locatie e. De zuurgraad ligt bij alle locaties ongeveer rond de 7,0.

In **figuur 20** is de methaanconcentratie ( $\mu\text{mol/l}$ ) en de concentratie (in ppm) aan opgelost organisch koolstof (DOC) in het poriewater (bemonsterd met ceramische cups) weergegeven. De data van raai 1 tot en met 4 is samengevoegd en weergegeven per bodemsoort (TGG, veen en zand) en locatie (a, b, c). Zo ook zijn de gegevens van de referentierai weergegeven. Voor methaan is rechts van **figuur 20A** een ingezoomde weergave te zien.



**Figuur 20:** A) Methaanconcentratie ( $\mu\text{mol/l}$ ) en B) opgelost organisch koolstof (ppm) in het poriewater van de TGG-, veen- en zandbodem per locatie (a, b, c) op de raaien en referentieraai. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel weer. De Whiskers (horizontale lijnen) geven het bereik tussen het 10e en 90e percentiel. De horizontale streep in de box geeft de mediane waarde van de metingen weer.

Figuur 20A laat zien dat er in de metingen van het veen in de raaien op locatie a en van zand (locatie b&c) relatief veel spreiding is. Hier komen twee uitschieters voor die hoger zijn dan 9000  $\mu\text{mol/l}$ , beide gemeten in februari (voor veen in raai 4 en voor zand in raai 2). Gemiddeld liggen de methaanconcentraties in het poriewater van het veen ruimschoots hoger in de raaien 1-4 dan in de referentie. Ook in het zand zijn gemeten concentraties doorgaans hoger. Methaan in het poriewater van TGG is relatief laag (met name locatie a) ten opzichte van de andere locaties in de raaien 1-4.

Ook voor DOC in het poriewater is er relatief veel spreiding in veen op locatie a, hoewel voor TGG op locatie a het minste spreiding is ten opzichte van TGG-b en c 9 (Figuur 20B). Het veen in de raaien 1-4 op locaties b en c hebben doorgaans lagere concentraties dan a. De medianen en gemiddeldes van DOC in het veen-poriewater zijn hoger in de raaien dan in de referentie.

In bijlage xxx zijn de porie- en grondwatergegevens voor zuurgraad, zwavel en natrium weergegeven per raai en locatie apart.

### 3.2.3. Effecten op oppervlaktewater

In tabel 1 zijn verschillende karakteristieken weergegeven van de slibbodem in de sloot parallel gelegen aan de dijk. De gemakkelijk beschikbaar (mobiele) en potentieel mobiliseerbare fracties van natrium (middels kationuitwisseling), zwavel en ammonium zijn weergegeven (mmol/l vers

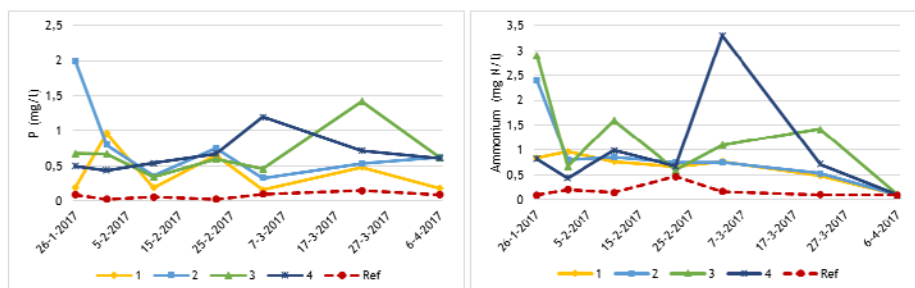
gewicht) evenals het totaal aan natrium, zwavel, koper, lood en arseen in de bodem (mmol/kg droog gewicht).

**Tabel 1: Karakteristieken van de slibbodem per raai. Gemiddeldes per raai van organische stof (%), zuurgraad van waterextractie (pH), natrium, zwavel, ammonium (mobiel en potentieel mobiliseerbaar) en totaalconcentraties van natrium, zwavel, koper, lood en arseen.**

Raai	OS (%)	Mobiele fractie (mmol/l FW)				mobiliseerbare fractie			Totaal (mmol/kg DW)				
		pH	Na	S	NH <sub>4</sub>	Na	S	NH <sub>4</sub>	Na	S	Cu	Pb	As
1	17	7,8	6,4	2,5	0,1	6,7	3	0,2	4,7	251,5	0,19	0,13	0,1
2	28	7,4	36	11,8	0	33,6	4,3	0,3	301,4	371,3	0,17	0,17	0,04
3	45	7,9	16,7	6,4	0,2	14	3,5	0,3	143,4	324,7	0,14	0,09	0,03
4	39	8	31,5	1,7	0	29,9	2	0,4	246	193	0,39	0,36	0,11
Referentie	17	7,7	9,4	4,6	0	7,5	3,3	0,2	13,1	329,9	0,17	0,2	0,07

Het organische stofgehalte (OS) is in raai 1 gelijk aan die in de referentierai. In raai 3 is het hoogste OS gemeten. De zuurgraad is het hoogste in raai 4 (pH van 8,0). De concentraties voor het mobiele, potentieel mobiliseerbare en totaal natrium zijn het laagst in raai 1 en de referentierai, en het hoogst voor raai 2. Raai 2 heeft tevens de hoogste mobiele zwavelconcentratie (11,8 mmol/l), potentieel mobiliseerbaar zwavel (4,5 mmol/l) en totaal-zwavel (371,3 mmol/kg). Raai 3 en de referentierai hebben ook totaal-zwavelconcentraties groter dan 320 mmol/kg. Raai 4 bevat de hoogste totaalconcentraties voor koper, lood alsmede arseen.

Het oppervlaktewater is gemeten op diverse variabelen op meerdere tijdstippen. De concentraties fosfor (P) (links in mg/l) en ammonium (rechts in mg N/l) zijn weergegeven in Figuur 21. Hierin zijn de metingen van dit onderzoek verwerkt alsmede de standaard metingen van het waterschap op punten dichtbij de raaien.



**Figuur 21: A) Methaanconcentratie (µmol/l) en B) opgelost organisch koolstof (ppm) in het poriewater van de TGC-veen- en zandbodem per locatie (a, b, c) op de raaien en referentierai. De Box geeft het bereik tussen het 25e en 75e percentiel**

Commented [ ]: Hier komen nog grafieken voor S en Na bij

Voor zowel P als ammonium zijn de concentraties het laagst op de referentierai, voor P <0,1 mg/l en voor ammonium <0,5 mg N/l (Figuur 21). De raaien laten relatief meer schommelingen zien in de metingen. De P-concentraties laten geen duidelijke stijging dan wel daling zien in de tijd, waarbij de NH<sub>4</sub>-concentraties in de raaien doorgaans een lichte dalende trend laten zien. De waarden zijn bijna gelijk aan elkaar in april (< 0,1 mg N/l). Ook in het poriewater van de sloot zijn de P en NH<sub>4</sub>-concentraties het laagst in de referentierai ten opzichte van de raaien 1 tot en met 4.

In Tabel 2 zijn enkele gegevens van het oppervlaktewater (sloot) weergegeven per raai, namelijk de zuurgraad, de concentraties (in µmol/l) van koper (Cu), lood (Pb) en arseen (As). Ook zijn de zwavelconcentraties weergegeven (mmol/l) van het oppervlaktewater (S) en het poriewater van de slibbodem (S-porie). De waarden zijn gemiddelden van de tijdreeksen (vanaf januari tot en met maart).



Tabel 2: Gemiddelde zuurgraad, koper-, lood- en arseenconcentratie in  $\mu\text{mol/l}$  en zwavel ( $\text{mmol/l}$ ) van het oppervlaktewater. Zwavelconcentratie is ook weergegeven voor het poriewater in de waterbodem.

Raai	pH	Cu ( $\mu\text{mol/l}$ )	Pb ( $\mu\text{mol/l}$ )	As ( $\mu\text{mol/l}$ )	S ( $\text{mmol/l}$ )	S-porie ( $\text{mmol/l}$ )
1	7,6	0,09	0,00	0,04	0,5	51,2
2	7,5	0,14	0,01	0,04	1,1	1,1
3	7,4	0,08	0,03	0,07	1,1	1,2
4	7,8	0,06	0,03	0,06	2,3	1,1
Referentie	7,8	0,05	0,01	0,01	2,2	3,5

In tabel 2 is te zien dat de zuurgraad niet veel verschilt tussen de raaien. Ook is de zuurgraad gemeten door het waterschap. Deze resultaten komen nagenoeg overeen. De koperconcentratie relatief opvallend hoog bij raai 2 ( $0,14 \mu\text{mol/l}$ ) en het laagst bij de referentieraai. De loodconcentratie is het laagst in de sloot bij raai 1. Voor arseen heeft de referentiesloot de laagste concentratie. De zwavelconcentratie is in de sloot van de referentie het hoogst en het laagste voor de sloot bij raai 1. Opvallend is dat raai 1 wel een zeer hoog zwavelgehalte in het poriewater heeft ( $51,2 \text{ mmol/l}$ ). De gemiddelde sulfaatmetingen van het waterschap in de sloten nabij de raaien laten een vergelijkbare trend zien als de zwavelmetingen in het slootwater, waarbij van raai 1 tot de referentie de sulfaatconcentraties stijgen. Sinds de incidenten zich voorgedaan hebben in het waterschap de watergang parallel aan de dijk actiever gaan doorspoelen om de uitspoelende elementen te verdunnen met oppervlaktewater uit de omgeving. Om deze reden wordt er in de huidige rapportage niet diep ingegaan op de oppervlaktewater samenstelling. Ondanks het doorspoelen blijven de sulfaatconcentraties relatief hoog, zowel op locaties met en zonder toepassing van TGG. Dit duidt erop dat het oppervlaktewater in deze regio reeds relatief sulfaatrijk oppervlaktewater bevat. De potentiële sulfaatinvloed vanuit het dijklichaam komt dus bovenop deze reeds relatief hoge sulfaatconcentratie die reeds in dit gebied aanwezig is. Aan de zoutkristallen langs het slootalud is te zien dat er nog steeds met zouten aangereikt water uit de dijk sijpelt richting de sloot (zie foto xxx).



Foto xxx: Uitspoeling van grondwater uit het dijklichaam onder aan de dijk in het sloot talud, wat leidt tot kristallisatie en neerslag van zouten bij verdamping (foto J. Graafland).

**Conclusies:**

- Uit bodemonderzoek met uitloogtesten van TGG wat in opdracht van waterschap vallei en veluwe is uitgevoerd alvorens het huidige onderzoek is reeds gebleken dat bromide, chloride en sulfaat de emissie waarde overschrijden.
- De TGG laag blijkt, in vergelijking met omliggende referentie bodems, sterk verrijkt met zouten (grotendeels natrium) en zwavel welke beide ook makkelijk uitspoelen indien ze in contact komen met water. Gemiddeld liggen de makkelijk uitspoelbare zwavel-fracties in de TGG meer dan twaalf keer zo hoog als de gemiddelde concentraties in de bodems van het referentie transect (veen, klei en zand), de makkelijk uitspoelbare natrium-fracties zijn ongeveer zeventig keer zo hoog.
- Uit een serie achtereenvolgende bodemextracties is gebleken dat de totale mobiele fracties van sulfaat en natrium in het binnen dit onderzoek op locatie verzamelde TGG ongeveer 500 mg SO<sub>4</sub>/kg DW en 180 mg Na/kg DW betreffen.
- Uit bodemanalyse in diepte profielen langs meerdere transecten loodrecht op de dijk is gebleken dat zowel de klei- als de veenbodem op 0-20 en 20-40 cm onder de TGG laag verhoogde natrium- en zwavelconcentraties bevat. Teven lijkt hier ook een correlatie aanwezig tussen zwavel en natrium met fosfor en ammoniumconcentraties; uitspoeling uit de TGG laag lijkt dus te kunnen leiden tot nutriëntmobilisatie in de onderliggende veenlaag.
- Uit zware metalen analyses blijkt dat de TGG verhoogde zware metalen bevat en dat ook de bodemlagen onder de TGG laag ligt verhoogde zware metalen concentraties bevat (hier nog noemen om welke het gaat indien deze de norm overschrijden).
- Uit grondwateranalyses op verschillende diepten en locaties onder de TGG laag is ook gebleken dat de veenlaag onder de TGG laag, lager op de dijk (locaties b en c, waar de voormalige sloot lag en de TGG direct in het veen ligt) verhoogde zwavel- en natriumconcentraties laat zien. Hier blijkt op enkele locaties ook de pH reeds verhoogd. Hogerop de dijk (locatie a waar een dikke kleilaag tussen de TGG en de veenlaag aanwezig is) en in de referentielocaties zijn de zwavel- en natriumconcentraties in het grondwater niet verhoogd.

**3.3 Hoe functioneert de dijk hydrologisch en in welk mate kan vervuiling uit de TGG laag zich in de omgeving verplaatsen?**

*Dit kan pas in later stadium worden uitgewerkt indien de resultaten van grondwaterstanden bekend zijn en modelering (GWS en inschatting stofstromen) hiervan verricht. De divers worden eind mei uitgelezen*

**Conclusies:**

- XXXX.
- XXX
- XXXX

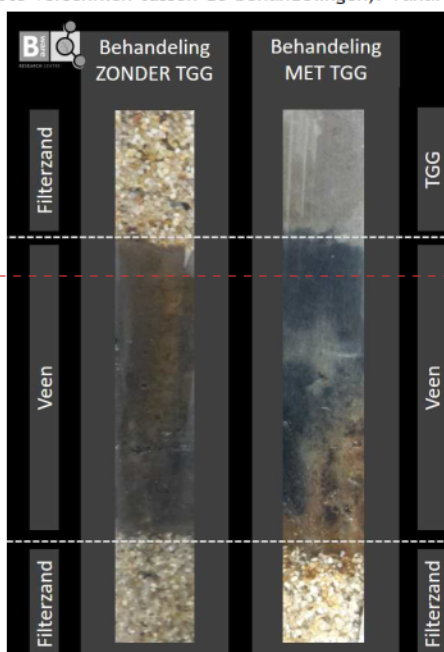
### 3.4 Effecten van uitspoeling van sulfaat en zouten uit de thermisch gereinigde grond op biogeochemische processen en afbraakprocessen in de onderliggende veenlaag?

Op basis van bodem- en grondwateranalyses langs diepteprofielen in het dijklichaam is gebleken dat er uitspoeling van met name sulfaat en zouten vanuit de TGG laag plaatsvindt naar de omgeving, zo ook op de onderliggende veenlaag. Om onder gecontroleerde condities de effecten van uitspoelende elementen uit de TGG laag op biogeochemische processen (kolomexperiment) en afbraakprocessen (incubatie-experiment) in de onderliggende veenlaag te onderzoeken zijn er twee laboratoriumexperiment uitgevoerd.

#### 3.4.1. Uitspoeling vanuit TGG laag en de consequenties voor de onderliggende veenlaag

Om de effecten van uitspoeling uit de TGG laag op de onderliggende veenlaag in detail te onderzoeken is er een kolomexperiment uitgevoerd waarin onder controleerde condities de veldsituatie op laboratoriumschaal is nagebootst. In dit experiment zijn een reeks kolommen met veenbodem (4 met TGG erboven en 4 zonder TGG) versneld doorgespoeld met artificieel regenwater waarna de verschillen. Zoals verwacht blijkt ook uit het kolomexperiment dat er veel natrium en zwavel uit de TGG laag uitspoelt wat vervolgens in de onderliggende veenlaag terecht komt (zie figuur 22 en 23). De resultaten uit het kolomexperiment duiden op een hoge beschikbaarheid en snelle uitspoeling van natrium en zwavel vanuit de TGG laag naar de onderliggende veenlaag (let op de y-as in de twee onderste figuren van figuur 23 staan op logaritmische schaal). Al tussen het moment van de opzet van het experiment en de eerste meting blijkt al veel natrium en zwavel te zijn uitgespoeld (al op het eerste tijdstip zijn er grote verschillen tussen de behandelingen). Vanaf het eerste tijdstip dalen de natrium- en zwavelconcentraties door de tijd, maar blijven significant verhoogd in de veenlaag onder de invloed van TGG. Ook de pH in de veenlaag onder TGG behandeling stijgt significant terwijl deze in de controle veenbodem stabiel blijft. Vanaf het moment dat de doorspoeling met regenwater is gestopt (tien weken, grijze stippellijn in figuur 23) blijven de concentraties van elementen als natrium en zwavel verhoogd. Naast de sterk verhoogde natrium en zwavelconcentraties is ook te zien dan andere kationen zoals calcium, kalium, magnesium, silicium en in mindere mate mangaan en ijzer tijdelijk sterk verhoogd zijn in de veenbodems onder de TGG t.o.v. de controle behandeling (zie bijlage xxx voor details), wat duidt op kationmobilisatie.

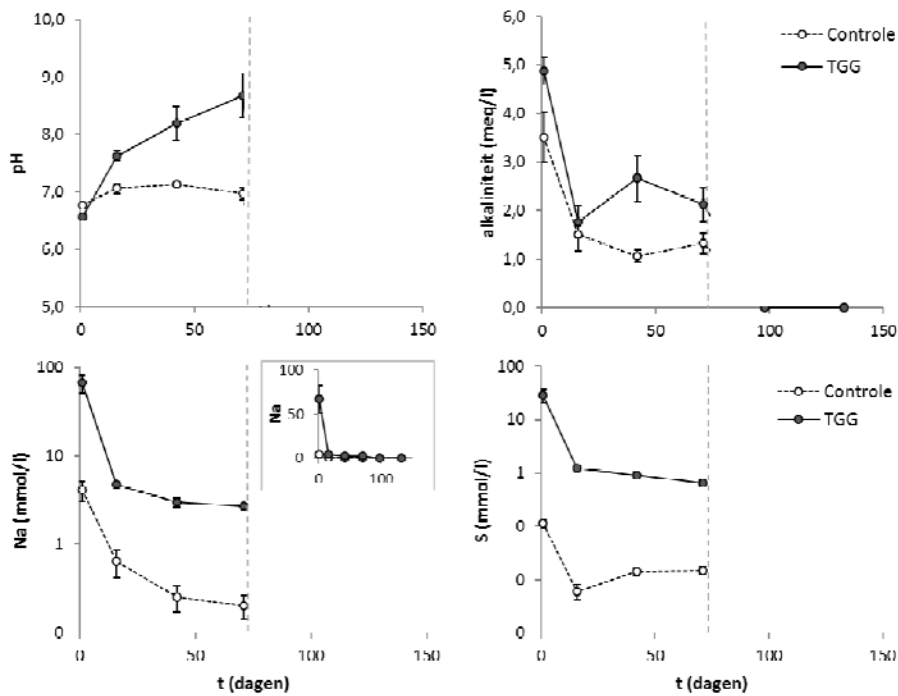
Figuur 22: Detail foto's van één voorbeeld van beide behandelingen van het kolomexperiment, met telkens van boven naar beneden eerst filterzand ofwel TGG, dan de veenlaag en daaronder filterzand. Links is een voorbeeld weergegeven van een kolom zonder TGG erboven, rechts een kolom met TGG erboven.



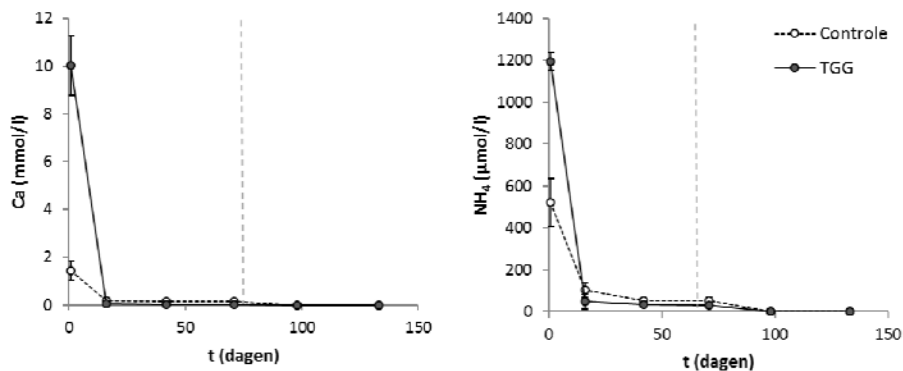
Commented [ ]: Dit wordt allemaal nog verder aangevuld indien alle resultaten van de experimenten geanalyseerd zijn

Ook op basis van kleurveranderingen in de veenlaag is te zien dat uitspoeling vanuit de TGG laag van bovenaf langzaam de veenlaag intrekt en hier de biogeochemische processen beïnvloed (zie figuur 22). Zo is te zien dat de van nature roodbruine veenlaag geheel zwart kleurt op plekken waar het beïnvloed wordt door water wat in

contact is geweest met de TGG laag. Op wat langere termijn blijkt dat de op korte termijn verhoogde concentraties van de kationen juist dalen beneden het niveau van de controle behandeling op de langere termijn, zie de calciumconcentratie in figuur 24 en de overige elementen in de bijlage XXX, wat tevens duidt op kationmobilisatie en uitspoeling van kationen uit de veenlaag. Wat betreft de nutriënten beschikbaarheid blijkt de ammoniumconcentratie op de korte termijn (tijdelijk) sterk toe te nemen in de behandeling met TGG, zie figuur 24. Voor nitraat is op de lange termijn een lichte stijging te zien. De fosforconcentratie in de veenlaag wordt niet significant beïnvloed door de TGG.

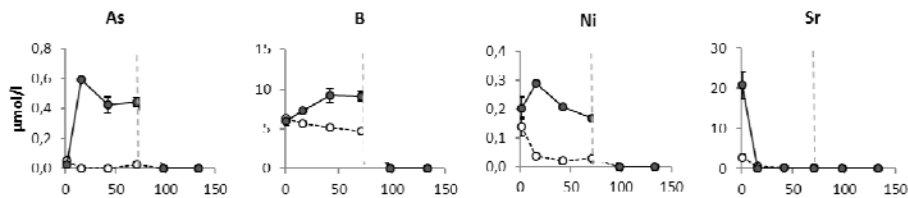


Figuur 23: gemiddelde poriewaterconcentraties van (A. de pH, B. de alkaliniteit, C. de natriumconcentratie en D. de zwavelconcentratie) in het kolomexperiment door de tijd in de controle veenbodem (open cirkels) en de veenbodem onder TGG (grijs gevulde cirkels) ( $\pm$  S.E.M.).



Figuur 24: gemiddelde poriewaterconcentraties van (A. de calciumconcentratie en B. de ammoniumconcentratie) in het kolomexperiment door de tijd in de controle veenbodem (open cirkels) en de veenbodem onder TGG (grijs gevulde cirkels) ( $\pm$  S.E.M.).

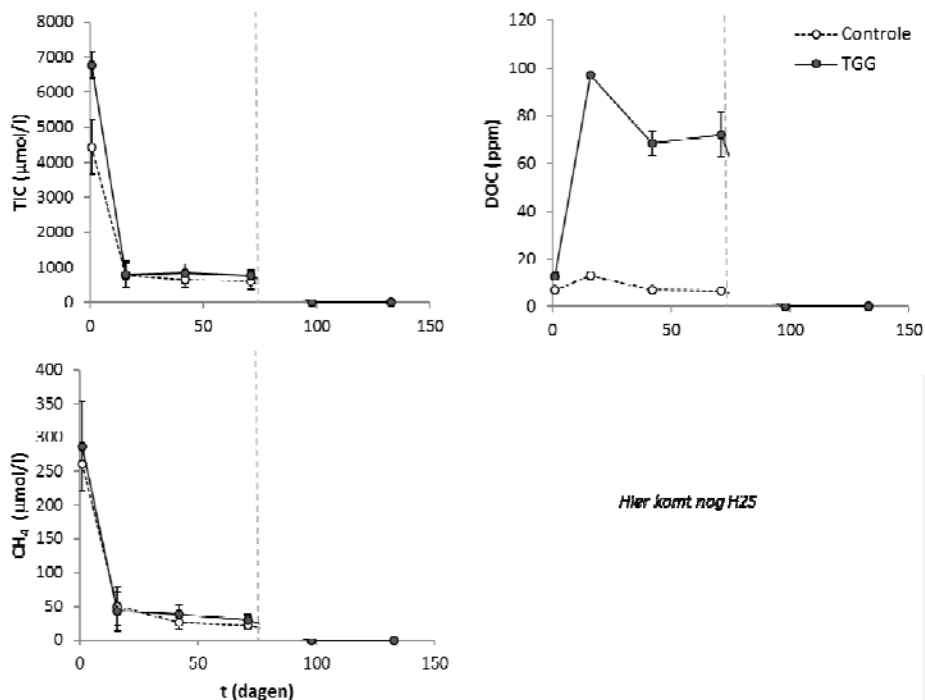
Uit de resultaten van het kolomexperiment komt naar voren dat de opgeloste zware metalen (arsen, barium, nikkel en strontium) concentraties in de veenlaag onder TGG behandeling *significant* verhoogd zijn t.o.v. de controle behandeling. Overige geanalyseerde zware metalen verschilden niet *significant* tussen beide behandelingen of lagen beneden de detectielimiet.



Figuur 25: gemiddelde poriewaterconcentraties van (A. arsen, B. barium, C. nikkel en D. strontium) in het kolomexperiment door de tijd in de controle veenbodem (open cirkels) en de veenbodem onder TGG (grijs gevulde cirkels) ( $\pm$  S.E.M.).

Met betrekking tot afbraakprocessen blijkt dat poriewater bicarbonaat-, waterstofsulfide- en methaanconcentraties in de eerste periode van het experiment (tijdens wegzijging) sterk beïnvloed worden door de wegzijging en dat er geen significante verschillen werden gevonden tussen de twee behandelingen (zie figuur xxx). Na een periode van stilstand aan het einde van het experiment blijkt xxx nog aanvullen als alle tijdstippen geanalyseerd zijn xxx. De opgeloste organische koolstof concentraties (DOC) in het bodem poriewater blijkt gemiddeld echter juist significant toe te nemen in de veenbodem onder invloed van TGG (zie figuur xxx).

Commented [ ]: Dit wordt allemaal nog verder aangevuld indien alle resultaten van de experimenten geanalyseerd zijn



Figuur 26: gemiddelde poriewaterconcentraties van (A. arseen, B. barium, C. nikkel en D. strontium) in het kolomexperiment door de tijd in de controle veenbodem (open cirkels) en de veenbodem onder TGG (grijs gevulde cirkels) ( $\pm$  S.E.M.).

### 3.4.2. Effecten van TGG op afbraakprocessen in de onderliggende veenlaag

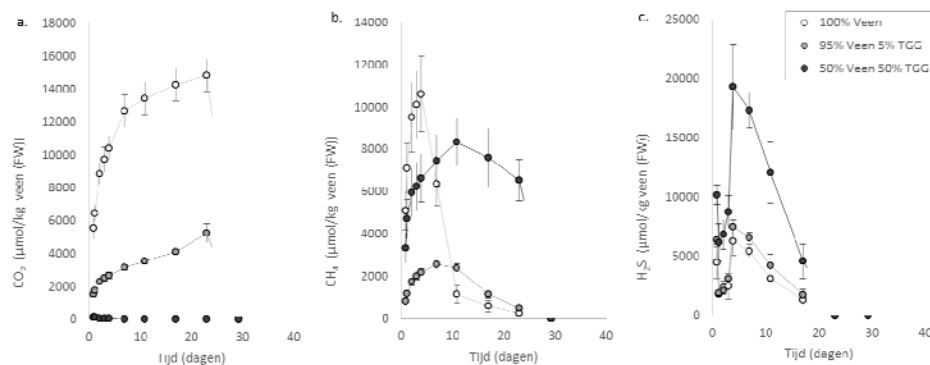
Uit de grondwatergegevens uit de transecten in het veld en de resultaten uit het kolomexperiment is gebleken dat de uitspoeling van stoffen uit de TGG laag biogeochemische processen in de onderliggende veenlaag beïnvloedt, dit zou ook potentiële consequenties kunnen hebben voor anaerobe afbraak gerelateerde processen in de veenlaag. Om meer inzicht te krijgen in wat de effecten kunnen zijn van TGG op afbraakprocessen in de veenbodem is er onder gecontroleerde omstandigheden een incubatie-experiment uitgevoerd in het laboratorium waarin de productie van anorganisch koolstof en DOC (opgelost organisch koolstof), in de veenbodem werd gemeten onder verschillende behandelingen (veen met 0%, 5% en 50% TGG). Dit gebeurde door het monitoren van de productie van veenafbraak gerelateerde gassen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{H}_2\text{S}$ ), in de headspace (gasfase boven de bodem) en de concentratie TIC en DOC in het poriewater aan het einde van het incubatie experiment. De uiteindelijke concentraties in de gasfase zijn de netto resultante van een interactie van verschillende microbiële en biogeochemische processen in de bodem.

Uit het incubatie-experiment blijkt dat de koolstofcyclus in de veenbodem in hoge mate wordt beïnvloedt door de TGG laag. Uit het incubatie-experiment komt naar voren dat de  $\text{CO}_2$  concentraties in de headspace in beide behandelingen met TGG sterk verlaagd zijn t.o.v. de controle behandeling, in de 50% veen 50% TGG behandeling wordt zelfs amper  $\text{CO}_2$  productie waargenomen. Uit de poriewateranalyses aan het einde van het experiment blijkt dat hoe groter de TGG invloed hoe hoger de pH. Daarnaast blijkt ook de totaal anorganische koolstof concentratie (TIC) (zowel opgelost  $\text{CO}_2$  als  $\text{HCO}_3^-$ ) verlaagd te zijn in de veenbodems met TGG. Een verlaging van

de CO<sub>2</sub> concentratie (welke deels te verklaren is door verhoogde pH waardoor een deel van het CO<sub>2</sub> omgezet wordt in HCO<sub>3</sub>) in combinatie met een verlaagde TIC concentratie lijkt te duiden op een verlaagde CO<sub>2</sub> productie in de veenbodem bij verhoogde invloed van TGG. Ook blijkt dat de concentratie van DOC (reactief organisch materiaal) aan het einde van het experiment iets verhoogd is in de veenbodems onder invloed van TGG.

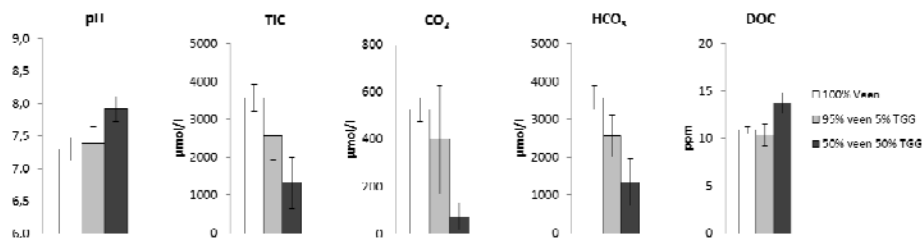
**XXX dit moet nog blijken op basis van metingen aan einde van experiment xxx**

Wat betreft de methaanconcentratie (wordt gevormd door methanogenese) blijkt dat op korte termijn de methaanproductie wordt geremd in beide behandelingen met TGG. Op langere termijn (na de eerste vier dagen) blijkt echter dat de methaanproductie in de controle behandeling omslaat van methaanproductie naar netto methaanconsumptie. Het is niet helemaal duidelijk hoe dit proces verklaard kan worden maar waarschijnlijk speelt het proces van anaerobe methaanoxidatie hierbij een rol. Methaan kan worden geoxideerd tot kooldioxide door bijvoorbeeld driewaardig ijzer maar ook door sulfaat. We zien opvallende genoeg dat er een stijging (gevolgd door een afname) is van de sulfideconcentratie vanaf het moment dat de methaanconcentratie in de headspace daalt. In de twee behandelingen van veen met TGG is te zien dat de methaanconcentratie gedurende de eerste dagen langzaam stijgt (in de 50%-50% behandeling sneller) en vervolgens na ruim een week ook beide gaan afnemen, zei het veel geleidelijker dan in de controle veenbehandeling. Voor de waterstofsulfideconcentratie blijkt dat gedurende de eerste dagen er geen verschillen te zijn tussen de 0% en 5% behandeling. Voor de 50% behandeling is de waterstofsulfideconcentratie vanaf het begin hoger. Vanaf dag vier in het experiment zien we een sterke stijging in alle behandelingen. De stijging is echter het sterkst in de 50% behandeling. Vanaf dag vier tot dag 4 blijft de waterstofsulfideconcentratie hoger in de behandelingen van veen met TGG, in vergelijking met enkel veenbodem, maar dalen de concentraties vervolgens in de daaropvolgende dagen. TGG blijkt dus de sulfaatreductie in de veenbodem op korte termijn te stimuleren (mogelijk door een combinatie van de stijging van de sulfaatconcentratie en DOC mobilisatie). Deze stimulatie blijkt echter van korte duur in alle behandelingen. De geleidelijke afname van de sulfideconcentratie na dag vier laat zien dat het sulfide dat wordt gevormd ook weer wordt vastgelegd in de bodem (waarschijnlijk door precipitatie met ijzer of andere metalen en/of adsorptie aan bodemdeeltjes).



**Figuur 27: Het verloop van enkele (aan veenafbraak gerelateerde) gasconcentraties in het incubatie-experiment, a. de koolstofdioxide concentratie (CO<sub>2</sub>), b. de methaanconcentratie (CH<sub>4</sub>), c. de waterstofsulfideconcentratie (H<sub>2</sub>S), alles weergegeven in μmol/kg veen (FW) (± S.E.M.).**

**Commented [ ]:** Deze resultaten worden ook nog verder aangevuld als resultaten van de experimenten geanalyseerd zijn



**Figuur 28:** De pH en een aantal in water opgeloste koolstof gerelateerde parameters (v.l.n.r. de totaal anorganische koolstofconcentratie (TIC), de koolstofdioxideconcentratie, de bicarbonaatconcentratie, de opgelost organisch koolstof concentratie (DOC)) in het bodemporiewater van de bodems van het incubatie-experiment aan het einde van het experiment ( $\pm$  S.E.M.).

De resultaten laten zien dat de interacties tussen de sulfaat en de koolstofcyclus complex zijn. Er kan in de bodem tegelijkertijd sulfaatreductie en methaanproductie plaatsvinden. Dit duidt erop dat de methanogenen en de sulfaatreducerende bacteriën in het sediment verschillende substraten gebruiken. Sulfide dat hierbij wordt gevormd wordt vastgelegd in de bodems. Methaan neemt na een aanvankelijke toename weer af hetgeen duidt op anaerobe oxidatie van methaan en/of een afname van de methaanproductie. De resultante van deze processen is dat er netto (na 20 dagen) veel meer methaan en veel minder kooldioxide (TIC) wordt geproduceerd in de 50 % behandeling. Voor de 5 % behandeling geldt dat er veel minder TIC wordt geproduceerd per kg veen. Een geringe aanrijking van de veenlaag met TGG lijkt dus eerder te leiden tot een remming van de mineralisatie van het veen. Een directe verklaring hiervoor kan niet worden gegeven.

**Conclusies:**

- Uit het kolomexperiment komt (net als uit de resultaten op locatie) naar voren dat de veenlaag onder de TGG behandeling op korte termijn sterk verhoogde natrium- en zwavelconcentraties bevat.
- Deze sterk verhoogde natriumconcentratie leidt tot de mobilisatie van andere kationen van het bodemadsorptiecomplex wat leidt tot (tijdelijk) sterk verhoogde kationconcentraties (bijvoorbeeld Ca, Mg, K, Mn etc.)
- Ook andere processen als een verhoogde alkaliniteit en sterk verhoogde pH, welke op locatie waargenomen zijn, komen ook uit het kolomexperiment naar voren. De pH in de veenlaag onder de TGG laag stijgt sterk en lijkt in het kolomexperiment sterker beïnvloed als in het veld.
- Uit het kolomexperiment blijkt dat de concentraties van opgelost arseen, barium, nikkel en strontium verhoogd zijn in de veenbodems onder TGG t.o.v. de controle behandeling.
- De uit het incubatie-experiment blijkt dat de koolstofcyclus in de veenbodem in hoge mate beïnvloed wordt door de aanwezigheid van TGG. TGG lijkt de productie van CO<sub>2</sub> in de veenbodem te verlagen, bij de 50% veen 50% TGG behandeling blijkt deze zelfs geheel stil gelegd. De productie van methaan wordt op korte termijn verlaagd in de veenbodems onder invloed van TGG. Op iets langere termijn is echter het proces van anaerobe methaanoxidatie opgetreden in alle behandelingen wat het lastig maakt de lange termijn effecten van TGG op de methaanproductie te voorspellen. De sulfaatreductie wordt op korte termijn gestimuleerd door TGG (vermoedelijk de toename van sulfaat in combinatie met de mobilisatie van DOC). Op langere termijn neemt het proces van sulfaatreductie weer af in alle behandelingen. Samengevat lijkt TGG de afbraakprocessen op korte termijn te verlagen, er kunnen echter geen conclusies getrokken worden over de lange termijn.



## 4. Discussie

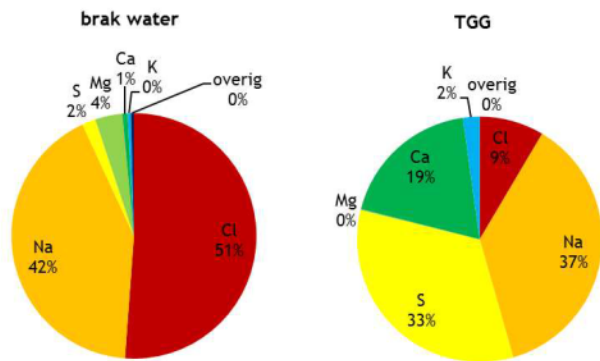
### 4.1 Eigenschappen van TGG

#### 4.1.1 Samenstelling van TGG in relatie tot de omgeving en het milieu

Uit het huidige onderzoek en de voor het huidige onderzoek uitgevoerde bodemanalyses blijkt dat de TGG bestaat uit een mengsel van zeer grof (kiezels) en zeer fijn materiaal. Er wordt in deze discussie niet verder in detail ingegaan over wat de potentiële bronnen van de chemische samenstelling van de TGG is, hier is binnen dit onderzoek geen onderzoek aan verricht. Uit de In vergelijking met bodemtype in het dijklichaam en de omgeving blijkt dat de TGG een zeer hoge dichtheid heeft en erg weinig organisch stof. De TGG bevat relatief hoge totaal calcium, - natrium en - zwavelconcentraties. Er blijken duidelijke verbanden aanwezig tussen totale concentraties van ijzer, aluminium en calcium welke kenmerkend zijn voor de verschillende bodemtype (klei, veen en zand). Uitgedrukt in grammen element per kilogram droge bodem bevat TGG de hoogste calciumconcentraties in vergelijking met andere bodemtype. Het veen bevat de hoogste totaal concentraties natrium en zwavel per kilogram droge bodem, welke tevens hoger is dan de TGG, hierbij moet wel worden opgemerkt dat de dichtheid van TGG ook vele malen hoger is dan de dichtheid veen (in een m<sup>3</sup> TGG zit dus veel meer massa dan in een m<sup>3</sup> veen). De twee veenbodempunten met de hoogste ijzerconcentraties liggen in de referentieraai en blijken wat ijzerrijker en zwavelrijker te zijn, waarschijnlijk betreft dit pyrietrijker veen. Deze venen zijn tijdens hun ontstaansgeschiedenis beïnvloedt geweest door de voormalige Zuiderzee. Dit betekent dat de veenbodem en het oppervlaktewater in de regio reeds rijk aan sulfaat kan zijn. Op basis van oppervlaktewater analyses komt dan ook naar voren dat zowel op de locaties met als zonder TGG het oppervlaktewater relatief sulfaat rijk is.

**Hier nog kort stuk over vervuiling met zware metalen en norm overschreiding?**

Ondanks dat de totaalconcentraties van natrium en zwavel in de TGG lager zijn dan in de veenbodem en vergelijkbaar zijn met kleibodem zijn de via water uitspoelbare concentraties van natrium en sulfaat juist veel hoger in de TGG laag, wat grote consequenties kan hebben voor de uitspoeling van sulfaat en natrium naar de omgeving. Naast natrium en sulfaat, blijken ook andere elementen uit de TGG laag te spoelen zoals bromide en fluoride de emissiewaarde te overschrijden. Verhoudingsgewijs bestaat echter het overgrote deel van de uitspoeling uit de TGG laag uit de twee elementen natrium en sulfaat. De concentraties die uit de TGG laag spoelen komen vallen qua zoutgehalte binnen de categorie sterk brak water (gebaseerd op de gemiddelde verdeling van Na en Cl in brak water en zeewater (de grenzen voor de categorie sterk brak water betreffen 3 - 17 g Cl/l)). De gemiddelde verhouding van ionen in brak water blijkt sterk te verschillen met de gemiddelde verhouding van ionen welke uit de TGG laag spoelen (op basis van gemiddelde resultaten uit waterextracten). Het water dat uit TGG spoelt heeft een hoger aandeel aan natrium, zwavel en calcium terwijl het water naar verhouding veel minder chloride en magnesium bevat dan zeewater (zie figuur 29). Het is niet helemaal duidelijk hoe het natriumsulfaat in de TGG terecht komt. Waarschijnlijk blijft het achter uit het verbrande asfalt en gaat het om een stof die aan het asfalt wordt toegevoegd (toeslagstof).



Figuur 29: Een vergelijking waarin de gemiddelde samenstelling (procentuele verhouding van enkele elementen) van sterk brak water vergeleken kan worden met de samenstelling van het water wat uit de TGG laag spoelt.

#### 4.1.2 Uitspoeling van natrium en sulfaat uit de TGG laag

Uit zowel de voor het huidige onderzoek in opdracht van Waterschap Vallei en Veluwe verrichte bodemanalyses en uitloogtesten als de binnen het huidige onderzoek verrichte bodemanalyses, grondwatermonsters en het kolomexperiment komt naar voren dat er veel natrium en sulfaat uit de TGG naar de omgeving uitspoelt. Uit de binnen dit onderzoek uitgevoerde serie waterextracten is naar voren gekomen dat er naar schatting in totaal ongeveer 550 mg SO<sub>4</sub> en 180 mg Na per kg DW TGG uit kan spoelen. Hierbij moet tevens vermeld worden dat dit een onderschatting is van wat er uit vers TGG kan uitspoelen, aangezien alle binnen het huidige onderzoek verzamelde bodems afkomstig zijn van de Eemdijk, waar de TGG reeds enkele maanden blootgesteld was aan doorspoeling met neerslag alvorens deze bemonsterd is voor het huidige onderzoek. Op basis van de binnen dit onderzoek verzamelde resultaten kunnen hierom geen harde conclusies getrokken worden over de totale uitspoeling van elementen uit verse TGG. Gedurende de eerste maanden na plaatsing van de TGG (toen de TGG laag nog niet afgedekt was met een kleilaag) is hier direct neerslag water doorheen gespoeld, wat waarschijnlijk geleid heeft tot de sterk verhoogde sulfaat- en natriumconcentraties in het oppervlaktewater. Na afdekking van de TGG laag met een laag klei is de directe uitspoeling vanuit de TGG laag naar de omgeving vermoedelijk sterk verminderd. Uit veldobservaties blijkt echter dat er langs het sloottalud aan de binnenzijde van het dijklichaam waar TGG is toegepast nog steeds natriumrijk water uit het dijklichaam sijpelt, wat ook blijkt uit de hier ontstane zoutkristallen op de bodem (zie figuur). Opvallend is dat op deze locatie er ook geen gras groeit.



Foto xxx: Uitspoeling van grondwater uit het dijklichaam onder aan de dijk in het sloot talud, wat leidt tot kristallisatie en neerslag van zouten bij verdamping (foto J. Graafland).

Naast direct uitspoeling van water uit het dijklichaam via uittreding langs het sloottalut is er indringing van grondwater in de onderliggende veenlaag op de locatie van de voormalige sloot. Aangezien onderaan het dijklichaam de TGG laag direct ligt op de onderliggende veenlaag (op de locatie van de voormalige sloot en soms ook verder richting de sloot doordat de bodem nog enigszins is gaan schuiven sinds plaatsing) is hier indringing in de onderliggende veenlaag mogelijk. Hogerop in het dijklichaam is er een kleilaag (xxx-xxx cm) aanwezig tussen de TGG laag en de veenlaag, wat beïnvloeding van uitspoeling vanuit de TGG laag op de onderliggende veenlaag op die locaties praktisch uitsluit. Dit betekent wel dat de stoffen die hoger in het dijklichaam uitspoelen uit de TGG naar het laagste deel zullen stromen en hier zullen ophopen. Bodemanalyses van en grondwateranalyses in de TGG op verschillende locaties langs de transecten laten dan ook zien dat de sulfaat- en natriumconcentraties het hoogst zijn onderaan het dijklichaam (locaties b en c van de transecten). De veenlaag onder de TGG onderaan het dijklichaam (locaties b en c in transecten) blijkt tot 40cm diep reeds verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties te bevatten in vergelijking met het omliggende veen. Stoffen die uit de TGG laag spoelen trekken dus ook de onderliggende veenlaag in.

*Hier wordt in definitieve versie nog ingegaan in hoeverre uitspoeling uit de TGG ook andere bodemlagen beïnvloed of kan gaan beïnvloeden in combinatie met hydrologische analyse*

In latere alinea's in de discussie wordt in meer detail ingegaan op de potentiële effecten van verhoogde uitspoeling van stoffen uit de TGG.

#### **4.2 Effecten van uitspoeling uit de TGG laag naar de omgeving**

De uitspoeling van hoge natrium- en sulfaat concentraties uit de TGG laag in de onderliggende veenlaag en het grond- en oppervlaktewater kan allerlei gevolgen hebben. Verhoogde natrium- en sulfaat concentraties kunnen leiden tot zowel biogeochemische, fysische en ecologische effecten.

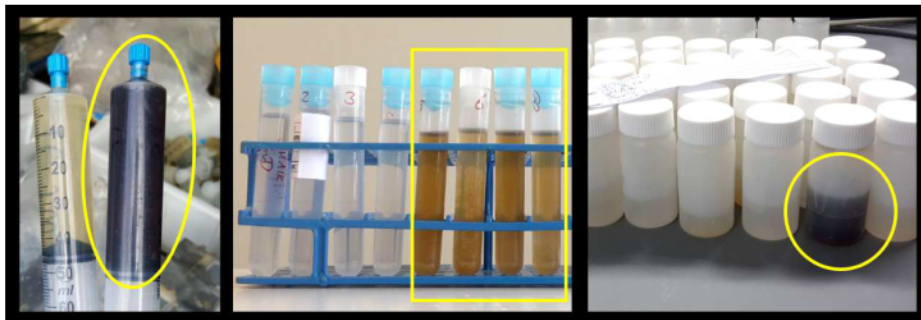
##### **4.2.1 Kation-mobilisatie**

Sterk verhoogde natriumconcentraties leiden tot een plotselinge sterke verhoging van positief geladen kationen in de bodem ( $\text{Na}^+$ ) wat kan leiden tot mobilisatie van aan het kation adsorptiecomplex van de bodem gebonden kationen. Zo blijkt uit meerdere studies dat bij verhoogde natriumconcentraties andere kationen gemobiliseerd worden, hierbij moet dan gedacht worden aan bijvoorbeeld calcium en andere kationen maar ook ammonium bijvoorbeeld (Rysgaard et al. 1999, Weston et al. 2006, 2010). De mate van kationmobilisatie is afhankelijk van de hoeveelheid kationen die aan het kation adsorptiecomplex van de bodem gebonden zijn. Zo zijn er kleibodems over het algemeen meer kationen gebonden dan in veenbodems (Van Dijk et al. 2015). Ook in het huidige onderzoek zijn er aanwijzingen dat dit proces een rol speelt. Zo is uit het kolomexperiment gebleken dat de calcium- en ammoniumconcentraties in de veenbodem op korte termijn sterk verhoogd zijn onder invloed van de uitspoeling van natrium uit de TGG. Deze uitspoeling leidt er toe deze concentraties op de langere termijn juist verlaagd zijn, t.o.v. de controle veenbodem. Er is dus sprake van kationmobilisatie en een verhoogde beschikbaarheid op de korte termijn wat weer leidt tot uitspoeling en een verlaagde beschikbaarheid op langere termijn.

##### **4.2.2 Verhoogde pH & mobilisatie van reactief organisch materiaal**

Naast verhoogde kationconcentraties leidt uitspoeling uit TGG ook tot een sterk verhoogde pH. De sterk verhoogde pH in de bodem kan potentieel ook leiden tot verhoogde mobilisatie van DOC (reactief organisch materiaal) en de hieraan gebonden metalen (Dijkstra et al. 2009). Hierdoor

wordt ook de verhoogde DOC concentratie en kleuring van de monsters verklaart. Uit de resultaten uit het kolomexperiment komt dan ook een vergelijkbaar verband tussen de mobilisatie van DOC en Arseen, wat erop zou kunnen duiden dat dit proces speelt (zie figuur 30). Dit effect is zowel waargenomen in de veenlaag van het kolomexperiment onder invloed van TGG, als in het bodemporiewater in de veenlaag direct onder de TGG in de veldtransecten en uit de waterextracten van veenbodems onder de TGG laag (zie figuur 30). Deze observaties worden ondersteund met het resultaat van verhoogde DOC concentraties in de veenbodems welke beïnvloed zijn door TGG (humuszuren is een van de componenten van DOC).



Figuur 30: Kleuring van het grondwater in de veenbodem onder invloed van uitspoeling van TGG, in alle drie de foto's zijn foto's weergegeven van grondwatermonsters uit de veenbodem welke wel (de donkere) of niet (de heldere) beïnvloed zijn door uitspoeling uit TGG. Foto's G. van Dijk en J. Graafland.

#### 4.2.3 Beschikbaarheid van nutriënten in de bodem

De combinatie van verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties in bodems kan de beschikbaarheid van nutriëntconcentraties in de bodem sterk beïnvloeden. Zo kan de stikstof cyclus direct beïnvloed worden en kunnen verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties processen zoals nitrificatie (Rysgaard et al. 1999, Magalhães et al. 2005, Noe et al. 2013) en denitrificatie (Giblin et al. 2010, Marks et al. 2016) beïnvloeden. Daarnaast kan de fosfor cyclus in nog veel grotere mate beïnvloed worden door verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties via de interactie met bijvoorbeeld ijzer en calcium wat afhankelijk van de lokale condities kan leiden tot een stijging van de fosforconcentratie (Portnoy & Giblin 1997, Lamers et al. 2002, Weston et al. 2006) ofwel een daling van de fosforconcentratie (Baldwin et al. 2006, Van Diggelen et al. 2014, Van Dijk et al. 2015) in de bodem. Omdat de nutriëntconcentraties in het dijklichaam zelf geen belangrijk onderdeel van dit onderzoek vormen, wordt hier niet in meer detail op ingegaan, wel worden de potentiële consequenties van natrium en sulfaat op het oppervlaktewater in detail besproken in [alinea 4.2.4](#).

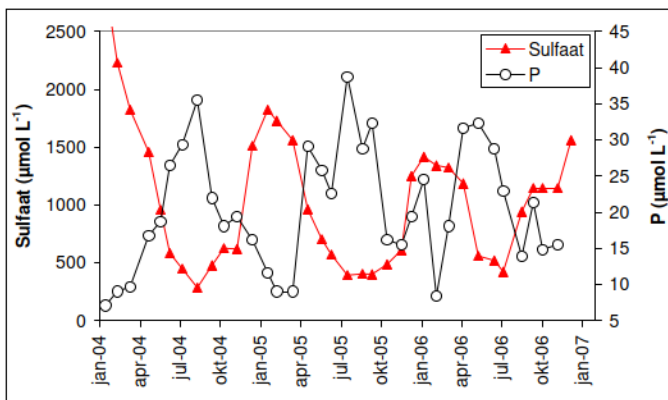
#### 4.2.4. Consequenties van verhoogde sulfaat uitspoeling en hieruit volgende sulfaatbelasting op oppervlaktewater

De hoge sulfaatbelasting van het oppervlakte water die het gevolg kan zijn van de uitspoeling van sulfaat uit het dijklichaam kan tot een ernstige verslechtering leiden van de waterkwaliteit in ontvangende sloten. Dit heeft deels te maken met de hogere ligging van de dijk ten opzichte van de omgeving. In veenweide sloten vindt normaal gesproken een verhoogde uitspoeling van sulfaat plaats in de nazomer en de winter. Sulfaat komt in de percelen vrij als gevolg van veenoxidatie waarbij gereduceerd zwavel dieper in het veen wordt geoxideerd tot sulfaat (Vermaat e.a., 2013; Smolders e.a., 2013). Wanneer in de nazomer het waterpeil in de percelen stijgt en hoger komt dan het waterpeil in de sloten, spoelt sulfaat uit naar het oppervlaktewater.

Sulfaatreductie is een microbiële proces en wordt sterk beïnvloed door de watertemperatuur (Smolders e.a., 1995). In het voorjaar stijgen de temperaturen en wordt sulfaat in het oppervlaktewater in de anaerobe onderwaterbodem gereduceerd tot sulfide. Sulfaat functioneert

hierbij als alternatieve electronenacceptor voor de afbraak van organisch materiaal en bij deze afbraak komt in de onderwaterbodem ammonium, fosfor en sulfide vrij. Sulfide kan direct de beschikbaarheid van fosfor verhogen omdat het interacteert met ijzer en fosfaat. Zo bindt sulfide sterk aan ijzer waardoor fosfaat minder goed aan ijzer(hydr)oxiden kan worden geadsorbeerd en het beschikbaar komt in de onderwaterbodem. We zien dan ook dat in de zomermaanden de sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater afneemt (sulfaatreductie en minder uitspoeling) en de fosforconcentratie van het oppervlaktewater toeneemt (fosfaatmobilisatie uit het sediment, samenhangend met sulfaatreductie). Omdat de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater over het algemeen in de zomer afneemt neemt uiteindelijk ook de sulfaatreductie in het sediment af omdat de sulfaatbeschikbaarheid beperkend wordt (zie figuur 31). Uitspoeling van sulfaat vanuit het dijklichaam kan er toe leiden dat de sulfaatbeschikbaarheid in het oppervlaktewater hoog blijft in de zomer. Hierdoor kan er in het sediment veel meer sulfaat worden gereduceerd tot sulfide waardoor ook meer ammonium, fosfor en sulfide wordt vrijgemaakt in de onderwaterbodems. Via nalevering komt fosfor en ammonium in de waterlaag terecht waardoor de groei van algen en kroos verder kan toenemen. Sulfide is giftig voor veel wortelende waterplanten waardoor deze slecht kunnen groeien (Lamers et al. 2013). Wanneer sulfide in de waterlaag terecht komt wordt het geoxideerd tot sulfaat waarbij zuurstof wordt geconsumeerd. Samen met de excessieve groei van algen en/of kroos kan dit leiden tot anaerobie van de waterlaag. Hierdoor kan ook ammonium ophopen in de waterlaag waarbij bij een hoge pH ook het zeer giftige ammoniak kan worden gevormd. Als gevolg van sulfaatreductie neemt ook de pH en alkaliniteit van het water meestal sterk toe waardoor de kans op ammoniakvorming groter wordt. Tevens is uit de bodem analyses en de resultaten van het kolomexperiment gebleken dat uitspoeling van water uit de TGG laag de pH kan verhogen, wat potentieel de pH van het oppervlaktewater en hiermee de kans op ammoniak vorming nog verder zou kunnen vergroten. Als gevolg van de combinatie van sulfide- en ammoniaktoxiciteit en lage zuurstofconcentraties kunnen veel organismen in de sloten sterven.

Voor sulfaatreductie is niet alleen sulfaat nodig maar ook reactief organische materiaal. Een (toename van) de groei van algen en kroos in het water kunnen hiervoor zorgen. Uit de resultaten van het huidige onderzoek blijkt dat de hoge pH van het uitspoelend water uit de TGG laag ook kan leiden tot uitspoeling van DOC (opgelost organisch koolstof) het dijklichaam. Deze uitspoeling van DOC kan de beschikbaarheid van reactief organisch materiaal en hiermee sulfaatreductie verhogen.



Figuur 31: Sulfaat- en fosfaatconcentraties voor de Tiendwegwetering (nabij de Hoenkoopsebuurtweg), gemonitord door HDSR over verschillende jaren (januari 2004-november 2006) (uit van Diggelen e.a., 2007).

Een verhoogde belasting van het oppervlaktewater met sulfaat door uitspoeling vanuit het dijklichaam kan dus leiden tot aanzienlijke waterkwaliteitsproblemen. Het afvangen en afvoeren van het water dat uitspoelt uit de dijk kan een oplossing zijn om deze problemen te

voorkomen/mitigeren. Voor sulfaat bestaan geen duidelijke grenswaarde, maar uit de literatuur blijkt dat boven een zomerwaarde van 30-50 mg/l (300-500 µmol/l) veel bijzondere soorten waterplanten verdwijnen en dat bij zomergemiddelde sulfaatconcentratie 100 mg/l er een zeer sterke afname is van de soortenrijkdom. In het onderzoeksgebied zijn de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater al hoog (200 mg/l in maart!!), ook in de referentiesloot, dus zonder dat er sprake is van uitloging van sulfaat vanuit de dijk. Hierdoor kunnen de gevolgen van de verhoogde sulfaatuspoeling mogelijk meevallen, immers de waterkwaliteit is al niet best, zeker wanneer er doorgespoeld wordt om het uit de dijk lekkende sulfaat af te voeren. De uitspoeling van sulfaat zou tot een veel sterkere verstoring van de waterkwaliteit en dus het aquatische ecosysteem kunnen leiden, Indien een soortelijk dijklichaam in een sulfaatarmere omgeving zou leggen.

#### **4.2.5 Consequenties van verhoogde natrium uitspoeling en hieruit volgende natriumbelasting op oppervlaktewater**

Net als sulfaat is natrium een element dat van nature ook in oppervlaktewater voorkomt. Verhoogde natriumconcentraties worden van nature in brak en zout grond- en oppervlaktewater aangetroffen. Zoet grond- en oppervlaktewater bevat in de regel maximaal maar 120 mg Na/l. De in het huidige onderzoek aangetroffen concentraties in het oppervlaktewater en met name in het water dat uit de TGG laag komt bevat veel hogere natriumconcentraties (tot wel xxx mg Na/l), dit komt overeen met xxx sterk brak water/zeewater. Sterk verhoogde zoutconcentraties kunnen tot fysiologische stress leiden bij organismen die leven in het oppervlakte en in de waterbodem. De tolerantie van waterplanten voor (verhoogde) zoutconcentraties verschilt per soort. Het element natrium speelt een essentiële rol bij allerlei fysiologische processen in organismen en is daarmee in lage concentraties van essentieel belang voor organismen. In natuurlijke omstandigheden zal de natriumconcentratie echter zelden limiterend zijn, eerder juist te hoog, met fysiologische stress als gevolg. Natrium- ofwel zouttolerantie is soort specifiek. De voornaamste aanpassing van waterplanten bijvoorbeeld tegen te zout water zijn het reguleren van de interne osmotische druk. Juist sterk schommelende natriumconcentraties (zowel in absolute concentraties als de fluctuaties in deze ionconcentraties door de tijd), zoals in het geval van periodieke uitspoeling uit het dijklichaam na regenval ofwel in brakwater milieus, zijn voor veel planten een probleem en slechts een beperkte groep organismen heeft zich hieraan kunnen aanpassen. Hoofdzakelijk zijn er twee problemen waar planten onder verhoogde en/of fluctuerende natriumconcentraties mee te maken krijgen: osmotische stress en ion-specifieke stress, bij hogere concentraties overheerst de osmotische stress t.o.v. de ion-specifieke stress (Munns et al., 2008; Rengasamy et al., 2010). De biodiversiteit in brakke milieus is dan ook beduidend lager dan in zoete of zoute milieus (Remane, 1958). Naast deze directe effecten op organismen kan een verhoogde natriumconcentratie in het oppervlaktewater leiden tot mobilisatie van aan het kationadsorptiecomplex gebonden kationen in de venige slootbodem, waaronder ook ammonium (Van Dijk et al. 2015). Deze door kationen gemobiliseerde ammonium fractie kan, zeker in combinatie met een pH stijging, leiden tot anaerobie en mogelijk ammoniakvorming (zie [aline 4.2.3](#) en [4.2.4](#)).

### **4.3 Effecten van uitspoeling uit TGG op afbraakprocessen en structuur in de onderliggende veenlaag**

#### **4.3.1 Effecten van uitspoeling uit TGG op afbraakprocessen in de veenlaag**

Uit alle verschillende onderdelen van het huidige onderzoek komt naar voren dat zouten die uitspoelen uit de TGG laag gemakkelijk de veenlaag kunnen intrekken en hier de biogeochemische processen en de afbraak van organisch materiaal kunnen beïnvloeden. Op basis van eerder

onderzoek is ook te verwachten dat een combinatie van sterk verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties gevolgen heeft op de biogeochemische processen en de mineralisatie van veenbodems. Los van de effecten van verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties op de mobilisatie en beschikbaarheid van nutriënten (welke in meer detail besproken wordt in paragraaf xxx) hebben deze ook directe consequenties op afbraakprocessen in veenbodems. Een verhoogde natriumconcentratie kan fysiologische effecten hebben op de micro-organismen die voor de veenafbraak verantwoordelijk zijn. Sulfaat kan echter als alternatieve electronenacceptor grote effecten hebben op afbraak gerelateerde processen via sulfaatreductie. Uit het onderzoek komt naar voren dat de sulfaat uitspoeling uit de TGG laag de sulfaatreductie in de veenlaag (in ieder geval op korte termijn) stimuleert. Uit de bodemanalyses is gebleken dat het onderliggende veen van nature reeds relatief rijk is aan zwavel. Uit het incubatie experiment blijkt dat de toevoeging van TGG in de veenbodem leidt tot een toename van de sulfaatreductie en de hieruit voortkomende stijging van de sulfideconcentratie. Tevens blijkt uit het huidige onderzoek dat de interacties tussen de sulfaat en de koolstofcyclus als gevolg van de uitspoeling uit de TGG laag complex zijn. Beide processen kunnen tegelijkertijd plaatsvinden en elkaar beïnvloeden. Er zijn vele studies in de literatuur die aantonen dat een verhoogde sulfaatconcentratie de sulfaatreductie verhoogd de methaanproductie kan verlagen. Zo kan een verhoogde sulfaatconcentratie de methanogenese verlagen (o.a. Weston et al. 2006) door (1) sulfaatreductie energetisch gunstiger is dan methanogenese (Segers, 1998) waardoor de sulfaatreducerders een competitief voordeel hebben op de consumptie van organische verbindingen zoals acetaat (Lamers et al. 1998, Smolders et al. 2002) en (2) een verhoogde sulfaatconcentratie via sulfaatreductie leidt tot verhoogde concentraties van het toxische sulfide wat weer fysiologische gevolgen kan hebben voor de methanogenen (Chambers et al. 2011; Lamers et al. 2013). Een verhoogde sulfaatconcentratie staat erom bekend de mineralisatie in veenbodems en de kooldioxide te verhogen (Weston et al. 2006, Craft et al. 2009, Chambers et al. 2011, Weston et al. 2011, Marton et al. 2012). Uit de literatuur blijkt echter ook dat processen vaak interacteren en dat het combinatie effect van een verhoogde sulfaat- en natriumconcentratie lastig te voorspellen is. Sommige studies melden dan ook een verhoogde afbraak en koolstofemissies terwijl andere juist een verlaging waarnemen (Bartlett et al. 1987, Poffenbarger et al. 2011, Weston et al. 2014, Vizza et al. 2017). Kortom de effecten zijn lastig te voorspellen en ook afhankelijk van de lokale condities. Zo moet ook binnen de huidige studie niet vergeten worden dat het hier gaat om een reeds oudere veenbodem, welke reeds vele jaren is blootgesteld aan anaerobe afbraakprocessen en waar dus nu voornamelijk nog de relatief slecht afbreekbare verbindingen in aanwezig zijn. Daarnaast betreft het ook een veenbodem welke reeds relatief zwavelrijk is. De experimenten tonen aan dat de sulfaatreductie hoger wordt indien het veen door meer TGG beïnvloed wordt. De in alle behandelingen waargenomen daling in de sulfideconcentratie zou deels verklaard kunnen worden door een verlaagde productie in combinatie met neerslag met ijzer deeltjes ((Lamers et al., 2002b; Smolders et al. 2006, Reddy and DeLaune 2008). Uit de resultaten van dit experiment kwam al snel naar voren dat er sprake is van een complexe interactie van de (microbiële) biogeochemische processen. Door de invloed van TGG wordt zowel de pH, als de beschikbaarheid van verscheidende elektrodenacceptoren, en reactief organisch materiaal beïnvloed Omdat er binnen het incubatie-experiment de uiteindelijke netto resultante van een interactie van de verschillende processen gemeten wordt kunnen de achterliggende deelprocessen maar ten dele achterhaald worden. Een opmerkelijk resultaat is dat een geringe aanrijking van de veenlaag met uitspoeling (o.a. sulfaat) uit de TGG laag op korte termijn lijkt te leiden tot een remming van de mineralisatie van het veen. Door de complexiteit van alle processen die er spelen is het niet mogelijk hier een directe verklaring voor te geven. Fysisch paragraaf 4.3.2. Een extrapolatie van de binnen het huidige onderzoek verkregen resultaten naar effecten op de lange termijn en potentiële risico's voor de dijkstabiliteit zijn dan ook niet te maken.

#### 4.3.2 Fysische effecten van uitspoeling uit TGG op de veenlaag i.r.t. de bodemstructuur

Veenbodems staan bekend om de eigenschap dat ze zeer heterogeen kunnen zijn. Door de combinatie van een verschillende ontstaansgeschiedenis, de plantensamenstelling tijdens de vorming van het veen en de verschillende mate van veenafbraak in de eeuwen erna, kan een veenbodem in de diepte sterke verschillen vertonen in poriegrootte, structuur en doorlatendheid (o.a. Boelter, 1969, Chason & Siegel, 1986, Stofberg et al. 2016). Het is bekend dat verhoogde zout- en sulfaatconcentraties afbraakprocessen in veenbodems kunnen beïnvloeden (zie alinea xxx in het huidige hoofdstuk), deze veenafbraak processen kunnen echter ook weer potentiële gevolgen hebben voor de waterdoorlatendheid in de veenbodem (Baird et al. 2003, Strack et al. 2005). Daarnaast kunnen sterke stijgingen in ionconcentraties ook fysische processen beïnvloeden, zoals de poriegrootte in de veenbodem, de dichtheid van het grondwater (zouter water is zwaarder) en de flocculatie van zwevende deeltjes, zoals humuszuren (Mehnert & Jennings 1985, Ours et al. 1997, Comas & Slater 2004, Kettridge & Binley 2010)). De effecten van deze combinatie van fysische en biogeochemische processen is locatie specifiek en hiermee lastig te voorspellen, duidelijk is echter wel dat deze effecten kunnen leiden tot hydrologische effecten op de langere termijn. Zo is uit recent onderzoek gebleken dat verhoogde zoutconcentraties in anaerobe veenbodems op langere termijn door een combinatie van fysische en biogeochemische processen de waterdoorlatendheid kan verhogen (Van Dijk et al. 2017). Binnen het huidige onderzoek is er geen specifiek onderzoek verricht naar de fysische gesteldheid en structuur van de veenbodem en de mogelijke consequenties van uitspoeling uit TGG hierop, en kunnen hier dus ook geen harde uitspraken over worden gedaan. Resultaten uit het kolomexperiment lijken er echter wel juist op te duiden dat de doorlatendheid in de veenlaag wordt beïnvloedt onder invloed van TGG in vergelijking met de controle veen behandeling. Op basis van grove doorlatendheidsmetingen in het kolomexperiment blijkt dat de waterdoorlatendheid in de kolom met TGG juist xxx % lager is dan in de kolom zonder TGG. Op basis van deze resultaten is echter niet goed te zeggen of dit door potentiële verkitting in de veenlaag veroorzaakt wordt of door enkel de aanwezigheid van de TGG laag. Op basis van foto's en biogeochemische metingen blijkt echter wel dat de veenlaag in het kolomexperiment onder de TGG sterk beïnvloedt wordt en het lijkt (op basis van foto's) dat er fijne bodemdeeltjes uit de TGG laag in de veenbodem spoelen. Inspoeling van fijne bodemdeeltjes zou tot verkitting van bodemporiën en een verlaagde waterdoorlatendheid in de veenlaag kunnen leiden, wat waarschijnlijk de door de verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties verhoogde waterdoorlatendheid te niet doet. In een vervolgonderzoek zou er in meer detail gekeken kunnen worden naar de effecten van de combinatie van uitspoeling van natrium en sulfaat en fijne bodemdeeltjes op de waterdoorlatendheid en fysische eigenschappen van de veenbodem.

**Commented [ ]:** Er zijn simpele doorlatendheidsmetingen ingezet. Het zou waardevol zijn dit in de bodems van het kolom experiment nog in meer detail te onderzoeken (zie aanbevelingen voor vervolg onderzoek)



## 5. Conclusies & Aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn kort per onderzoeksvraag de uit het onderzoek voortkomende resultaten beschreven. Voor meer detail wordt verwezen naar de conclusie kaders onderaan elke paragraaf van hoofdstuk 3. Na het overzicht van de conclusies worden enkele aanbevelingen gegeven.

### 5.1 Conclusies

De doelstelling van het onderzoek betrof:

*Het doel van het huidige onderzoek was om de chemische samenstelling van en uitspoeling uit de opgebrachte thermisch gereinigde grond vast te stellen en te onderzoeken hoe de uitspoeling van stoffen uit deze laag biogeochemische processen in de omgeving kan beïnvloeden en of dit potentiële risico's met zich meebrengt voor de dijkveiligheid.*

Op basis van deze doelstelling zijn de onderstaande onderzoeksvragen en onderzoeksresultaten voort gekomen;

#### A. **Wat is de chemische samenstelling van het opgebrachte materiaal en de onderliggende bodemlagen?**

Het in het dijklichaam opgebrachte TGG blijkt qua (chemische) samenstelling sterk te verschillen van de reeds aanwezige bodemtypen (klei, veen en zand). De TGG heeft een relatief hoge dichtheid en bestaat uit een mengsel van zeer grove kiezels tot erg fijn materiaal. De opgebrachte TGG overschrijdt voor de elementen xxx en xxx de achtergrondwaarde voor xxx. Tevens bevat de TGG in vergelijking met andere bodemtypes hoge totaal-Ca concentraties en zeer hoge gemakkelijk uitspoelbare natrium- en sulfaatconcentraties. Daarnaast is de pH van het uit de TGG spoelende water onnatuurlijk hoog, Deze kan oplopen tot boven de 11,5. Op basis van het huidige onderzoek kan niet verklaard worden hoe de hoge natriumsulfaatconcentraties in de TGG terecht komen. Zeer waarschijnlijk blijft het natriumsulfaat achter uit het verbrande asfalt.

#### B. **Welke consequenties heeft de samenstelling van het materiaal op de uitspoeling van zwavel, zouten en zware metalen naar de omgeving?**

Uit het huidige onderzoek komt zowel uit de bodem- en grondwateranalyses langs de transecten in het veld als uit de laboratoriumexperimenten dat TGG leidt tot een (forse) uitspoeling van natrium en sulfaat naar de omgeving. Andere elementen welke ook uit de TGG spoelen betreffen o.a. calcium, kalium, en zware metalen, xxxx. In hoeverre overschrijdt dit de norm xxxx. Verhoudingsgewijs blijkt dat met name natrium en sulfaat gemakkelijk en in hoge concentraties uit de TGG uitspoelen. Dit leidt ertoe dat de plaatsing van TGG in het dijklichaam lokaal leidt tot een hoge belasting van natrium en sulfaat naar de omgeving, richting het oppervlaktewater en richting diepere bodemlagen en het grondwater. Uit het onderzoek blijkt tevens dat de uitspoeling uit de TGG gemakkelijk in de onder het dijklichaam aanwezige veenlaag inspoelt. Dit speelt vooral op locaties waar de kleilaag tussen de TGG en de veenlaag ontbreekt (op de locatie van de voormalige watergang). Op basis van een serie bodemextracten is de inschatting gemaakt dat er in totaal ongeveer 550 mg sulfaat en 180 mg natrium per kilogram droge stof TGG uit kan spoelen. Hierbij

Commented [ ]: Bij alle onderdelen zijn de eerste conclusies opgenomen. We kunnen pas definitieve conclusies trekken en definitieve aanbevelingen doen wanneer alle resultaten beschikbaar en geanalyseerd zijn

Commented [ ]: Wordt nog aangevuld na aanvullende analyses en toetsing aan de norm

moet in acht genomen worden dat het binnen dit onderzoek gebruikte TGG reeds enkele maanden aan regenwater blootgesteld heeft gestaan en dat het dus waarschijnlijk om een onderschatting gaat van de uitspoeling uit verse TGG. De hoge sulfaatbelasting kan de ijzer/zwavel/fosfor kringlopen in het oppervlaktewater en de waterbodem sterk beïnvloeden en leiden tot (1) de vorming van het toxisch sulfide, (2) nutriënt-mobilisatie en (3) anaërobie, die alle drie en zeker in combinatie kunnen leiden tot een sterke verslechtering van de waterkwaliteit met negatieve gevolgen voor de biodiversiteit. Daarnaast kan een combinatie van de sterke natrium-belasting en pH verhoging leiden tot fysiologische stress voor zoetwater organismen en leiden tot stikstofmobilisatie en mogelijke ammoniaktoxiciteit.

**C. *In welke mate kan de uitspoeling van stoffen uit de thermisch gereinigde grond biogeochemische en ecologische processen in de omgeving beïnvloeden?***

De hoge mate van uitspoeling van natrium en sulfaat in combinatie met een hoge pH kan verscheidene consequenties hebben voor de omgeving. Ten eerste leidt dit logischerwijs tot een hoge natrium en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater en de onderliggende veenbodem (waar de kleilaag tussen de TGG en veenlaag ontbreekt). Deze belasting kan lokaal leiden tot erg hoge natrium en met name sulfaatconcentraties, wat een negatief kan hebben op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Het betreft hier echter wel een regio met veen- en kleibodems welke van nature reeds relatief rijk aan zwavel zijn door de voormalige invloed van de Zuiderzee.

**D. *In welke mate kan uitspoeling van sulfaat uit de thermisch gereinigde grond afbraakprocessen in de onder het dijklichaam aanwezige veenlaag beïnvloeden en welke potentiële risico's brengt dit met zich mee voor dijkveiligheid.***

Uit de resultaten van de veldtransecten en de laboratoriumexperimenten blijkt dat uitspoeling uit de TGG laag de biogeochemische processen in de onderliggende veenlaag in hoge mate beïnvloedt. Uitspoeling uit de TGG laag beïnvloedt een heel complex van biogeochemische processen welke ook onderling elkaar beïnvloeden. Zo wordt zowel de koolstofcyclus (mineralisatie, koolstofdioxide- en methanogenese) en de sulfaatreductie in hoge mate beïnvloedt en wordt er reactief organisch materiaal gemobiliseerd in combinatie met een pH verhoging. Maar tegelijkertijd kan het tijdens de methanogenese gevormde methaan weer geoxideerd worden en het tijdens de sulfaatreductie geproduceerde sulfide weer gebonden worden in de bodem. Al deze processen blijken tegelijkertijd plaats te vinden en beïnvloeden elkaar. Het netto effect van de combinatie van al deze processen is complex door de vele interacties. Samengevat lijkt een geringe aanrijking van de veenlaag met TGG te leiden tot een remming van de mineralisatie van het veen, ten minste op de korte termijn. Tevens komen er uit dit onderzoek indicaties naar voren dat uitspoeling vanuit TGG ook fysische effecten kan hebben op de onderliggende veenlaag en hier bijvoorbeeld de waterdoorlatendheid zou kunnen beïnvloeden. Door de complexe interacties tussen processen is een extrapolatie van de effecten van uitspoeling uit TGG op de veenafbraak op lange termijn met de huidige resultaten niet te mogelijk. Samengevat blijkt uitspoeling uit TGG op korte termijn grote effecten te hebben op biogeochemische processen, mineralisatie en fysische eigenschappen van de onderliggende veenlaag. In hoeverre dit op langere termijn potentiële risico's met zich mee brengt voor de dijkveiligheid is lastig te voorspellen op basis van kortdurende experimenten.

## **5.2 Aanbevelingen**

Op basis van de huidige onderzoeksresultaten blijkt dat de aanwezigheid, en met name uitspoeling van natrium en sulfaat uit de TGG laag grote effecten kan hebben op biogeochemische en ecologische processen in het omringende oppervlaktewater en onderliggende veenlaag. Op basis van de resultaten en conclusies van het huidige onderzoek zijn tevens enkele aanbevelingen

voortgekomen te weten (1) hoe om te gaan met de huidige onderzoekslocatie, (2) hoe om te gaan met de productie van de toekomstige toepassing van TGG en (3) mogelijk vervolgonderzoek.

### **5.2.1 Hoe om te gaan met de huidige onderzoek locatie**

Uit het huidige onderzoek komen duidelijke effecten naar voren van de uitspoeling uit de TGG laag op biogeochemische processen en mineralisatie in de onderliggende veenlaag en de uitspoeling van met name natrium en sulfaat op het omringende oppervlaktewater.

Ondanks dat er duidelijke effecten van uitspoeling uit de TGG laag op de onderliggende veenlaag naar voren komen (verstoring koolstofcyclus, DOC mobilisatie en sulfaatreductie), is het uiteindelijke netto effect van de interacties tussen deze processen op lange termijn zeer complex. In hoeverre de uitspoeling uit TGG uiteindelijk potentiële risico's met zich mee brengt voor de dijkveiligheid is daarom niet te voorspellen. Wel wordt aangeraden om in het kader van de veiligheid van het dijklichaam de onderliggende veenlaag van de TGG te isoleren. Op deze manier wordt voorkomen dat verdere uitspoeling uit de TGG laag de onderliggende veenlaag (en hiermee de dijkveiligheid) op langere termijn negatief zou kunnen beïnvloeden. Hiervoor zijn meerdere opties zoals een kleilaag aanleggen tussen de TGG laag en de onderliggende veenlaag op de locatie van de voormalige watergang, ofwel de hele TGG laag in zijn geheel verwijderen.

De uitspoeling van natrium en sulfaat vanuit het dijklichaam op het omringende oppervlaktewater kan gemitigeerd worden door de doorspoeling in deze sloten hoog te houden en te zorgen dat dit water niet in smallere en stilstaande organisch rijke watergangen in de achterliggende polder terechtkomt. Tevens kan door regelmatig kroos en algen uit de sloten te verwijderen organische stof (en tevens nutriënten) uit het systeem worden verwijderd. Hierdoor kan de beschikbaarheid van reactief organisch stof in de bodems worden verlaagd waardoor er ook minder sulfaatreductie kan plaatsvinden bij een hoge sulfaatbeschikbaarheid en er minder sulfide en ammonium wordt gevormd in de onderwaterbodems van de sloten. Dit kan een belangrijke mitigerende maatregel zijn.

### **5.2.2 Productie van en toekomstige toepassing van TGG**

Op basis van de in het huidige onderzoek verkregen resultaten blijkt het gebruik van TGG te kunnen leiden tot een grote belasting van de omgeving met natrium en sulfaat op, via zowel het oppervlaktewater als het grondwater. Gezien de grote potentiële negatieve ecologische effecten van met name sterk verhoogde sulfaatconcentraties wordt dan ook aangeraden om TGG (indien TGG zo rijk blijft aan gemakkelijk uitspoelbaar natrium en sulfaat) in de toekomst in ieder geval niet toe te passen op locaties waar dit tot grote problemen kan leiden, zoals 'van nature' sulfaatarme wateren

Een optie kan zijn om in de toekomst ervoor te zorgen dat de gemakkelijk uitspoelbare fractie van natrium te sulfaat in TGG te verlagen. Uit het huidige onderzoek komt naar voren dat natrium en sulfaat dat in de in de TGG in hoge concentraties voorkomt gemakkelijk uitspoelt. Dit is gunstig omdat doormiddel van het toevoegen van een extra reinigingsstap (in de vorm van spoelen) in het productieproces van TGG het meeste sulfaat en natrium verwijderd kan worden en de mate van uitspoeling van sulfaat, natrium en andere stoffen sterk verlaagd zou kunnen worden.

### **5.2.3 aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Ondanks dat het huidige onderzoek vele vragen heeft kunnen beantwoorden en effecten heeft kunnen aantonen zijn er nog enkele onzekerheden welke met mogelijk vervolgonderzoek verkleind zouden kunnen worden.

- Er wordt aangeraden de effecten van de uitspeling uit de TGG laag in het dijklichaam op langere termijn te volgen. Dit kan gedaan worden door (1) op aanvullende tijdstippen een bemonstering te verrichten van de reeds geplaatste ceramische cups, peilbuizen en oppervlaktewater, in eerste instantie bijvoorbeeld in augustus, oktober en december en eventueel bemonsteringen op langere termijn. En door de grondwaterstanden in de reeds geplaatste peilbuizen gedurende deze gehele monitoringsperiode te blijven monitoren.
- Er wordt aangeraden de reeds in het kolomexperiment verkregen bodems te benutten voor aanvullende experimenten zoals (1) het nauwkeurig meten van de verschillen in waterdoorlatendheid van de veenbodems welke wel en niet door TGG beïnvloedt zijn. Dit zou gedaan kunnen worden door eerst de bovenliggende lagen (TGG ofwel zilverzand) te verwijderen en er vervolgens een vaste hoeveelheid water op te zetten en in detail te monitoren met welke snelheid het water weg zijgt onder gecontroleerde condities (met behulp van divers) om hiermee een inschatting te kunnen maken van verschillen in de water doorlatendheid. Met behulp van deze metingen kan een goed beeld verkregen worden hoe uitspoeling uit de TGG laag de doorlatendheid in de onderliggende veenlaag beïnvloedt. Daarnaast wordt aangeraden op (2) de reeds in het kolomexperiment verkregen bodems te benutten voor aanvullende incubatie-experimenten. Binnen deze incubatie experimenten kunnen de effecten van de over een periode van enkele maanden onder gecontroleerde condities wel en niet met uitspoeling uit TGG beïnvloedde veenbodems op afbraak gerelateerde biogeochemische processen onderzocht worden. Met behulp van deze gegevens kan waarschijnlijk een betere inschatting gemaakt worden van de lange termijneffecten van uitspoeling uit de TGG laag op mineralisatie processen in de veenbodem.
- Aanvullend onderzoek aan veenaafbraak op locatie
- Er wordt aangeraden om op twee locaties in een gedetailleerd diepte profiel, bijvoorbeeld elke 5cm de veenlaag direct onder de TGG laag (op locatie) te bestuderen m.b.v. ceramische cups om een goed in beeld te krijgen van in hoeverre en tot welke diepte de uitspoeling uit de TGG laag de onderliggende veenlaag reeds beïnvloedt.
- Om de effecten van de combinatie van verhoogde natrium- en sulfaatconcentraties te onderzoeken zouden er (ofwel in het veld ofwel onder gecontroleerde laboratorium condities) experiment verricht kunnen worden in enclosures met lokale waterbodem met en zonder toevoeging van extra natrium en sulfaat.
- M.b.t. de productie van TGG zou onderzocht kunnen worden wat precies de bron van de verhoogde natrium en sulfaat concentraties zijn en hoe de TGG zo geproduceerd zou kunnen worden dat hieruit minder tot geen natrium en sulfaat meer uitspoelt.

**Commented [ ]:** Indien alle gegevens van de incubatie-experimenten uitgewerkt zijn kan pas goed ingeschat worden welke aanvullend onderzoek aan de veenaafbraak op locatie ingezet zou kunnen worden

## 6. Literatuur

Smolders A.J.P., Nijboer R.C. & Roelofs J.G.M., 1995. Prevention of sulphide accumulation and phosphate mobilization by the addition of iron(II) chloride to a reduced sediment: an enclosure experiment. *Freshwater Biology* 34: 559-568.

Vermaat J.E., Harmsen J., Hellmann F.A., Van der Geest H.G., de Klein J.J.M., Kosten S., Smolders A.J.P., Verhoeven J.T.A., Mes R.G. & Ouboter M. 2016. Annual sulfate budgets for Dutch lowland peat polders: The soil is a major sulfate source through peat and pyrite oxidation. *Journal of Hydrology* 533: 515-522.

Smolders A.J.P., Van Diggelen J.H.M., Geurts J.J.M., Poelen M.D.M., Roelofs J.G.M., Lucassen E.C.H.E.T. & Lamers L.P.M. 2013. Waterkwaliteit in het veenweidegebied; De complexe interacties tussen oever, waterbodem en oppervlaktewater. *Landschap* 30(3): 145-153.

Van Diggelen J., Geurts J.J.M., Smolders A.J.P. & Lamers L.P.M. (2007). "Onderzoek Veenweidegebied HDSR" Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden. Onderzoekcentrum B-WARE rapport 2007-08.

Lamers L.P.M., Goverts L.L., Janssen I.C.J.M., Geurts J.J.M., Van der Welle M.E.W., van Katwijk M.M., Van der Heide T., Roelofs J.G.M. & Smolders A.J.P. 2013. Sulfide as a soil phytotoxin - a review. *Frontiers in Plant Physiology* 4:268. doi: 10.3389/fpls.2013.00268.

Vermaat J., Harmsen J., Hellman F., Van der Geest H., de Klein J., Kosten S., Smolders A., Verhoeven J., Mes, R. & Ouboter M. 2013. Sulfaatbronnen in het Hollandse veenlandschap. *Landschap* 30(1): 5-13.

Van Dijk et al 2015

Van Dijk et al 2017

Wordt nog verder aangevuld

## **Bijlage**

- I. **Bodemprofielen bodemboringen en locaties peilbuizen en ceramische cups**
- II. **Zijaanzichten transecten**
- III. **Tabellen met resultaten**
- IV. **Correlatie grafieken welke we niet in rapportage opnemen**
- V. **Etc.**



### III Resultaten

Tabel 3: Plaatsingsdieptes in cm onder maaiveld (mv) en type bodem van de ceramische cups (lysimeters) en peilbuizen; per raai en locatie.

	Locatie	Ceramische cup diepte (cm-mv)	Bodem	Locatie	Peilbuis diepte (cm-mv)	Bodem	
Raai 1	A	50	TGG				
		370	Veen				
	B	150	TGG				
		510	Veen				
	C	100	TGG				
		230	Veen				
		500	Zand				
D		Waterbodem					
Raai 2	A	95	TGG	E	350	Zand	
		380	Veen	F	120	Veen	
	B	210	TGG	F	350	Zand	
		350	Veen		G	250	Klei
		550	Zand	H	400	Veen	
	C	140	TGG		J	650	Zand
		300	Veen	500		Zand	
	D		Waterbodem				
	Raai 3	A	120	TGG			
280			Veen				
B		220	TGG				
		370	Veen				
C		250	TGG				
		350	Veen				
D	480	Zand					
D		Waterbodem					
Raai 4	A	140	TGG	F	170	Veen	
		500	Veen				450
	B	300	TGG		G	350	
		400	Veen				
	C	350	TGG		H	500	Veen
		430	Veen				
		520	Zand				
D		Waterbodem					
Raai 5	A	460	Veen				
	B	320	Veen				
	B	550	Zand				
	C	260	Veen				
	D		Waterbodem				



Tabel 4: Monsterdiepte (cm-mv), fractie drooggewicht (DW), vochtgehalte (%), massa (kg DW) per liter verse bodem (FW), organische stofgehalte (%) en gram FW per liter bodem, per monster.

Raai	Locatie	Bodem	Diepte monster (cm-mv)	Fractie DW	Vochtgehalte (%)	Kg DW/liter FW	OS-gehalte (%)	Gram FW / liter bodem
1	A	TGG	70-90	0,9	11,5	1,4	2,7	1562
		Klei	110-130	0,8	24,8	1,2	6,8	1642
		Klei	150-170	0,8	24,9	1,3	5,7	1730
		Veen	375-400	0,6	41,1	0,8	16,0	1348
	B	TGG	100-125	0,9	13,0	2,0	2,0	2283
		Veen	380-400	0,2	82,8	0,2	86,3	907
		Veen	400-420	0,2	80,6	0,1	67,7	798
		Veen	420-460	0,2	83,4	0,1	90,3	818
	C	TGG	70-90	0,8	15,2	1,9	2,1	2284
		Veen	205-225	0,2	82,6	0,2	81,4	904
		Veen	225-265	0,2	82,9	0,1	82,6	903
		Zand	475-500	0,8	18,8	1,5	0,2	1953
	D	Slib		0,3	69,2	0,4	16,9	1281
2	A	TGG	50-110	0,9	10,6	1,5	2,3	1719
		Klei	110-130	0,7	26,3	1,3	7,5	1792
		Klei	130-150	0,7	27,8	1,3	6,7	1850
		Veen	330-380	0,2	83,1	0,2	85,0	909
	B	TGG	100-240	0,9	12,3	1,4	3,6	1640
		Kleipuין	240-310	0,7	25,7	1,3	5,7	1810
		Veen	310-330	0,3	72,1	0,2	64,7	876
		Veen	330-350	0,3	74,7	0,2	67,7	869
	C	Zand	450-500	0,8	19,4	1,6	1,1	1998
		TGG	50-230	0,9	12,2	1,6	2,7	1909
		Klei	230-250	0,8	22,5	1,4	6,1	1802
		Klei	250-270	0,8	24,9	1,3	6,1	1679
	D	Veen	280-400	0,2	78,0	0,2	64,0	867
Slib			0,1	85,3	0,1	28,3	994	
3	A	TGG	70-160	0,9	10,2	1,4	2,8	1609
		Klei	160-180	0,8	23,9	1,4	5,0	1744
		Klei	180-200	0,8	21,8	1,5	3,9	1959
		Veen	260-290	0,3	72,3	0,3	49,2	963
	B	TGG	130-330	0,9	11,4	1,3	2,7	1515
		Veen	330-350	0,2	76,7	0,2	72,3	775
		Veen	350-370	0,2	80,7	0,2	86,7	776
	C	TGG	150-320	0,9	14,0	1,7	2,8	1893
		Veen	320-340	0,3	72,2	0,3	58,5	968
		Veen	340-360	0,2	78,8	0,2	75,1	956
	D	Zand	550-600	0,8	18,5	1,5	0,3	1867
		Slib		0,1	90,6	0,1	44,6	920
	4	A	TGG	80-140	0,9	12,9	1,3	2,4
Klei			140-160	0,7	25,9	1,3	7,6	1644
Klei			160-180	0,7	29,1	1,2	6,1	1755
Veen			480-520	0,2	78,0	0,2	71,6	831
B		TGG	80-350	0,8	15,6	1,7	2,6	1970
		Veen	350-370	0,2	78,5	0,2	68,6	883
		Veen	370-390	0,2	83,8	0,1	87,4	820
C		TGG	80-410	0,9	13,3	1,6	2,8	1783
		Veen	410-430	0,2	79,4	0,1	82,6	685
		Veen	430-450	0,2	80,3	0,2	75,8	775
D		Zand	500-650	0,8	18,8	1,5	0,3	1813
		Slib		0,2	84,6	0,2	38,6	959
5		A	Klei	250-270	0,8	22,9	1,5	4,9
	Klei		350-370	0,6	38,2	1,0	7,3	1572
	Veen		400-410	0,3	67,1	0,3	41,9	923
	Veen		430-450	0,2	80,5	0,1	80,9	797
	B	Klei	110-130	0,8	22,1	1,5	4,0	1890
		Klei	210-230	0,5	49,0	0,7	10,1	1353
		Veen	270-290	0,2	83,1	0,2	27,6	1045
		Veen	330-350	0,2	84,6	0,1	88,6	923
	C	Zand	600-652	0,8	16,3	1,6	0,1	1879
		Klei	80-90	0,7	25,6	1,3	5,7	1791
		Klei	160-175	0,4	55,3	0,6	15,8	1334
	D	Veen	210-230	0,2	80,1	0,2	74,0	917
		Veen	250-270	0,1	86,7	0,1	76,4	1043
Slib			0,3	70,5	0,3	17,1	1160	

Tabel 5: Totaalconcentratie per element in mmol/kg drooggewicht (DW), bepaald door middel van destructie.

Raai	Locatie	Bodem	Concentraties in mmol/kg DW										
			Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn
1	A	TGG	330,9	1133,9	215,9	41,7	191,5	16,3	93,2	15,7	83,3	69,1	2,0
		Klei	483,8	296,4	435,1	67,1	241,2	17,5	10,7	28,3	26,0	7,9	1,3
		Klei	462,5	182,7	407,8	58,9	237,3	16,9	0,0	21,9	6,2	7,6	0,9
		Veen	85,7	167,6	81,5	10,6	70,9	4,0	0,0	5,0	159,6	7,3	0,2
	B	TGG	350,2	943,0	187,6	48,6	167,1	5,9	159,2	16,8	122,3	103,0	2,4
		Veen	35,9	312,2	87,0	22,7	129,6	6,4	733,2	7,1	225,7	10,3	0,1
		Veen	56,2	449,6	113,0	14,1	165,5	8,8	452,4	10,5	151,2	12,7	0,3
		Veen	14,9	438,1	134,4	9,3	174,8	13,7	446,9	9,9	222,8	9,6	0,1
	C	TGG	318,8	1009,9	237,6	39,4	188,4	5,2	118,0	16,0	122,9	107,8	2,2
		Veen	21,5	378,7	98,1	46,0	136,1	9,4	1491,4	6,7	692,2	12,7	0,1
		Veen	26,3	416,5	109,5	16,5	178,8	10,0	588,8	9,6	313,6	14,6	0,1
	D	Zand	53,0	11,8	24,7	7,7	22,8	0,3	0,0	2,5	0,9	6,8	0,2
		Slib	491,5	361,1	299,7	74,8	228,0	6,1	4,7	15,1	251,5	10,0	0,8
2	A	TGG	320,3	787,0	181,2	42,5	154,5	6,0	34,5	13,7	85,1	101,3	3,2
		Klei	614,9	340,9	530,7	100,1	327,0	19,1	0,0	25,3	14,7	34,3	1,3
		Klei	571,3	275,4	494,8	84,7	307,6	14,7	0,0	19,6	8,0	51,4	1,1
		Veen	38,7	427,1	148,9	12,0	155,1	7,2	275,5	8,9	427,6	18,4	0,1
	B	TGG	347,1	893,1	211,3	50,9	161,6	6,6	191,6	15,4	142,4	80,9	4,6
		Kleipuין	402,0	668,0	291,6	57,0	168,0	10,3	54,6	27,1	44,7	29,6	2,0
		Veen	212,8	559,2	249,3	35,7	179,5	8,1	179,3	17,6	285,2	14,5	1,3
		Veen	197,8	643,3	240,6	34,7	176,1	7,2	206,0	17,4	296,3	20,1	1,3
	C	Zand	68,6	31,9	37,5	9,5	21,6	0,5	0,0	2,0	5,5	16,1	0,1
		TGG	356,6	923,6	184,5	49,5	178,3	6,8	121,1	15,9	125,5	114,0	2,0
		Klei	335,7	271,9	238,3	61,0	133,8	7,5	229,0	23,4	85,0	11,3	1,8
	D	Klei	426,7	363,4	325,2	65,1	184,1	12,2	45,4	22,6	35,2	29,4	1,7
		Veen	104,6	643,3	276,3	21,0	158,7	7,2	373,4	10,8	553,5	15,2	0,4
Slib		407,2	452,5	313,3	55,2	251,2	6,2	301,4	17,6	371,3	23,7	1,0	
Slib		407,2	452,5	313,3	55,2	251,2	6,2	301,4	17,6	371,3	23,7	1,0	
3	A	TGG	281,7	767,0	167,1	37,7	145,3	5,1	80,9	13,2	90,5	57,1	1,8
		Klei	499,3	336,7	409,8	71,1	285,3	13,9	0,0	18,7	10,6	41,7	0,9
		Klei	304,1	113,4	281,9	37,8	140,8	9,9	0,0	12,6	5,6	24,6	0,6
		Veen	139,5	314,9	281,8	21,3	141,2	10,2	28,4	7,8	421,5	20,0	0,3
	B	TGG	337,9	768,6	180,0	48,2	136,9	4,9	128,0	16,4	89,6	75,6	2,6
		Veen	33,0	423,6	125,4	25,3	177,9	4,6	1196,0	7,9	884,1	13,7	0,2
		Veen	29,0	377,8	107,9	8,2	195,2	4,9	282,6	6,8	534,6	5,4	0,0
	C	TGG	321,5	742,0	167,0	44,4	138,7	4,7	121,9	15,7	82,2	81,8	2,1
		Veen	237,2	576,8	235,7	51,3	164,3	9,7	1529,0	14,9	910,9	8,5	1,2
		Veen	70,9	462,5	219,6	20,6	201,5	4,8	1579,9	6,6	1175,5	9,8	0,4
	D	Zand	72,5	12,4	26,5	8,5	21,1	0,4	0,0	2,2	8,4	3,1	0,1
		Slib	287,2	418,7	229,2	43,1	185,1	4,1	143,4	18,5	324,7	5,0	0,8
	4	A	TGG	316,5	933,1	177,8	37,7	163,8	7,2	21,7	17,6	77,5	98,5
Klei			603,6	573,1	509,5	92,5	346,0	19,2	9,3	22,7	21,6	6,0	1,2
Klei			630,6	498,3	544,1	91,2	364,2	26,2	0,0	23,1	9,9	7,3	1,2
Veen			38,6	371,2	253,2	8,3	131,1	7,4	375,5	5,4	736,3	8,7	0,1
B		TGG	333,8	769,9	175,9	46,4	147,0	4,8	204,7	15,8	140,4	87,4	2,2
		Veen	81,0	573,1	322,0	15,6	101,6	6,1	132,2	9,5	851,8	17,9	0,5
		Veen	14,1	408,3	180,5	6,1	160,1	2,1	247,0	9,0	308,7	8,0	0,1
C		TGG	269,0	708,8	140,9	35,8	127,5	4,1	105,9	13,4	83,8	84,6	2,5
		Veen	46,0	415,3	220,9	19,4	168,6	2,6	749,1	9,5	562,6	10,1	0,3
		Veen	40,4	368,8	206,4	13,1	160,0	2,3	432,3	8,4	450,2	11,1	0,4
		Zand	44,9	147,1	25,5	6,6	27,4	0,6	0,0	2,4	1,5	3,6	0,1
D		Slib	407,1	687,6	281,8	60,5	209,2	6,7	246,0	27,2	193,0	8,0	2,0
		Slib	407,1	687,6	281,8	60,5	209,2	6,7	246,0	27,2	193,0	8,0	2,0
5	A	Klei	556,4	167,9	511,2	43,9	142,4	20,8	0,0	22,7	3,2	9,2	2,8
		Klei	509,9	606,6	478,7	85,3	287,3	19,8	0,0	18,9	115,6	8,4	1,3
		Veen	410,5	454,4	624,1	65,0	187,6	22,2	0,0	11,4	1534,4	9,9	0,8
		Veen	34,7	604,0	312,8	9,0	154,6	24,9	3,2	7,2	1218,5	18,0	0,1
	B	Klei	520,1	1188,9	328,4	38,1	326,6	14,9	0,0	14,5	6,9	7,8	0,9
		Klei	646,4	370,4	565,8	101,4	320,5	10,7	0,0	16,4	740,6	8,0	1,2
		Veen	25,3	431,7	766,2	9,2	167,6	15,3	0,0	6,5	2234,9	12,3	0,1
		Veen	40,8	527,2	90,0	10,7	284,5	14,4	1,3	8,9	444,7	13,8	0,1
	C	Zand	45,3	11,8	23,7	5,7	18,9	0,3	0,0	1,8	0,8	6,4	0,1
		Klei	503,4	510,5	421,8	79,6	312,4	14,0	0,0	20,2	19,0	6,3	1,4
		Klei	791,8	269,7	598,3	114,1	397,1	15,9	0,0	16,0	799,1	51,2	1,3
	D	Veen	290,8	382,0	304,1	48,0	265,3	15,3	0,0	10,8	842,4	21,1	0,5
		Veen	79,6	386,5	113,0	18,5	207,6	11,7	7,8	7,6	409,1	19,0	0,2
Slib		596,6	430,1	434,8	92,0	308,5	13,6	13,1	16,7	329,9	27,3	1,1	

Tabel 6: Totaalconcentratie per element (zware metalen) in mmol/kg drooggewicht (DW), bepaald door middel van destructie.

Raai	Locatie	Bodem	Concentraties in µmol/kg DW										
			As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sr
1	A	TGG	76,7	2663,4	6,7	99,4	1490,9	699,8	0,0	40,9	360,8	366,2	1272,0
		Klei	128,7	4071,7	4,1	153,7	829,3	166,2	0,0	1,8	447,9	222,2	420,6
		Klei	128,5	3511,7	3,2	154,1	782,0	187,2	0,0	0,0	467,3	143,4	431,3
		Veen	13,4	3921,4	0,6	31,0	159,8	39,5	0,0	0,0	89,8	34,9	340,9
	B	TGG	107,6	2601,9	13,7	114,7	573,4	467,2	0,0	18,1	353,2	399,9	1166,0
		Veen	6,5	3403,0	0,0	15,2	122,3	26,0	0,0	0,0	39,2	30,6	730,8
		Veen	35,2	3599,5	4,2	17,9	134,1	68,1	0,0	5,4	49,3	157,9	910,5
		Veen	36,6	5702,4	2,7	4,8	140,5	0,0	0,0	0,6	40,0	13,1	1088,9
	C	TGG	122,5	2794,8	10,2	123,2	517,7	417,4	0,0	2,1	322,3	1031,6	1177,6
		Veen	0,0	4588,3	2,1	7,7	102,4	20,2	0,5	2,7	20,2	7,6	914,2
		Veen	27,4	4062,3	0,0	6,0	115,8	11,0	0,0	0,0	36,0	15,2	995,5
		Zand	0,0	437,8	0,8	16,0	109,7	39,5	0,0	0,0	53,0	9,5	0,0
	D	Slib	102,3	3170,3	3,3	139,0	688,9	191,0	0,0	0,0	421,2	126,3	568,8
2	A	TGG	79,1	2381,7	15,1	103,4	523,5	366,3	2,9	13,7	307,7	554,7	1099,1
		Klei	186,2	5065,7	1,2	180,1	1015,3	145,0	0,0	0,0	545,4	227,1	529,7
		Klei	127,9	4843,7	2,1	171,3	955,6	131,3	0,0	0,0	497,0	170,3	470,9
		Veen	0,0	8915,7	0,9	12,0	134,8	0,8	0,0	0,0	36,1	21,1	938,1
	B	TGG	75,2	2800,4	10,8	131,1	666,6	565,5	1,8	29,1	320,5	726,6	1226,4
		Kleipuin	117,8	3222,5	6,0	110,7	643,3	299,8	3,1	2,2	418,8	430,8	1033,5
		Veen	44,0	5100,7	3,2	74,0	481,3	155,3	1,1	5,8	212,4	231,4	1056,7
		Veen	95,9	5928,8	5,9	59,3	410,2	159,8	1,7	0,0	173,8	224,4	1336,2
	C	TGG	77,4	2516,3	10,4	113,1	692,6	390,7	1,6	10,1	318,0	479,9	1218,2
		Klei	67,3	2485,9	5,1	89,6	515,9	214,4	0,0	3,4	281,9	235,4	417,8
		Klei	112,5	3420,0	5,4	119,7	688,0	207,3	0,0	0,0	354,2	318,7	597,6
		Veen	24,5	5001,7	1,8	36,4	292,9	33,0	0,0	0,0	102,1	84,3	1085,3
	D	Slib	43,9	6003,2	4,6	104,8	578,6	170,2	0,0	13,8	321,5	173,3	954,9
3	A	TGG	64,5	2105,7	6,3	88,8	467,1	362,0	0,0	20,9	293,1	340,2	984,8
		Klei	98,2	4068,5	1,6	141,2	805,6	116,8	0,0	0,0	419,5	173,2	485,8
		Klei	112,1	2780,1	3,8	95,2	535,5	64,5	0,0	0,0	259,4	83,0	210,2
		Veen	42,7	9692,1	3,2	39,9	337,9	35,4	0,0	0,0	173,2	43,1	838,3
	B	TGG	140,6	2554,7	10,3	101,6	529,3	474,5	1,2	14,2	328,5	416,5	1149,7
		Veen	20,9	7778,6	3,5	7,7	130,9	17,5	0,0	39,8	49,1	28,5	1215,8
		Veen	2,7	6512,7	0,7	2,3	132,2	130,2	0,0	0,0	19,3	6,1	1149,3
		Zand	0,0	417,4	1,5	13,8	93,2	24,4	0,0	0,0	46,3	6,8	0,0
	C	TGG	128,4	2503,7	10,9	95,8	507,1	418,6	0,3	7,6	310,0	789,1	990,5
		Veen	65,8	4719,8	4,5	77,3	438,7	216,8	0,0	17,4	233,5	219,8	1040,3
		Veen	30,8	6923,9	2,2	16,5	232,9	32,4	0,0	0,0	55,2	67,7	1366,6
		Zand	0,0	417,4	1,5	13,8	93,2	24,4	0,0	0,0	46,3	6,8	0,0
	D	Slib	27,3	3663,0	1,1	79,4	430,1	142,0	0,0	9,1	238,7	93,6	718,5
4	A	TGG	62,0	2407,5	8,4	94,8	483,8	346,0	1,2	11,2	295,0	301,2	1292,7
		Klei	132,5	4629,8	4,6	163,5	981,1	147,5	0,0	0,0	512,5	207,0	728,8
		Klei	176,8	4765,9	2,7	183,8	1004,0	139,2	0,0	0,0	540,9	198,0	707,7
		Veen	0,0	8441,8	2,1	17,7	189,5	0,0	0,0	0,0	48,9	40,6	929,1
	B	TGG	114,3	2374,5	11,6	90,3	533,4	465,7	0,0	13,6	348,2	560,9	1004,5
		Veen	0,0	7697,6	4,4	29,7	286,3	66,7	0,0	0,0	90,3	103,3	816,0
		Veen	0,0	4100,6	3,0	9,2	127,9	0,0	0,0	0,0	23,8	20,9	939,8
		Zand	0,0	417,4	1,5	13,8	93,2	24,4	0,0	0,0	46,3	6,8	0,0
	C	TGG	67,2	1946,4	10,3	86,9	446,5	355,0	1,9	6,5	273,5	369,1	902,2
		Veen	0,0	4758,8	3,3	21,1	195,3	39,6	0,0	0,1	42,6	53,7	950,4
		Veen	27,2	4509,1	2,4	17,4	182,9	30,2	0,0	2,0	57,0	54,4	868,2
		Zand	0,0	507,5	1,7	18,5	94,7	18,1	0,0	3,6	55,6	13,1	145,7
	D	Slib	105,2	3234,8	9,0	119,8	633,0	392,5	0,0	47,6	373,4	361,3	1083,3
5	A	Klei	104,2	3297,9	9,9	224,9	885,4	248,1	0,0	0,0	547,1	357,1	194,7
		Klei	147,7	4632,1	5,3	169,8	920,2	158,0	0,0	0,0	468,6	218,0	678,4
		Veen	119,8	13776,0	3,3	140,7	817,2	98,5	0,0	0,0	385,3	111,8	919,7
		Veen	0,0	19360,7	3,3	26,1	230,3	0,0	0,0	0,0	46,0	51,9	1349,4
	B	Klei	80,9	2382,4	1,5	167,5	743,9	192,1	0,0	0,0	536,9	134,7	1227,0
		Klei	155,9	5305,2	3,8	208,1	1059,4	194,8	0,0	0,0	588,4	165,8	551,5
		Veen	16,1	19543,1	1,9	52,6	496,3	0,0	0,0	0,0	82,8	31,5	1017,3
		Veen	0,0	5138,8	3,4	12,5	99,6	9,1	0,0	0,0	31,1	31,7	1418,6
	C	Zand	0,0	322,1	2,1	7,8	89,9	6,1	0,0	0,0	42,1	15,8	0,0
		Klei	153,9	4292,2	4,2	148,8	871,6	147,3	0,0	0,0	431,5	245,1	550,7
		Klei	156,0	6063,3	6,2	227,6	1185,4	263,1	0,0	0,0	708,9	177,5	624,4
		Veen	18,2	9106,2	3,4	78,7	482,6	83,6	0,0	0,0	244,4	64,1	1069,4
	D	Slib	66,0	5096,0	3,8	142,0	916,4	167,3	0,0	0,0	489,3	198,7	645,3

Tabel 7: Zuurgraad (pH) en concentratie per element in mmol/l vers gewicht (FW) dan wel in µmol/l FW, bepaald door middel van waterextractie (mobile fractie).

Raai	Locatie	Bodem	pH-w	Concentraties in mmol/l FW					Concentraties in µmol/l FW										
				Ca	K	Mg	Na	S	Al	Fe	Mn	P	Si	Zn	NO3	NH4	PO4		
1	A	TGG	11,0	4,1	2,4	0,0	68,1	27,2	357,3	0,8	0,1	10,2	967,6	0,1	37,8	97,1	3,9		
		Klei	8,5	10,1	0,4	2,3	20,9	15,8	7,3	0,7	1,7	14,2	1160,8	0,2	541,7	320,1	4,8		
		Klei	8,6	3,0	0,1	1,1	6,1	2,7	20,7	0,7	0,1	10,1	1698,4	0,2	288,1	3,9	14,8		
		Veen	8,1	1,9	0,3	1,2	4,0	1,7	21,9	1,9	9,8	4,4	537,5	0,2	21,0	279,4	2,9		
	B	TGG	11,3	5,8	7,2	0,0	193,4	73,1	424,6	0,5	0,0	4,8	3488,3	0,1	50,6	37,6	2,0		
		Veen	7,4	2,3	2,3	2,1	98,9	28,3	6,5	4,2	20,4	5,2	634,3	0,4	29,4	1187,9	2,9		
		Veen	8,1	1,6	1,0	1,1	44,9	9,9	13,5	2,1	7,5	11,7	647,3	0,1	10,6	675,1	8,4		
		Veen	7,7	0,3	0,4	0,2	24,2	1,0	19,2	25,6	6,2	4,9	503,8	0,3	51,8	562,8	2,4		
	C	TGG	11,5	5,3	7,4	0,0	153,0	53,3	648,3	0,8	0,1	4,4	3485,3	0,1	29,7	84,1	1,7		
		Veen	7,4	4,4	5,0	3,0	168,3	58,9	12,3	2,3	40,5	20,4	605,2	0,3	16,2	949,6	16,5		
		Veen	7,4	1,1	1,1	1,1	51,0	10,8	6,4	6,5	11,4	12,9	533,6	0,2	10,9	871,8	9,9		
		Zand	8,6	0,3	1,0	0,5	18,0	1,0	85,5	2,4	1,3	11,9	432,9	0,5	58,8	636,7	9,5		
	D	Stib	7,8	3,8	0,8	1,4	6,4	2,5	66,9	1,1	2,1	2,6	234,4	0,2	72,6	60,1	0,9		
	2	A	TGG	11,1	7,4	3,1	0,1	18,7	12,3	282,9	0,9	0,1	0,9	1342,0	0,1	271,8	17,7	0,4	
			Klei	8,7	4,2	0,8	1,2	14,1	5,6	4,2	1,3	0,3	26,8	1880,5	0,4	831,3	16,8	18,1	
			Klei	8,7	1,9	0,3	0,8	6,0	0,7	32,6	1,7	0,5	11,5	1870,5	0,4	301,6	13,6	7,4	
Veen			7,8	0,5	0,4	0,3	20,4	1,2	5,3	15,8	5,6	54,9	616,0	0,4	15,9	1450,7	41,5		
B		TGG	10,7	17,4	4,6	0,2	137,5	62,7	53,1	0,3	0,1	3,6	1325,9	0,0	14,0	17,2	2,1		
		Kleipuin	8,7	17,8	1,9	3,4	75,5	33,9	14,3	1,9	9,9	24,4	871,7	1,1	589,6	543,8	11,1		
		Veen	8,0	4,4	0,9	2,7	36,5	8,9	5,4	1,1	3,9	8,7	644,8	0,1	286,7	323,9	4,6		
		Veen	7,8	3,5	0,9	2,5	42,3	9,4	19,7	1,8	5,3	6,7	658,7	0,2	103,2	454,8	3,0		
C		Zand	9,2	0,9	1,6	0,7	21,0	1,8	6,6	3,3	1,1	17,3	732,5	0,3	18,0	488,1	11,3		
		TGG	11,1	11,0	4,3	0,1	102,4	41,0	119,5	0,4	0,0	2,7	2401,5	0,1	36,3	28,0	2,0		
		Klei	8,6	4,8	5,1	1,3	275,2	73,9	21,8	21,7	35,7	146,3	743,4	0,8	24,9	3166,4	40,8		
		Klei	8,2	9,5	2,1	2,0	99,3	25,0	11,6	2,0	25,1	19,9	764,1	0,5	362,3	1392,7	4,7		
D		Veen	7,8	6,2	1,1	3,6	62,9	10,4	3,0	1,4	8,6	3,9	693,8	0,4	45,5	219,8	1,9		
		Stib	7,4	14,7	0,8	8,0	36,0	11,8	0,6	0,9	12,4	4,0	341,7	0,3	7,6	15,6	2,0		
		3	A	TGG	10,4	17,1	2,4	0,3	67,7	37,5	82,6	0,8	0,2	4,0	629,0	0,1	63,3	43,7	0,9
				Klei	8,7	4,0	0,2	1,2	12,8	3,9	11,8	0,9	0,5	6,8	1833,1	0,3	399,8	35,9	2,6
Klei	8,6			2,3	0,1	0,9	5,5	1,2	5,6	1,5	0,3	9,2	1306,6	0,4	240,2	19,7	6,2		
Veen	6,6			1,7	0,3	1,3	7,4	6,4	2,6	6,7	35,4	2,2	280,5	0,3	4,7	891,6	0,1		
B	TGG		11,4	3,3	3,8	0,0	138,3	48,7	331,2	1,1	0,1	5,4	2083,6	0,1	16,4	32,4	2,5		
	Veen		7,5	5,1	2,2	4,3	116,6	42,9	2,9	2,6	13,3	16,5	623,7	0,4	4,5	553,1	11,5		
	Veen		7,2	4,1	1,6	4,8	86,2	32,9	2,3	2,4	17,6	1,9	452,4	0,2	3,4	729,6	1,0		
	Veen		7,7	3,0	6,0	0,0	264,4	101,7	531,6	2,5	0,2	7,8	2435,7	0,5	8,4	43,7	7,2		
C	Veen		8,0	12,1	4,7	8,9	413,1	160,3	9,6	2,9	35,8	34,7	565,0	0,2	7,6	1559,4	24,4		
	Veen		7,7	11,5	2,8	11,8	237,9	93,1	2,9	2,3	40,5	20,9	619,1	0,2	5,4	1030,2	15,4		
	Zand		9,1	0,1	0,5	0,1	6,6	1,1	13,3	6,7	0,6	63,0	558,3	1,8	21,3	93,0	52,6		
	Stib		7,9	3,6	0,6	2,0	16,7	6,4	15,7	3,5	9,8	3,9	524,7	0,7	8,3	193,0	1,3		
4	A		TGG	10,1	14,6	1,3	0,7	26,8	22,0	110,4	0,3	0,2	8,3	293,3	0,1	296,6	96,7	3,9	
			Klei	8,4	8,0	1,6	1,7	39,1	15,9	14,5	1,8	1,0	29,2	1639,4	1,0	2016,3	287,2	15,9	
			Klei	8,4	2,8	0,1	1,1	5,9	1,7	6,4	1,3	0,4	27,6	2110,3	0,2	329,6	17,2	21,5	
			Veen	7,2	1,8	0,6	1,5	50,4	4,5	5,3	4,6	19,8	2,4	481,6	0,5	25,1	2977,0	0,4	
	B	TGG	11,2	14,2	5,8	0,0	255,5	159,3	113,9	2,7	0,1	6,7	2877,7	0,5	2,7	71,8	2,1		
		Veen	7,4	6,0	0,7	1,1	16,4	6,9	0,7	0,3	7,2	8,0	928,4	0,1	26,3	84,3	5,1		
		Veen	7,7	0,2	0,2	0,2	13,4	1,5	3,1	21,5	1,0	4,8	658,3	0,3	11,9	285,9	2,8		
		Veen	11,2	3,6	4,1	0,0	158,6	68,0	380,2	2,8	0,1	9,5	2473,5	0,1	17,1	38,9	5,4		
	C	Veen	7,6	1,9	1,8	1,9	104,1	42,7	1,6	6,7	5,1	1,7	546,0	0,4	5,9	384,3	0,4		
		Veen	7,6	1,0	0,9	1,0	51,0	19,1	3,1	9,2	2,4	6,2	826,6	0,2	5,9	259,6	3,4		
		Zand	9,6	0,5	0,8	0,3	9,1	0,3	81,3	2,2	0,6	8,9	434,4	0,4	7,0	212,5	6,8		
		Stib	8,0	3,9	0,7	1,5	31,5	1,7	8,7	1,9	4,2	10,9	607,1	0,3	17,3	20,5	6,1		
	5	A	Klei	8,1	4,2	0,1	0,4	1,6	0,6	46,1	0,4	0,4	1,2	521,8	0,4	121,6	31,3	0,3	
			Klei	7,9	6,3	1,5	0,9	1,2	3,7	6,1	0,9	1,5	3,5	669,2	0,3	42,3	130,5	1,4	
			Veen	7,2	4,4	0,8	1,4	1,2	6,7	15,4	0,7	73,2	4,3	523,8	0,2	8,2	161,7	0,2	
			Veen	7,2	1,7	0,4	1,0	2,5	3,3	11,3	0,7	30,5	0,8	502,0	0,2	12,5	163,9	0,1	
B		Klei	8,2	3,6	0,0	0,7	0,6	0,7	4,3	0,4	0,1	0,9	168,6	0,2	152,6	13,2	0,6		
		Klei	7,9	5,4	1,6	2,0	1,6	8,4	28,4	0,5	11,6	8,6	640,6	0,2	4,1	169,2	0,8		
		Veen	7,5	2,1	0,6	1,8	1,3	4,4	13,3	1,8	27,3	3,4	707,5	0,7	12,7	281,1	2,1		
		Veen	7,5	1,7	0,5	2,2	2,1	4,7	22,0	1,2	19,0	1,1	650,5	0,3	22,9	337,7	0,1		
C		Zand	8,5	0,9	0,4	0,3	2,9	0,6	65,8	0,8	0,2	1,3	367,2	0,1	83,3	364,1	0,6		
		Klei	7,9	7,1	1,2	1,6	2,3	5,8	15,8	1,2	0,8	3,1	1220,2	0,2	476,5	42,2	0,8		
		Klei	7,9	1,8	1,4	1,9	2,3	2,6	33,9	2,0	25,6	19,9	1085,7	0,3	15,6	521,3	7,8		
		Veen	7,5	0,4	0,4	0,5	2,1	1,4	41,2	3,1	7,1	9,9	711,5	1,5	19,6	287,6	12,8		
D		Veen	7,5	0,8	0,5	1,0	3,0	1,5	20,5	1,3	11,4	20,7	831,4	0,3	16,0	370,8	16,5		
		Stib	7,7	5,7	0,9	2,6	9,4	4,6	77,8	0,8	23,4	2,0	427,3	0,3	19,1	19,4	0,5		

Tabel 8: Concentratie per element (zware metalen) in  $\mu\text{mol/l}$  vers gewicht (FW), bepaald door middel van waterextractie (mobile fractie).

Raai	Locatie	Bodem	Concentraties in $\mu\text{mol/l}$ FW										
			As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sr
1	A	TGG	0,41	12,38	0,01	0,00	0,08	0,40	0,00	2,63	0,09	0,01	2,02
		Klei	0,00	10,15	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,25	0,12	0,00	3,08
		Klei	0,00	9,39	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,12	0,09	0,03	1,39
		Veen	0,02	196,21	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,06	0,01	1,76
	B	TGG	0,33	8,85	0,01	0,00	0,12	0,06	0,00	1,77	0,11	0,00	3,03
		Veen	0,06	54,63	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,12	0,06	0,00	2,29
		Veen	0,09	34,05	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,52	0,08	0,01	1,75
	C	Veen	0,03	87,22	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,02	0,07	0,00	0,34
		TGG	0,17	6,27	0,01	0,00	0,06	0,06	0,00	1,13	0,11	0,00	3,49
		Veen	0,02	40,41	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,02	0,04	0,02	3,97
		Veen	0,07	37,46	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02	0,08	0,02	1,19
	D	Zand	0,01	5,82	0,00	0,00	0,01	0,09	0,00	0,01	0,09	0,00	0,63
		Slib	0,00	10,14	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,03	0,01	2,22
2	A	TGG	0,16	9,15	0,01	0,00	0,13	0,00	0,00	0,14	0,07	0,00	4,06
		Klei	0,04	8,84	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05	0,17	0,04	1,54
		Klei	0,03	8,83	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,04	0,19	0,00	0,75
		Veen	0,11	71,96	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,13	0,00	0,39
	B	TGG	0,31	8,77	0,01	0,01	0,01	0,17	0,00	1,26	0,11	0,02	6,67
		Kleipuun	0,13	17,99	0,01	0,00	0,00	0,21	0,00	0,42	0,62	0,00	6,36
		Veen	0,05	73,29	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	0,07	0,00	3,65
		Veen	0,03	98,15	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,09	0,03	3,74
	C	Zand	0,00	12,21	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,12	0,07	0,00	4,01
		TGG	0,23	6,22	0,01	0,00	0,05	0,11	0,00	0,69	0,11	0,01	5,66
		Klei	0,26	5,86	0,01	0,05	0,02	0,21	0,00	0,87	0,33	0,00	1,66
		Klei	0,00	10,87	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	0,21	0,17	0,04	3,45
		Veen	0,01	56,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,00	4,69
D	Slib	0,03	29,41	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,09	0,06	0,00	9,35	
3	A	TGG	0,17	11,66	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	1,27	0,09	0,00	5,85
		Klei	0,02	8,27	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,04	0,14	0,00	1,41
		Klei	0,00	4,89	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,14	0,02	0,87
		Veen	0,00	364,11	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,08	0,00	1,43
	B	TGG	0,83	14,13	0,01	0,00	0,08	0,18	0,00	1,71	0,15	0,00	2,15
		Veen	0,14	78,93	0,01	0,00	0,00	0,09	0,00	0,20	0,16	0,02	6,15
		Veen	0,06	145,98	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,07	0,09	0,00	5,07
	C	TGG	0,97	16,12	0,02	0,00	0,13	0,11	0,00	2,18	0,16	0,00	1,84
		Veen	0,18	87,17	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,27	0,08	0,00	12,58
		Veen	0,17	120,63	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,20	0,09	0,01	12,33
		Zand	0,06	6,30	0,00	0,01	0,03	0,10	0,00	0,02	0,19	0,00	0,16
	D	Slib	0,01	19,77	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,16	0,18	0,03	2,52
	4	A	TGG	0,13	15,77	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,33	0,06	0,00
Klei			0,07	10,07	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,13	0,29	0,00	2,55
Klei			0,10	10,26	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,18	0,00	2,51
Veen			0,00	130,71	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,13	0,03	1,82
B		TGG	0,56	7,30	0,01	0,00	0,06	0,14	0,00	1,89	0,16	0,00	4,83
		Veen	0,06	61,11	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11	0,02	3,33
		Veen	0,05	55,83	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,02	0,11	0,00	0,27
C		TGG	0,73	12,36	0,01	0,00	0,22	0,25	0,00	1,23	0,14	0,03	1,84
		Veen	0,00	86,98	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,09	0,13	0,00	2,46
		Veen	0,06	77,63	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,09	0,14	0,00	1,13
		Zand	0,02	3,03	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,03	0,11	0,00	0,32
D		Slib	0,10	9,91	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,54	0,15	0,01	2,32
5		A	Klei	0,02	2,92	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00
	Klei		0,00	15,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,12	0,00	2,09
	Veen		0,06	318,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,03	3,08
	Veen		0,01	228,21	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,06	0,02	1,77
	B	Klei	0,00	2,45	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,96
		Klei	0,01	30,84	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,18	0,07	0,00	2,31
		Veen	0,00	201,30	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00	1,62
		Veen	0,02	49,70	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,06	0,00	1,78
		Zand	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,68
	C	Klei	0,00	8,58	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,13	0,00	2,00
		Klei	0,02	36,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,08	0,00	1,27
		Veen	0,00	100,09	0,01	0,00	0,00	0,21	0,00	0,01	0,23	0,00	0,58
		Veen	0,05	56,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,02	0,77
D	Slib	0,00	26,48	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,06	0,00	3,11	

Tabel 9: Zuurgraad (pH), basenverzadiging (BV in %) en concentratie per element in mmol/l vers gewicht (FW) dan wel in µmol/l FW, bepaald door middel van strontiumchloride-extractie (labiele fractie).

Raai	Locatie	Bodem	pH-SrCl	BV (%)	Concentraties in mmol/l FW					Concentraties in µmol/l FW								
					Ca	K	Mg	Na	S	Al	Fe	Mn	P	Si	Zn	NH4		
1	A	TGG	10,5	88,1	76,2	6,7	1,1	62,4	32,0	6888,2	22,6	19,7	0,0	2299,2	354,3	419,5		
		Klei	8,2	99,2	98,4	3,5	16,4	27,3	5,5	169,8	12,4	12,0	0,0	2532,8	315,1	832,4		
		Klei	7,6	99,6	103,6	2,4	27,0	6,2	1,3	91,2	7,0	6,0	0,0	3165,9	337,2	275,5		
		Veen	7,4	99,2	76,3	2,1	22,5	2,9	2,8	35,1	2,7	338,5	0,0	549,5	200,7	663,5		
	B	TGG	10,8	85,6	140,0	16,7	0,6	246,3	65,6	16250,3	10,6	0,0	0,0	3796,3	504,4	337,6		
		Veen	7,0	98,6	45,3	4,3	16,0	139,8	6,5	27,6	5,9	631,3	0,0	515,6	77,0	1473,4		
		Veen	6,9	98,7	38,7	1,5	14,2	51,6	5,1	20,2	1,2	487,9	0,0	576,1	78,2	1057,0		
		Veen	6,6	98,3	34,8	1,1	14,8	41,7	0,9	11,7	3,8	672,5	0,0	425,4	67,4	1231,1		
	C	TGG	10,8	82,7	111,5	11,7	2,5	142,1	74,0	16219,2	11,0	97,3	0,0	3142,2	470,3	372,7		
		Veen	6,9	98,6	44,4	6,0	15,9	169,1	6,7	63,4	2,7	614,7	0,0	538,6	84,3	1010,8		
		Veen	6,7	98,7	47,9	2,4	20,5	77,0	8,3	22,3	1,9	701,3	0,0	543,1	75,4	1230,6		
		Zand	7,3	92,1	6,0	3,3	5,1	18,7	1,2	116,5	9,7	180,1	0,0	869,6	407,9	774,1		
	D	Slib	7,1	99,6	62,7	2,6	12,2	6,7	3,0	19,7	5,8	165,5	0,0	314,3	98,4	217,7		
	2	A	TGG	10,8	86,4	99,7	6,8	0,5	9,4	40,9	10556,6	11,7	7,8	0,0	2587,0	405,6	226,6	
			Klei	8,2	99,3	145,2	9,7	26,1	15,1	6,6	406,1	13,3	1,8	0,0	4197,8	352,0	424,5	
			Klei	7,9	99,5	91,3	4,3	28,1	0,0	0,2	95,4	17,7	4,4	0,0	3008,7	341,7	221,4	
Veen			6,7	96,4	48,3	1,7	16,8	33,4	0,2	11,1	4,1	329,8	0,0	525,5	92,9	3965,7		
B		TGG	10,8	89,7	108,4	9,5	0,9	160,4	43,9	8320,5	9,7	6,6	0,0	2492,2	374,4	524,0		
		Kleipuut	10,2	94,5	103,7	8,1	7,1	85,5	28,7	3859,4	14,5	8,7	0,0	1515,1	342,9	1008,9		
		Veen	7,8	99,0	63,6	3,3	14,3	28,5	4,6	109,8	3,3	88,8	0,0	788,9	135,9	861,3		
		Veen	7,6	98,8	67,8	2,5	23,6	43,8	3,3	45,6	4,1	298,2	0,0	688,9	124,1	1188,9		
C		Zand	8,0	94,9	13,5	3,8	8,1	5,5	0,6	107,1	10,0	123,4	0,0	996,9	422,6	1083,0		
		TGG	10,9	85,9	105,3	8,9	0,5	93,4	50,7	11748,6	8,4	4,6	0,0	2942,4	422,3	232,1		
		Klei	8,1	96,2	82,1	24,8	9,8	346,9	18,0	264,3	12,0	790,6	0,0	1581,0	378,3	5175,7		
		Klei	7,9	98,1	112,2	8,3	15,1	139,7	11,8	58,7	6,9	275,1	0,0	1627,3	346,3	3699,1		
D		Veen	7,7	98,9	57,1	3,3	14,4	54,4	4,8	80,8	2,9	203,2	0,0	762,0	115,9	681,3		
		Slib	7,5	98,8	40,0	1,5	15,0	33,6	4,3	86,0	18,1	316,2	0,0	420,0	89,2	306,6		
		3	A	TGG	10,5	91,1	89,2	6,5	1,0	57,9	27,0	5751,6	14,3	11,5	0,0	1982,8	362,4	287,8
				Klei	8,1	99,3	110,2	1,9	23,2	1,9	2,4	214,7	11,4	17,3	0,0	3977,8	356,6	366,7
Klei	7,9			99,4	84,2	2,1	24,2	0,0	0,5	50,0	7,0	30,7	0,0	2038,3	398,7	321,8		
Veen	5,8			96,1	58,9	1,1	20,1	5,3	1,4	179,5	452,7	1477,5	0,0	249,6	151,9	1686,1		
B	TGG		10,7	85,8	65,0	7,4	0,7	117,8	39,4	7232,1	14,5	20,0	0,0	2473,3	365,3	481,6		
	Veen		7,6	99,0	49,7	3,3	22,5	141,6	11,4	15,6	4,3	305,1	0,0	389,0	99,6	699,4		
	Veen		7,3	98,9	53,2	2,5	27,0	96,7	10,7	15,2	3,1	362,4	0,0	401,3	90,0	799,6		
	TGG		10,9	86,0	101,9	11,8	0,4	249,1	58,5	11307,6	13,3	8,0	0,0	3444,5	436,5	334,4		
C	Veen		7,5	98,1	53,3	5,2	21,1	443,8	19,4	147,9	4,6	331,6	0,0	603,6	143,0	1567,7		
	Veen		7,5	98,5	61,3	3,4	31,4	252,2	15,1	281,2	4,7	383,5	0,0	637,6	111,0	1121,3		
	Zand		7,6	88,2	6,4	2,7	5,0	0,0	0,7	612,1	14,6	113,8	0,0	659,1	400,5	505,5		
	Slib		7,2	98,6	23,2	1,1	7,1	14,0	3,5	38,4	29,4	131,6	0,0	456,0	59,8	306,9		
4	A		TGG	9,3	96,8	103,3	4,8	9,9	16,0	17,4	2023,4	9,7	27,2	0,0	818,0	342,2	714,9	
			Klei	8,3	99,2	124,5	13,2	21,2	53,9	9,1	165,9	17,8	84,0	0,0	3890,3	338,1	1108,9	
			Klei	8,0	99,6	108,8	2,4	28,6	0,0	1,4	41,8	8,0	27,8	0,0	4331,3	320,4	291,4	
			Veen	6,7	95,8	48,3	1,3	17,1	57,7	1,5	25,2	7,2	645,5	0,0	342,6	111,8	4147,7	
	B	TGG	10,8	88,1	104,8	10,8	0,6	279,8	97,9	9486,4	23,2	16,7	0,0	3323,1	450,1	593,4		
		Veen	7,5	99,3	76,3	1,7	7,4	25,3	5,9	14,4	2,3	301,5	0,0	490,4	105,9	274,0		
		Veen	6,4	98,7	46,3	1,0	17,7	25,6	0,7	111,9	10,2	175,8	0,0	555,7	82,4	827,8		
		TGG	10,8	85,3	74,4	8,7	0,8	147,2	45,0	8691,5	17,1	11,7	0,0	2985,5	421,1	525,6		
	C	Veen	7,0	98,9	33,7	2,7	15,7	118,1	7,1	40,7	9,0	132,0	0,0	405,3	86,6	599,1		
		Veen	7,2	99,1	45,0	2,1	20,6	71,5	8,6	19,0	6,6	181,9	0,0	553,0	91,5	555,9		
		Zand	8,1	92,8	7,5	2,2	3,0	0,0	0,0	146,1	7,0	36,5	0,0	872,7	372,3	538,0		
		Slib	7,5	99,0	37,2	1,6	7,9	29,9	2,0	17,3	2,5	166,4	0,0	675,5	94,3	357,7		
	5	A	Klei	7,2	99,3	98,7	1,7	7,6	0,0	0,5	54,9	10,8	88,8	0,0	1009,2	393,8	508,1	
			Klei	7,6	99,6	109,8	10,0	11,1	0,0	5,2	37,4	4,5	60,1	0,0	1704,3	252,6	548,4	
			Veen	7,0	98,3	95,9	3,4	14,7	0,3	7,6	22,1	3,2	1635,0	0,0	558,2	156,7	407,7	
			Veen	6,4	97,7	71,2	1,0	18,0	2,8	3,6	8,2	3,6	2015,5	0,0	491,1	78,4	320,3	
B		Klei	8,0	99,5	137,9	1,3	16,9	0,0	0,7	35,0	7,4	280,1	0,0	866,2	375,8	324,9		
		Klei	7,5	99,5	98,2	8,2	25,9	1,1	6,4	23,9	0,6	267,5	0,0	1371,5	187,8	728,9		
		Veen	6,5	98,2	76,1	2,0	26,7	0,9	7,8	13,8	4,0	1788,3	0,0	533,6	95,2	547,5		
		Veen	6,5	98,9	54,1	1,0	29,5	2,5	4,7	8,0	0,9	830,3	0,0	622,8	75,7	561,4		
C		Zand	7,1	91,5	8,7	1,4	2,5	0,0	0,6	75,3	22,4	221,3	0,0	693,1	449,0	697,2		
		Klei	7,8	99,5	136,6	10,5	23,0	0,5	4,6	63,4	3,7	123,6	0,0	3298,1	351,8	547,7		
		Klei	7,2	98,5	78,1	8,0	38,9	2,3	4,4	12,6	0,4	1249,0	0,0	1494,0	160,8	1728,1		
		Veen	6,4	98,4	51,2	1,7	26,4	2,6	2,3	5,8	4,2	1067,0	0,0	610,7	97,3	749,4		
D		Veen	6,5	98,5	52,5	1,3	25,6	3,5	2,1	5,4	0,1	1075,5	0,0	794,9	72,5	626,9		
		Slib	7,1	98,4	40,2	2,3	13,0	7,5	3,3	6,6	2,6	756,7	0,0	472,3	94,8	161,6		

