

Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen  
T.a.v. de heer Y. Provoost  
Postbus 1000  
4330 ZW MIDDELBURG

<b>Datum</b>	<b>Aantal pagina's</b>	
14 november 2013	5	
<b>Contactpersoon</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Gerard Kruse	+088 335 742 8	gerard.kruse@deltares.nl

**Onderwerp**  
Toepassen klei met hoger zoutgehalte in dijklichamen

Geachte heer Provoost,

In antwoord op uw email van 5 november 2013 doe ik u hierbij enige inzichten toekomen ten aanzien van het toepassen van klei met een zoutgehalte dat hoger is dan 4 gram per liter (g/l) bodemvocht, zoals dat wordt gehanteerd in het Technisch Rapport Klei voor dijken (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS, Delft, 1996). Er wordt van uitgegaan dat het om het toepassen van klei in dijken in een zoutwateromgeving gaat. De inzichten hebben betrekking op de invloeden van zoutgehalte bij het aanbrengen op het functioneren van klei in een dijklichaam en op het beoordelen van de geschiktheid voor toepassing in dijklichamen.

Het functioneren van de klei in een dijklichaam heeft betrekking op respectievelijk vormvastheid en sterkte, substraatfunctie voor bekleding, bestendigheid tegen ontgroning door golfwerking stroming en golfoverslag en overloop. Daarnaast is het gedrag van klei bij aanleg van belang en de verandering in de grond na aanleg. Het zoutgehalte van kleigrond heeft een invloed op al deze aspecten.

Het is bekend dat het zoutgehalte van het poriewater in klei een belangrijke invloed heeft op de mechanische interactie tussen kleimineraaldeeltjes in geroerde toestand. Onder andere omdat kleigrond slechts voor een deel uit kleimineralen bestaat (hooguit tientallen procenten) en omdat de geroerde toestand voor enigszins verdichte kleigrond na enige dagen tot weken teniet is gedaan, zijn deze effecten in de natuur minder duidelijk en meer gevarieerd dan in eenvoudige laboratoriumopstellingen. Voor bepaalde aspecten en in algemene zin is de trend van deze effecten van zoutgehalte evenwel ook van toepassing voor kleigrond in de natuur. Daarnaast heeft het zoutgehalte invloed op de substraatfunctie voor vegetatie (welke invloed deels veroorzaakt wordt door verwante mechanismen).

De algemene invloeden van verhoogd zoutgehalte in kleigrond zijn het gevolg van vooral de interactie tussen watermoleculen en de ionen van het zout en tussen deze moleculen en ionen en het oppervlak van gronddeeltjes. Ten opzichte van niet zoute klei gaat het met name om respectievelijk:

- 1 Verhoging evenwichtwatergehaltes (watergehalte van grond in evenwicht met de omgeving, met name atmosfeer en grondwater)
- 2 Beperking van wateronttrekking door organismen (planten)
- 3 Verhoging van sterkte, zowel bulksterkte als binding van individuele deeltjes
- 4 Zwellen bij opname van minder zout water, hetgeen aan een oppervlak van de grond aan maaiveld of in spleten en andere grote poriën, tot wegspoelen van klei leidt: de zogenaamde dispersie
- 5 Concentratie van zout door verdamping tot tijdelijk ongewenst hoge waarden (in droge perioden zoals perioden in de zomer en bij vriesweer)

De eerste twee genoemde invloeden zijn het gevolg van vooral verandering van osmotische waarde van de grond. De volgende twee invloeden (3, 4) worden veroorzaakt door verandering van onderlinge attractie- en repulsiekrachten tussen gronddeeltjes die afhankelijk zijn van de aard en concentratie van het zout. Met name neemt het volume van kleigrond aan het grondoppervlak zeer sterk toe als zoute klei zoet wordt, bijvoorbeeld door infiltratie van neerslagwater.

In het volgende worden relevant geachte invloeden en effecten kort besproken en wordt de consequentie ervan voor het functioneren en het beoordelen nagegaan.

Het evenwichtswatergehalte in grond boven de grondwaterspiegel wordt door omgevingsinvloeden (klimaat, weer, begroeiing, grondwaterstand) en de grond bepaald. Voor gestandaardiseerde omgevingsinvloed wordt de, in dit geval equivalente poriewaterdruk (de zuigspanning) bepaald door de affiniteit voor water van de grond. Deze affiniteit kan worden gekarakteriseerd met de Atterbergse grenzen van de grond. Met het evenwichtswatergehalte kan een grens worden gesteld aan de volumeverandering, met name krimp, van grond na aanbrengen. Voor grond uit een zoetwateromgeving is vastgesteld dat de zogenaamde consistentie-index,  $I_c$ , aan de buitenzijde van een grondlichaam lager dan 0.75 dient te zijn en voor de kern van een grondlichaam, buiten invloed van grondwater, een waarde hoger dan 0.6 moet hebben. Met deze waarden voor  $I_c$  wordt excessieve krimp, en het daarbij ontstaan van permanente, wijde spleten na aanbrengen voorkomen. De waarde van de Atterbergse grenzen hangt af van het zoutgehalte van de geteste grond. Als een grond met een zoute porievloeistof getest wordt, zal de vloeigrens ervan aanmerkelijk hoger liggen dan dezelfde grond met niet zout water. Het watergehalte bij  $I_c = 0.75$ , respectievelijk  $I_c = 0.6$  ligt dan hoger dan voor dezelfde grond met een lager zoutgehalte. Een eventueel hoog zoutgehalte van een grondlichaam boven maaiveld zal onder Nederlandse omstandigheden afnemen (behoudens in geval van zeer intensieve zeer frequente spray). Daarmee zal ook het evenwichtswatergehalte van de grond veranderen (afname osmotische druk). Het evenwichtswatergehalte van zout aangebracht grond die ontzilt is, zal daarom lager zijn dan uit de Atterbergse tests bij aanbrengen volgt. Een overzicht van anekdotische gegevens in gepubliceerde bronnen en adviesrapportages leidt ertoe te stellen dat het watergehalte van zoute grond waarvan het zoutgehalte zal afnemen bij aanbrengen 3 % tot 5 % lager moet zijn dan volgens de consistentie index,  $I_c$ , vereist is. De zoutgehalten waar de referenties naar verwijzen zijn niet eenduidig vastgelegd (in termen van zoutgehalte van de porievloeistof). Er wordt voorshands van uitgegaan dat grond zout geacht wordt bij een zoutgehalte van 8 g/l bodemvocht. Voor grond met een lage vloeigrens, ongeveer 40 %, dient het watergehalte dan 3 % lager te zijn en voor grond met een hoge vloeigrens, zeg 80 %, ongeveer 5 % lager. Het is daarom van belang

na te gaan in welke mate het zoutgehalte na aanbrengen zal veranderen, hetgeen hieronder aan de orde komt. Ten aanzien van het gebruik van de  $I_c$  voor het bepalen van de verwerkbaarheid ( $I_c > 0.6$ ) wordt nog opgemerkt dat deze waarde uiteraard geldt voor het zoutgehalte bij aanbrengen.

Zoute kleigrond aan het oppervlak kan oplossen (dispergeren) en verspoelen bij indringing van zoet water. Neerslag of ander zoet water op zoute klei leidt op die manier tot erosie van het oppervlak. In grond met grote poriën, zoals spleten of tussen kluiten, vindt dit plaats als er neerslagwater langs sijpelt. Het grondvolume kan daarbij met veel meer dan 5 % afnemen, wegspoelen, in enige maanden tijd. Grond met een bodemstructuur, zoals die zich ontwikkelt op termijn van enige jaren in een kleibekleding onder blokken en onder gras, is gevoelig voor dergelijk grondverlies. Het beschermen van de grond op het talud met een folie beperkt de invloed van weer en wind op de vorming van de bodemstructuur. De temperatuureffecten worden er niet door tegengehouden echter en de waargenomen effecten van vorstwerking tot een diepte van 0.2 – 0.3 m in de klei onder gezette steen worden er niet door beperkt. Eventuele percolatie met neerslagwater wordt door het folie tegengegaan.

Graslandvegetatie die niet als zouttolerant wordt aangemerkt, ondervindt hinder bij het vormen van een gesloten zode op zoute kleigrond. Voor het ontwikkelen en het in stand houden van een graszode zijn het ontkiemen van zaden, en het tot wasdom komen en het intact blijven van volgroeide planten van belang. Er zijn geen bronnen gevonden die deze aspecten adequaat samenvatten voor langere termijn ontwikkeling van graszode. In dit beperkte onderzoek is het niet mogelijk gebleken de bronnen voor de norm in genoemd Technisch Rapport te achterhalen. Aspecten van de ontwikkeling en korte termijn experimenten zijn wel gerapporteerd, maar over langere termijn ontwikkeling zijn slechts meer globaal beschreven omstandigheden gerapporteerd. Uit het overzicht van de vermelde zoutgehalten en de vermelde effecten ervan voor graszode kan worden gedestilleerd dat zoutgehalte boven 4 g/l effect heeft op de graszode. Meerdere bronnen (onder andere [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/EC\\_guide.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/EC_guide.pdf)) vermelden dat voor kleigrond bij een geleidbaarheid van ongeveer 5 dS de grasbegroeiing ernstige hinder ondervindt van zout. Er zijn kale plekken van meer dan 1 m<sup>2</sup> in graszode op kleigrond met een geleidbaarheid van 4 tot 8 dS. Tot een geleidbaarheid van 2 dS is er geen effect merkbaar. Tussen 2 tot 4 dS ondervinden planten als straatgras en klaver reeds ernstige hinder. Met de gebruikelijke correlatie tussen geleidbaarheid en zoutgehalte van het poriewater in kleigrond leiden deze bevindingen ertoe dat bij een zoutgehalte van 3 g/l planten als klaver en straatgras niet meer voorkomen en dat bij 6 g/l kale plekken in de graszode kunnen ontstaan (voor de volledigheid: bij 30 g/l bodemvocht is de geleidbaarheid bijna 20 dS). De waargenomen ontwikkeling van graszode langs de Waddendijken in Duitsland en Denemarken, laten zien dat er in de zone direct boven gemiddeld hoogwater slechts een fragmentarische zode aanwezig is, gevormd door planten die niet algemeen zijn in de gebruikelijke graszode op dijken in Nederland. Voorshands lijkt de norm van 4 g/l bodemvocht voor het ontwikkelen van een gesloten graszode van geschikt en van toepassing voor Nederlandse omstandigheden.

Zout water dat door windwerking als spray op dijktaaluds komt verhoogt het zoutgehalte van de grond op het talud tenminste tijdelijk. Uit praktijkwaarneming blijkt dat kleigrond van een dijktaalud langs zout en brak water vaak een enigszins zoutige smaak heeft. Deze smaaksensatie ontstaat echter al bij een zoutgehalte van minder dan 1g/l poriewater en er wordt vermeld dat “zoute” klei als heel erg zout wordt beoordeeld. De grond van dijktaaluds ruim boven gemiddeld hoogwaterniveau is daarom naar het zich laat aanzien niet erg zout, en het zoutgehalte zal in het algemeen veel lager zijn dan 6 g/l. Vanwege het gedrag van Na<sup>+</sup> en Cl<sup>-</sup>



**Datum**  
14 november 2013

**Pagina**  
5/5

- o voor kleigrond met een vloeigrens van 80 % 5 % lager is dan dat bij de voor de toepassing voor niet zoute klei gestelde consistentie-index,  $I_c$

Het bepalen van het zoutgehalte van grond betreft meestal de gewichtsafname bij spoelen met gedemineraliseerd of gedestilleerd water. Het is van belang bij de bepaling eventueel gewichtsverlies door het uitspoelen van zeer fijne vaste stof bestanddelen te voorkomen dan wel minimaal te laten zijn.

De in deze brief beschreven bevindingen ten aanzien van het toepassen van klei met een zoutgehalte hoger dan 4 g/l bodemvocht zijn gebaseerd op een voorlopig onderzoek en praktijkervaringen. De praktijkervaring leert dat in het verleden er meermaals zoute klei in dijken is verwerkt en dat een te hoog watergehalte bij het aanbrengen in veel gevallen tot een weinig coherente kleibekleding heeft geleid. De praktijkervaring leert ook dat de dispersie onder een bekleding van gezette steen zonder afdekkend folie tot aanmerkelijk grondverlies heeft geleid en dat teveel zout de ontwikkeling van een gesloten graszode beperkt. Er is geen informatie over de betreffende watergehalten bij aanbrengen of de overgang van zout naar zoet voor deze gevallen bekend. De praktijkwaarnemingen wijzen er wel op dat er met deze effecten voor de praktijk relevant zijn.

Hoogachtend,

drs. G.A.M. Kruse  
Senior Specialist