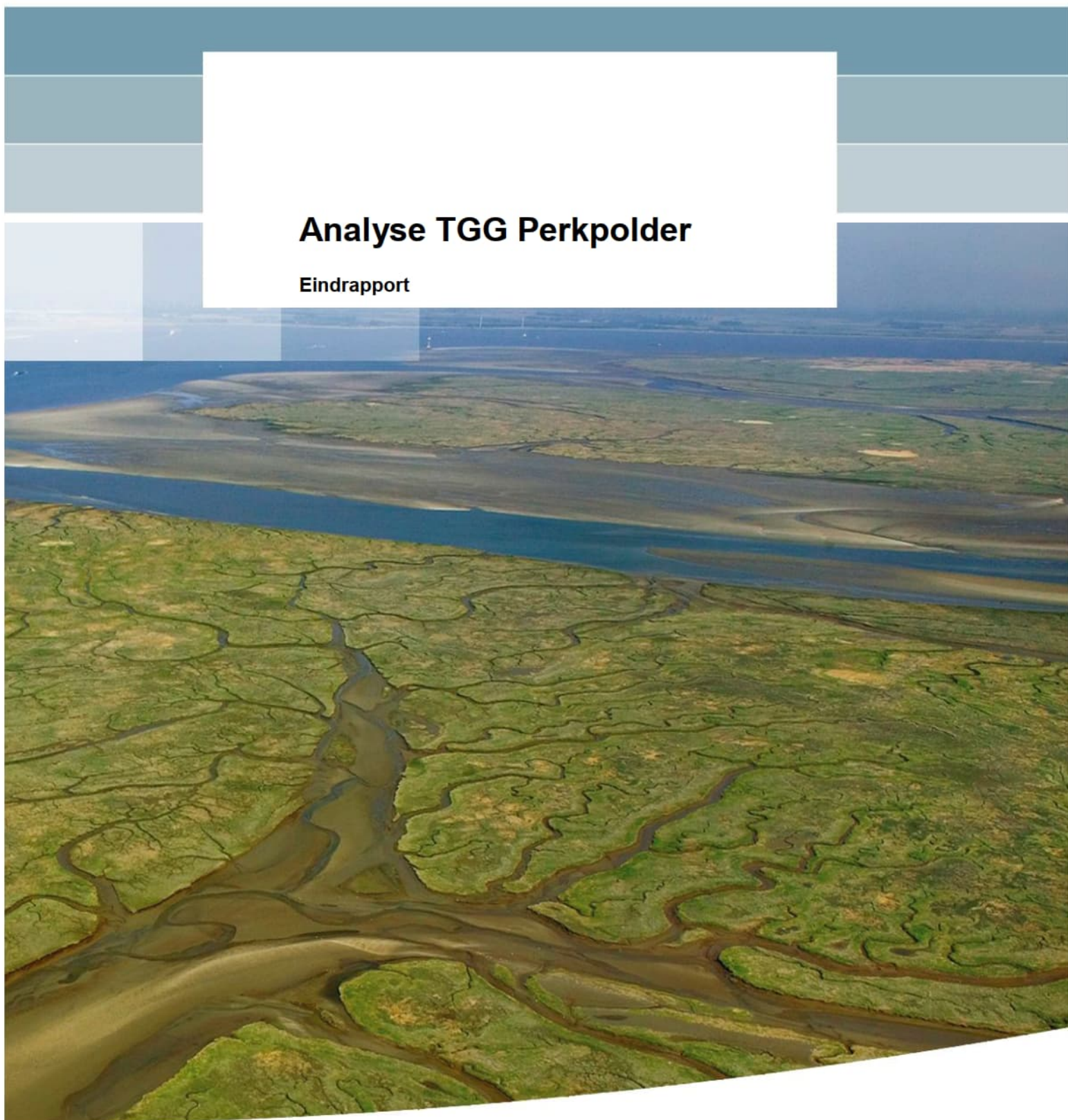


Analyse TGG Perkpolder

Eindrapport



Analyse TGG Perkpolder

Eindrapport



1220438-000

Titel
Analyse TGG Perkpolder

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat	1220438-000	1220438-000-GEO-0012-	38
Projectbureau Zeeweringen		jvm	

Trefwoorden
Thermisch gereinigde grond, thermisch gereinigd zand, waterkering, Perkpolder

Samenvatting
In het project 'Natuurcompensatie Perkpolder' is in de kern van de dijk thermisch gereinigde grond (TGG) aangebracht. Dit rapport geeft de resultaten van het onderzoek naar de fysische en geochemische eigenschappen van TGG, en beoordeelt de mogelijkheden en risico's van toepassing in waterkeringen.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Deze TGG is waarschijnlijk het restproduct van de thermische reiniging van Teerhoudend Asfalt Granulaat (TAG). Deze TGG-TAG bestaat uit een mengsel van zand en grind en bevat relatief veel calciumoxide / calciumcarbonaat.
- De TGG-TAG heeft een aantal eigenschappen die afwijken van die van natuurlijke grond met vergelijkbare korrelgrootteverdeling. Zo is de doorlatendheid lager, de sterkte hoger, en is het materiaal basischer (de pH is hoger) en reactief.
- Vanuit constructief oogpunt is de doorlatendheid lager dan wenselijk. De hoge sterkte is het gevolg van verkittening en kan leiden tot een monolithisch dijklichaam, met het risico van scheurvorming en het ontstaan van gipslenzen. Dit is niet wenselijk.
- Met name na contact met zoet water reageert het materiaal sterk basisch. Dit basisch water kan zich verspreiden naar de omgeving en schade toebrengen aan bodem, water, flora en fauna en mensen. Ook vormt het materiaal bij de uitvoering een Arbo risico.
- Vanwege de aanwezigheid van calciumoxide is het materiaal reactief. Naar verwachting zullen het verkittingspotentieel, uitloging en hoge pH nog geruime tijd aanwezig zijn.
- Wij adviseren vanwege de lage doorlatendheid, hoge sterkte, hoge pH en reactiepotentieel de TGG-TAG niet toe te passen in waterkeringen.

Voor de bestaande toepassing in het project Perkpolder adviseren wij om door monitoring meer inzicht te krijgen in de kans op ongewenste gebeurtenissen:

- Peilbuizen in de TGG in de kern en berm van de dijk geven inzicht in de grondwaterhuishouding en het verloop van de grondwaterstand in de dijk in de tijd.
- Een verklikkingssysteem (bijvoorbeeld op basis van glasvezel) geeft zicht op het optreden van scheuren in de TGG.
- Peilbuizen in de omgeving van de dijk geven aan of het water met de hoge pH uit de TGG zich verspreidt naar de omgeving.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	mei 2016	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Vraagstelling	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Aanpak	1
1.3.1	Te bepalen eigenschappen	1
1.3.2	Belangrijkste eigenschappen TGG voor toepassing in dijken	2
1.3.3	Aanpak bemonstering	3
1.3.4	Aanpak laboratoriumonderzoek	3
1.3.5	Aanpak analyse	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Herkomst materiaal	5
2.1	Gegevens TGG Perkpolder	5
2.2	Bemonstering Perkpolder	6
2.3	Toepassing TGG van overige projecten	7
3	Laboratoriumonderzoek en analyse	10
3.1	Voorbehandeling	10
3.1.1	Overzicht proeven	10
3.1.2	Voorbehandeling zeping	11
3.1.3	Voorbehandeling malen	12
3.1.4	Samenstelling behandeling met water	12
3.1.5	Voorbehandeling versnelde veroudering	12
3.2	Resultaten fysisch onderzoek en analyse	12
3.2.1	Korrelverdeling inclusief verdeling deeltjes <63 µm	12
3.2.2	Organische-stofgehalte, gloeiverlies, kalkgehalte (CaCO ₃),	14
3.2.3	Korrelvorm, Afronding en Sortering (KAS) onderzoek	15
3.2.4	Volumieke massa vaste gronddelen	15
3.2.5	Minimale en maximale dichtheid	15
3.2.6	Proctorproef	16
3.2.7	Poriëngehalte	18
3.2.8	Doorlatendheid, standaard proef	18
3.2.9	Doorlatendheid, uitgebreide proef met pH-meting en EC _{25°C} -meting	19
3.2.10	Triaxiaalproef op standaard en versneld verouderd TGG	21
3.3	Resultaten geochemisch onderzoek en analyse	23
3.3.1	Mineralogische eigenschappen uitgangsmateriaal	23
3.3.2	Interactie TGG met zoet en zout water	25
3.3.3	Beoordeling zuur/base equivalenten	28
3.3.4	Chemische samenstelling water	28
3.3.5	Indicatie van de oorsprong van het anorganisch materiaal	29
3.3.6	Indicatie van de oorsprong van het organisch materiaal	30
3.3.7	Gedrag als bouwstof	31
3.3.8	Reinigingstemperatuur	31
4	Beantwoording onderzoeksvraag RWS	33
5	Overige conclusies en aanbevelingen	35

5.1	Conclusies	35
5.2	Aanbevelingen	36
6	Referenties	37
Bijlage(n)		
A	Resultaten bepaling korrelverdeling	A-1
A.1	Monster 4	A-1
A.2	Monster 6a	A-2
A.3	Monster 6b	A-3
A.4	Monster 6c	A-4
A.5	Monster E1	A-5
B	Resultaten KAS onderzoek	B-1
B.1	Monsters 4 en 6a	B-1
B.2	Monsters 6b en 6c	B-2
B.3	Monster E1	B-3
C	Resultaten proctorproef	C-1
D	Resultaten triaxiaalproeven	D-1
E	Gedetailleerde resultaten XRF	E-1
F	ICP-MS: bepaling samenstelling aanhangende vloeistof en water na contact met TGG	F-1
G	Samenstellingsonderzoek en uitloogtesten	G-1
H	Meetrapportage en algemene beschrijving Rock Eval testen	H-1
H.1	Organische analyse thermisch gereinigde grond	H-1
H.2	Monstervoorbereiding	H-4
H.3	Resultaten	H-4
H.4	Conclusie	H-5

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling

Ten behoeve van het project 'Natuurcompensatie Perkpolder' heeft Rijkswaterstaat een partij Thermisch Gereinigde Grond (TGG) aangeboden gekregen, die in (de kern van) het dijklichaam is aangebracht. Omdat er onzekerheden zijn over de fysische eigenschappen van het materiaal en het gedrag op langere termijn is Deltares gevraagd te adviseren ten aanzien van de toepassingsmogelijkheden in een waterkering [14].

Door Rijkswaterstaat is de volgende vraag geformuleerd:

'Is het mogelijk om TGG toe te passen in waterkeringen en zo ja, onder welke voorwaarden en welke risico's zijn daarmee gemoeid?'

Hierbij wordt niet alleen geduid op de fysische eigenschappen van TGG, maar ook op het geochemische gedrag van TGG nu en in de toekomst, waarbij speciaal aandacht moet worden besteed aan mogelijk veranderend hydraulisch gedrag. Ook aspecten als samenstelling en verwerkbaarheid spelen een belangrijke rol.

1.2 Doelstelling

Uit de literatuur [1] blijkt dat er relatief weinig onderzoeksgegevens bekend zijn van Thermisch Gereinigde Grond (TGG). Verder is er ook niet duidelijk of en wat de verschillen zijn (ook qua definitie) tussen TGG, zand en granulaat. Duidelijk is dat de oorspronkelijke samenstelling van het materiaal van belang kan zijn. Dit zou van elke aangeboden partij TGG voor reiniging vastgesteld bekend moeten zijn. Vaak zal de te reinigen grond bestaan uit een mengsel van zand, klei, grond en mogelijk gebroken asfaltgranulaat.

Verder is gebleken dat er vrijwel geen gegevens bekend zijn over het lange termijngedrag van TGG. Dit betreft zowel de milieutechnische als de civieltechnische aspecten. Juist dit gedrag op langere termijn kan van wezenlijk belang zijn. Op grond hiervan is een onderzoek ingesteld op de dijk te Perkpolder, om meer inzicht te krijgen in de eigenschappen van TGG.

Het doel van huidig onderzoek is bepaling van de geschiktheid van TGG op basis van visuele inspectie en het uitvoeren van een proevenserie voor toepassing in het project 'Perkpolder'. Op basis van eerdere overleggen en adviezen is een praktisch proevenprogramma voorgesteld, waarmee meer zekerheid verkregen wordt omtrent de geschiktheid van het materiaal in alle constructie-onderdelen van een waterkering.

1.3 Aanpak

1.3.1 Te bepalen eigenschappen

Uit een eerdere inventarisatie van Deltares [1] blijkt dat er relatief weinig onderzoeksgegevens bekend zijn van Thermisch Gereinigde Grond (TGG). Verder is het ook niet duidelijk of en wat de verschillen zijn (ook qua definitie) tussen Thermisch Gereinigde Grond, Thermisch Gereinigd Zand en Thermisch Gereinigd Granulaat. Duidelijk is dat de oorspronkelijke samenstelling van het materiaal van belang kan zijn. Dit zou van elke aangeboden partij TGG bekend moeten zijn. Het oorspronkelijke materiaal (vóór reiniging) kan bestaan uit zand, klei of asfaltgranulaat / asfalt, of een mengsel hiervan.

Verder is gebleken dat er vrijwel geen gegevens bekend zijn over het lange termijngedrag van TGG. Dit betreft zowel de milieutechnische als de civieltechnische aspecten. Juist dit gedrag op langere termijn kan van wezenlijk belang zijn voor de toepassingsmogelijkheden.

1.3.2 Belangrijkste eigenschappen TGG voor toepassing in dijken

Voor toepassing in grondlichamen wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Constructieve toepassing.
- Niet constructieve toepassing.

Dijklichamen zijn constructieve ophogingen, ook als daarop een weg aanwezig is. Dit geldt ook voor een eventuele binnenberm met daarop een verkeersweg.

CUR rapport 89-1 'Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw' [2] heeft aan welke geotechnische eigenschappen belangrijk zijn voor toepassing in verschillende onderdelen van waterkeringen. CROW 286 'Materialen in (constructieve) ophogingen en aanvullingen' [4] geeft de relevante eigenschappen voor toepassingen in verschillende onderdelen van wegen.

Uit CUR 89-1 en CROW 286 blijkt dat de volgende eigenschappen van groot belang zijn (prioriteit 1):

- Evenwichtsdraagvermogen: breuk of bezwijken.
- Vormveranderingsdraagvermogen: excessieve vervorming waardoor ernstige schade aan de constructie optreedt.
- Samenhang van/tussen het materiaal.
- Klink van het materiaal: volumevermindering onder invloed van eigen gewicht of uitwendige belasting.
- Zwell, collapse, krimp (alleen voor cohesief materiaal): volumeverandering onder invloed van wisselingen van vochtgehalte.
- Verwerkingsgevoeligheid bezwijken ten gevolge van totaal verlies van sterkte.
- Erosiebestendigheid.
- Mechanische bestendigheid.
- Waterdoorlatendheid.
- Dichtheid van het materiaal.
- Chemische verontreinigingen.
- Verwerkbaarheid.
- Verdichtbaarheid.

Naast deze eigenschappen zijn de samenstelling van het materiaal en de classificatie-eigenschappen van belang om het materiaal te karakteriseren en te vergelijken met andere materialen.

CROW 286 noemt verkitting van het materiaal niet expliciet, maar schaaft dit onder 'samenhang'. Verkit materiaal is cohesief; dit houdt in dat de beproevingsmethoden gelden die zijn aangegeven voor cohesief materiaal.

Vooraf in zettingsgevoelige gebieden kan verkitting schadelijke gevolgen hebben voor het functioneren van een constructie. Eigenschappen van TGG kunnen gedurende de levensduur veranderen als gevolg van verkitting. In dit onderzoek zal de kans op verkitting en de invloed

op de eigenschappen worden geschat aan de hand van mineralogisch en geochemisch onderzoek.

1.3.3 Aanpak bemonstering

De monstername en het aantal locaties waar monsters genomen/onderzocht worden en het aantal te beproeven monsters, is afhankelijk van de hoeveelheid toegepast materiaal, het aantal "verschillende partijen" dat is aangevoerd, de locaties waar het materiaal verwerkt is en de datum van verwerking. Op basis van de beschikbare informatie is gekozen om vijf duplomonsters te nemen op vijf verschillende locaties.

In het veld vinden volgende werkzaamheden plaats:

- Visuele verkenning / waarneming in het veld bij monstername.
- Monstername van geroerde en, indien mogelijk, ongeroerde monsters voor beproeving in het laboratorium.
- Indien mogelijk, bepaling van de volumieke dichtheid door middel van het nemen van steekringen.
- Indien bij monstername grondwater wordt aangetroffen, dan zal dit tevens bemonsterd worden en geanalyseerd worden op zuurgraad (pH), Elektrische geleidbaarheid (EC), redoxpotentiaal, zuurstofgehalte en temperatuur.

1.3.4 Aanpak laboratoriumonderzoek

Het laboratoriumonderzoek bestaat uit 3 fasen die in complexiteit en kosten toenemen. Het onderzoek bestaat uit:

Fase 1

- Bepaling samenstelling en classificatie van het materiaal door middel van korrelgrootte verdeling en gradering, lutumgehalte, textuur/hoekigheid, volumieke massa en watergehalte, gloeiverlies, humus- en kalkgehalte.
- Mineralogische samenstelling met behulp van methoden zoals elektronen microscopie (ESEM), röntgen diffractie (XRD) en röntgen fluorescentie (XRF). Het doel van deze bepalingen is om mineralen te identificeren die kunnen leiden tot of het gevolg zijn van verkitting, of ongewenste lange termijn eigenschappen veroorzaken.
- Bepaling van de sterkte van de korrels.
- Bepaling van de dichtheid van de vaste delen.
- Bepaling van de extreme dichtheden met behulp van de proctorproef, en minimale en maximale dichtheidproef.

Fase 2

- Bepaling van de schuifsterkte van het materiaal.
- Bepaling van de doorlatendheid.
- Onderzoek naar zwel/collapse/krimp.
- Aanvullend onderzoek naar verkitting en mogelijke oorzaken, zoals binding door zoutvorming, fysische capillaire binding of binding door mineraal-nieuwvorming.

Fase 3

- Onderzoek naar verwekingsgevoeligheid.
- Onderzoek naar erosiebestendigheid.
- Onderzoek naar klink/samendrukking.

1.3.5 Aanpak analyse

De resultaten van het onderzoek in het veld en in het laboratorium vormen de basis van de beoordeling van de toepassing van TGG binnen het project Perkpolder en andere waterkeringen. Ook zullen de eigenschappen van TGG worden vergeleken met de eigenschappen van gewoon zand en met metingen aan TGG uit andere projecten.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een samenvatting van de herkomst van het materiaal en de ervaringen met TGG in andere projecten. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van het laboratoriumonderzoek en geeft een eerste analyse en vergelijking met gewoon zand en TGG in andere projecten. Hoofdstuk 0 beantwoordt de onderzoeksvraag. Hoofdstuk 5 vat de conclusies en aanbevelingen samen.

2 Herkomst materiaal

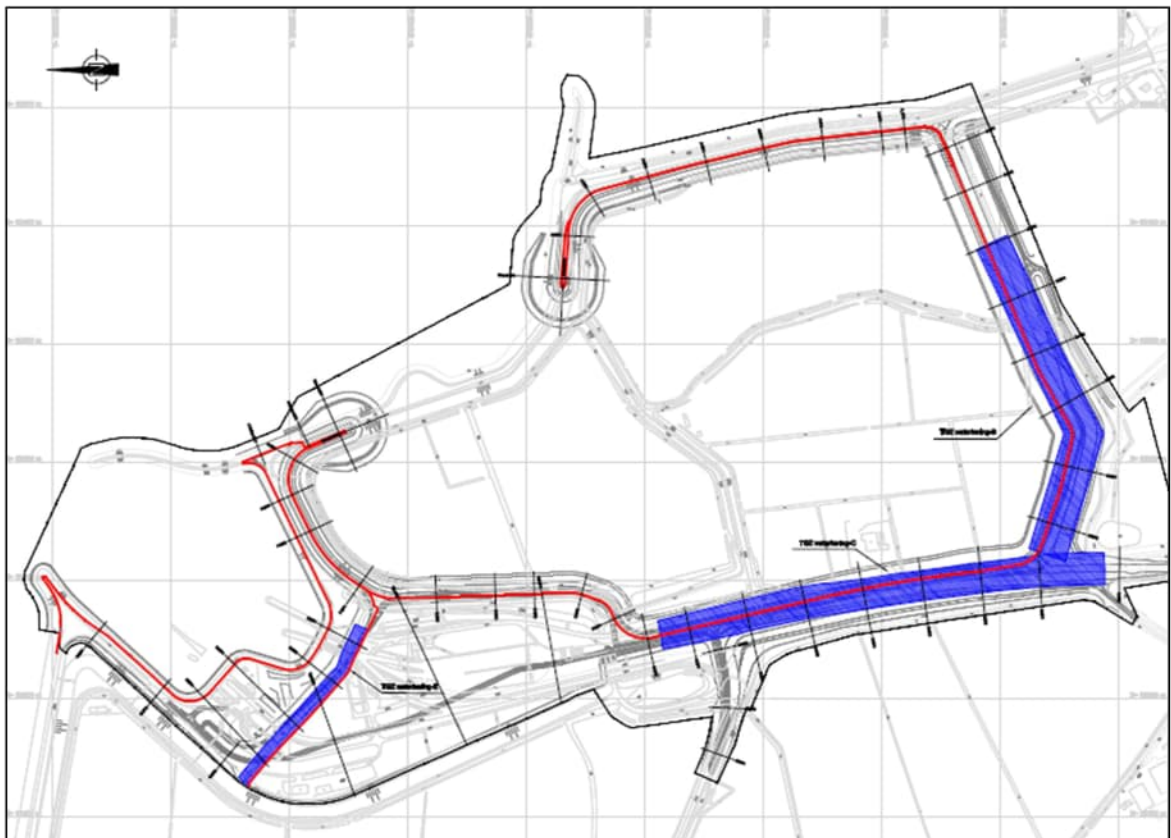
2.1 Gegevens TGG Perkpolder

In het project Natuurcompensatie Perkpolder is circa 280.000 ton Thermisch Gereinigde Grond (TGG) verwerkt. De TGG is afkomstig van Martens en Van Oord Moerdijk. De TGG wordt geleverd met productcertificaat. De TGG is toegepast onder het toetsingskader 'grootschalige toepassing'. Het TGG voldoet aan de maximale waarde van de bodemkwaliteitsklasse Industrie [16].

De TGG is toegepast in de waterkeringen:

- Type B: nieuwe waterkering. Voor de realisatie van de kern van deze waterkering is gebruik gemaakt van zowel uit het projectgebied vrijkomende grond als TGG.
- Type C: Waterkering C is een geheel nieuwe waterkering opgebouwd vanaf de geringe ophoging van de voormalig N689. Evenals voor waterkering B is voor de realisatie van de kern gebruik gemaakt van zowel intern vrijkomende grond als TGG.
- Type E: de nieuw gerealiseerde koppeldijk en kadert de noordzijde van het Veerplein in. Voor de realisatie van de kern van waterkering E is deels gebruik gemaakt van extern aangevoerd zand en deels van TGG.

Figuur 2.1 geeft een kaart met locaties waar TGG is toegepast. De TGG, door de aannemer aangeduid als 'Thermisch Gereinigd Zand', wordt toegepast, gekeurd en beproefd als gewoon zand.



Figuur 2.1 Locatie toepassing TGG in blauw [16]

2.2 Bemonstering Perkpolder

Door Deltares zijn op 25 september 2015 zes locaties bemonsterd. De bemonstering heeft plaats gevonden met behulp van een handboor (zie Foto 2.3) en er is een poging gedaan om met een steekapparaat (zie Foto 2.2) een ongeroerd monster te nemen. Dit is niet gelukt: het TGG was zo hard slechts circa 3 cm van de TGG in de steekbus kon worden vergaard (zie Foto 2.1).



Foto 2.3 Handboren

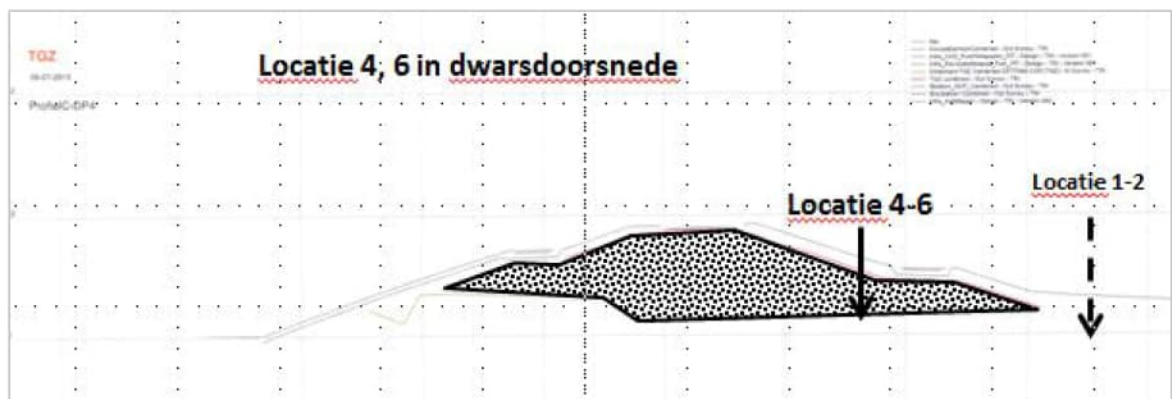


Foto 2.2 Steekapparaat



Foto 2.1 Gevulde steekbus

De locaties van de bemonsteringen staan aangegeven in de dwarsdoorsnede van Figuur 2.2. Op de locaties 1 en 2 is geen TGG aangetroffen. Op deze locaties werd onder afdekkende kleilaag schoon zand aangetroffen (zie Foto 2.4). Op de locaties 4-6 werd TGG aangetroffen en is deze bemonsterd.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede met globale aanduiding monsterlocatie



Foto 2.4 Schoon zand (locatie 1 en 2)

De doorboorde afdekkende kleilaag was voldoende dik (meer dan de 1 of 1,5 m) aangebracht. Op alle 6 locaties was het opgeboorde materiaal (zand en TGG) droog (zie Foto 2.4). Deltares heeft alleen met een handboor geroerde monsters kunnen nemen. Bij een

poging om met een bus een monster te steken kon de bus niet verder dan circa 3 cm in het TGG indringen. De boorgaten op de locaties zijn gedicht met het vrijgekomen materiaal. Deltares heeft bemonsterd op de binnenberm en op of nabij de overgang binnentalud naar berm (zie Tabel 2.1). In de berm zelf schijnt geen TGG te zijn aangebracht (locaties 1 en 2). De opdrachtgever heeft vier emmers met TGG beschikbaar gesteld bemonsterd op de dumptruck. Het materiaal uit deze emmers is als mengmonster gebruikt in het laboratoriumonderzoek. De verwijzing naar deze mengmonsters in de analyse en figuren is 'emmer #'.

Locatie	Monster-nummer	Kenmerk	Diepte [m-mv]	Gewicht [kg]	Opmerking
1		benedenberm	1 – 1,5	1	zand
2		binnenberm	1 – 1,5	0,95	zand
3		benedenberm	1,5 – 1,7	0,95	?
4	4	binnentalud	1,2 – 1,7	5	TGG, bulk
		binnentalud	1,7 – 2,0	2,3	TGG
		binnentalud	2,0 – 2,03	0,2	TGG, steekmonster
5		binnentalud	1,3 – 1,5	1,2	TGG
		binnentalud	1,7 – 2,6	1,5	TGG
6		binnentalud	1,1 – 1,3	1,1	TGG
		binnentalud	1,5 – 1,7	1,6	TGG
	6a	binnentalud	1,5 – 2,0	>5	TGG, bulk
	6b	binnentalud	2,0 – 2,5	>5	TGG, bulk
	6c	binnentalud	2,5 – 3,2	>5	TGG, bulk
dumptruck	E1 E2 E3 E4	4 emmers		>10	TGG, mengmonster

Tabel 2.1 Bemonsterde locaties met monsterdiepte en gewicht monster. Vetgedrukt: TGG monsters

Tabel 2.2 geeft aan welke monsters in het laboratoriumonderzoek zijn onderzocht.

monster	4	6a	6b	6c	emmers
diepte bovenkant [m-mv]	1,20	1,50	2,00	2,50	n.v.t.
diepte onderkant [m-mv]	1,70	2,00	2,50	3,20	n.v.t.
gemiddelde diepte [m-mv]	1,45	1,75	2,25	2,85	n.v.t.

Tabel 2.2 Overzicht van de monsters voor het laboratoriumonderzoek

2.3 Toepassing TGG van overige projecten

TGG is toegepast in de volgende projecten:

- Waterschap Brabantse Delta: Overdiepse Polder, dijkversterking Waalwijk - Geertruidenberg, 2013 (RWS [REDACTED] persoonlijke communicatie)
In de Overdiepse Polder is TGG toegepast in de onderste laag (fundatie) van de boerderijterpen. Daarop is een 3 m dikke laag zand aangebracht. Dit is gedaan omdat er onder de bedrijfsgebouwen gierkelders zijn gebouwd. En het zou niet handig zijn om eerst TGG in de kern te verwerken die later weer ontgraven zou moeten worden ten behoeve van de kelders.



Figuur 2.3 Aanbrengen van TGG in het project Overdiepe polder. Het materiaal lijkt nog warm

- RWS Ruimte voor de Rivier, Noordwaard, Q2 2012 ([REDACTED] RWS, persoonlijke communicatie)

In de Noordwaard heeft de Combinatie Noordwaard TGG op grote schaal toegepast in de kades (kern) ter bescherming van de nieuwe polders. De kades zijn afgedekt met een kleilaag. Aangezien de kades niet de status van een primaire waterkering hebben is voor deze toepassing ook niet het ExpertiseNetwerk Waterkingen (ENW)-spoor doorlopen. Ik heb het document van de aannemer bij gevoegd dat ingaat op de materiaaleigenschappen van TGG.

Het gebruik van TGG als kernmateriaal in de terpen is stopgezet aangezien dit – mede door een ongelukkige omgevingscommunicatie – tumult in de omgeving opleverde aangezien op de TGG-kern een 'slechts' een leeflaag van 0,5 m zou worden aangebracht. Er is toen voor gekozen om de terpen op te bouwen van gebiedseigen grond.
- RWS Ruimte voor de Rivier, dijken IJsseldelta (bypass Kampen), Q1-2014 (Wim Sterk, RWS, persoonlijke communicatie)

Het is nog onduidelijk in hoeverre TGG toegepast gaat worden in de nieuwe dijken langs de hoogwatergeul. In de aanbestedingsfase heeft een inschrijver de vraag gesteld of het is toegestaan om TGG toe te passen in dijkkernen of overige toepassingen. Dit heeft RWS-intern veel discussie veroorzaakt. De belangrijke vragen zijn of:

 1. Al voldoende is bewezen dat TGG voldoende geschikt is voor civieltechnische toepassing in een primaire waterkering.
 2. Hoe wordt voldaan aan de zorgplicht Waterwet dat materialen terugneembaar moeten zijn indien t.g.v. erosie / falen dijk TGG uitspoelt en in het oppervlakte-water terecht komt.

Betreffende de eerste vraag was het standpunt dat TGG om veiligheidsredenen niet is toestaan, anders dan dat eerst is aangetoond en gegarandeerd is dat via het ENW een positief advies op basis van de proeven is uitgebracht. Dit betekent dus dat indien een opdrachtnemer TGG wil gaan toepassen hij zelf moet zorgen voor een positief ENW-

advies. In dat kader zal hij dan eerst een praktijkproef moeten uitvoeren met TGG om aan te tonen dat aan de contracteisen wordt voldaan. Om onnodige discussie te voorkomen is door RWS in de aanbestedingsfase naar de inschrijvers gecommuniceerd dat zij in de aanbidding er van dienen uit te gaan dat er geen TGG wordt toegepast. Dit betekent niet dat het gebruik van TGG na gunning wordt uitgesloten. IJsseldelta is nu voorlopig gegund aan Boskalis – Van Hattum en Blankevoort. Het is dus afwachten of zij nog toepassing van TGG overwegen.

- Waterschap Hollandse Delta, Bosschendijk Oud Beijerland, dijkversterking Hoeksche Waard Noord, 2015 [15]

Martens en Van Oord (MvO) heeft Thermisch Gereinigd Zand (TGZ) aangeboden als alternatief voor (ophoog)zand voor binnendijkse grondaanvullingen. In opdracht van het Waterschap Hollandse Delta heeft Deltares onderzocht of:

1. Het uitvoeringsontwerp met TGZ voldoet aan de vraagspecificatie inclusief onderliggende vigerende leidraden en richtlijnen.
2. Zand met een lagere doorlatendheid dan 0,9 m/dag ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s) voldoet aan de vraagspecificatie, waaronder de vigerende leidraden en richtlijnen.

Ten aanzien van vraag 1 wordt geconcludeerd dat het voorgestelde uitvoeringsontwerp niet voldoet aan de vraagspecificatie. Er wordt onvoldoende aangetoond dat de eigenschappen van TGZ bij toepassing een dijk opleveren die overeenkomt met hetgeen de vraagspecificatie eist, indien ophoogzand conform de in Nederland gebruikelijke normen en uitvoeringspraktijk wordt gebruikt. Concreet gesproken zijn er onvoldoende onderzoeksresultaten van TGZ beschikbaar en is het gedrag op langere termijn, en in relatie tot optredende zettingen onbekend.

Ten aanzien van vraag 2 wordt geconcludeerd, dat zand met een lagere doorlatendheid dan 0,9 m/dag formeel gezien voldoet, aan de vraagspecificatie.

Van het laatste project zijn laboratoriumgegevens beschikbaar. Deze worden in dit rapport als referentie gebruikt voor de gegevens van de TGG Perkpolder.

3 Laboratoriumonderzoek en analyse

3.1 Voorbehandeling

3.1.1 Overzicht proeven

De monsters zijn in 2 batches verdeeld. Eén batch is gebruikt voor een fysische analyse door Wiertsema & Partners en Deltares Delft, de andere batch is gebruikt voor geochemische analyse bij Eurofins Analytico en Deltares Utrecht.. Er zijn 5 verschillende materialen geanalyseerd. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de fysische proeven.

Proef	Norm	Fase van het onderzoek	Uitvoerder
Korrelverdeling en classificatie	RAW 2010 proef 2 en 11 [21]	1	Wiertsema & Partners
Organischstofgehalte en kalkgehalte d.m.v. gloeiverlies	RAW 2010 proef 28 [21]	1	Wiertsema & Partners
Korrelvorm, Afronding en Sortering (KAS) onderzoek	Powers [22]	1	Wiertsema & Partners
Volumieke massa vaste gronddelen	NEN 5111:1995 nl	1	Wiertsema & Partners
Minimale en maximale dichtheid	BS 1377-4:1990: 4.2/4.4	1	Wiertsema & Partners
Proctorproef	RAW 2010 proef 9 [21]	1	Wiertsema & Partners
Poriëngehalte	Uit dichtheid en volumieke massa vaste gronddelen	1	Wiertsema & Partners
Doorlatendheid, standaard	NEN 5123:2002 nl	2	Wiertsema & Partners
Doorlatendheid, uitgebreide proef met pH-meting	Deltaresmethode	2	Deltares Delft
Triaxiaalproef op standaard TGG	NEN 5117:1991 / A1:1997 nl	2	Deltares Delft
Triaxiaalproef op versneld verouderd TGG	NEN 5117:1991 / A1:1997 nl	2	Deltares Delft

Tabel 3.1 Overzicht van het fysisch onderzoek

In het laboratorium in Utrecht zijn de monsters geochemisch onderzocht door middel van de volgende proeven, vermeld in Tabel 3.2.

Proef	Norm/methode	Fase van het onderzoek	Uitvoerder
Mineralogische samenstelling van onverwerkte TGG en TGG, verwerkt in de dijk.	Ramping TGA, gevolgd door XRF, Deltaresmethode	1	Deltares Utrecht / Universiteit Utrecht
Interactie TGG met zout en zoet water	Bekerglasproeven met geleiding, pH en concentratiebepalingen (ICP-MS)	1	Deltares Utrecht / Universiteit Utrecht
Samenstelling poriewater	Centrifugatie, gevolgd concentratiebepaling (ICP-MS)		Deltares Utrecht / Universiteit Utrecht
Chemische samenstelling water	Rock Eval, Deltaresmethode	2	Deltares Utrecht
Indicatie anorganisch oorsprong materiaal	XRD		
Herkomst organisch oorsprongmateriaal	Rock Eval	2	
Uitloogonderzoek, inclusief permeaatmeting	NEN7343, L/S=1, L/S=10, BSB/AP04	2	Eurofins Analytico

Tabel 3.2 Overzicht van het geochemisch onderzoek

Voor deze testen zijn de volgende bijzondere bepalingen uitgevoerd:

- Ramping TGA: thermografie: hiermee wordt een indicatie verkregen van de aanwezige precipitaten en organische verbindingen.
- XRF: na de ramping TGA test wordt door middel van XRF de element-samenstelling bepaald.
- Rock Eval (RE): De mogelijke aanwezigheid van organisch materiaal in de thermisch gereinigde grond is bepaald met de Rock Eval. De Rock Eval techniek is een relatief eenvoudige methode om zowel de hoeveelheid alsook het type organisch materiaal te bepalen. De methode is ingezet om de aanwezigheid van resten niet-verbrand organisch materiaal aan te tonen, afkomstig van bitumen en teer.
- ICP-MS (inductief gekoppeld plasma massaspectrometrie): bepaling van concentratie van metalen in de vloeistof
- XRF. Een methode om de aard van kristallijn materiaal te bepalen is in dit onderzoek ingezet om te bepalen of het uitgangsmateriaal klei of zand is geweest.

3.1.2 Voorbehandeling zeving

Voor sommige proeven is het nodig geweest om het materiaal te zeven om de grove fractie te verwijderen. Hoewel hierdoor het gedrag van het materiaal in de proef zou kunnen veranderen, is dit nodig omdat anders de proef nog nadeliger wordt beïnvloed. Voor de volgende proeven zijn de monsters gezeefd:

- Doorlatendheidmeting, uitgebreide proef met pH-meting: fractie grover dan 9,5 mm verwijderd vanwege eisen aan de maximale korrelafmeting in relatie tot de afmetingen van het apparaat.

- Triaxiaalproef op standaard TGG: fractie grover dan 9,5 mm verwijderd vanwege eisen aan de maximale korrelafmeting in relatie tot de afmetingen van het apparaat.
- Triaxiaalproef op versneld verouderd TGG: fractie grover dan 9,5 mm verwijderd vanwege eisen aan de maximale korrelafmeting in relatie tot de afmetingen van het apparaat.
- Uitloogonderzoek en chemische analyse: fractie grover dan 9,5 mm verwijderd vanwege beperkingen aan de hoeveelheid te analyseren materiaal.
- Resten niet verbrand organisch materiaal: fractie grover dan 9,5 mm verwijderd vanwege beperkingen aan de hoeveelheid te analyseren materiaal.

3.1.3 Voorbehandeling malen

Voor analyse met de Rock Eval zijn de monsters handmatig verpoederd in een vijzel.

3.1.4 Samenstelling behandeling met water

De volgende samenstellingen zijn gebruikt:

- Zeewater, per liter : Bemonsterd in de Noordzee op ca. 1 km uit de kust van Texel.
- Zoetwater : Kraanwater.
- Anaeroob zeewater : Zeewater, anaeroob gemaakt m.b.v. stikstof doorborrelen.

3.1.5 Voorbehandeling versnelde veroudering

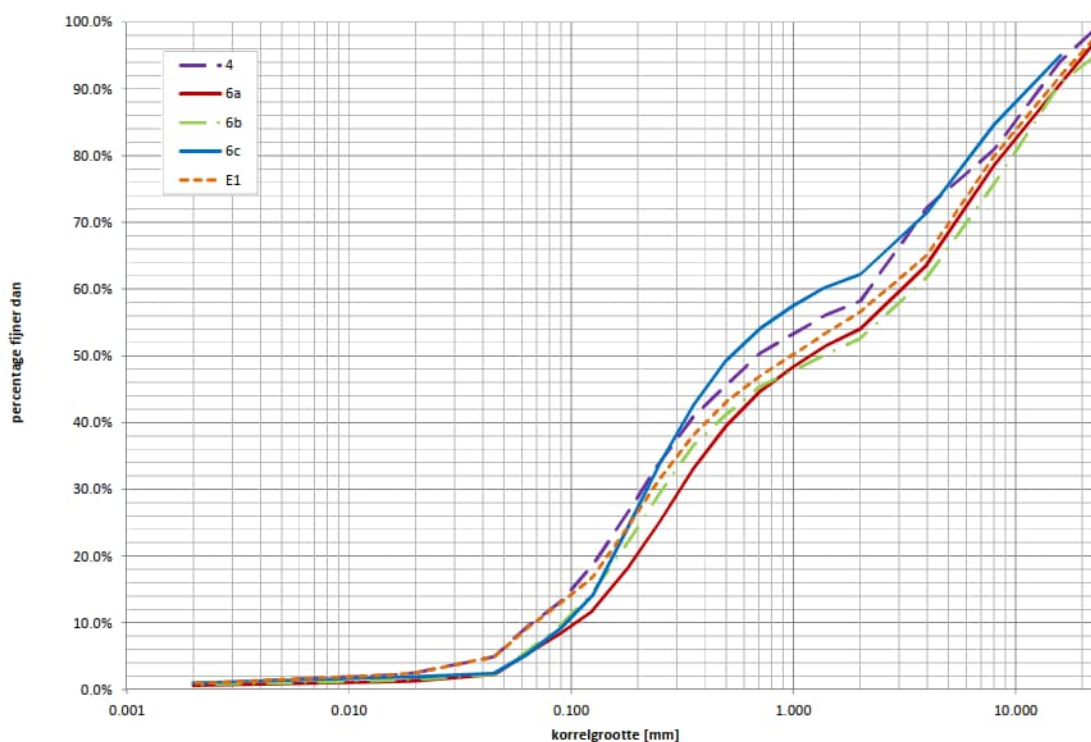
De monsters zijn in de mal opgebouwd en verdicht als bij de andere triaxiaaltesten. Vóór de start van de belasting zijn de monsters gedurende 18 uur doorspoeld met in totaal 360 mL (>2 porievolumes) natriumbicarbonaatoplossing (100 mM NaHCO₃, 84 g/L).

3.2 Resultaten fysisch onderzoek en analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het fysisch onderzoek gegeven. De resultaten worden geanalyseerd en vergeleken met bekende literatuur gegevens en gegevens uit het onderzoek voor de dijkversterking Hoekse Waard Noord [15].

3.2.1 Korrelverdeling inclusief verdeling deeltjes <63 µm

Van de monsters zijn korrelverdelingsdiagrammen gemaakt. Het resultaat is in Figuur 3.1 gegeven. De volledige korrelverdelingsdiagrammen zijn opgenomen in Bijlage A. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de parameters van de korrelgrootteverdeling.



Figuur 3.1 Korrelgrootteverdelingen van TGG uit Perkpolder

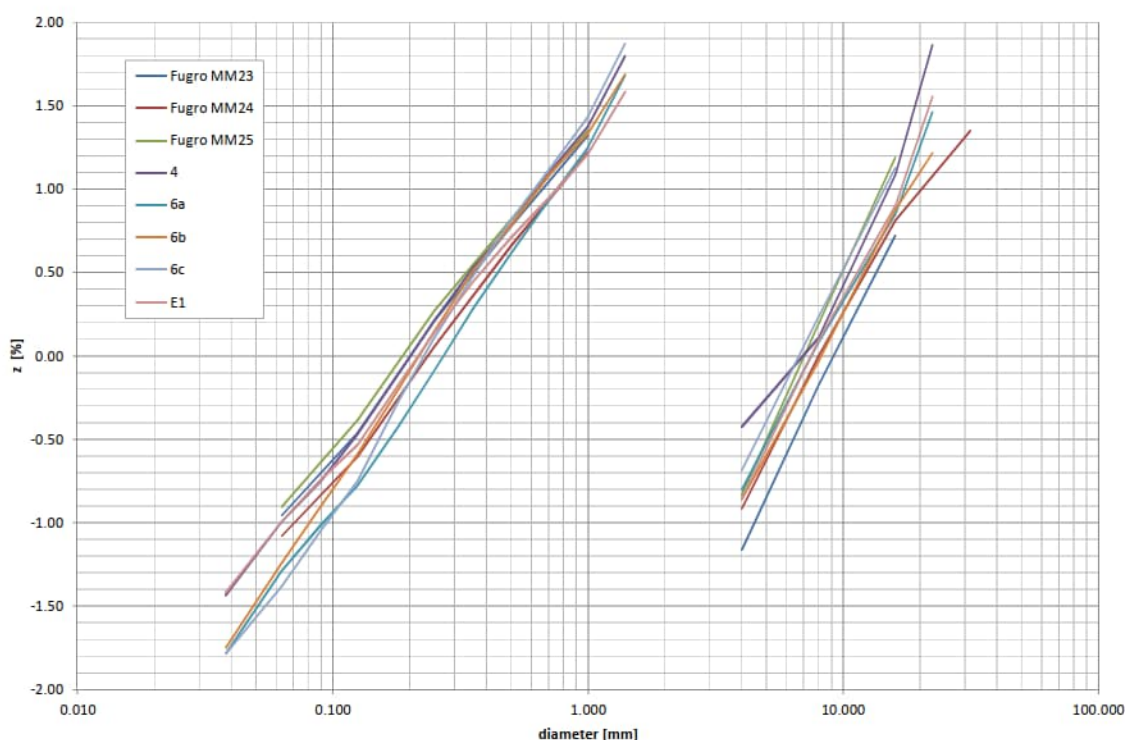
Monster	Gehele monster					
	d ₁₀ [mm]	d ₅₀ [mm]	d ₆₀ /d ₁₀ [-]	% < 63 μm [%]	% zand [%]	% grind [%]
4	0,067	0,691	32,5	9,3	48,9	41,8
6a	0,105	1,195	29,3	5,3	48,7	46,0
6b	0,092	1,366	37,9	5,6	47,0	47,4
6c	0,095	0,527	14,2	5,2	57,0	37,8
E1	0,068	0,976	38,7	9,1	47,5	43,4
gemiddelde	0,085	0,951	30,5	6,9	49,8	43,3

Tabel 3.3 Overzicht van de parameters van de korrelgrootteverdeling van TGG uit Perkpolder

Uit Tabel 3.3 volgt dat circa 50% tot de fractie 'zand' behoort en circa 43% tot de fractie 'grind'. Vanaf 1 februari 2016 moet beschrijving en classificatie van grond plaatsvinden volgens NEN-EN-ISO-14688:2016(nl) 'Geotechnisch onderzoek en beproeving - Identificatie en classificatie van grond' [8][9]. Volgens NEN-14668 is de onderzochte TGG een sterk grindig ZAND. Op 22 maart 2016 is de oude Nederlandse norm NEN 5104:1989(nl) 'Geotechniek, classificatie van onverharde grondmonsters' [7] ingetrokken. Volgens NEN 5104 is de onderzochte TGG een sterk zandig GRIND. Het is ons niet bekend welke norm van toepassing was ten tijde van het sluiten van het contract voor de Natuurcompensatie Perkpolder. Dit is bepalend voor de vraag of er 'zand' of 'grind' is toegepast.

De korrelgrootteverdeling vertoont een kenmerkende dip rond 2 mm. Dit doet vermoeden dat het materiaal geen natuurlijke herkomst heeft, en een mengsel is van meerdere materialen.

In Figuur 3.2 is de korrelgrootteverdeling uitgezet met het percentage fijner geplot op een waarschijnlijkheidsschaal. De korrelgrootteverdeling van natuurlijke materialen met dezelfde omstandigheden van vorming is in deze plot een rechte lijn [18]. Wanneer de korrelverdeling wordt geknipt in de fracties kleiner en groter dan 2 mm (respectievelijk zand en grind) ontstaan twee nagenoeg rechte lijnen. Deze lijnstukken zijn representatief voor de verschillende oorspronkelijke materialen. Het moedermateriaal van de TGG is dus waarschijnlijk een mengsel van een zand en een grind.



Figuur 3.2 Korrelgrootteverdelingen van de zand en grindfracties van de TGG uit Perkpolder (dit onderzoek en onderzoek van Oord / Fugro [17]), percentages fijner geplot op waarschijnlijkheidsschaal

3.2.2 Organische-stofgehalte, gloeiverlies, kalkgehalte (CaCO_3),
Het organisch-stofgehalte, het gloeiverlies en het CaCO_3 gehalte zijn gegeven in Tabel 3.4.

Monster	Gloeiverlies [%]	Organische stof [%]	Kalkgehalte RAW 2010 [%]	Kalkgehalte TGA-XRF [%]
4	1,8	1,4	10,2	6,7
6a	1,7	1,3	10,2	6,9
6b	2,1	1,7	8,6	6,8
6c	1,8	1,4	7,7	5,8
E1	2,5	2,1	4,6	3,0
gemiddelde	2,0	1,6	8,3	5,8

Tabel 3.4 Overzicht van organische stofgehalte, gloeiverlies en kalkgehalte van TGG uit Perkpolder

Het gloeiverlies is iets hoger dan het gehalte aan organische stof. Dit wordt veroorzaakt doordat andere materialen zoals kleimineralen en kalk ook massa kwijt raken bij hoge verhitting in de gloeiverlies proef. Het kalkgehalte is bepaald binnen de gloeiverliesproef

volgens RAW 2010 en in het geochemisch onderzoek (door middel van TGA-XRF), volgens verschillende procedures. De verschillen worden veroorzaakt door verschillen in het uitvoering van de proef: waar bij de RAW 2010 proef het gewichtsverlies wordt gemeten tussen 500 en 900°C, wordt bij TGA de massa bepaald in een preciezere temperatuurrange, omdat de massa continue wordt bijgehouden. De waardes door middel van RAW 2010 gemeten zijn circa 50% hoger dan bij TGA. Dit kan veroorzaakt worden doordat bij de eerste methode ook het ontwijken van bepaalde vormen van ongebluste kalk (Ca(OH)_2 en CaOOH), alsmede aluminium hydroxide Al(OH)_3 aan gebluste kalk wordt toegeschreven.

Zowel organisch-stofgehalte als gloeiverlies zijn laag. Dit is te verwachten gezien het productieproces van de TGG. Het kalkgehalte is opvallend hoog en wijst erop dat het moedermateriaal van de TGG sterk kalkhoudend is. Als de totale hoeveelheid gebluste en ongebluste kalk wordt meegenomen, komt het kalkgehalte nog hoger uit (zie Tabel 3.10).

3.2.3 Korrelvorm, Afronding en Sortering (KAS) onderzoek

De resultaten van het KAS onderzoek zijn gegeven in Bijlage B. Uit het onderzoek blijkt dat de korrelvorm, afronding en sortering niet eenduidig zijn te bepalen. Er komen korrels voor van sterk verschillende vorm en afronding. Ook dit geeft aan dat het TGG waarschijnlijk geen natuurlijke oorsprong heeft, maar een kunstmatig mengsel is.

3.2.4 Volumieke massa vaste gronddelen

De resultaten van de bepaling van de volumieke massa van de vaste gronddelen zijn gegeven in Tabel 3.5.

Monster	Volumieke massa van de vaste gronddelen [kg/m ³]
4	2626
6a	2618
6b	2617
6c	2628
E1	2618
gemiddelde	2621

Tabel 3.5 Overzicht van volumieke massa van de vaste gronddelen

Deze waarden zijn normaal voor zand dat in de Nederlandse GWW wordt toegepast. Ter vergelijking zijn de waarden van de volumieke massa van de vaste gronddelen voor verschillende mogelijke bestanddelen:

- Kwarts, puur: 2650 kg/m³.
- Calciet, puur: 2700 kg/m³.
- Organisch materiaal: 1400 kg/m³.

De gemeten volumieke massa kan goed worden verklaard uit het gehalte organische stof. Dit sluit uit dat er korrels aanwezig zijn met afgesloten inwendige poriën.

3.2.5 Minimale en maximale dichtheid

De resultaten van de bepaling van de minimale en maximale dichtheid zijn gegeven in Tabel 3.6. De poriëngehalten zijn berekend met behulp van de gemeten volumieke massa van de vaste gronddelen.

Monster	Dichtheid [kg/m ³]		Poriëngehalte [%] bij	
	minimum	maximum	minimum dichtheid	maximum dichtheid
4	1429	1786	45,6	32,0
6a	1408	1724	46,2	34,1
6b	1408	1786	46,2	31,8
6c	1390	1695	47,1	35,5
E1	1429	1754	45,4	33,0
gemiddelde	1413	1749	46,1	33,3

Tabel 3.6 Overzicht van de minimale en maximale dichtheid en het bijbehorend poriëngehalte

De analyse van de resultaten is opgenomen in de volgende paragraaf.

3.2.6 Proctorproef

Er is één proctorproef uitgevoerd op het emmer monster E1. De volledige resultaten van de proef zijn gegeven in bijlage C. De belangrijkste parameters uit de proef zijn gegeven in Tabel 3.7. Het poriëngehalte is berekend met behulp van de gemeten volumieke massa van de vaste gronddelen.

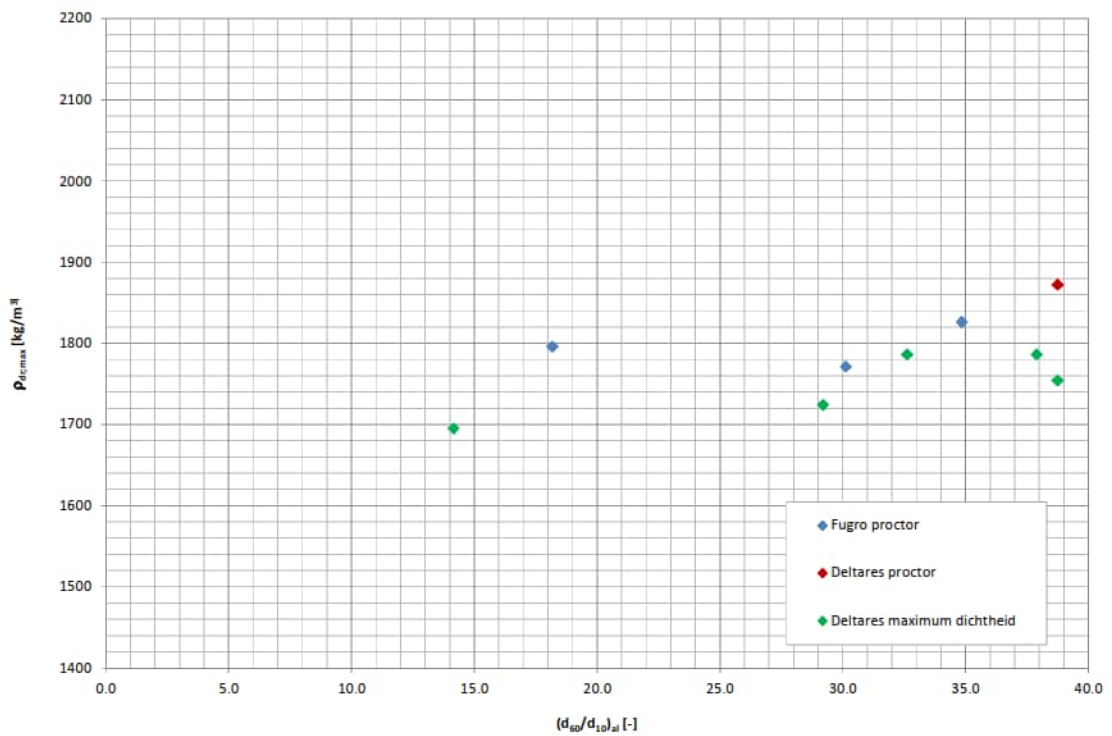
Monster	Maximum proctordichtheid [kg/m ³]	Optimum vochtgehalte [%]	Poriëngehalte bij de maximum proctordichtheid [%]
E1	1872	12,2	28,5

Tabel 3.7 Overzicht van resultaten van de proctorproef

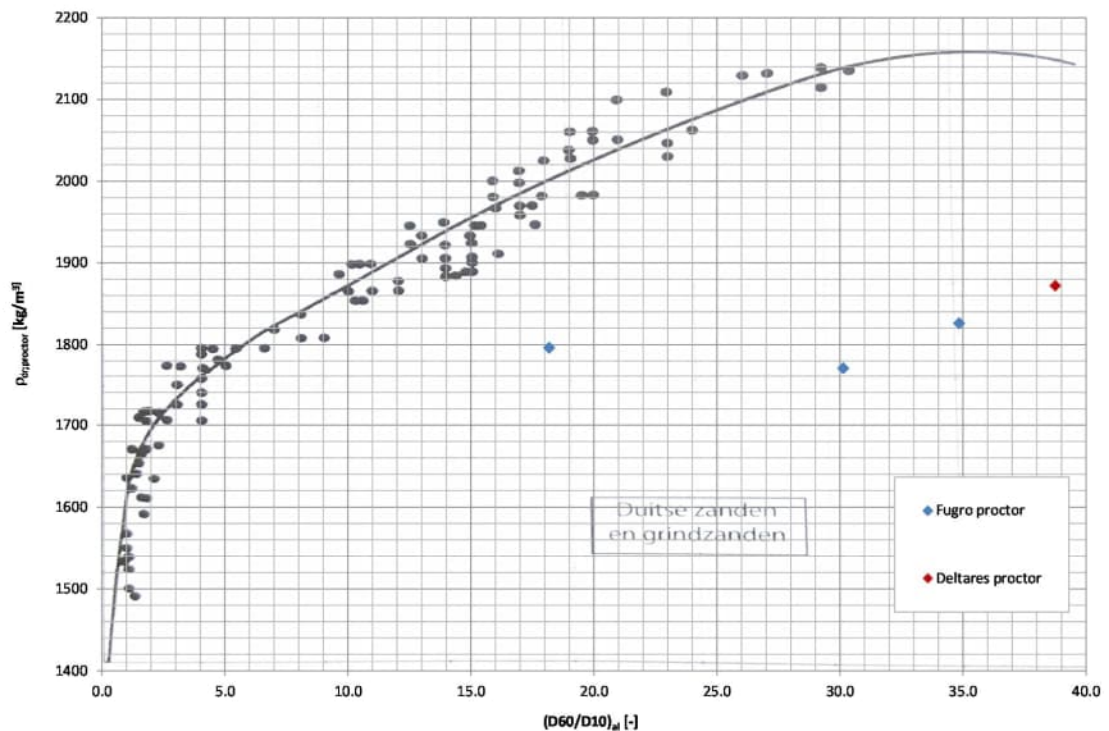
Figuur 3.3 geeft de resultaten van de bepaling van de maximum dichtheden met de proctorproef en de maximale dichtheidsproef, met ook de resultaten van het onderzoek van Van Oord / Fugro [17]. De dichtheden zijn uitgezet tegen de gelijkvormigheidscoëfficiënt d_{60}/d_{10} van de korrelgrootteverdeling. Een hoge gelijkvormigheidscoëfficiënt betekent dat het materiaal goed gegradeerd is en alle korrelgroottes voorkomen. Voor natuurlijke materialen nemen de maximum en minimum dichtheid toe met de gelijkvormigheidscoëfficiënt. Naarmate de gelijkvormigheidscoëfficiënt groter is zijn er meer kleinere korrels die in de ruimte tussen de grotere korrels passen; dit levert een hoge dichtheid op.

Uit Figuur 3.3 blijkt dat er inderdaad een toename is te zien van de maximum dichtheden met de gelijkvormigheidscoëfficiënt. Dit geldt zowel voor de dichtheden bepaald in de proctorproef als in de maximum dichtheidsproef. Normaal gesproken liggen de maximum dichtheden in de proctorproef ca. 7 % lager als in de maximum dichtheidsproef [19]. Het is niet duidelijk waarom dat bij TGG niet het geval is.

In Figuur 3.4 zijn alleen de maximum dichtheden uit de proctorproef uitgezet tegen de gelijkvormigheidscoëfficiënt, en vergeleken met gegevens uit de literatuur [19]. Het blijkt dat de gemeten proctordichtheden van de TGG erg laag zijn in vergelijking met natuurlijke materialen met eenzelfde gelijkvormigheidscoëfficiënt.



Figuur 3.3 Maximum dichtheden (dit onderzoek en onderzoek Van Oord / Fugro [17], uitgezet tegen de gelijkvormigheidscoëfficiënt van de hele korrelverdeling



Figuur 3.4 Maximum proctordichtheid (dit onderzoek en onderzoek van Oord / Fugro [17], uitgezet tegen de gelijkvormigheidscoëfficiënt van de hele korrelverdeling, met correlatie uit de literatuur [19])

Uit metingen van Van Oord bij de aanleg [17] blijkt dat de gemiddelde proctordichtheid bij het veldvochtgehalte 1787 kg/m^3 bedraagt. Dit wijkt niet veel af van de waarde van 1798 kg/m^3

die Van Oord / Fugro in het laboratorium heeft gemeten. Dit geeft aan dat de maximum dichtheden van de TGG zowel in het veld als in het laboratorium zijn gemeten, en dus eigen zijn aan het materiaal TGG.

Een mogelijke verklaring van de relatief lage dichtheden zou kunnen zijn dat TGG bestaat uit korrelaggregaten, waarbij het fijne materiaal is vastgekit aan de grotere korrels. Daardoor zou de TGG zich gedragen als een materiaal met een lagere gelijkvormigheidscoëfficiënt, met lagere dichtheden. In de zeving wordt wel een hoge gelijkvormigheidscoëfficiënt gevonden omdat het fijne materiaal in de voorbehandeling wordt losgeweekt van de grote korrels.

3.2.7 Poriëngehalte

Het poriëngehalte hangt af van de pakkingsdichtheid van het materiaal. De poriëngehalten bij de maximum dichtheid zijn gegeven in Tabel 3.6.

Voor het poriëngehalte kunnen dezelfde conclusies worden getrokken als voor de maximum dichtheden: de gemeten waarden van de TGG zijn erg hoog in vergelijking met natuurlijke materialen met eenzelfde gelijkvormigheidscoëfficiënt. Het is niet duidelijk waarom dat bij TGG het geval is.

3.2.8 Doorlatendheid, standaard proef

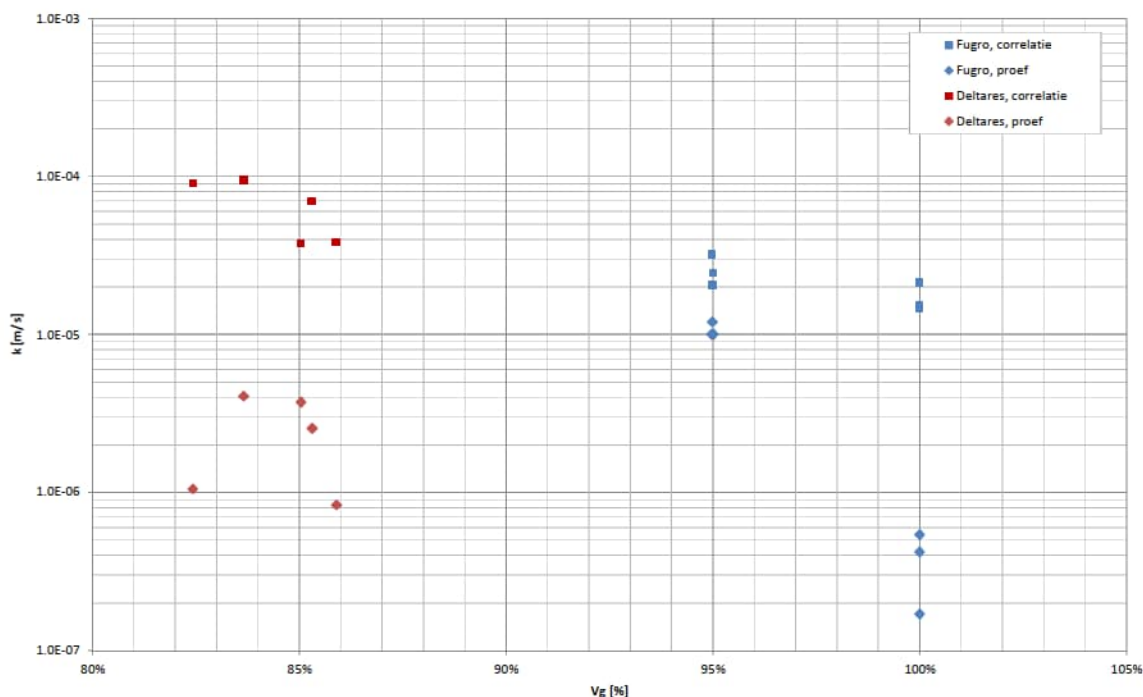
De doorlatendheid van de monsters is gegeven in Tabel 3.8.

Monster	Doorlatendheid	Verdichtingsgraad t.o.v. maximum proctordichtheid
	[m/s]	[%]
4	$8,3 \cdot 10^{-7}$	90
6a	$4,1 \cdot 10^{-6}$	91
6b	$2,5 \cdot 10^{-6}$	89
6c	$1,1 \cdot 10^{-6}$	91
E1	$3,7 \cdot 10^{-6}$	91
gemiddelde	$2,4 \cdot 10^{-6}$	90

Tabel 3.8 Resultaten van de standaard doorlatendheidsproef

In Figuur 3.5 is de doorlatendheid uitgezet tegen de verdichtingsgraad (op basis van de proctorproef), inclusief de bepalingen van Van Oord / Fugro [17]. Uit de figuur komt niet echt een duidelijk verband naar voren. In Figuur 3.5 zijn tevens de waarden aangegeven uit de correlatie volgens Beyer [20] voor (grindhoudend) zand. Hieruit blijkt dat de doorlatendheid van de TGG een factor 2 tot een factor 125 lager is dan verwacht kan worden voor zand met vergelijkbare verdichtingsgraad en korrelgrootteverdeling.

Verkitting is een mogelijke verklaring voor de lage doorlatendheden.



Figuur 3.5 Doorlatendheid (dit onderzoek en onderzoek van Van Oord / Fugro [17]) uitgezet tegen de verdichtingsgraad, met correlatie volgens Beyer uit de literatuur [19], [20]

3.2.9 Doorlatendheid, uitgebreide proef met pH-meting en $EC_{25^{\circ}C}$ -meting

Om te beoordelen of doorlatendheid in de tijd varieert en er (dus) een relatie is met reactiviteit van het materiaal of verplaatsing van fijne delen door het materiaal is een extra doorlatendheidsmeting uitgevoerd, waarbij doorlatendheid en geleidbaarheid en pH ieder uur zijn gemeten.

De test is uitgevoerd op emmermonster E1, waarbij het materiaal grover dan 9,5 mm is verwijderd. Het materiaal is aangebracht in een perspex cilinder met diameter 79,2 mm en hoogte 146,5 mm en verdicht tot een droge dichtheid van 1720 kg/m^3 . De verdichtingsgraad is niet bekend omdat er geen proctordichtheid is van het materiaal zonder de grove fractie.

De drukhoogte tijdens de proef was 465 mm; dit komt neer op een verhang van 3,17 m/m. Op verschillende hoogtes in de kolom zijn meetpunten aangebracht om stijghoogtes te meten, om te kijken of de kolom op specifieke plekken verstopt (Foto 3.1). De uitstromende vloeistof werd overdag gedurende 2 uur opgevangen, waarna pH en geleiding werd bepaald.



Foto 3.1 Opstelling uitgebreide doorlatendheidsproef

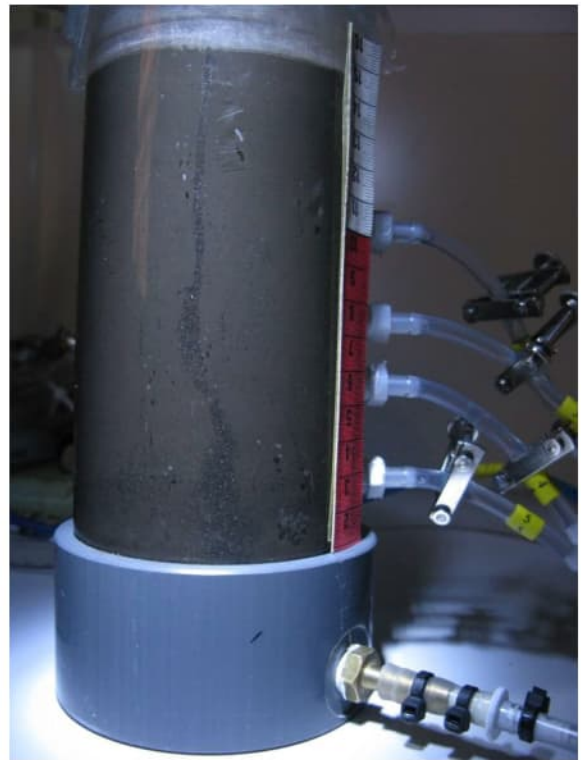
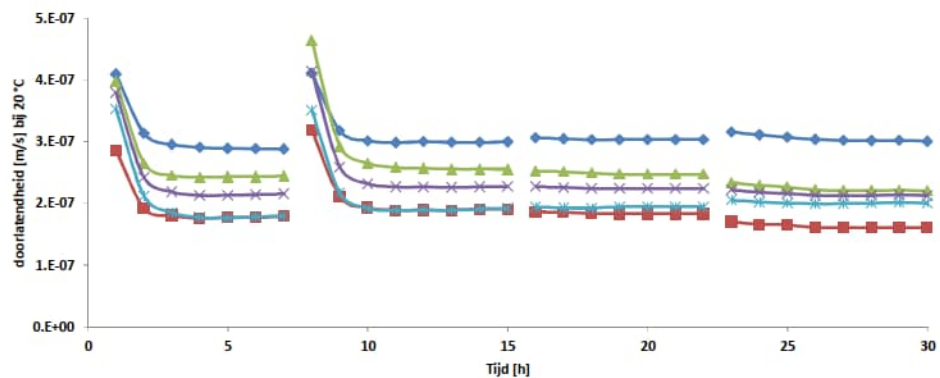
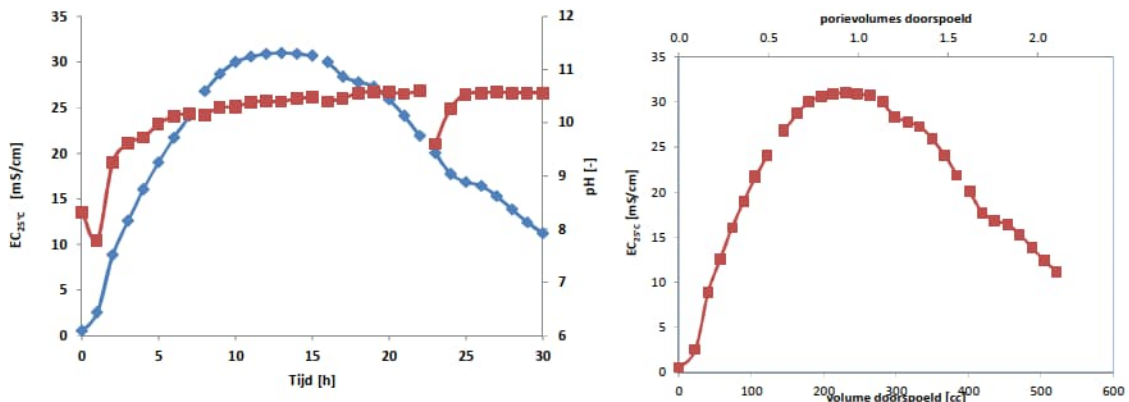


Foto 3.2 Opstelling uitgebreide doorlatendheidsproef. Bij het bepalen van de intreeweestand na de test wordt een kanaal zichtbaar bestaande uit louter grof materiaal

De doorlatendheid is te zien in Figuur 3.6 en pH / geleidbaarheid in Figuur 3.7.



Figuur 3.6 Doorlatendheid gedurende de test. De bovenste blauwe lijn is de overall doorlatendheid, de andere curves tonen de doorlatendheid van verschillende delen van de kolom



Figuur 3.7 pH (rood) en geleidbaarheid (blauw) tijdens het experiment. Rechts de geleidbaarheid uitgezet tegen het doorspoelde volume

De doorlatendheid is stabiel rond de $3 \cdot 10^{-7}$ m/s gedurende de vier dagen dat het experiment liep. Een initieel iets hogere doorlatendheid werd gemeten aan het begin van elke meetdag die volledig kan worden toegeschreven aan het vollopen van de stijghoogtebuisjes. De doorlatendheid van delen van de kolom vertoont hetzelfde gedrag als de kolom als geheel, hetgeen erop duidt dat geen specifieke verstopping optreedt. De lagere waarde van de gedeeltes van de kolom ten opzichte van het totaal wordt waarschijnlijk veroorzaakt door weerstand in het systeem.

De pH neemt sterk toe gedurende de eerste 7 uren en blijft daarna constant en hoog. De geleidbaarheid neemt in dezelfde periode toe tot circa 30 mS/cm (grofweg equivalent aan 20 gram per liter (NaCl) zout), en neemt af nadat 1 volume is doorstroomd.

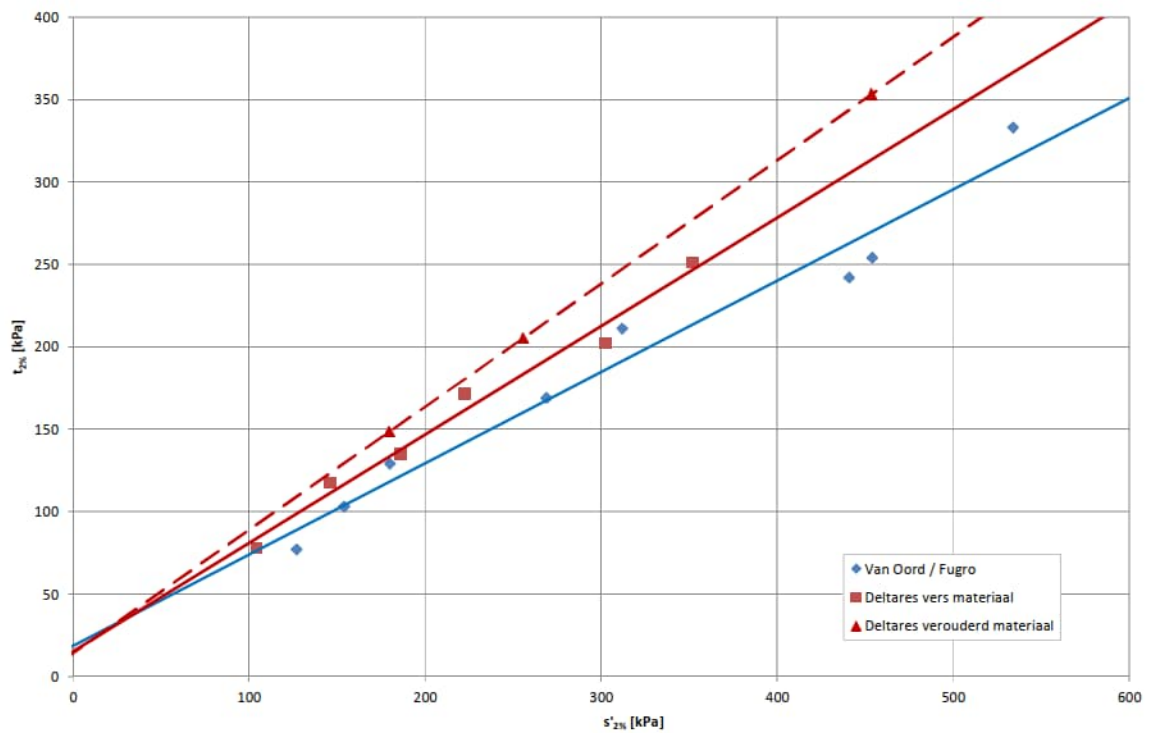
Ter bepaling van de capillaire stijghoogte van het materiaal is het niveau van de uitstroomopening aan de onderkant in stappen van 10 centimeter verlaagd, tot lucht intrad aan de bovenkant van het TGG-monsters. Lucht-intrede vond plaats bij een onderdruk van 11 kPa. Op dat moment werd ook een kanaal zichtbaar aan de buitenkant van het monster, zie Foto 3.2.

Deze intreeweerstand is in lijn met de korrelgrootteverdeling. Afgaande op de doorlatendheid zou echter een intreeweerstand van enkele meters kunnen worden verwacht. Na intrede van lucht was aan de zijkant een duidelijke pijp zichtbaar als gevolg van het uitspoelen van fijn materiaal.

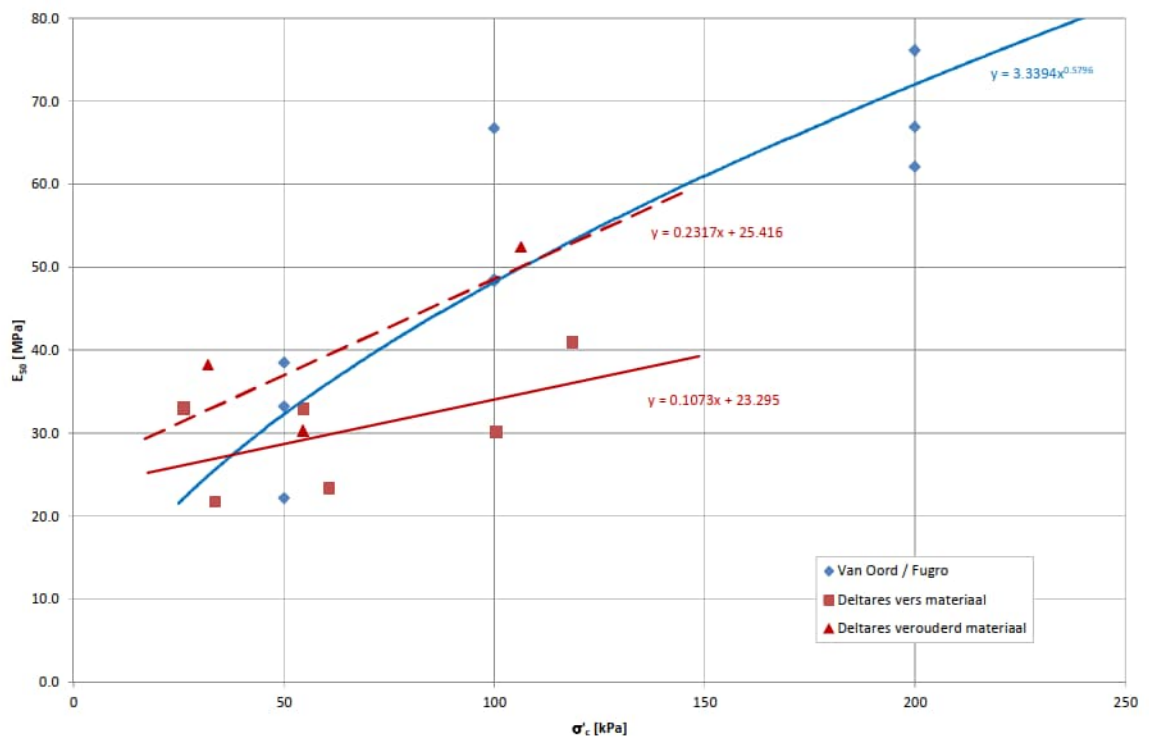
Uit de proeven volgt dat de doorlatendheid niet noemenswaardig in de tijd varieert. Er is dus geen relatie te leggen met de reactiviteit van het materiaal of verplaatsing van fijne delen door het materiaal. Tijdens de bepaling van de intreeweerstand is wel uitspoeling van fijn materiaal opgetreden.

3.2.10 Triaxiaalproef op standaard en versneld verouderd TGG

Figuur 3.8 geeft een overzicht van de sterkten gemeten in de afzonderlijke proeven. Figuur 3.9 geeft de secant stijfheidsmodulus in de proeven. De volledige uitvoer is gegeven in Bijlage D.



Figuur 3.8 Sterkte gemeten in de triaxiaalproef bij een rekniveau van 2%



Figuur 3.9 Stijfheid gemeten in de triaxiaalproef

Voor de proeven bij Deltares is het materiaal grover dan 9,5 mm verwijderd. Het materiaal is verdicht tot een droge dichtheid van 1720 tot 1740 kg/m³. De verdichtingsgraad is niet bekend omdat er geen proctordichtheid is van het materiaal zonder de grove fractie. De verdichtingsgraad van de proeven in het onderzoek van Van Oord / Fugro bedroeg 89 % tot 93 %.

De sterkteparameters zijn gegeven in Tabel 3.10.

Materiaal	cohesie $c'_{2\%}$ [kPa]	wrijvingshoek $\phi'_{2\%}$ [°]
Onderzoek Van Oord / Fugro [17]	22,3	33,7
Deltares, vers materiaal	20,5	41,1
Deltares, verouderd materiaal	21,1	48,4

Tabel 3.9 Gemiddelde sterkteparameters

De pieksterkte van het materiaal wordt bereikt bij rekken tussen 1,5 % en 4 %. De Poisson's ratio is circa 0,20. De dilatantiehoek in dit onderzoek ligt tussen 13 en 20 graden, afhankelijk van het spanningsniveau. De dilatantiehoek in het onderzoek van Van Oord / Fugro is in een aantal proeven negatief. Dit wijst op erg los gepakt materiaal.

Er is weinig verschil in cohesie tussen de proeven in het onderzoek van Van Oord / Fugro en het verse en verouderde materiaal in dit onderzoek. De cohesie is hoog in vergelijking met een natuurlijk materiaal met dezelfde korrelgrootteverdeling. Vanwege het ontbreken van kleimineralen is de hoge cohesie waarschijnlijk te wijten aan verkitting door bijvoorbeeld kalk.

De wrijvingshoek van het verse materiaal in dit onderzoek is hoger dan die van het materiaal in het Van Oord / Fugro onderzoek. De wrijvingshoek in het Van Oord / Fugro onderzoek is laag, mogelijk vanwege de losse pakking. De wrijvingshoek van het verse materiaal in dit onderzoek is vergelijkbaar met een natuurlijk materiaal met vergelijkbare korrelvorm, korrelgrootteverdeling en pakkingsdichtheid [23].

De sterkte van het verouderde materiaal is iets hoger dan dat van het verse materiaal in dit onderzoek. Het verschil is niet statistisch significant, maar geeft wel aan dat veroudering waarschijnlijk niet zal leiden tot een grote toename van de sterkte.

De stijfheid van het verse materiaal in dit onderzoek is duidelijk lager dan van het materiaal in het Van Oord / Fugro onderzoek. De stijfheid van het verouderde materiaal is duidelijk hoger dan van het verse materiaal. Het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt.

3.3 Resultaten geochemisch onderzoek en analyse

3.3.1 Mineralogische eigenschappen uitgangsmateriaal

In totaal zijn 17 monsters in behandeling genomen, waarvan 13 monsters in en om de dijk bij Perkpolder zijn bemonsterd. Eén van deze vier monsters, emmer 1 (E1), is in triplo geanalyseerd om inzicht te krijgen in de heterogeniteit van het gebruikte materiaal.

In Tabel 3.10 is een selectie van de analyse gegevens weergegeven, de totale samenstelling is weergegeven in Bijlage E.

Mon-ster	Vocht-gehalte [g/100 g]	Gebliste kalk [g/100 g]	gebluste + ongebluste kalk [g/100 g] ¹	Geblost deel van de kalk [%]	Zwavel-gehalte [g/100 g]	Koolstof-gehalte [g/100 g]	Deel stabiel zwavel [%]	Deel stabiel koolstof [%]
1	17,6	8,2	9,1	90	0,15	2,01	83	69
2	9,8	9,1	10,5	86	0,08	1,79	nm	53
3	8,6	3,7	6,1	60	0,06	0,57	nm	46
4.1	12,3	6,5	11,2	58	0,37	1,84	81	21
4.2	12,3	7,0	12,4	57	0,53	2,20	91	23
4.3	9,2	6,6	15,1	44	0,41	1,42	87	23
5.1	14,9	7,4	12,2	61	0,09	1,35	nm	49
5.2	12,8	5,5	5,2	106	0,04	0,84	nm	66
6.1	8,5	5,5	10,1	54	0,38	2,30	86	27
6.2	10,9	6,1	12,5	49	0,11	3,13	nm	13
6a	13,1	6,9	16,5	42	0,55	1,99	93	53
6b	13,6	6,8	14,5	47	0,45	2,14	92	56
6c	11,8	5,8	12,8	45	0,52	1,92	81	26
E1a	8,7	3,2	9,5	33	0,59	1,80	68	19
E1b	9,2	2,2	8,5	26			nm	
E1c	8,5	3,2	9,5	33			nm	
E2	11,1	3,8	10,1	37	0,54	2,01	78	36
E3	9,6	2,8	12,0	23	0,49	1,57	57	22
E4	9,6	2,2	17,1	13	0,51	1,60	59	20

Tabel 3.10 Resultaten van TGA op oorspronkelijk materiaal

¹ Weergegeven het percentage, als alle (CaO/Ca(OH)₂) ongebluste kalk in gebliste kalk was omgezet
nm = niet meetbaar (te lage concentratie)

Met de XRF is de totaal aanwezige calciumconcentratie bepaald. Calcium komt in twee vormen voor in TGG, namelijk als calciumcarbonaat (stabiel) en als calciumoxide (reactief). Met de TGA is de concentratie calciumcarbonaat (stabiele vorm) in het monster gemeten. Hierdoor is het mogelijk om het percentage stabiel calcium ten opzichten van totaal calcium te berekenen. In de monsters 1, 2 en 5.2 is vrijwel al het calcium in de vorm van calciumcarbonaat aanwezig. In de emmers E1, E2, E3 en E4 is dit percentage veel lager (13-37%), de overige monsters variëren tussen de 40 en 60%. Dit is een directe maat voor de mate van verkitting en de potentie van verkitting in de toekomst. Daarnaast heeft de aanwezigheid van calciumoxide het een pH verhogend effect op het (grond)water in de omgeving.

De verhouding tussen de verschillende zwavelmineralen (zwavelspecië) laat een verschuiving zien van semi-volatiel (20-40% in de emmer monsters E1, E2, E3 en E4) naar stabiel in de veldmonsters (maximaal 18%, monster 4.1). Daarnaast neemt de zwavelconcentratie af in de veldmonsters ten opzichte van de oorspronkelijke monsters (E1, E2, E3 en E4). Dit suggereert dat de semistabiele zwavelcomponenten (amorphe vorm van gips CaSO₄) oplossen en in potentie verderop neerslaan. De meest waarschijnlijke oorzaak hiervan is de verhoogde pH in de bodem. Dit uitgeloopte zwavel zal echter wel neerslaan als de verhoogde pH in het natuurlijke systeem afneemt, door de bufferende werking van het lokale grondwater.

Dit zou kunnen leiden tot 'gipslenzen' in of nabij het dijklichaam. Deze lenzen zouden een lokaal versterkte laag kunnen vormen, en dus plaatvorming in de dijk, maar ook als glijvlak kunnen functioneren.

Deze resultaten tonen aan dat verkitting tot nu toe in beperkte mate is opgetreden, maar dat er in de veldmonsters nog veel potentiële chemische reactiviteit aanwezig is die tot verre gaande verkitting gaat leiden. Daarbovenop is er het risico van het vormen van gipslenzen, op reactieve lagen.

3.3.2 Interactie TGG met zoet en zout water

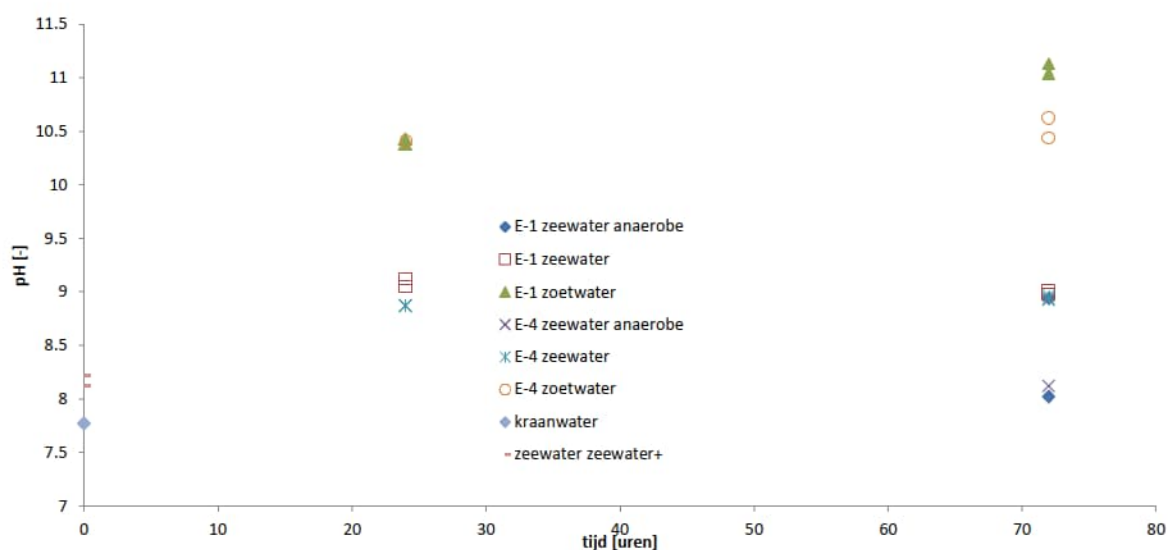
De doelstelling van dit experiment is aantonen hoe de TGG reageert wanneer het is blootgesteld aan verschillende watertypes: zoet en zoutwater. Hiermee wordt een versimpelde en versnelde simulatie uitgevoerd van de processen die in het dijklichaam kunnen optreden.

Circa 4 g TGG is steeds in contact gebracht met 16 g vloeistof (Liquid to Solid ratio, L/S=4). De vloeistoffen waaraan de monsters zijn blootgesteld zijn:

- Zoetwater: hiervoor is kraanwater gebruikt, als analoog voor regenwater dat door de dijk heen sijpelt.
- Zoutwater: als analoog voor het zeewater dat infiltreert. Hiervoor is Noordzeewater gebruikt dat genomen is bij Texel en gekoeld en donker bewaard.

Zuurstofloos gemaakte monsters zijn eerst doorborreld met stikstofgas (N₂). De monsters werden geschud bij kamertemperatuur en pH en geleiding en positief geladen ionen (ICP-MS) werden bepaald na 24 en 72 uur. Na het experiment werd een TGA gevolgd door XRF uitgevoerd om wijzigingen in het uitgangsmateriaal te beoordelen.

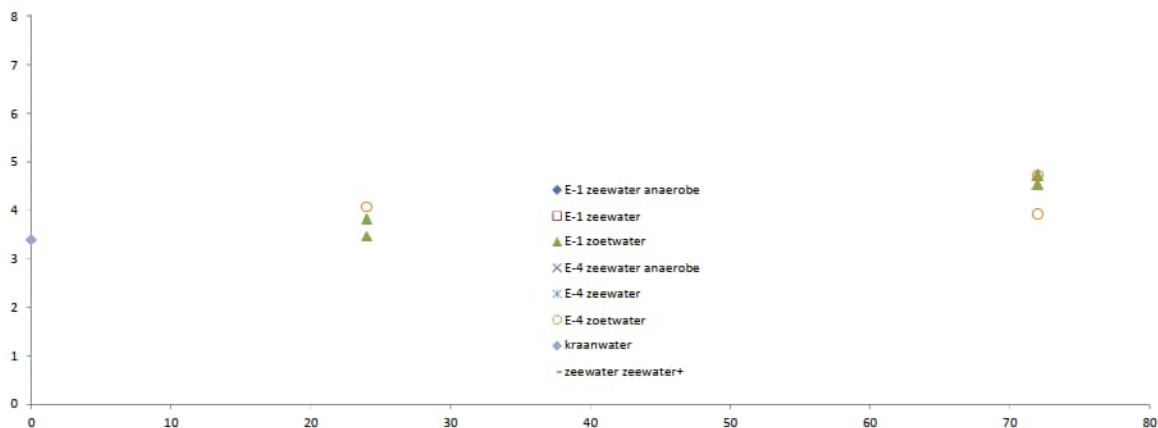
De resultaten van de ontwikkeling van pH en geleiding (EC) gedurende de test zijn weergegeven in Figuur 3.10 en Figuur 3.11.



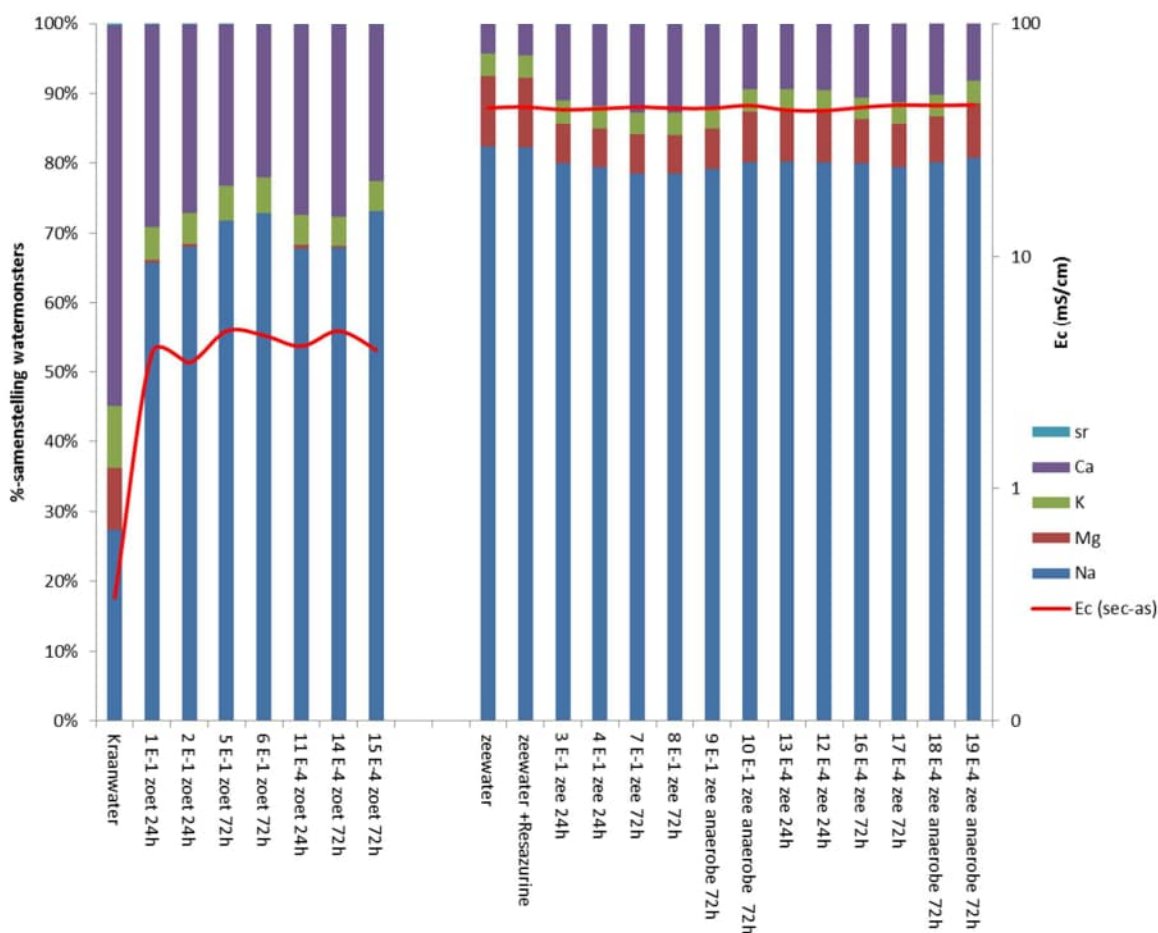
Figuur 3.10 Verloop van pH na contact met zoetwater en zeewater [19]

De gemeten pH en de EC laten na de schudexperimenten met zoetwater een zeer sterke verhoging zien (pH van 7,77 tot maximaal 11,13, en de EC van 0,339 tot maximaal

4,73 mS/cm). Het effect in de experimenten met zoutwater is veel geringer (pH van 8,13 tot maximaal 9.12, en de EC 43,5 tot maximaal 44,8 mS/cm). In een aantal van de monsters in zeewater wordt zelfs een lagere EC gemeten na het experiment, dan in het gebruikte uitgangsmateriaal.



Figuur 3.11 Verloop van geleiding EC_{25°C} na contact met zoetwater en zeewater [19]

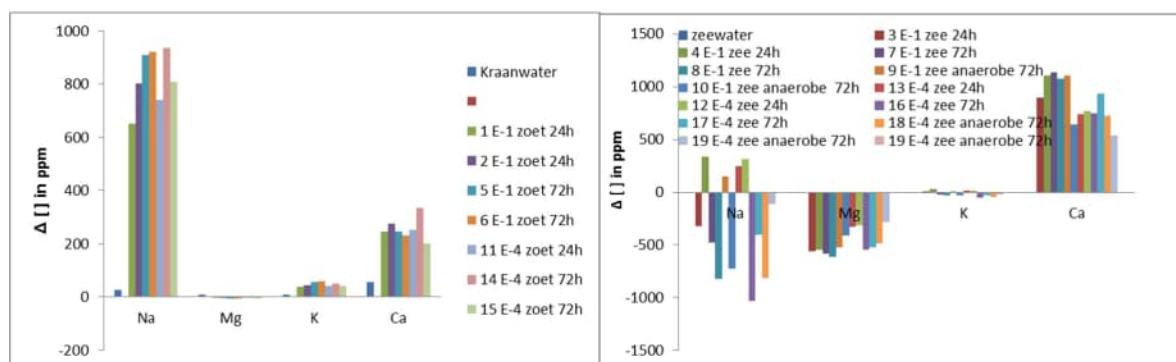


Figuur 3.12 Chemische samenstelling watermonsters, uitgedrukt in de fracties positief geladen ionen na 24 en 72 uur (Sr=Strontium, Ca=calcium, K=kalium, Mg=magnesium, Na=natrium)

Na 24 en 48 uur is tevens de samenstelling van het water geanalyseerd met ICP-MS. Zie bijlage F voor de complete samenstelling. De samenstelling van de aanwezige kationen is in Figuur 3.12 weergegeven. De vijf hier weergegeven elementen vertegenwoordigen 98-100% van alle gemeten elementen in het water. De rode lijn geeft de geleiding weer in het water (uitgezet op de secundaire as).

De EC-waarde in de experimenten die zijn uitgevoerd met kraanwater gaat een factor 10 omhoog. Zo is het mogelijk dat in absolute zin de calciumconcentratie toeneemt, ondanks een relatieve calciumconcentratie afname. Wat hier wel uit geconcludeerd kan worden is dat natrium dominant is in zowel zoetwater als zoutwater. De tweede conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat er ondanks gelijkblijvende EC-waardes bij de zoutwater experimenten wel een chemisch verandering waarneembaar is.

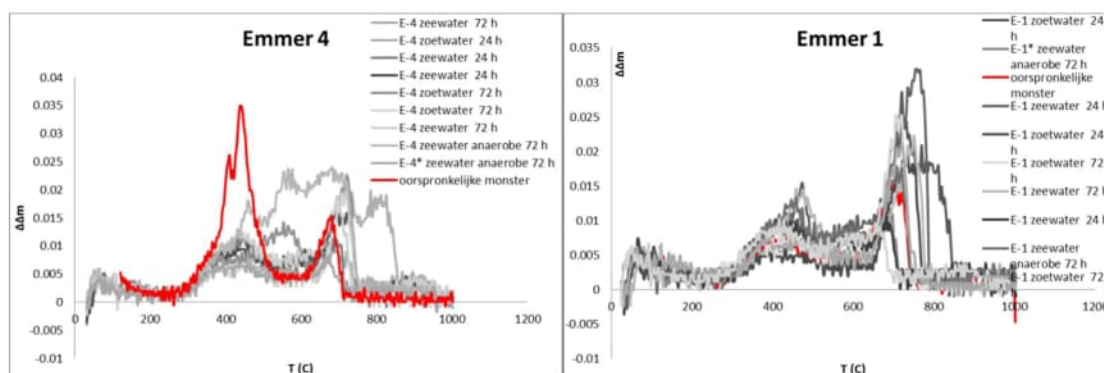
In Figuur 3.13 staat de absolute concentratie verandering (in ppm) ten opzichte van het uitgangsmateriaal weergegeven.



Figuur 3.13 Absolute toename/afname van de mineralen Natrium (Na), Magnesium (Mg), Kalium (K) en calcium (Ca) in ppm (mg mineraal/kg monster) voor experimenten in zoetwater (links) en zeewater (rechts)

De mineralogische samenstelling voor en na deze experimenten, zal omdat er minder dan 1% materiaal verdwijnt in onze – korte – testen, niet sterk veranderen. De gemeten verschillen in de mineralogische samenstelling (XRF) zijn daarmee dus vooral de heterogeniteit in het monster toe te schrijven niet de gevolgen van blootstelling aan vloeistoffen. Eventuele veranderingen in de stabiliteit van de zwavel en koolstof-componenten (zoals gemeten met TGA en CS) kunnen wel significant zijn.

Figuur 3.14 laat het verschil tussen het oorspronkelijke monster en het materiaal na de experimenten zien, waaruit blijkt dat behoorlijke verschillen zichtbaar zijn, veroorzaakt door uitloging, wat een indicatie is dat het materiaal behoorlijk reactief is.



Figuur 3.14 Resultaten van de TGA voor de monsters na behandeling met zoetwater (links) en zout water (rechts) voor 24 of 72 uur. Weergegeven is de eerste afgeleide van de massa. Het niet met water behandelde monster is weergegeven in rood

3.3.3 Beoordeling zuur/base equivalenten

Het effect van uitlogende stoffen op pH hangt sterk af van de buffercapaciteit, de mate waarin vloeistoffen in staat zijn om zuur of base dat vrij komt op te vangen. Daarom wordt in dit experiment uitloging bekeken van 4 gram TGG bij verschillende buffercapaciteit door een fosfaatbuffer (pH=7) van 0, 0,4, 4,4, 17,8 en 44,4 mmol/L (equivalent aan 0, 42, 426, 1700 en 4270 mg fosfaat/L).

De pH loopt op in Emmer 1 tot circa 9 in alle uitgevoerde experimenten, behalve bij een concentratie van 4270 mg fosfaat/L, waar de pH, nog steeds 1 eenheid oploopt in 72 uur. De buffersterkte van deze laatste buffer is dus net genoeg om zeer hoge pH-waarden te voorkomen en dus kan een buffersterkte van 45 milli-equivalenten/L worden aangenomen bij een L/S van 1:4.

3.3.4 Chemische samenstelling water

Chemische samenstelling bepalen van het aanwezige bodemvocht. In totaal zijn acht monsters geselecteerd, vijf veldmonsters (totale diepte profiel locatie 6) en drie uitgangsmaterialen (emmers E1, E3 en E4).

De bodemmonsters zijn gedurende 35 minuten, met 7500 rpm gecentrifugeerd, overeenkomstig met het standaardprotocol voor het verzamelen van bodemvocht van het RIVM. In Tabel 3.11 staan de gemeten E_c en pH-waarden in het verzamelde bodemvocht.

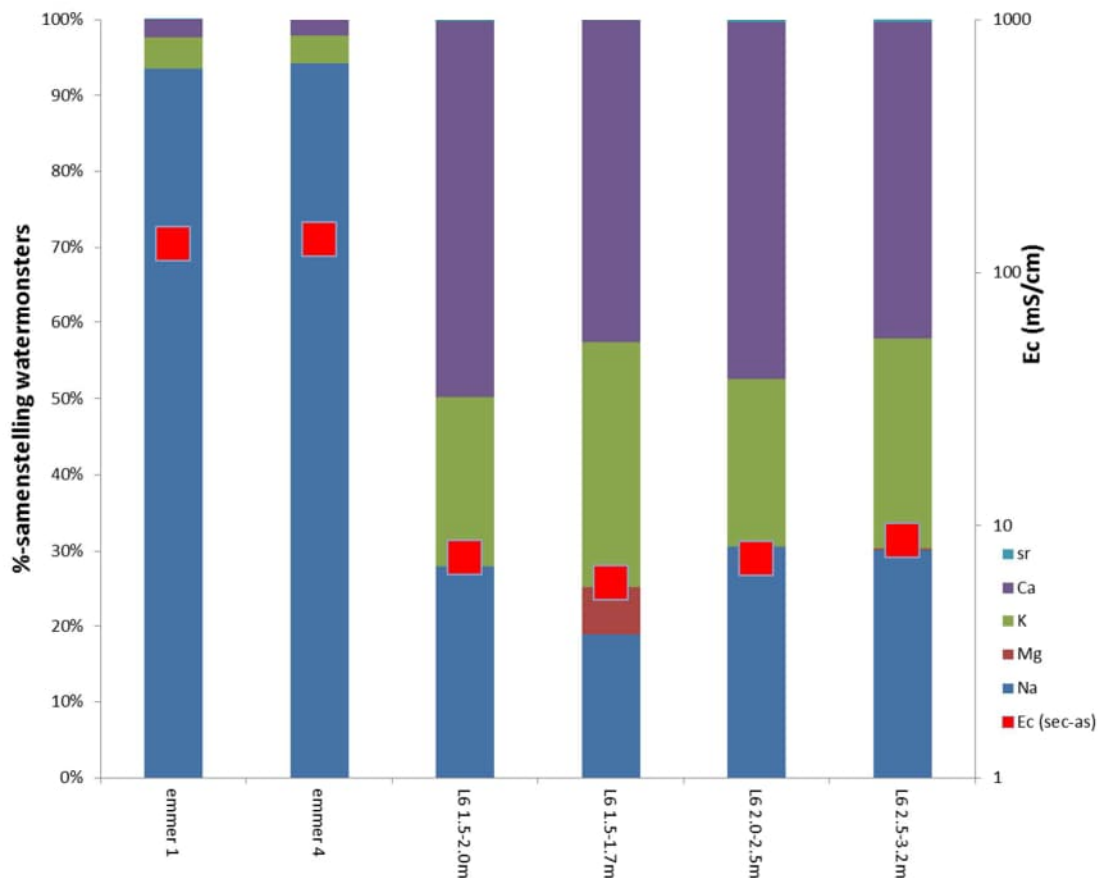
Locatie	E_c [mS/cm]	pH [-]
6.1	geen water	
6.2	7,5	niet bepaald
6a	5,9	10,0
6b	7,4	10,1
6c	8,7	10,9
E1	129	9,9
E3	geen water	
E4	136	10,8

Tabel 3.11 pH en geleiding van het aanhangende bodemvocht op verschillende dieptes (locatie 6) en van de drie monsters

De E_c -waarden in de oorspronkelijke monsters zijn extreem hoog (130 mS/cm), ongeveer drie tot viermaal zo hoog als zeewater. Dit betekent dat de oplossingen waarschijnlijk verzadigd

zijn (brein) en het niet meer mogelijk is om meer in het water te lossen. De hoge concentratie maakt daarnaast de pH-meting minder betrouwbaar.

De chemische samenstelling van het bodemvocht is vervolgens bepaald met ICP-MS (Figuur 3.15). Hieruit kan worden opgemaakt dat het bodemvocht in het oorspronkelijk materiaal meer dan 90% uit natrium bestaat (waarschijnlijk in de vorm van natriumchloride). De bodemvocht monsters van locatie 6 worden gedomineerd door calcium en kalium en de bijdrage van natrium is teruggelopen tot minder dan 30%.

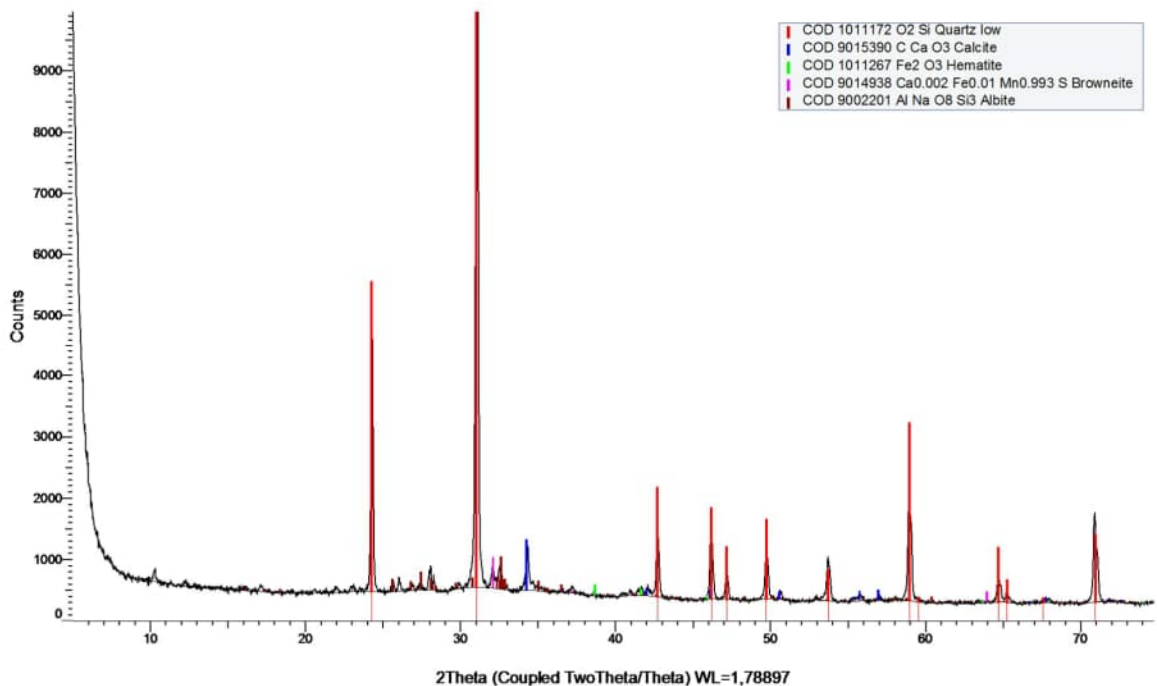


Figuur 3.15 Mineralogische samenstelling van de monsters (Sr=strontium, Ca=calcium, K=kalium, Mg=magnesium, Na=natrium) en geleiding (E_c , rechter as)

Hieruit kan geconcludeerd worden dat in eerste instantie natrium(chloride) uitloogt, en als alle natrium uit het systeem verwijderd is kalium en calcium gaan uitlogen. Het verlagen van de natriumfractie en de hoge pH in het bodemvocht op locatie 6, geeft aan dat de huidige interactie met zoetwater plaatsvindt en niet met zoutwater. Dit geeft potentieel een verhoogd risico voor ecologische schade, aangezien de gemeten pH tijdens de experimenten opliep tot maximaal 11.1 (experiment b). Bij deze pH-waardes is het mogelijk dat silicaten, kleimineralen en organisch materiaal in oplossing gaat. Vooral het oplossen van kleimineralen kan ervoor zorgen dat allerlei zware metalen (koper, kwik, cadmium, chroom, nikkel et cetera) mobiel worden.

3.3.5 Indicatie van de oorsprong van het anorganisch materiaal

Met XRF is de kristallijne fractie van het materiaal bepaald. Hiervoor is monster E1 gebruikt.



Figuur 3.16 XRD van Emmer 1: kwarts is het dominante mineraaltype

Uit de XRD analyse (Figuur 3.16) blijkt dat kwarts het dominante mineraal is, zodat het uitgangsmateriaal een zand / grind moet zijn geweest. Daarnaast worden lagere concentraties calciumcarbonaat (calciet) en onder andere ijzeroxide (hematiet) aangetroffen, in lijn met andere kalkgerelateerde bepalingen.

3.3.6 Indicatie van de oorsprong van het organisch materiaal

Het totaal gehalte aan organische koolstof (TOC) varieert van 0,81% tot 1,11%, met een gemiddeld gehalte van 0,97%. Uit de figuren blijkt dat dit organisch materiaal bij hoge temperaturen (ongeveer 550 °C tot 600°C) nog reactief is. Hoewel de temperatuur tijdens de thermische reiniging van de grond vooralsnog onbekend is kan met vrij grote zekerheid geconcludeerd worden dat het nu aanwezige organische materiaal een residu is van organisch materiaal dat oorspronkelijk aanwezig was in de grond. Bij lagere temperaturen (200-550 °C) is in geen enkel monster een signaal waarneembaar van gegenereerde koolwaterstoffen.

Als ná de thermische reiniging koolwaterstoffen, zoals benzine, diesel, afgewerkte olie, et cetera zouden zijn toegevoegd dan zou dit hebben geresulteerd in een duidelijke S2 piek tijdens de pyrolyse. Voor de monsters van de thermisch gereinigde grond kan gesteld worden dat op basis van de Rock Eval analyses geen contaminaties van dergelijke (recent) toegevoegde koolwaterstoffen aanwezig zijn.

Het gemeten organisch materiaal is daarom het residu van de thermische reiniging en bevat hoogmoleculaire organische stoffen. Dit kunnen resten asfalt of asfaltgranulaat zijn, moeilijk afbreekbaar biologisch materiaal (hout) of resten van te verwijderen verontreinigingen met een hoge molecuulmassa.

3.3.7 Gedrag als bouwstof

Op het materiaal is een samenstellingsonderzoek uitgevoerd en een uitloogonderzoek waarvan de resultaten zijn weergegeven in bijlage G. De resultaten van het uitloogonderzoek zijn hieronder weergegeven en zijn consistent met de bij resultaten van de doorlatendheidsproeven: een zeer slechte doorlatendheid, met daaruit water met een hoge pH en initieel zeer hoog zoutgehalte. Doordat deze proef langer duurt loopt het zoutgehalte na verloop van tijd wel sterk terug. De EC waarde van 0.42 mS/cm is weer in de orde grootte van kraanwater.

Proef	Eenheid	Fractie 1	Fractie 2
Uitgelooagd (cumulatief)	mL/g droge stof	1	9
pH	-	10	9,5
EC ^{25°C}	mS/cm	13	0,42

Tabel 3.12 Resultaten van de uitloogproef

De belangrijkste uitlogende stoffen zijn chloride (640 mg/kg), bromide (210 mg/kg) en fluoride (9 mg/kg). De fractie minerale olie (41 mg/kg) met als zwaartepunt de zwaardere koolwaterstoffen (C21-C30) is tevens consistent met de metingen door middel van de Rock Eval en duidt op sporen van bitumen of andere verbindingen met lange koolstofketens.

De uitgelooagde metalen blijven allemaal onder de geldende maximale emissiewaarden voor niet-vormgegeven bouwstof (Bijlage A van de Regeling Bodemkwaliteit). De uitlogende anionen zijn weergegeven in Tabel 3.13.

Anion	Uitgelooagd (mg/kg d.s.)	Norm niet-vormgegeven bouwstof	Norm niet-vormgegeven bouwstof in zout milieu ¹
bromide	210	20	geen norm
Chloride	640	616	geen norm
Fluoride	8.9	552	2208
Sulfaat	7100	1730	6920

Tabel 3.13 Resultaten van de uitloogproef (alle waarden in mg/kg d.s.), en normen

¹ op plaatsen waar een direct contact (mogelijk) is met zeewater of brak water met van nature een chloride-gehalte van meer dan 5 g/l

Voor toepassing als niet-vormgegeven bouwstof zouden – bij toepassingen in zoetwater – zowel bromide als sulfaat sterk normoverschrijdend zijn, en is chloride licht normoverschrijdend. Voor locaties waar contact met zeewater of brakwater mogelijk is gelden voor anionen echter aangepaste normen. Hierbij wordt de norm alleen overschreden voor sulfaat. De overschrijding bedraagt 2,6%.

In een zeedijk is derhalve alleen deze overschrijding relevant.

3.3.8 Reinigingstemperatuur

Uit de verschillende bepalingen komt een gemengd beeld naar voren wat betreft de temperatuur waaraan de TGG is blootgesteld. De RockEval bepalingen geven indicaties dat het materiaal niet allemaal boven circa 600°C is geweest, terwijl de aanwezigheid van ongebluste kalk (TGA-XRF, maar ook de hoge pH bij contact met water) een indicator is voor

materiaal dat boven de 700°C is geweest. De ongebluste kalkbepalingen geven aan dat materiaal onder de 700°C, of dat er na reiniging nog reactie heeft plaats gevonden.

Het lijkt daarmee ook op basis van de reinigingstemperatuur waarschijnlijk dat de gemeten TGG een mengsel is van bij verschillende temperaturen behandeld materiaal, of dat niet al het materiaal in de oven aan dezelfde temperatuur is blootgesteld.

4 Beantwoording onderzoeksvraag RWS

Door Rijkswaterstaat is de volgende vraag geformuleerd:

'Is het mogelijk om TGG toe te passen in waterkeringen en zo ja, onder welke voorwaarden en welke risico's zijn daarmee gemoeid?'

Uit het onderzoek aan de TGG uit het project Perkpolder komt het volgende:

- Deze TGG is waarschijnlijk het restproduct van de thermische reiniging van Teerhoudend Asphalt Granulaat (TAG). Deze TGG-TAG bestaat uit een mengsel van zand en grind en bevat relatief veel calciumoxide / calciumcarbonaat.
- Deze TGG-TAG heeft een aantal eigenschappen die afwijken van die van natuurlijke grond met vergelijkbare korrelgrootteverdeling. Zo is de doorlatendheid lager, de sterkte hoger, en is het materiaal basischer (de pH is hoger) en reactief.
- Deze eigenschappen wijken ook belangrijk af van die van materiaal dat normaal in kern of constructieve wegoephoging wordt gebruikt. Vanuit constructief oogpunt is de doorlatendheid lager dan wenselijk. De hoge sterkte is het gevolg van verkitting en leidt tot het ontstaan van een monolithisch dijklichaam. Indien zetting van de ondergrond optreedt of ongelijkmatige belastingen zullen in deze monoliet spanningsconcentraties optreden. Op termijn kunnen de spanningsconcentraties leiden tot scheurvorming in de monoliet. Deze scheuren vormen een zwakke en doorlatende zone die in waterkeringen niet wenselijk is. Ook is het mogelijk dat zich gipslenzen vormen door uitloging van het materiaal en neerslag. Deze lenzen vormen zwaktezones in de dijk kern.
- Met name na direct contact met zoet water reageert het materiaal sterk basisch, met een pH tot circa 11. Dit basisch water uit de dijk kern kan zich verspreiden naar de omgeving en schade toebrengen aan bodem, water, flora en fauna en mensen. Ook vormt het materiaal bij de uitvoering een Arbo risico. Gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen door medewerkers is nodig. Daarbij moet worden uitgegaan dat het materiaal sterk stoft, en dat de vrijkomende stof in contact met water – zowel bij inademen als huidcontact – een hoge pH heeft. Het sproeien met zeewater vermindert het risico ten opzichte van sproeien met leidingwater of slootwater, maar is niet voldoende als veiligheidsmaatregel.
- Vanwege de aanwezigheid van calciumoxide is het materiaal reactief. Naar verwachting zullen het verkittingspotentieel, uitloging en hoge pH nog geruime tijd aanwezig zijn.
- Wij adviseren vanwege de lage doorlatendheid, hoge sterkte, hoge pH en reactiepotentieel deze TGG-TAG niet toe te passen in waterkeringen. Dit geldt voor constructieve onderdelen van de waterkering en voor onderdelen waarbij het materiaal wordt blootgesteld aan de atmosfeer.
- Of een aangeboden partij TGG het restproduct is van de thermische reiniging van TAG kan worden afgeleid uit korrelgrootteverdeling en kalkgehalte.
- De uitloging van anionen bromide, chloride en sulfaat van deze TGG is sterk normoverschrijdend voor toepassing op plaatsen waar geen contact met zout of brak water mogelijk is. Waar contact met zout of brak milieu wel mogelijk is, is er slechts een zeer lichte normoverschrijding van sulfaat. Deze normoverschrijding bedraagt 2%.
- TGG van andere oorsprong dan TAG is mogelijk wel geschikt voor toepassing in waterkeringen. De geschiktheid moet per geval en per materiaalstroom worden beoordeeld door passend onderzoek in laboratorium en veld.

Voor de bestaande toepassing in het project Perkpolder adviseren wij om door monitoring meer inzicht te krijgen in de kans op ongewenste gebeurtenissen:

- Peilbuizen in de TGG in de kern en berm van de dijk geven inzicht in de grondwaterhuishouding en het verloop van de grondwaterstand in de dijk in de tijd. Doel van de monitoring is vast te stellen of de lage doorlatendheid een bezwaar is voor de gewenste functie van de kern in verband met de waterhuishouding in de dijk.
- Een verklikkingssysteem (bijvoorbeeld op basis van glasvezel) geeft zicht op het optreden van scheuren in de TGG.
- Peilbuizen in de omgeving van de dijk geven aan of het water met de hoge pH uit de TGG zich verspreidt naar de omgeving. Dit houdt in dat regelmatig pH en elektrische geleidbaarheid moeten worden gemeten, zowel in de peilbuizen in de omgeving van de dijk als in de peilbuizen in de TGG.

De monitoring zou kunnen plaatsvinden in twee dwarsraaien, en om te beginnen gedurende 2 à 3 jaar moeten worden voortgezet.

5 Overige conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De belangrijkste overige conclusies uit het fysisch en geochemisch onderzoek op de TGG uit het project Perkpolder zijn:

- Volgens NEN-14668 is de onderzochte TGG een sterk grindig ZAND. Op 22 maart 2016 is de oude Nederlandse norm NEN 5104:1989(nl) 'Geotechniek, classificatie van onverharde grondmonsters' [7] ingetrokken. Volgens NEN 5104 is de onderzochte TGG een sterk zandig GRIND.
- Het moedermateriaal van de TGG is waarschijnlijk een mengsel van een zand en een grind.
- Het gloeiverlies / organisch stofgehalte van de TGG is laag, in de orde van 2%. Het kalkgehalte (CaCO_3) is relatief hoog, tussen 5 % en 8 %, afhankelijk van de proefprocedure.
- De korrels van de TGG bestaan voornamelijk uit kwarts; er zijn geen of zeer weinig korrels met inwendige porositeit.
- De minimum/maximum dichtheden en de proctordichtheden van de TGG zijn erg laag in vergelijking met natuurlijke materialen met eenzelfde korrelgrootteverdeling. Een mogelijke verklaring van de relatief lage dichtheden zou kunnen zijn dat TGG bestaat uit korrelaggregaten, waarbij het fijne materiaal is vastgekit aan de grotere korrels. Daardoor zou de TGG zich gedragen als een materiaal met een lagere gelijkvormigheidscoëfficiënt, met lagere dichtheden. In de zeving wordt wel een hoge gelijkvormigheidscoëfficiënt gevonden omdat het fijne materiaal in de voorbehandeling wordt losgeweekt van de grote korrels.
- De doorlatendheid van de TGG is veel lager dan wat kan worden verwacht voor een natuurlijke grond met vergelijkbare korrelgrootteverdeling. Bij lage verdichtingsgraden is het verschil gemiddeld een factor 30, bij hoge verdichtingsgraden zoals in het werk is het verschil gemiddeld een factor 100 (gegevens Van Oord / Fugro [17]). Verkitting is een mogelijke verklaring voor de lage doorlatendheden.
- De doorlatendheid varieert niet noemenswaardig in de tijd. Er is dus geen relatie te leggen met de reactiviteit van het materiaal of verplaatsing van fijne delen door het materiaal.
- De pieksterkte van het materiaal wordt bereikt bij rekken tussen 1,5 % en 4 %. Er is weinig verschil in cohesie tussen de proeven in het onderzoek van Van Oord / Fugro en het verse en verouderde materiaal in dit onderzoek. De cohesie is hoog in vergelijking met een natuurlijk materiaal met dezelfde korrelgrootteverdeling. Vanwege het ontbreken van kleimineralen is de hoge cohesie waarschijnlijk te wijten aan verkitting door bijvoorbeeld kalk.
- De wrijvingshoek van het verse materiaal in dit onderzoek is vergelijkbaar met een natuurlijk materiaal met vergelijkbare korrelvorm, korrelgrootteverdeling en pakkingsdichtheid.
- De sterkte van het verouderde materiaal is iets hoger dan dat van het verse materiaal in dit onderzoek. Het verschil is niet statistisch significant, maar geeft wel aan dat veroudering waarschijnlijk niet zal leiden tot een grote toename van de sterkte.
- Er is verkitting opgetreden in deze TGG, en de hoeveelheid reactief calcium en sulfaat wijst erop dat de chemische reactiviteit nog hoog is. Dit kan leiden tot monoliet vorming van de TGG, met het risico op scheurvorming. Tevens zijn er hoge pH-waardes gemeten, die potentieel een negatief effect hebben op de lokale ecologie. Ook is er een

mogelijk gezondheidsrisico voor degenen die op het werk in contact komen met de TGG.

- Er zijn geen contaminaties van recent toegevoegde koolwaterstoffen aanwezig. Het gemeten organisch materiaal is het residu van de thermische reiniging en bevat hoogmoleculaire organische stoffen.

5.2 Aanbevelingen

Het materiaal vertoont een aantal afwijkende eigenschappen in vergelijking met natuurlijk materiaal met dezelfde korrelgrootteverdeling. Dit betreft onder andere de lage doorlatendheid, lage maximale dichtheden en hoge sterkte. Nader onderzoek onder de elektronenmicroscopie van de verdeling van fijn en grof materiaal kan mogelijk inzicht geven in de oorzaken van deze afwijkende eigenschappen.

De gedane analyses geven de indicatie dat plaatvorming kan plaatsvinden en dat er mogelijke milieu- en veiligheidsrisico's zijn. De volgende vervolgstappen zouden deze risico's verder in kaart kunnen brengen:

- Voorspelling van de hydrologie in de dijk. Wat zijn verzadigde en onverzadigde zones? Komt contact van de – onverzadigde – dijkzone van het grondwater of van inzijgend regenwater? Speelt regenwater nog een rol? Dit zou de input kunnen zijn voor geochemisch laboratoriumtesten met grondkolommen.
- De beoordeling van verkitting, met name op het grensvlak tussen de lokale ondergrond en de TGG. Dit zou plaats kunnen vinden door in het lab grondkolommen op te bouwen met daarin TGG en de ondergrond en het grensvlak te monitoren. Of tijdens deze testen het water continue/ incidenteel moet stromen, stationair water of een vochtige omgeving moet worden gebruikt, moet blijken uit de analyse van de hydrologie van de dijk zoals hiervoor beschreven.
- Het uitgraven van een gedeelte van de dijk, waarbij optisch wordt gekeken of grensvlakken bestaan, en waarbij bemonsterd wordt over een grotere lengte. Daarbij zou ook een "nul-locatie" ver weg van het verwerkte materiaal meegenomen kunnen worden.

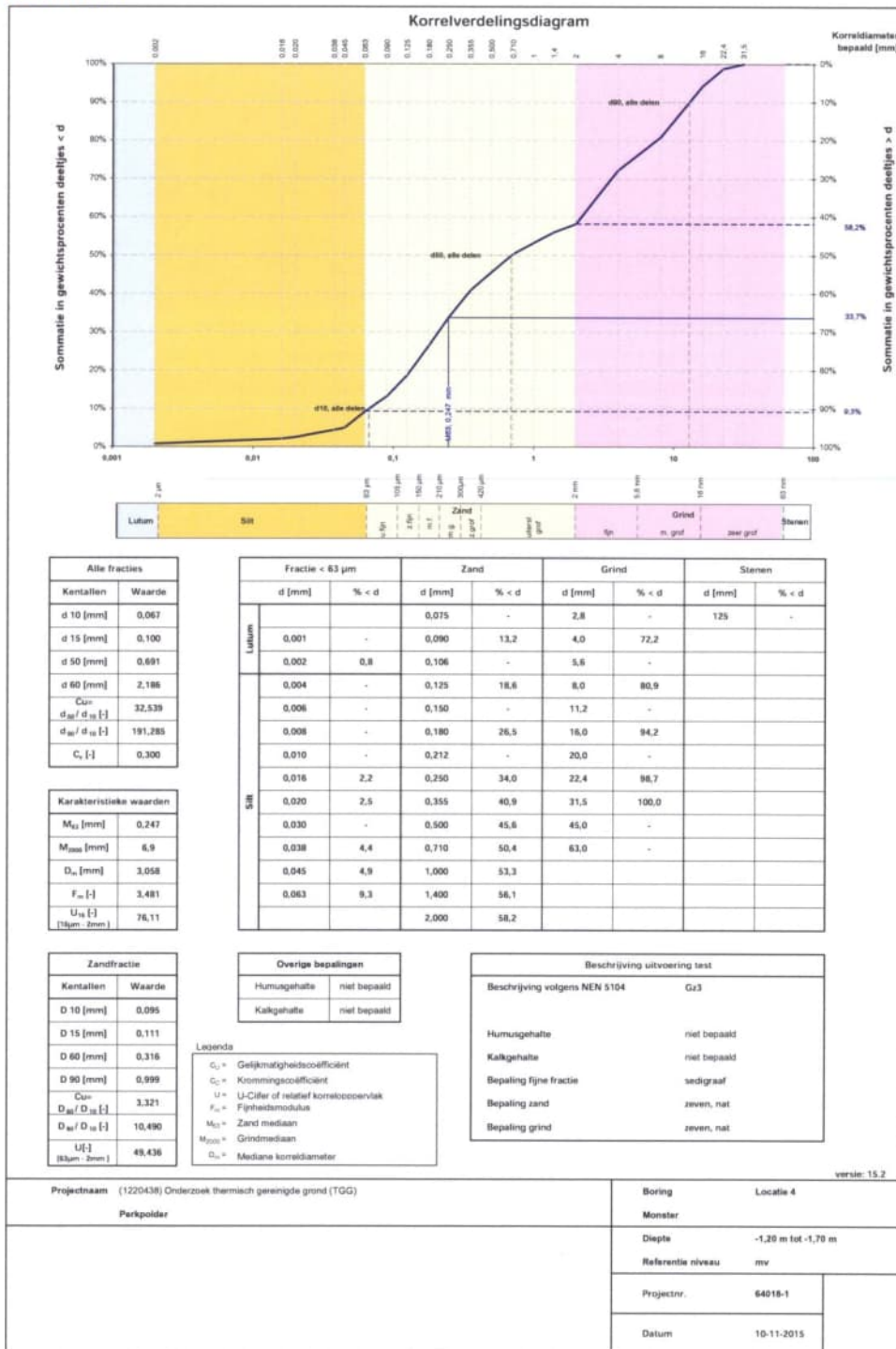
6 Referenties

- [1] Deltares (2015). Offerte onderzoek thermisch gereinigde grond (TGG). Kenmerk 1220438-000-GEO-0003-gbh, 13 juni 2014.
- [2] CUR (1989). Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw. Literatuurstudie. Publicatie 89-1. CUR, Gouda.
- [3] CROW (1997). Ophogingen en ophoogmaterialen. Publicatie 121, CROW, Ede.
- [4] CROW (2009). Materialen in (constructieve) ophogingen en aanvullingen. Publicatie 281. CROW, Ede.
- [5] Richtlijn Herstel en Beheer (Water)Bodemkwaliteit; www.bodemrichtlijn.nl ; thermische reiniging grond, constructief gedrag, materiaaleigenschappen, bouw- en afvalstoffen.
- [6] RWS / SenterNovem (2014). Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en Handreiking Besluit bodemkwaliteit. 15 december 2014; zie tevens www.bodemplus.nl.
- [7] NNI (1989). NEN 5104; Geotechniek, classificatie van onverharde grondmonsters. NNI, Delft.
- [8] NNI (2016). NEN-EN-ISO 14688-1+A1+C11:2016 nl; Geotechnisch onderzoek en beproeving, identificatie en classificatie van grond, deel1: Identificatie en beschrijving. NNI, Delft.
- [9] NNI (2016). NEN-EN-ISO 14688-2+A1+C11:2016 nl; Geotechnisch onderzoek en beproeving, identificatie en classificatie van grond, deel2: Grondslagen voor classificatie. NNI, Delft.
- [10] NNI (2016). Eurocode 7; NEN 9997-1+C1:2012(nl); Geotechnisch ontwerp van constructies –Deel 1: Algemene regels. NNI, Delft.
- [11] SIKB (2013). Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO productcertificaat en het NL BSB productcertificaat voor grond. BRL 9335, versie 3.8, 12 september 2014. SIKB, Gouda.
- [12] SIKB (2008). Civieltechnische keuring, keuring voor het vaststellen van de civieltechnische kwaliteit van grond. Protocol 9335-9, versie 1.2, 12 september 2014. SIKB, Gouda.
- [13] Deltares (2014). Thermisch Gereinigde Grond Natuurcompensatie Perkpolder. Briefrapport 1209989-000-GEO-0003, 13 juni 2014. Deltares, Delft.
- [14] Deltares (2014). Voorstel onderzoek TGG Perkpolder. Memo 1209989-001-GEO-0001, 22 december 2014. Deltares, Delft.
- [15] Deltares (2015). Beantwoording vragen TGZ Hoeksche Waard Noord, Dijkversterking Bosschendijk, WSHD – MvO. Rapport 1210798-000-GEO-0006-v02, mei 2015. Deltares, Delft.
- [16] Van Oord (2015). Grondstromenevaluatie Natuurcompensatie Perkpolder. Rapport 154425-RAP-GSE-00008, 2 november 2015.
- [17] Van Oord (2014). Beproeving Thermisch gereinigd zand. Memo 154425-TN13-ONT-00025, 1 september 2014.
- [18] Visher, G. S. (1969). Grain size distribution and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* 39:1074–1106.
- [19] Lubking, P. (2015). Grondgedrag – feiten, normen en waarden met betrekking tot grond in de praktijk van de geotechniek. ISBN 978-90-822808-0-7.
- [20] Beyer, W. (1964). Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. *Wasserwirtschaft – Wassertechnik (WWT)*, Vol. 6, 165-169.

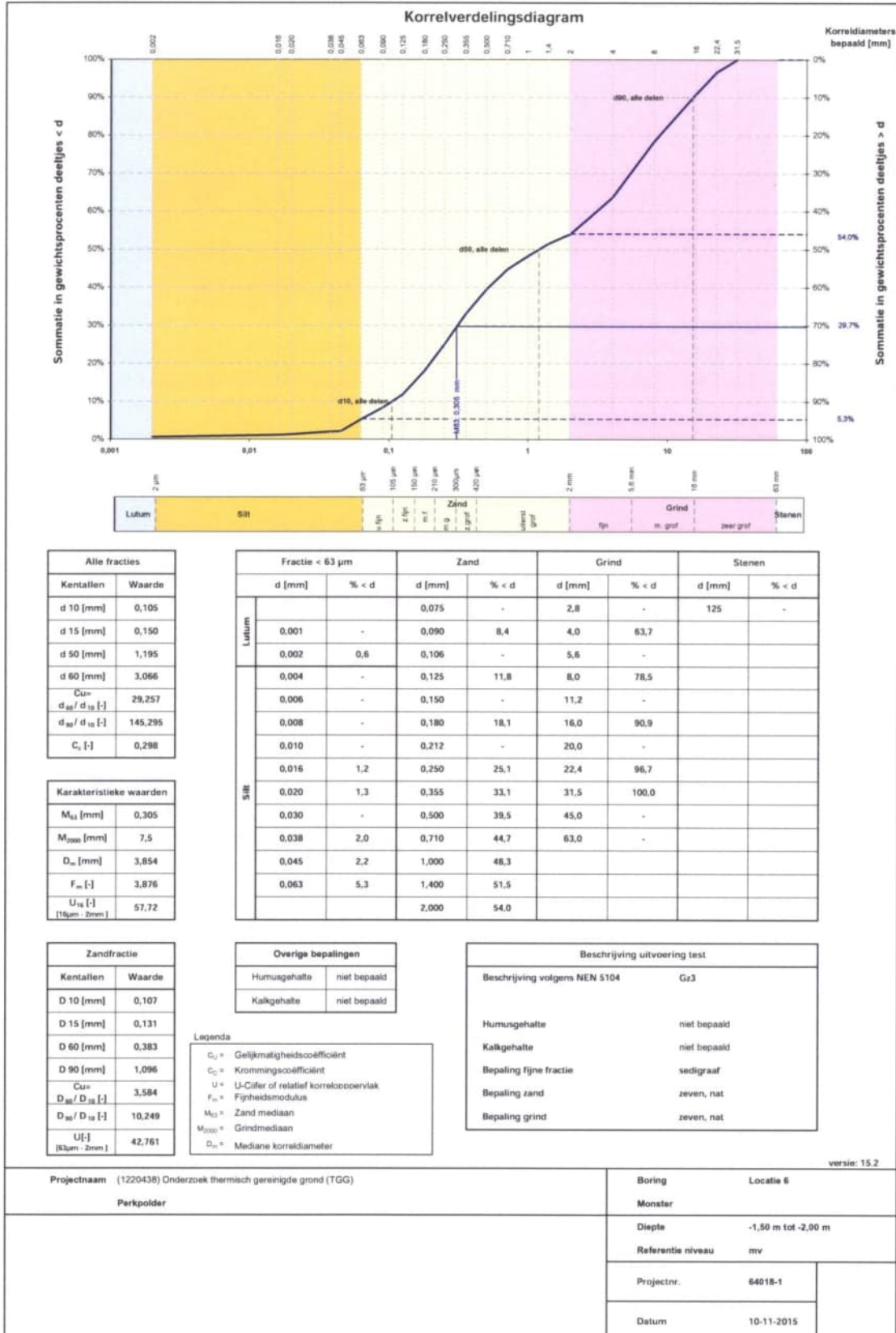
- [21] CROW (2015). Standaard RAW Bepalingen 2015. CROW, Ede.
- [22] Powers, M.C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23:117-119.
- [23] Brinch Hansen, J.; Lundgren, H. (1960). *Hauptprobleme der Bodenmechanik*. Springer.

A Resultaten bepaling korrelverdeling

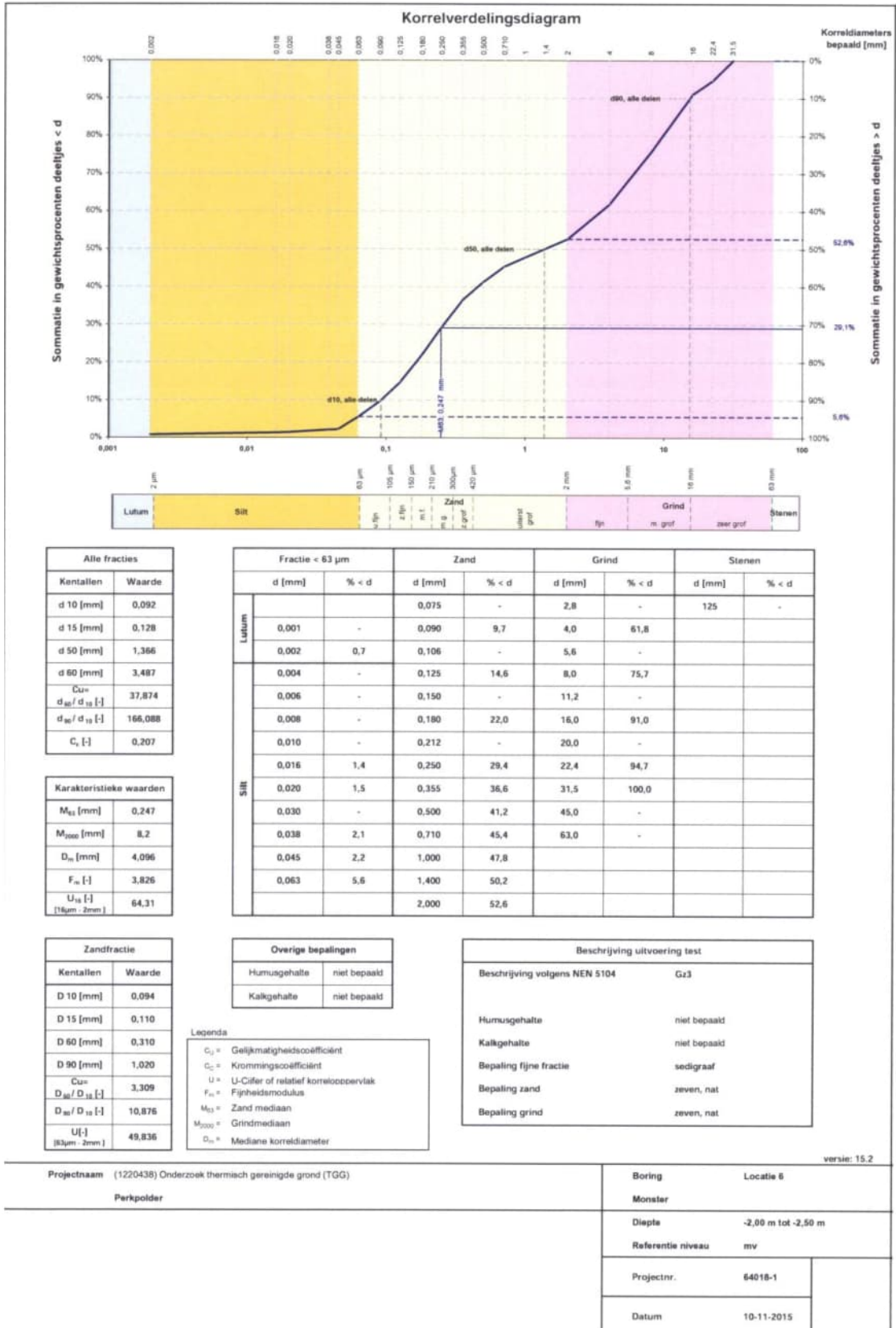
A.1 Monster 4



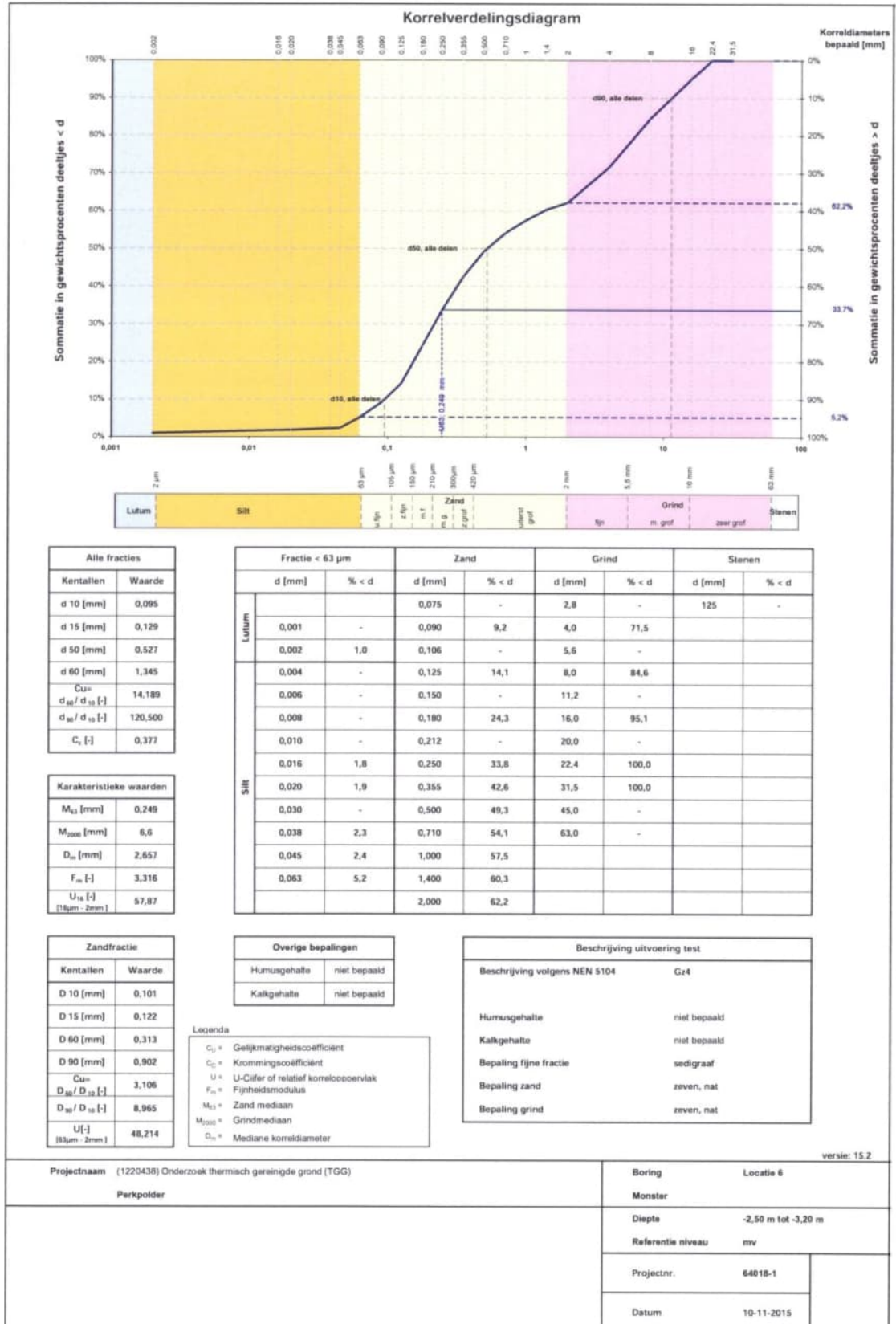
A.2 Monster 6a



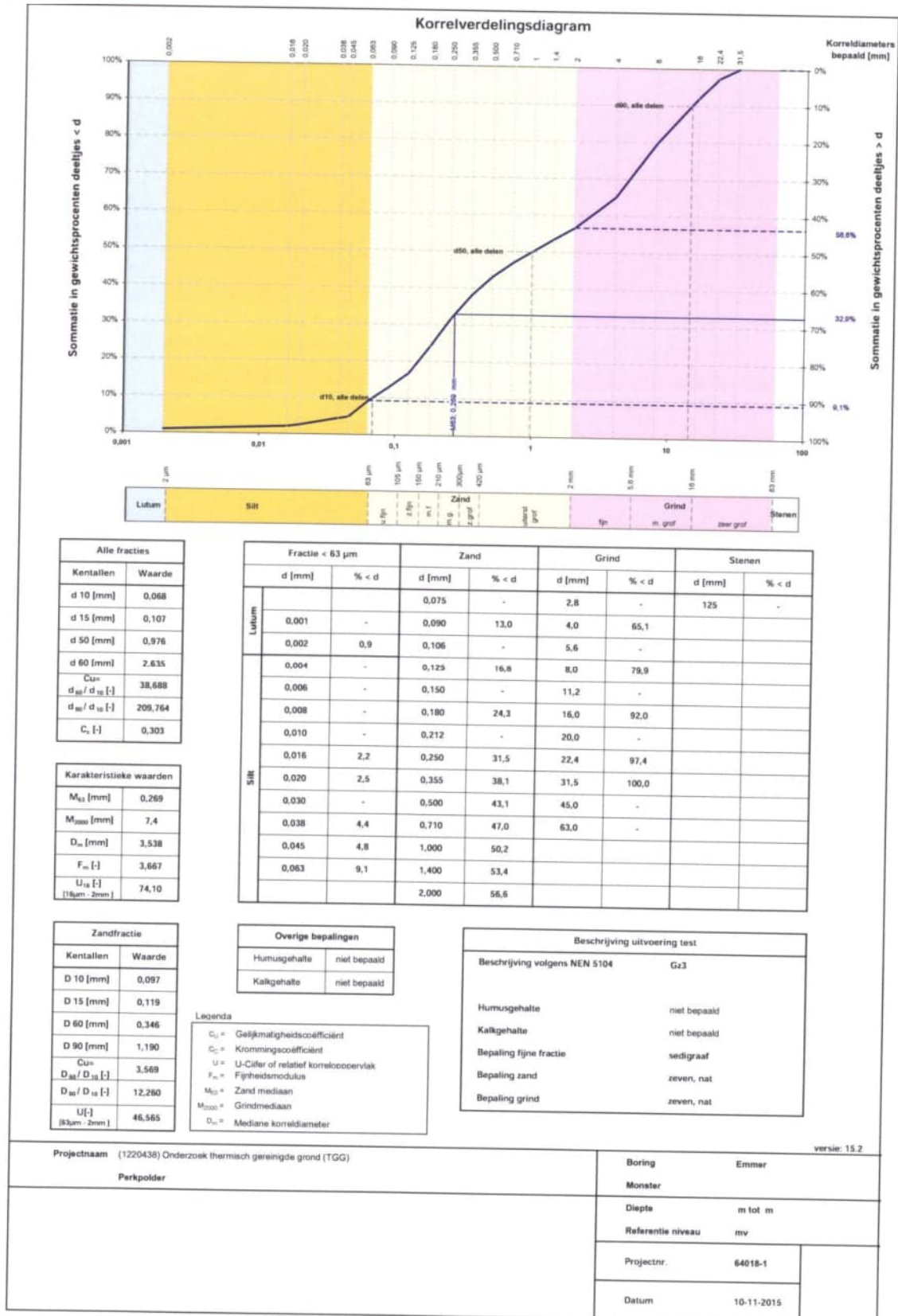
A.3 Monster 6b



A.4 Monster 6c

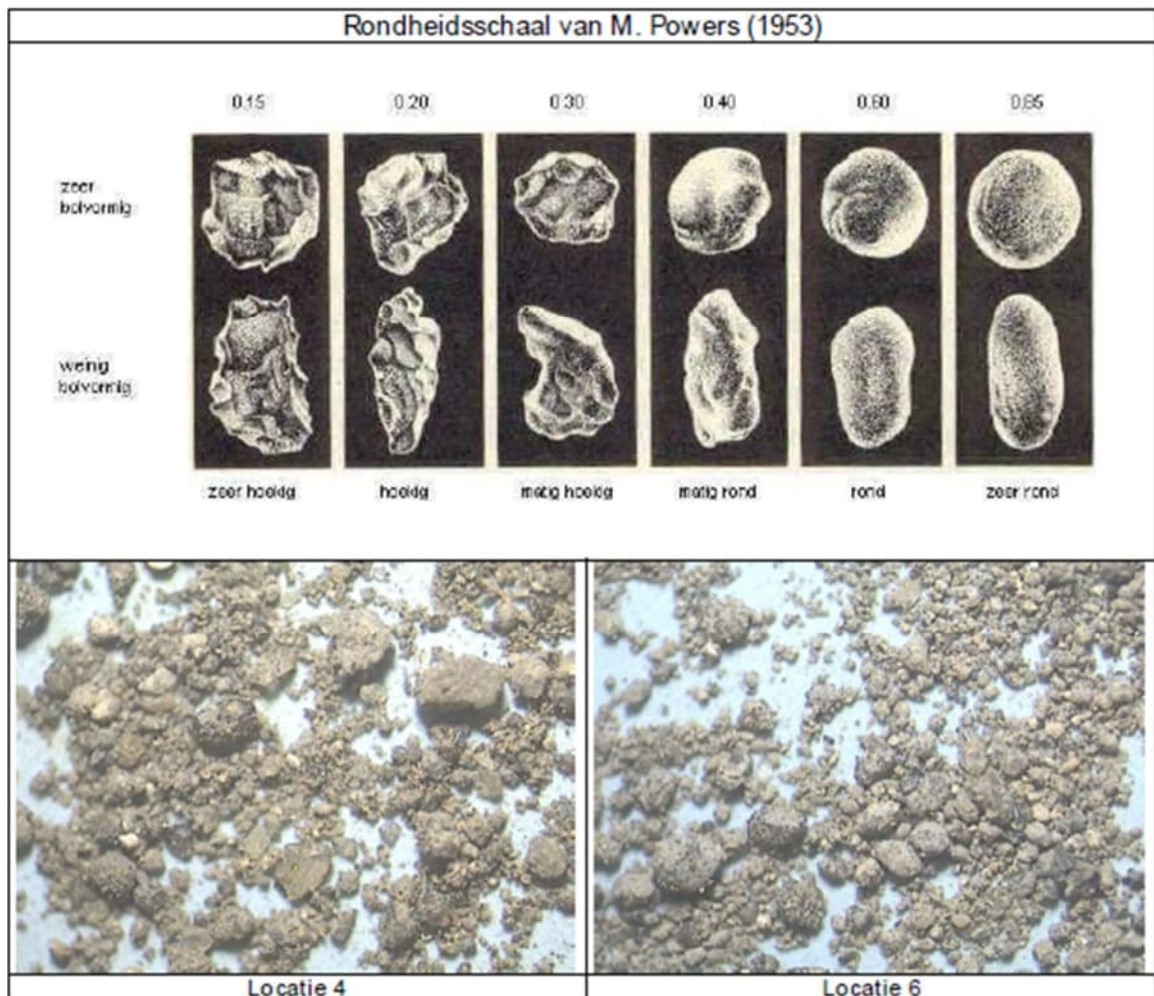


A.5 Monster E1



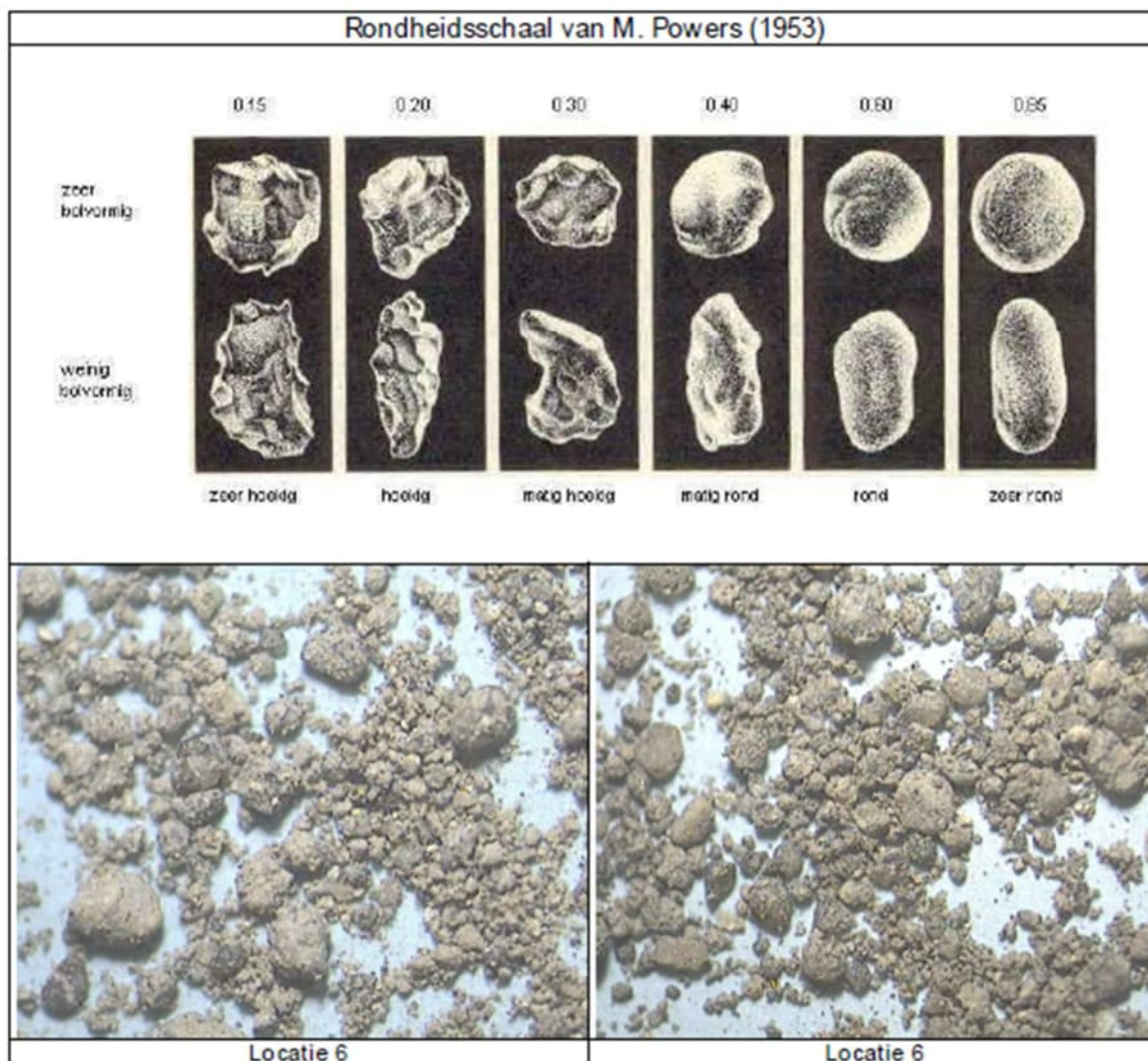
B Resultaten KAS onderzoek

B.1 Monsters 4 en 6a



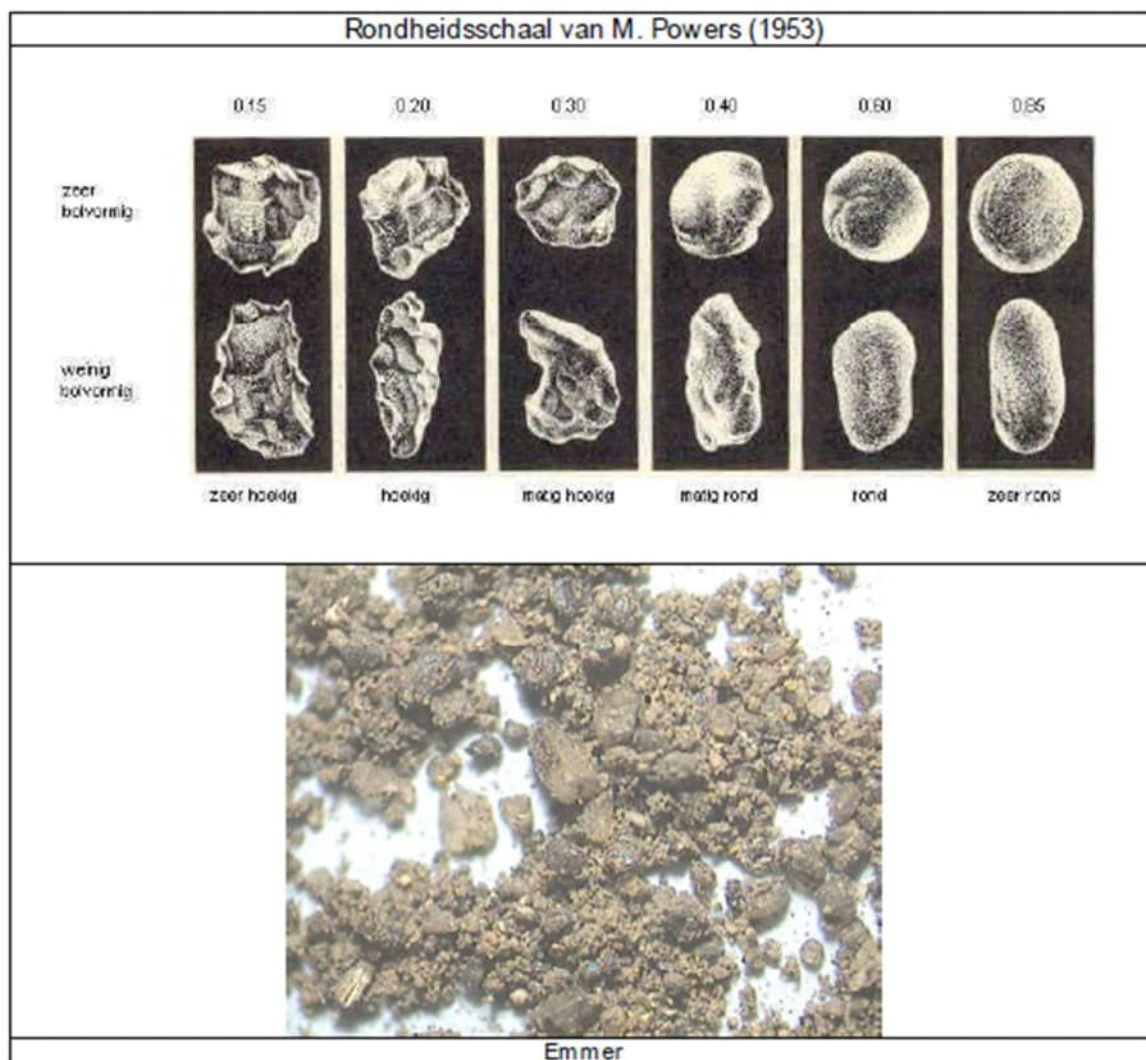
Bepaling korrelvorm				
boring	diepte [m-m.v.]	classificatie volgens NEN 5104	korrelvorm volgens Powers	
			bolvormigheid	rondheid
Locatie 4	1.20-1.70	Gz3	Niet eenduidig te bepalen	
Locatie 6	1.50-2.00	Gz3	Niet eenduidig te bepalen	

B.2 Monsters 6b en 6c



Bepaling korrelvorm					
boring	diepte [m-m.v.]	classificatie volgens NEN 5104	korrelvorm volgens Powers		
			bolvormigheid	rondheid	R
Locatie 6	2.00-2.50	Gz3	Niet eenduidig te bepalen		
Locatie 6	2.50-3.20	Gz4	Niet eenduidig te bepalen		

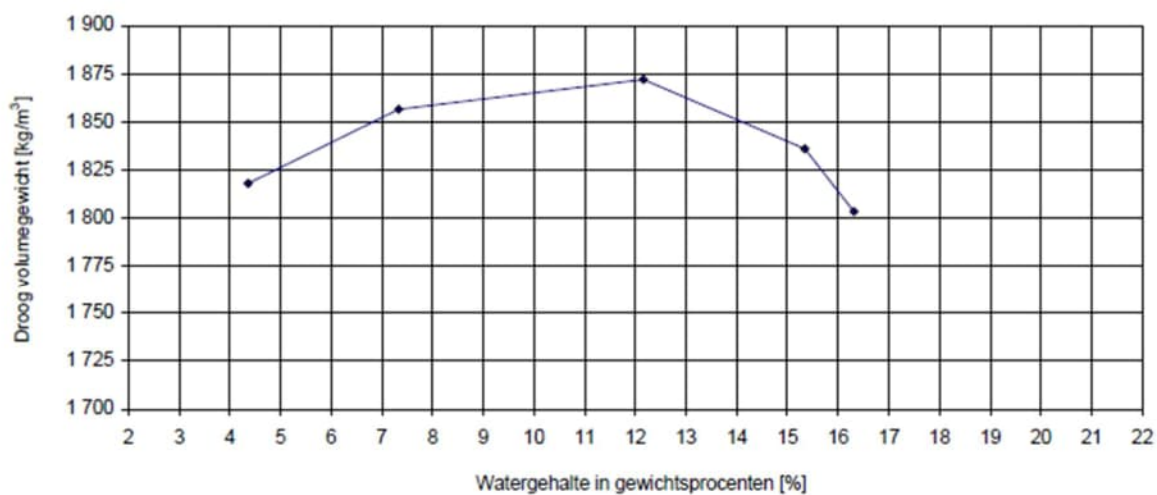
B.3 Monster E1



Bepaling korrelvorm					
boring	diepte [m-m.v.]	classificatie volgens NEN 5104	korrelvorm volgens Powers		
			bolvormigheid	rondheid	R
Emmer	nb	Gz3	Niet eenduidig te bepalen		

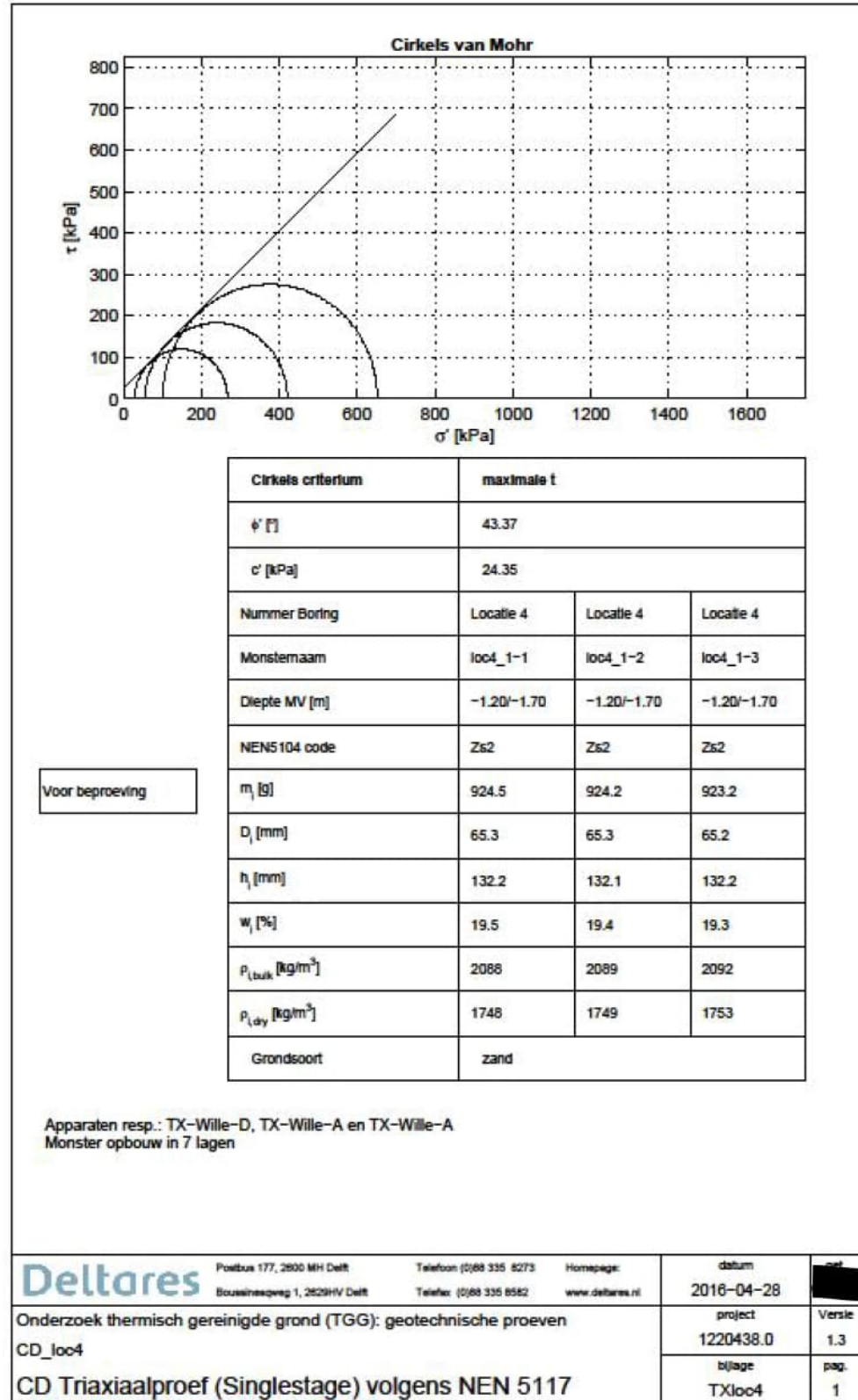
C Resultaten proctorproef

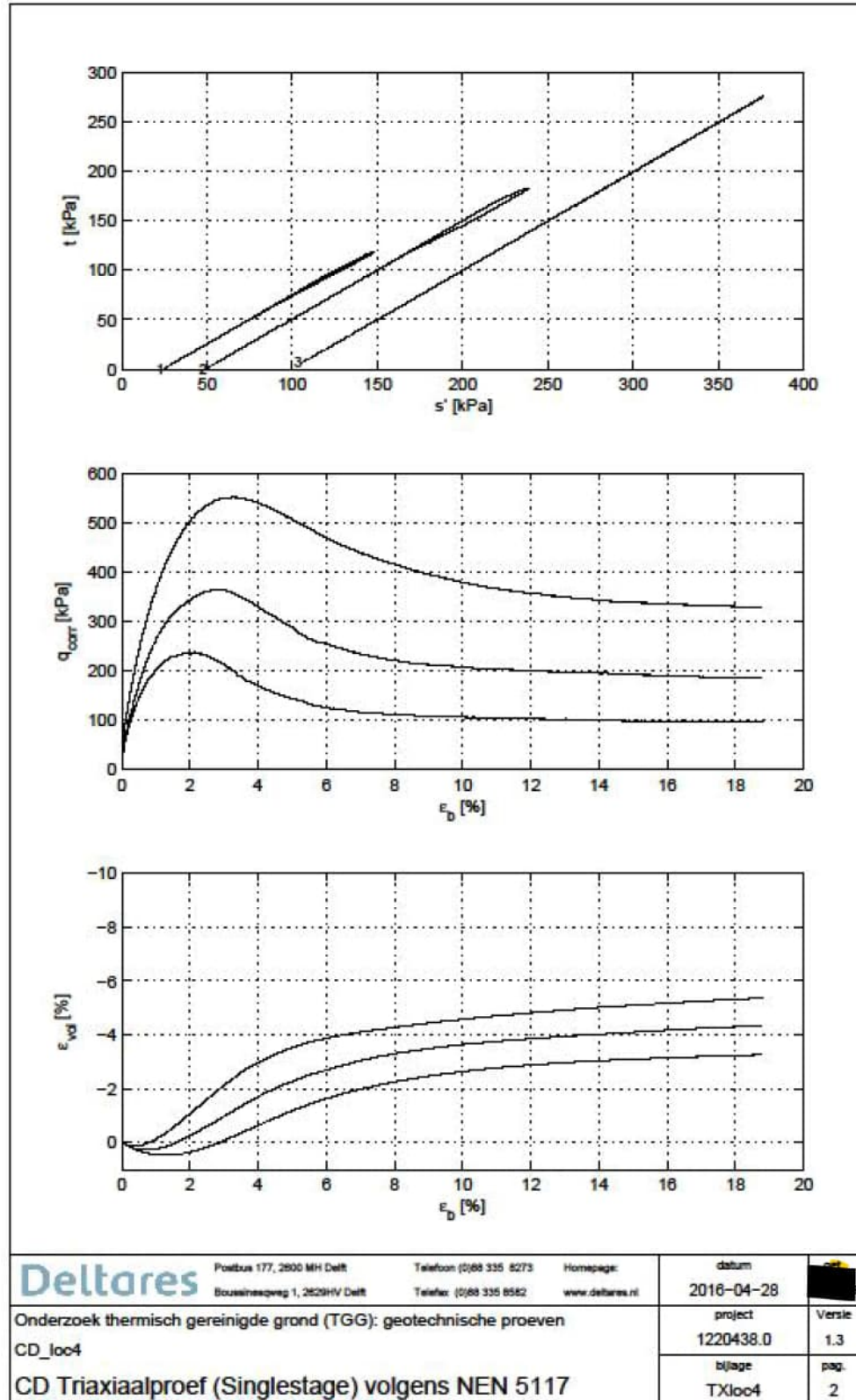
5 punts proctorproef (RAW 2010 proef 9.0)

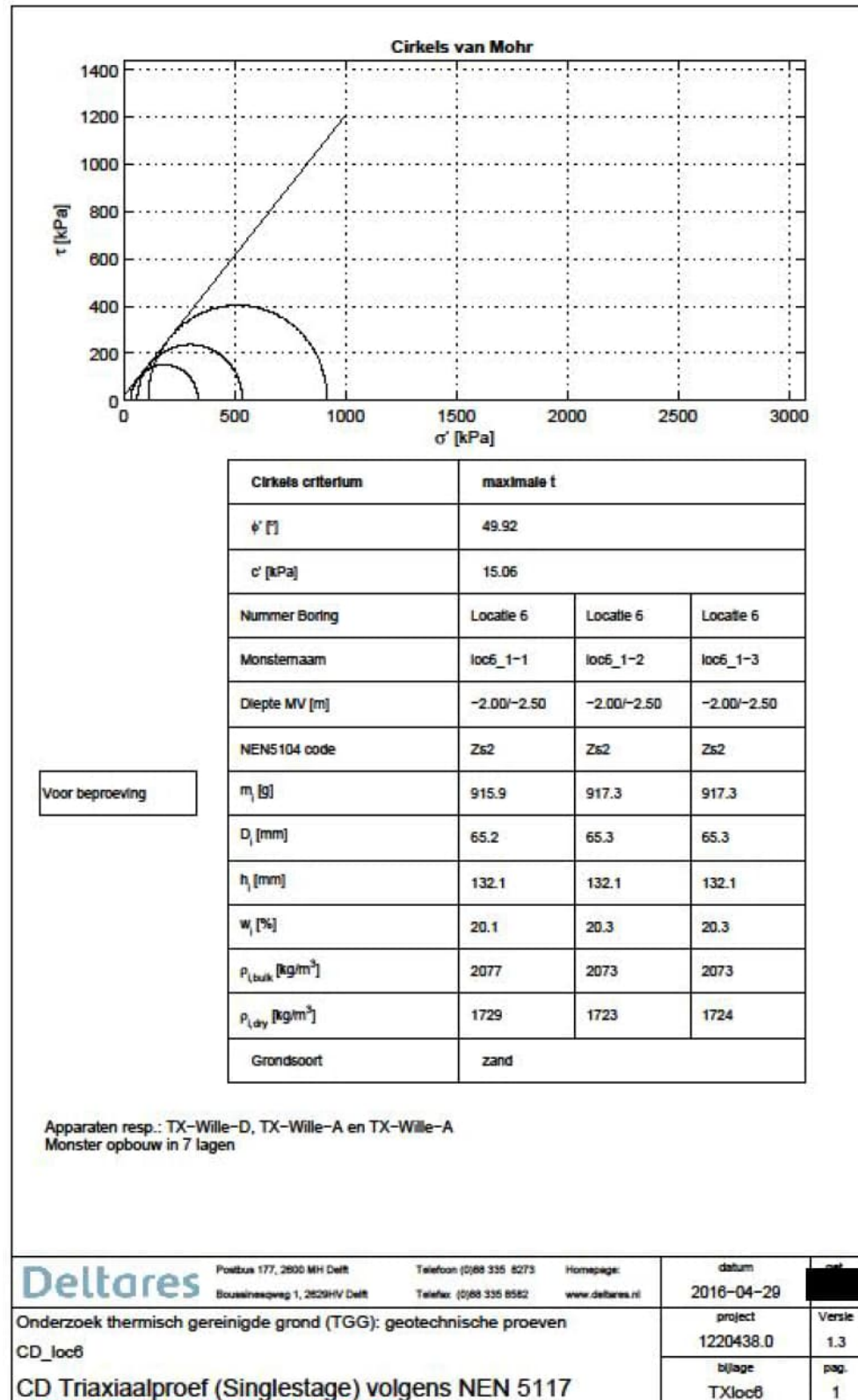


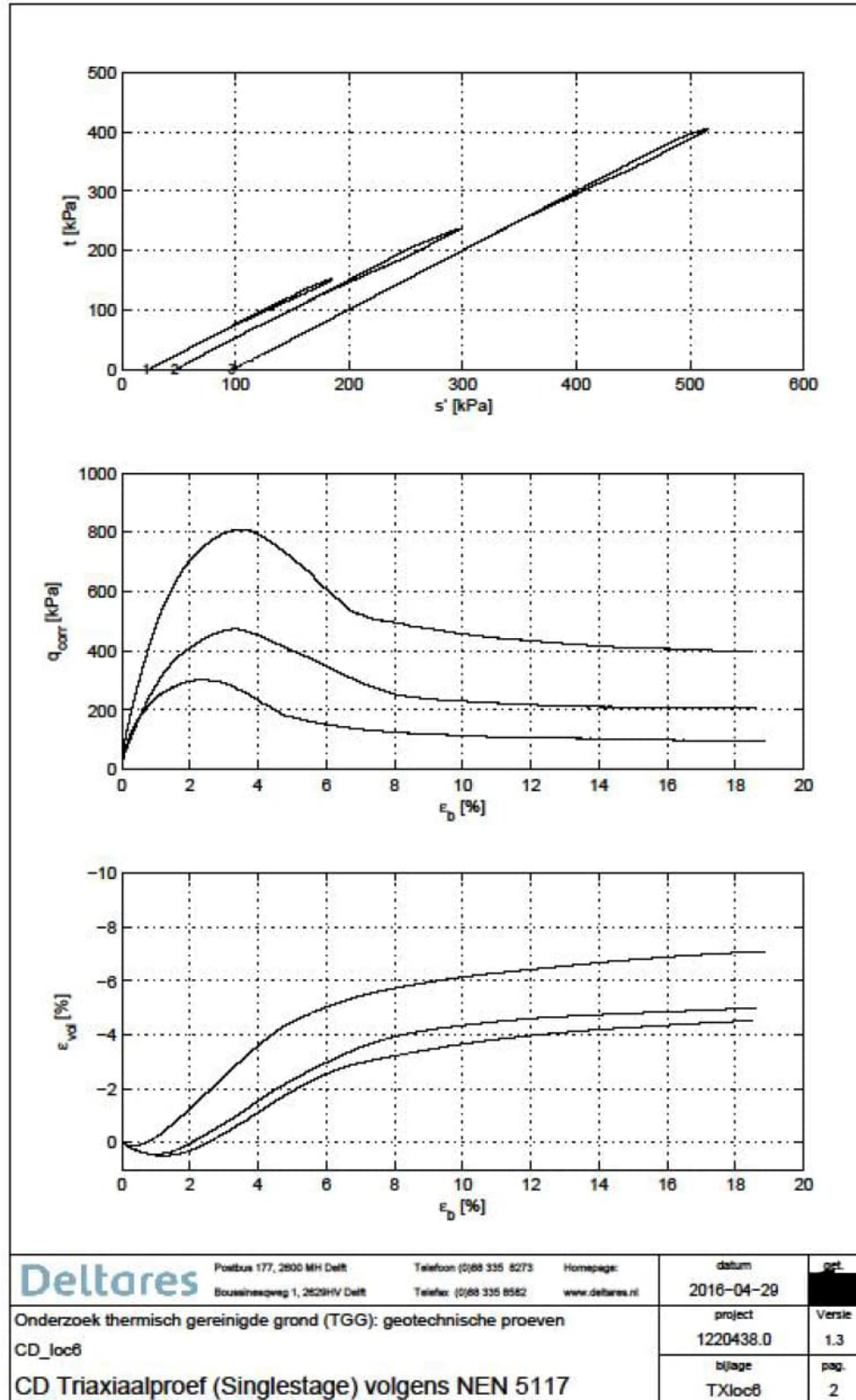
Opdrachtnummer	:	VN-64018-2
Omschrijving	:	Onderzoek thermisch gereinigde grond (TGZ)
Plaats	:	Perkpolder
Monster	:	M1
Classificatie grond	:	ZAND, zeer fijn, sterk siltig, matig grindig
Volume steekring	:	586 cm ³
Maximaal droog volumegewicht (100% proctordichtheid)	:	1 872 kg/m ³
Optimum watergehalte	:	12,2 %

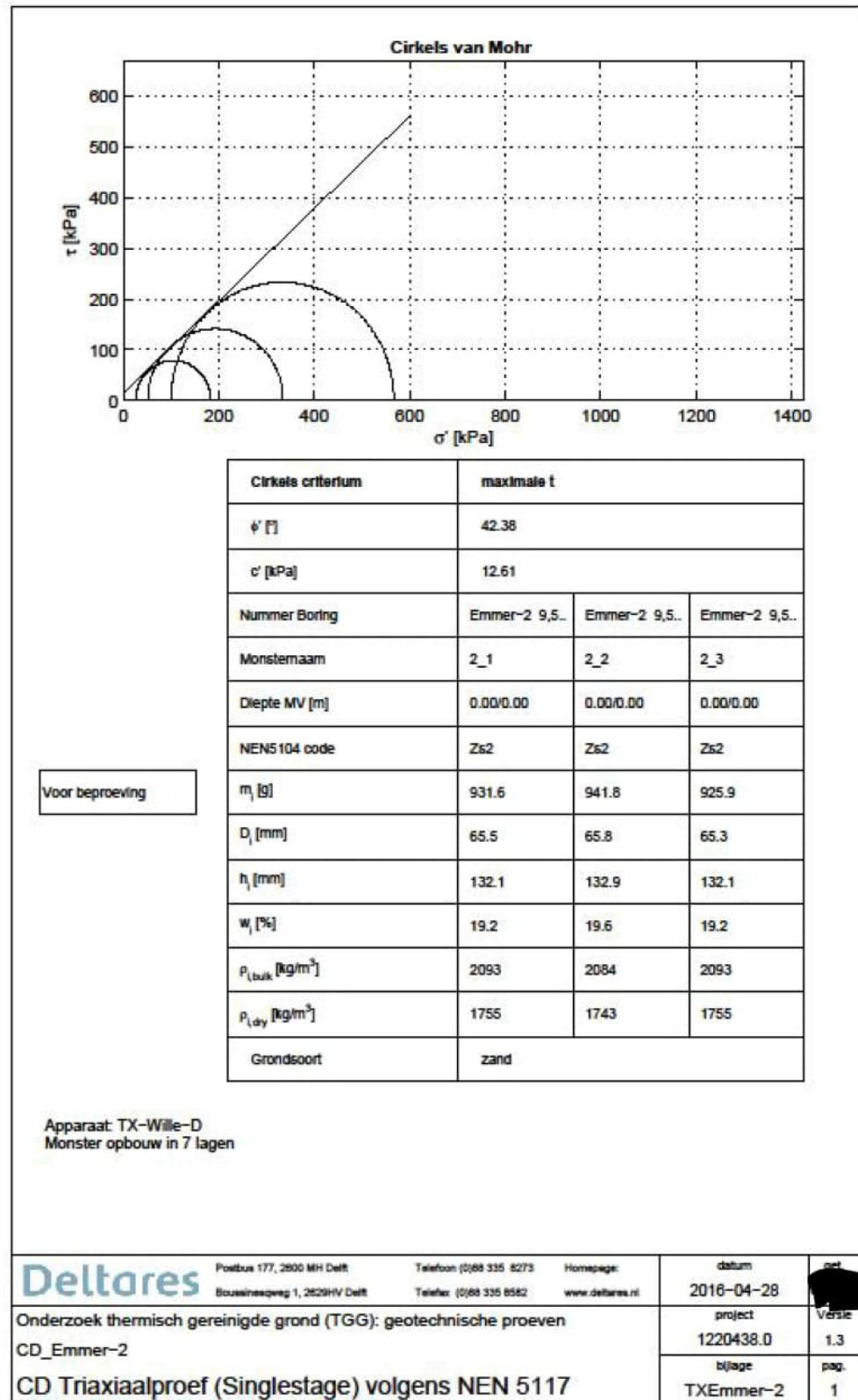
D Resultaten triaxiaalproeven

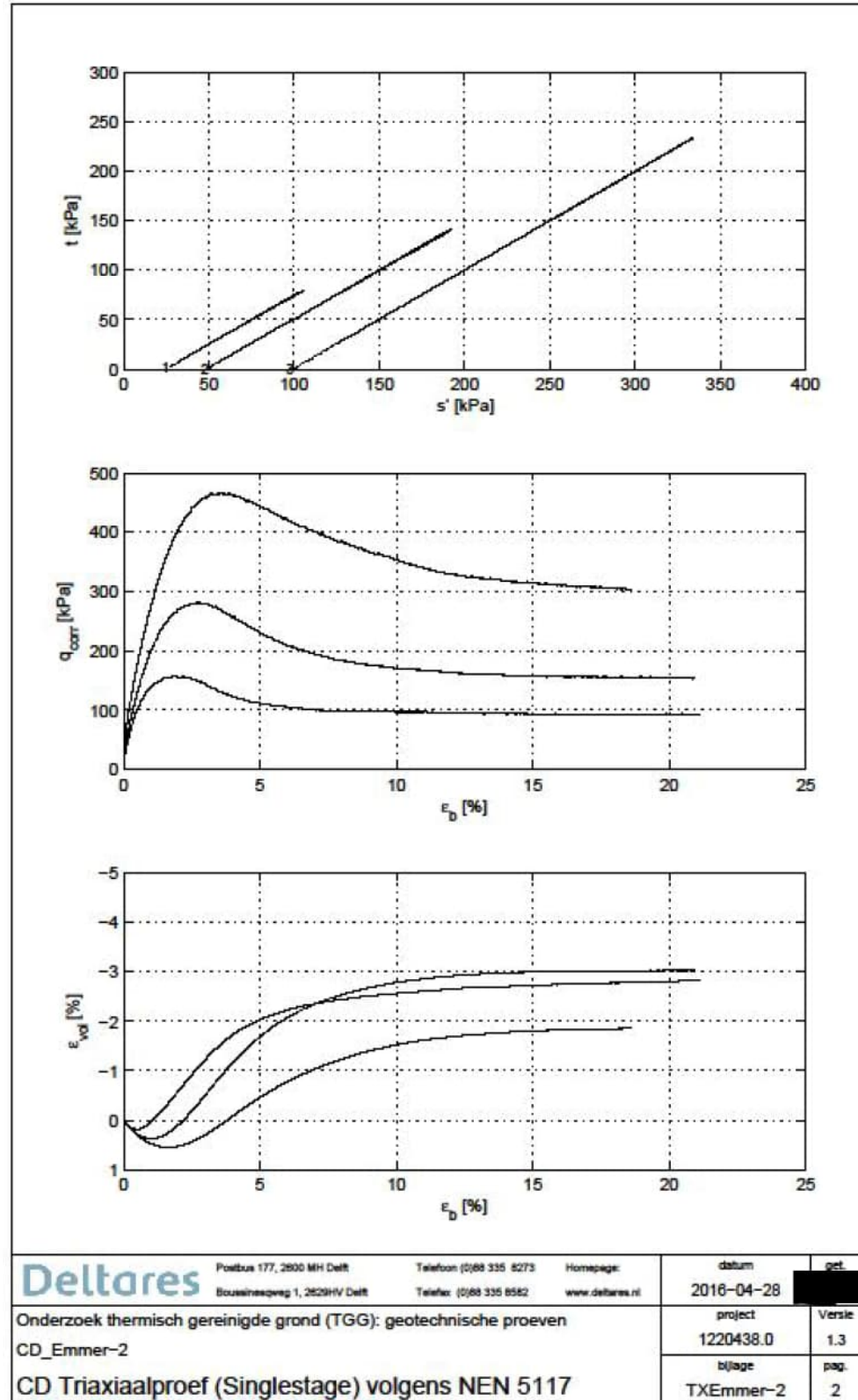


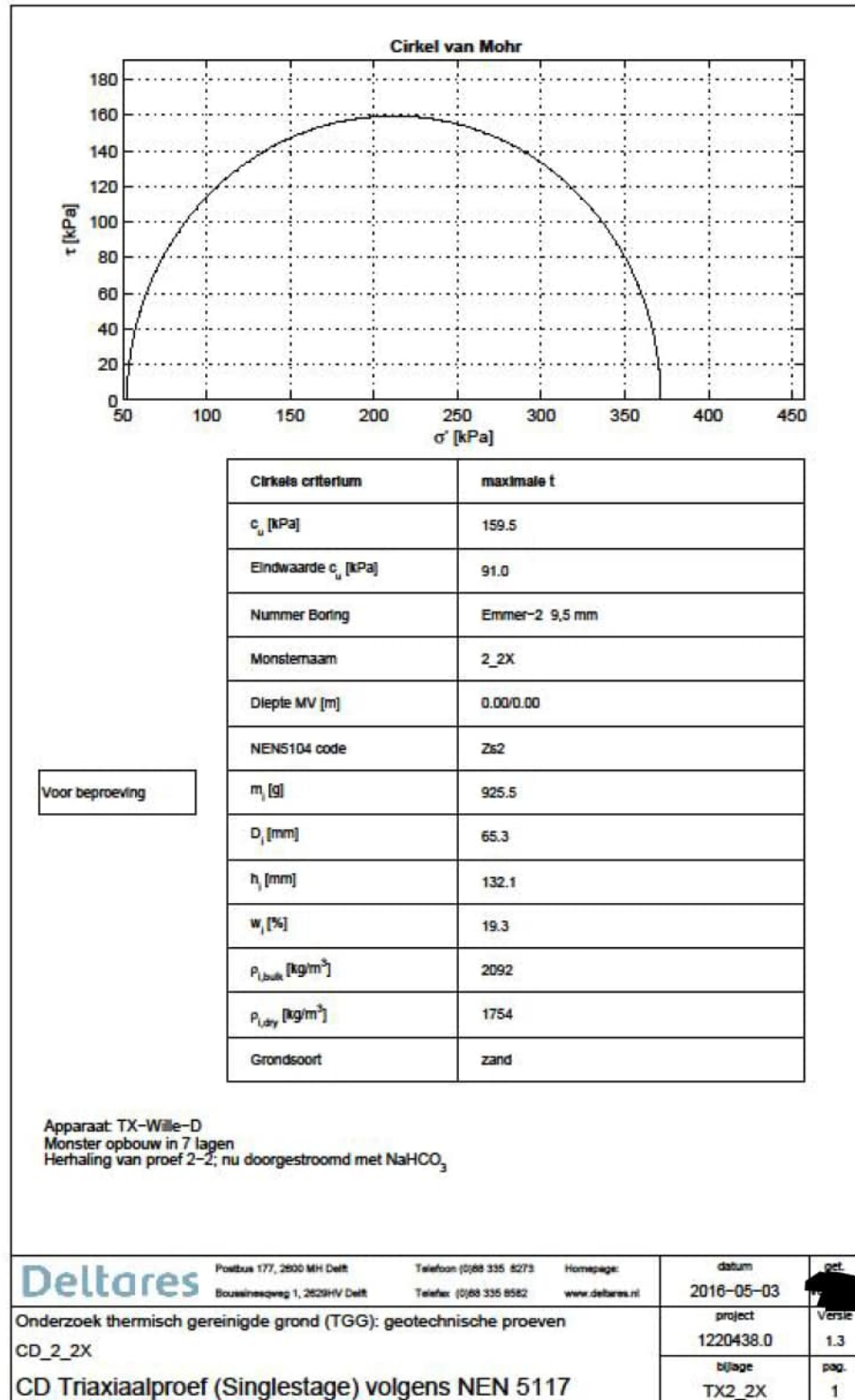


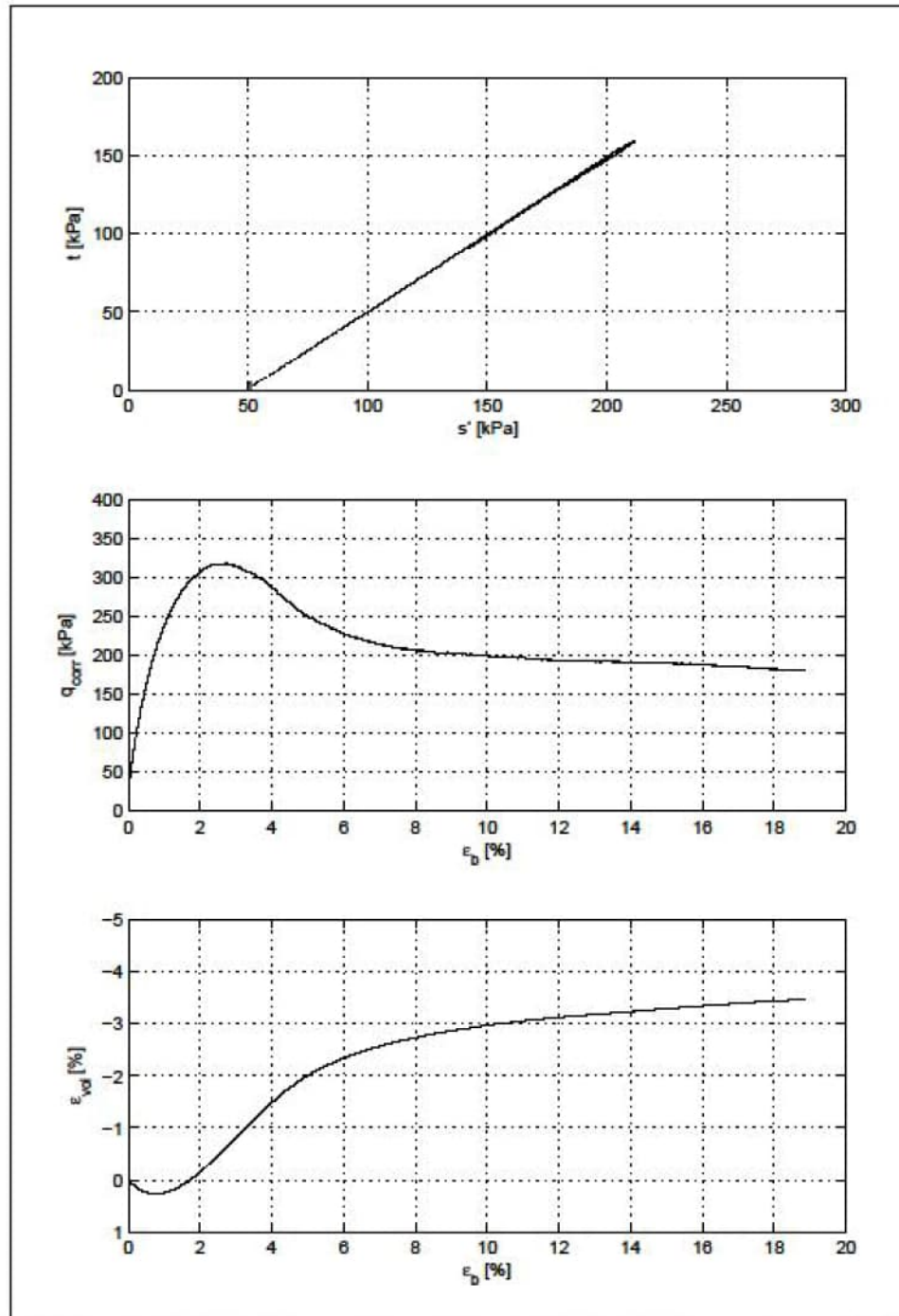












Deltares Postbus 177, 2600 MH Delft Boulevardweg 1, 2629HV Delft Telefoon: (0)68 335 8273 Telefax: (0)68 335 8582 Homepage: www.deltares.nl	datum 2016-05-03	get.
	project 1220438.0	Versie 1.3
	bijlage TX2_2X	pag. 2

*) Gecontroleerd en vrijgegeven door ess op 2016-05-03

E Gedetailleerde resultaten XRF

monster	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr	Ni	Sr	Ba	Zr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	63	3.2	0.19	1.9	0.02	5.1	0.5	0.4	1.1	0.08	33	7	198	149	185
2	71	2.7	0.17	2.0	0.02	5.9	0.5	0.4	1.2	0.09	39	6	267	169	191
3	79	2.7	0.14	1.4	0.02	3.4	0.4	0.4	1.0	0.05	29	5	136	139	159
4.1	62	4.6	0.28	2.4	0.05	6.3	1.0	0.5	0.9	0.16	87	23	128	290	198
4.2	64	4.7	0.26	2.2	0.04	6.9	1.3	0.6	1.0	0.19	80	27	129	345	178
4.3	65	4.4	0.24	2.6	0.06	8.5	1.0	0.5	1.0	0.31	201	142	190	489	141
5.1	65	4.9	0.31	2.4	0.09	6.8	1.2	0.6	1.1	0.22	76	22	151	372	176
5.2	71	3.0	0.17	1.3	0.02	2.9	0.4	0.5	1.1	0.06	40	11	106	169	176
6.1	64	5.9	0.59	3.4	0.08	5.7	2.4	1.2	1.1	0.19	211	129	226	389	154
6.2	66	4.3	0.25	2.1	0.05	7.0	0.9	0.5	1.0	0.30	88	36	151	356	164
6a	62	4.3	0.24	1.8	0.05	9.2	1.2	0.5	1.0	0.23	90	28	262	631	150
6b	61	4.2	0.23	1.6	0.05	8.1	1.0	0.5	0.9	0.18	192	27	143	304	135
6c	66	4.4	0.24	2.4	0.05	7.2	1.0	0.6	1.0	0.22	93	25	181	350	141
E1(1)	70	6.1	0.35	2.4	0.06	5.3	0.9	1.1	1.3	0.13	120	54	162	351	188
E1(2)	71	5.0	0.30	2.1	0.06	4.8	0.9	0.8	1.1	0.13	122	44	140	315	162
E1(3)	68	5.2	0.31	2.2	0.06	5.3	0.8	0.9	1.2	0.13	96	43	143	366	189
E2	68	4.4	0.27	2.2	0.05	5.7	0.9	0.8	1.1	0.15	146	31	146	331	156
E3	68	5.3	0.41	2.0	0.08	6.7	1.1	1.0	1.2	0.13	98	31	183	409	160
E4	66	3.9	0.24	2.2	0.12	9.6	1.1	0.4	0.9	0.21	106	28	148	338	150

G Samenstellingsonderzoek en uitloogtesten



— analytico®



Analysecertificaat

Uw project/verslagnummer	1220438	Certificaatnummer/Versie	2016040537/1
Uw projectnaam	SPR: SPR: Onderzoek thermisch gereinigde	Startdatum	08-Apr-2016
Uw ordernummer	1220438	Rapportagedatum	09-May-2016/09:24
Monsternemer	Laboratorium Kwaliteit	Bijlage	A, B, C, D
Monstermatrix	Grond; Bouwstof (BSB/AP04)	Pagina	1/3

Analyse	Eenheid	1
Voorbehandeling		
A Hoeveelheid aangeleverd monster	kg	3.1
A Massa percentage artefacten	% (m/m)	<1.0
Bodemkundige analyses		
Q Malen m.b.v. Kaakbreker en spleet verdeler (1kg)		Uitgevoerd
A Droge stof	% (m/m)	90.7
A Organische stof	% (m/m) ds	2.0
A Lutum	% (m/m) ds	1.1
Metalen		
A Barium (Ba)	mg/kg ds	54
A Cadmium (Cd)	mg/kg ds	1.3
A Kobalt (Co)	mg/kg ds	7.2
A Koper (Cu)	mg/kg ds	33
A Kwik, niet vluchtig (Hg)	mg/kg ds	0.59
A Nikkel (Ni)	mg/kg ds	24
A Molybdeen (Mo)	mg/kg ds	2.4
A Lood (Pb)	mg/kg ds	120
A Zink (Zn)	mg/kg ds	150
Minerale olie		
Minerale olie (C10-C12)	mg/kg ds	<2.0
Minerale olie (C12-C16)	mg/kg ds	<3.0
Minerale olie (C16-C21)	mg/kg ds	<3.0
Minerale olie (C21-C30)	mg/kg ds	21
Minerale olie (C30-C35)	mg/kg ds	14
Minerale olie (C35-C40)	mg/kg ds	8.2
A Minerale olie totaal (C10-C40)	mg/kg ds	46
Polychloorbifenylen, PCB		
A PCB 28	mg/kg ds	<0.0010
A PCB 52	mg/kg ds	<0.0010
Nr. Monsteromschrijving		
1 Emmer 2 <9,5mm	Datum monstername	Monster nr.
	25-Sep-2015	8977532

Eurofins Analytica B.V.

Gildeweg 44-46 Tel. +31 (0)34 242 83 00
 3771 NS Borneveld Fax +31 (0)34 242 83 99
 P.O. Box 45P E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Borneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas i.r. 327 9345 35
 VRT/BTW No. NL 8047.14.883.B01
 KvK No. 09088423
 IBAN: NL718900227924525
 BIC: BNPANL28

Q: door RvA geaccrediteerde verrichting
 R: APBA erkende verrichting
 S: AS 1000 erkende verrichting
 V: VLAREL erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytica B.V. is ISO 14001:2004 gecertificeerd door
 TÜV en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
 het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-DWD)
 en door de overheid van Luxemburg (MEV).





Analysecertificaat

Uw project/verslagnummer	1220438	Certificaatnummer/Versie	2016040537/1
Uw projectnaam	SPA: SPA: Onderzoek thermisch gereinigde	Startdatum	08-Apr-2016
Uw ordernummer	1220438	Rapportagedatum	09-May-2016/09:24
Monsternemer	Laboratorium Kwaliteit	Bijlage	A, B, C, D
Monsternatrix	Grond: Bouwstof (BSB/AP04)	Pagina	2/3

Analyse	Eenheid	1
A PCB 101	mg/kg ds	<0.0010
A PCB 118	mg/kg ds	<0.0010
A PCB 138	mg/kg ds	<0.0010
A PCB 153	mg/kg ds	<0.0010
A PCB 180	mg/kg ds	<0.0010
A PCB (som 7) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.0049 ²⁾
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen, PAK		
A Naftaleen	mg/kg ds	0.094
A Fenanthreen	mg/kg ds	0.096
A Anthraceen	mg/kg ds	<0.050
A Fluorantheen	mg/kg ds	0.072
A Benzo(a)anthraceen	mg/kg ds	<0.050
A Chryseen	mg/kg ds	<0.050
A Benzo(k)fluorantheen	mg/kg ds	<0.050
A Benzo(a)pyreen	mg/kg ds	<0.050
A Benzo(ghi)peryleen	mg/kg ds	<0.050
A Indeno(123-cd)pyreen	mg/kg ds	<0.050
A PAK VROM (10) (factor 0,7)	mg/kg ds	0.51
Fysisch-chemische analyses		
Meettemperatuur (pH-CaCl2)	°C	22
A Zuurgraad (pH-CaCl2)		9.2
Uitloogonderzoek		
A Kolomproef L/S factor fractie 1	L/g ds	0.0010
A Kolomproef L/S factor fractie 2	L/g ds	0.0090 ²⁾
A Antimoon (Sb) uitloogbaar	mg/kg ds	0.046
A Arseen (As) uitloogbaar	mg/kg ds	0.071
A Barium (Ba) uitloogbaar	mg/kg ds	0.37
A Cadmium (Cd) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.00040
A Chroom (Cr) uitloogbaar	mg/kg ds	0.046
A Kobalt (Co) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.030

Nr. Monsternomschrijving	Datum monsternome	Monster nr.
1 Emmer 2 <9,5mm	25-Sep-2015	8977532

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46 Tel. +31 (0)34 242 67 00
 3771 NB Borneveld Fax +31 (0)34 242 67 99
 P.O. Box 459 E-mail: info-ans@eurofins.nl
 3770 RL Borneveld NL Site: www.eurofins.nl

BNP Peribex S.A. 327 9345 35
 VAT/BTW No. NL 5043.14.083.501
 KvK No. 09055423
 IBAN: NL71BNP0327924525
 BIC: BNPANL28

Q: door RvG geaccrediteerde verrichting
 R: RPD4 erkende verrichting
 I: AS 2000 erkende verrichting
 V: VLABEL erkende verrichting
 Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V. is ISO 14001: 2004 gecertificeerd door
 TÜV en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
 het Brusselse Gewest (DIM), het Waalse Gewest (DGRH-DWD)
 en door de overheid van Luxemburg (MET).





Analysecertificaat

Uw project/verslagnummer	1220438	Certificaatnummer/Versie	2016040537/1
Uw projectnaam	SPR: SPR: Onderzoek thermisch gereinigde	Startdatum	08-Apr-2016
Uw ordernummer	1220438	Rapportagedatum	09-May-2016/09:24
Monsternemer	Laboratorium Kwaliteit	Bijlage	A, B, C, D
Monstermatrix	Grond; Bouwstof (BSB/AP04)	Pagina	3/3

Analyse	Eenheid	1
R Koper (Cu) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.020
R Kwik (Hg) uitloogbaar	mg/kg ds	0.00021
R Nikkel (Ni) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.0040
R Molybdeen (Mo) uitloogbaar	mg/kg ds	0.35
R Lood (Pb) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.0050
R Seleen (Se) uitloogbaar	mg/kg ds	0.045
R Tin (Sn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.030
R Vanadium (V) uitloogbaar	mg/kg ds	1.3
R Zink (Zn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.040
R Bromide uitloogbaar	mg/kg ds	210
R Chloride uitloogbaar	mg/kg ds	640
R Fluoride uitloogbaar ISE (NEN 6483)	mg/kg ds	8.9
R Sulfaat uitloogbaar	mg/kg ds	7100
R Cyanide totaal	mg/kg ds	0.010
R Cyanide vrij	mg/kg ds	<0.0100
Fractie 1		
R Geleidingsvermogen 25°C	µS/cm	13000
R Geleidingsvermogen 25°C	mS/m	1300
R Geleidingsvermogen 20°C	µS/cm	12000
R Geleidingsvermogen 20°C	mS/m	1200
R Meettemperatuur (pH)	°C	21.2
R Zuurgraad (pH)		10.0
Fractie 2		
R Geleidingsvermogen 25°C	µS/cm	420
R Geleidingsvermogen 25°C	mS/m	42
R Geleidingsvermogen 20°C	µS/cm	380
R Geleidingsvermogen 20°C	mS/m	38
R Meettemperatuur (pH)	°C	21.9
R Zuurgraad (pH)		9.5

Nr.	Monsterschrijving	Datum monsternam	Monster nr.
1	Emmer 2 < 9,5mm	25-Sep-2015	8977532

Eurofins Analytica B.V.

Sildeweg 44-46 Tel: +31 (0)34 242 83 00
 3771 NB Dornsveld Fax: +31 (0)34 242 83 99
 P.O. Box 459 E-mail: info-env@eurofins.nl
 3770 AL Dornsveld NL Site: www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 VRT/STW No. NL 8043.16.883.801
 KvK No. 09086623
 IBAN: NL71BNP0227924525
 BIC: BNPANL22

Q: door RvA geaccrediteerde verrichting
 R: AP04 erkende verrichting
 S: AC 2000 erkende verrichting
 V: VL001 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytica B.V. is ISO 14001: 2004 gecertificeerd door
 TÜV en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE),
 het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-DWD)
 en door de overheid van Luxemburg (MIV).

Akkoord
Pr.coörd.

YD



H Meetrapportage en algemene beschrijving Rock Eval testen

H.1 Organische analyse thermisch gereinigde grond

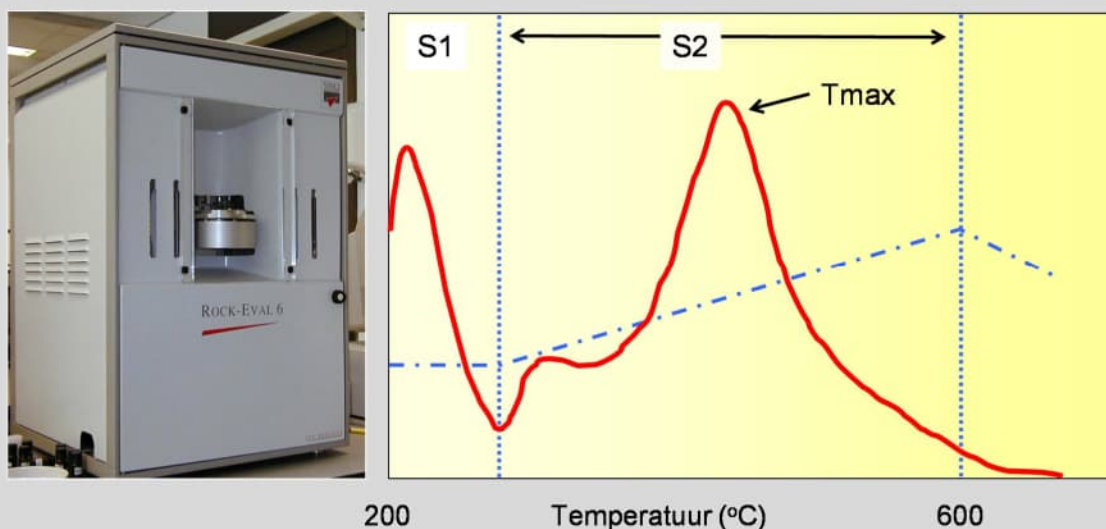
De mogelijke aanwezigheid van organisch materiaal in de thermisch gereinigde grond is bepaald met de Rock Eval. De Rock Eval techniek is een relatief eenvoudige methode om zowel de hoeveelheid alsook het type organisch materiaal te bepalen.

De Rock Eval is in eerste instantie ontwikkeld om het petroleum potentieel van sedimentaire gesteenten te bepalen (Espitalié et al., 1985a,b; Lafargue et al., 1998; Sykes & Snowdon, 2002). Gedurende de laatste jaren is de toepassing van de Rock Eval pyrolyse techniek uitgebreid naar de analyse van organisch materiaal in bodems en sedimenten, inclusief veen (Di-Giovanni et al., 1998; Disnar et al., 2003). In een Rock Eval analyse wordt 10 tot 100 milligram fijngemalen materiaal verhit van 300 tot 600°C in een inerte atmosfeer (pyrolyse-oven). De hierbij vrijkomende koolwaterstoffen worden gedetecteerd door een vlamionisatie detector (FID). Het resultaat is een pyrogram. Veel Rock Eval apparaten zijn ook uitgerust met een TOC module. De crucible met het monstermateriaal wordt dan na de pyrolyse overgebracht in een tweede oven waar het materiaal volledig wordt verbrand (oxidatie-oven). Het vrijkomende CO en CO₂ tijdens beide processen wordt continu gemeten met een Infrarood (IR) detector.

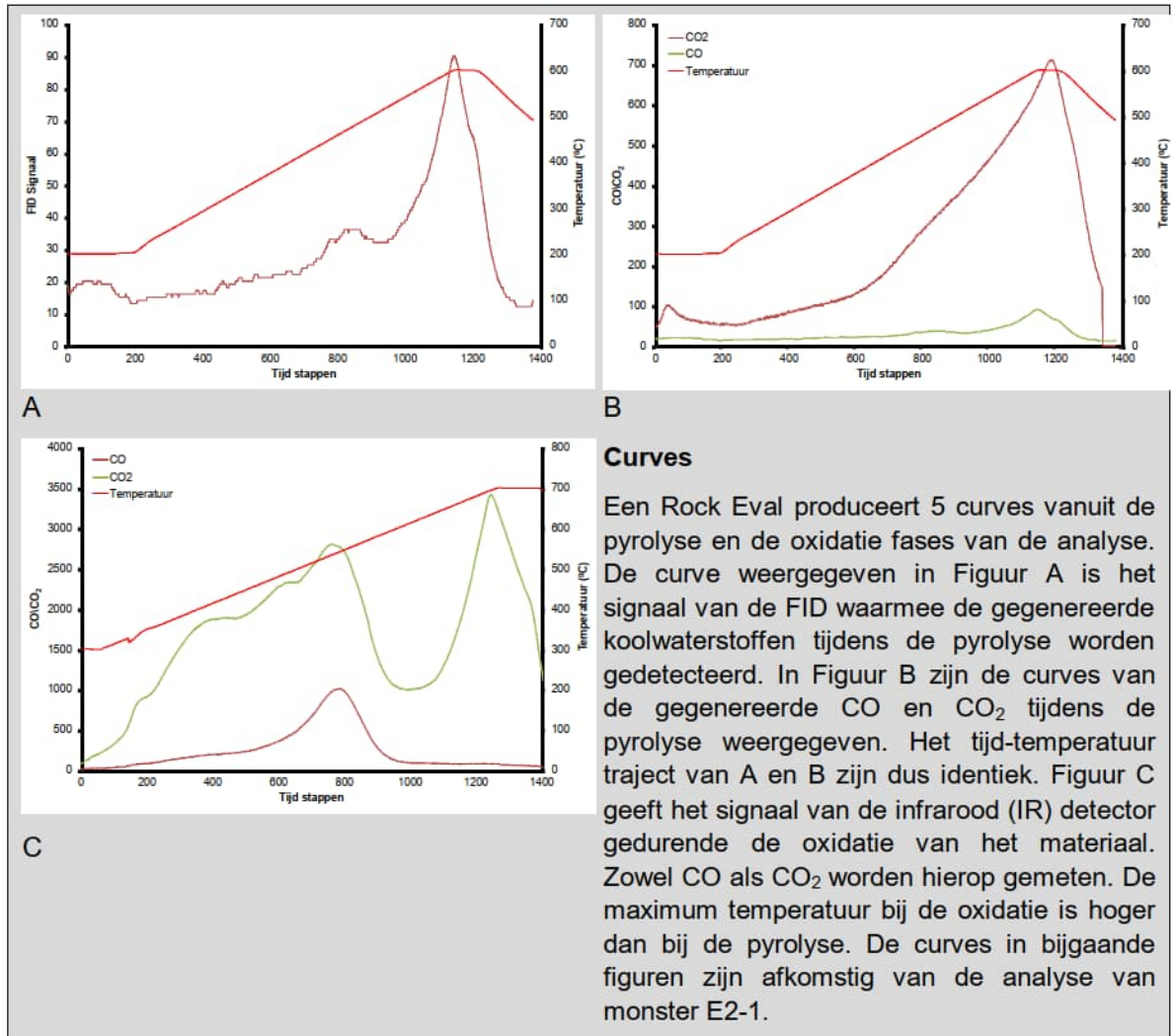
Rock Eval pyrolyse

Bij een Rock Eval pyrolyse wordt een kleine hoeveelheid gehomogeniseerd en verpoederd monstermateriaal in een inerte atmosfeer geprogrammeerd verhit tot 600°C. Tijdens deze pyrolyse wordt het organisch materiaal gekraakt en de vrijkomende koolwaterstoffen worden gedetecteerd met een vlam ionisatie detector (FID). Het resultaat is een pyrogram, waarbij de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen als functie van de tijd en temperatuur worden weergegeven, zie Figuur 2. S1 is de hoeveelheid (semi) vluchtige koolwaterstoffen, dat vrijkomt tijdens de isotherme fase van de pyrolyse. De S2 piek vertegenwoordigt de koolwaterstoffen die vrijkomen tijdens de pyrolyse (verhitten in afwezigheid van zuurstof) van 200°C tot 600°C. De Tmax is de temperatuur op het maximum van de S2 curve. Tevens worden de gegenereerde hoeveelheden koolstofdioxide (CO₂) en koolstofmonoxide (CO) tijdens de pyrolyse (S3) en de daaropvolgende oxidatie fase continue gemeten met een infrarood (IR) detector. De meetresultaten worden tevens gebruikt om een aantal parameters te berekenen zoals Totaal Organisch Koolstof (TOC), de Hydrogen Index (HI) en de Oxygen Index (OI). Deze laatste twee parameters worden gebruikt als referentie voor H/C en O/C atomaire ratio's om het type organisch materiaal te bepalen en om diagenetische veranderingen van het organisch materiaal in zogenaamde pseudo-Van Krevelen diagrammen te bepalen (Feller et al., 2010).

Een pyrogram (S1 + S2) geeft op deze manier een bulk organisch geochemische karakterisering van een monster. De TOC is de som van het "pyrolysed carbon" (%PC) en het "residual carbon" (%RC). De PC is bepaald vanuit de pyrolyse (S1, S2 en S3) en de RC is bepaald vanuit de oxidatie stap van de Rock Eval analyse op basis van de gegenereerde CO en CO₂.



Figuur E1 De Rock Eval en een voorbeeld van een pyrogram dat de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen laat zien als functie van de temperatuur.

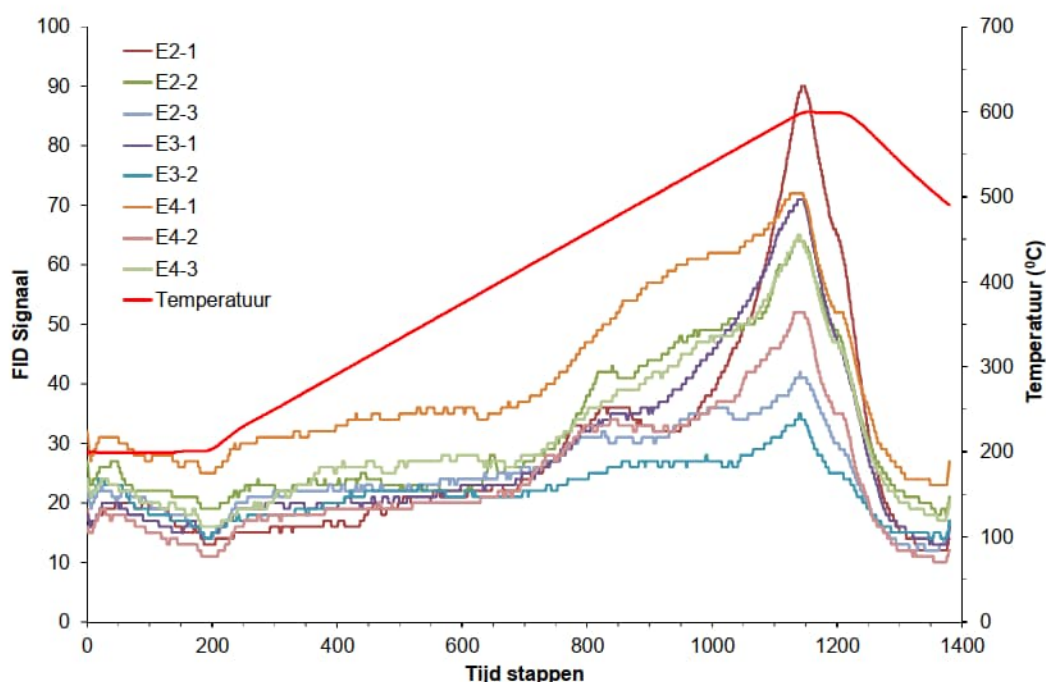


H.2 Monstervoorbereiding

Monsters werden genomen uit emmer 2 (zee fractie >9.5 mm verwijderd, E2-1, E2-2), emmer 3 (E3-1, E3-2) en emmer 4 (E4-1, E4-2) en van de fractie >0.5 mm van emmer 2 (E2-3) en in een vijzel handmatig fijn gemalen.

H.3 Resultaten

In Figuur 1 zijn alle Rock Eval pyrogrammen over elkaar gelegd om de onderlinge verschillen en overeenkomsten te illustreren. Een samenvatting van de gemeten en berekende parameters is gegeven in Tabel 1.



Figuur E2 Overzicht van de pyrogrammen van de onderzochte monsters van de thermisch gereinigde grond.

Monster	S1 [mg/g]	S2 [mg/g]	S3 [mg/g]	Tmax [°C]	HI [mg HC /g TOC]	OI [mg CO ₂ /g TOC]	PC [%]	RC [%]	TOC [%]
E2-1	0	0,04	0,86	557	4	82	0,03	1,02	1,05
E2-2	0	0,03	0,73	553	3	79	0,03	0,89	0,92
E2-3	0	0,02	1,02	556	2	126	0,03	0,78	0,81
E3-1	0	0,03	0,94	555	3	107	0,03	0,85	0,88
E3-2	0	0,01	0,80	556	1	94	0,02	0,83	0,85
E4-1	0	0,05	1,08	551	5	104	0,04	1,00	1,04
E4-2	0	0,02	1,02	553	2	92	0,03	1,08	1,11
E4-3	0	0,02	1,26	555	4	116	0,04	1,05	1,09
Gemiddeld	0	0,03	0,96	555	3	100	0,03	0,94	0,97

Tabel E1 Overzicht van de meetresultaten van de Rock Eval analyse op de monsters van de thermisch gereinigde grond.

Het totaal gehalte aan organische koolstof (TOC) varieert van 0,81% tot 1,11%, met een gemiddeld gehalte van 0,97%. Uit de figuren blijkt dat dit organisch materiaal bij hoge temperaturen (ongeveer 550 °C tot 600°C) nog reactief is. De TOC (Total Organic Carbon) is de som van het %PC (pyrolysed carbon) en %RC (residual carbon). Voor alle monsters geldt

dat de TOC voornamelijk bepaald wordt door het percentage residual carbon. Het %RC is de organische koolstof dat tot ongeveer 600°C niet gepyrolyseerd kan worden. Hoewel de temperatuur tijdens de thermische reiniging van de grond vooralsnog onbekend is kan met vrij grote zekerheid geconcludeerd worden dat het nu aanwezige organische materiaal een residu is van organisch materiaal dat oorspronkelijk aanwezig was in de grond. Bij lagere temperaturen (200-550°C) is in geen enkel monster een signaal waarneembaar van gegenereerde koolwaterstoffen. De S1 piek vertegenwoordigt de (semi)vluchtige koolwaterstoffen. In geen enkel monster is een S1 piek aanwezig. Bij een thermische reiniging tot ongeveer 550°C zal tijdens een Rock Eval analyse van dit materiaal geen signaal worden waargenomen in het temperatuurtraject van 200°C tot 550°C. Als ná de thermische reiniging koolwaterstoffen, zoals benzine, diesel, afgewerkte olie, et cetera zouden zijn toegevoegd dan zou dit hebben geresulteerd in een duidelijke S2 piek tijdens de pyrolyse.

H.4 Conclusie

Voor de monsters van de thermisch gereinigde grond kan gesteld worden dat op basis van de Rock Eval analyses gesteld kan worden dat geen contaminaties van (recent) toegevoegde koolwaterstoffen (zoals bij voorbeeld diesel) aanwezig zijn.

Het gemeten gehalte aan organisch materiaal is circa 1% en is het residu van de thermische reiniging en bevat hoogmoleculaire organische stoffen. Dit kunnen resten asfaltgranulaat zijn, moeilijk afbreekbaar biologisch materiaal (hout) of resten van te verwijderen verontreinigingen met een hoge molecuulmassa.