

## Het Groene Schouwpad

Toepassing van olivijn en obsidiaan in schouwpaden



Oprachtgever **ProRail**  
G.T.P. van Meer

Ondertekenaar **Movares Nederland B.V.**  
dr. P.J. van Helvoort  
Kenmerk BO-JC-120014280 - Versie 1.0

Utrecht, 29 april 2013  
vrijgegeven

© 2013, Movares Nederland B.V.

*Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.*

## Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van het pilotproject “Het groene schouwpad” dat Movares met Prorail heeft uitgevoerd in de periode september 2010 – september 2011. De pilot beoogt onderzoek naar de toepasbaarheid van alternatieve en duurzame materialen, zoals olivijn en obsidiaan, in schouwpaden t.b.v. CO<sub>2</sub> binding. De onderzoeksvragen die getoetst zijn met de proef waren:

1. werkt de toepassing van olivijn en/of obsidiaan als CO<sub>2</sub> bindend materiaal in schouwpaden en is dit te kwantificeren?
2. wat zijn de eventuele neveneffecten van de toepassing van olivijn en obsidiaan i.p.v. het gebruikelijke materiaal (porfier, graniet)

Voor de test met deze materialen zijn in september 2011 een zestal proefvakken aangelegd op het schouwpad langs het spoortraject Zwolle-Wierden. Daarna zijn gedurende een jaar veldgegevens verzameld.

De resultaten van deze proef laten zien dat vooral olivijn duidelijk reageert met CO<sub>2</sub> gedurende de proefperiode. Voor de overige proefvakken met obsidiaan of mengels van olivijn - obsidiaan is dit minder duidelijk, maar wel aannemelijk. Uit de resultaten blijkt dat microbiële omzetting van organisch materiaal veruit de belangrijkste CO<sub>2</sub> bron is voor reactie met duurzaam materiaal, en dus niet CO<sub>2</sub> dat wordt aangevoerd via infiltrerend regenwater. De temperatuur beïnvloedt zichtbaar de CO<sub>2</sub> productie door microbiële activiteit in de bodem, en intensieve regenval verlaagt de CO<sub>2</sub> verzadiging in het poriewater door verdunning. Hierdoor zal de intensiteit van de oplosreacties worden beïnvloed. De vorming van magnesiet vergroot bovendien de CO<sub>2</sub> opnamecapaciteit van olivijn.

Uitloging van de zware metalen Sb en Mo wordt gemeten in de proefvakken met obsidiaan. Metalen als nikkel en koper logen waarschijnlijk ook uit, maar binden aan de bodemmatrix of opgelost organisch koolstof zodat geen verhoogde concentraties in het poriewater worden gemeten.

De kosten van CO<sub>2</sub> neutralisatie met olivijn worden geschat op 63 euro per ton CO<sub>2</sub>. De theoretisch berekende oplosnelheid van olivijn –de snelheid waarmee olivijn dus CO<sub>2</sub> afvangt- is laag en bedraagt ongeveer 770 g CO<sub>2</sub>/jaar per m<sup>3</sup> materiaal. Dit is ongeveer 40 g CO<sub>2</sub>/jaar per strekkende meter schouwpad. De reactiesnelheid op basis van velddata wordt ongeveer een factor 7 lager ingeschat. Dit komt voornamelijk doordat de veldomstandigheden zullen afwijken van de ideale omstandigheden zoals aangenomen bij de berekening.

Dit rapport wordt afgesloten met een aantal aanbevelingen die kunnen helpen bij een eventueel vervolg van dit onderzoek.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Doel van het onderzoek	4
1.2 Olivijn	4
1.3 Obsidiaan	4
<b>2 Chemische processen</b>	<b>6</b>
2.1 CO <sub>2</sub> -opname door olivijn	6
2.2 CO <sub>2</sub> opname door obsidiaan	6
2.3 Reactiesnelheidsbepalende factoren	7
2.3.1. CO <sub>2</sub> concentratie in water	7
2.3.2. Hoeveelheid water, pH, temperatuur en korrelgrootte	7
2.3.3. Neerslag van magnesium en calcium	7
<b>3 Opbouw van het proeftrace</b>	<b>9</b>
3.1 Proefvakken en materialen	9
3.2 Meetopstelling	10
3.2.1. Principe van de meetopzet per proefvak	10
3.2.2. Rhizonmeter, warmtesensoren en weerstation	11
3.3 Monsternamen en analyses	13
<b>4 Proefopzet, data-acquisitie en dataverwerking</b>	<b>15</b>
4.1 Data-acquisitie: poriewaterbemonstering, bedtemperatuur en neerslag-monitoring	15
4.2 Verzamelde gegevens	15
4.3 Aanvullende gegevens	16
4.3.1. Verdichtingsonderzoek	16
4.3.2. Bodemopbouw	16
4.3.3. Uitloogproeven	16
4.3.4. Zeefkrommen	17
4.3.5. Grondwaterkwaliteit	17
4.3.6. Fotografie	17
4.4 Dataverwerking	17
4.4.1. Inkorten datalogreeksen van temperatuur en neerslag	17
4.4.2. Verwerking analyseresultaten poriewatermonsters	17
4.4.3. Verwerking aanvullende gegevens	18
<b>5 Resultaten van de pilotproef</b>	<b>19</b>
5.1 Poriewatersamenstelling	19
5.1.1. Magnesium	19
5.1.2. Alkaliniteit	20
5.1.3. pH	21
5.1.4. Nikkel	22
5.1.5. Zware metalen Mo, Sb en Cu	23
5.2 Temperatuur en neerslag	24
5.2.1. Temperatuur	24

5.2.2. <i>Neerslag</i>	25
5.3 Bevingingen uit aanvullende gegevens	26
5.3.1. <i>Boringen</i>	26
5.3.2. <i>Verdichtingsonderzoek</i>	26
5.3.3. <i>Uitloogproeven en samenstellingsproeven</i>	27
5.3.4. <i>Veldfoto's</i>	28
<b>6 Interpretatie van de resultaten</b>	<b>31</b>
6.1 Aantoonbare reactie van CO <sub>2</sub> met duurzame materialen	31
6.1.1. <i>Olivijn</i>	31
6.1.2. <i>Obsidiaan</i>	31
6.1.3. <i>Mengvakken</i>	31
6.2 Beschikbaarheid van CO <sub>2</sub> in de bodem	32
6.2.1. <i>Algemeen</i>	32
6.2.2. <i>Organisch materiaal als CO<sub>2</sub>-bron</i>	32
6.2.3. <i>Uitwisseling van CO<sub>2</sub> met de buitenlucht</i>	34
6.3 Effect van neerslag en temperatuur op CO <sub>2</sub> beschikbaarheid	34
6.4 Overige factoren met effect op CO <sub>2</sub> binding	35
6.4.1. <i>Temperatuur en korrelgrootte</i>	35
6.4.2. <i>Samenstelling van het uitgangsmateriaal</i>	35
6.4.3. <i>Magnesium- of calciumneerslag</i>	35
6.4.4. <i>Kalk in de bodem</i>	37
6.5 Zware metalen en de toepassing van duurzame materialen	37
6.6 Onkruidbestrijding	39
<b>7 CO<sub>2</sub>-opname in de praktijk</b>	<b>40</b>
7.1 Snelheid CO <sub>2</sub> opname: theorie en praktijk	40
7.1.1. <i>Theoretische reactiesnelheid</i>	40
7.1.2. <i>Vergelijk tussen theorie en werkelijk gemeten reactiesnelheid</i>	40
7.2 Kosten per ton CO <sub>2</sub>	41
<b>8 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>43</b>
8.1 Conclusies	43
8.2 Aanbevelingen	44
<b>9 Referenties</b>	<b>45</b>
<b>Colofon</b>	<b>46</b>
<b>Bijlage I</b>	<b>Resultaten van de uitloogproeven op olivijn en obsidiaan</b>
<b>Bijlage II</b>	<b>Ruwe meetgegevens</b>
<b>Bijlage III</b>	<b>Resultaten van het verdichtingsonderzoek</b>

# 1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten van het pilotproject “Het Groene Schouwpad” dat Movares in opdracht van Prorail heeft uitgevoerd in de periode september 2010 – september 2011. De pilot beoogt onderzoek naar de toepasbaarheid van alternatieve en duurzame materialen, zoals olivijn en obsidiaan, in schouwpaden t.b.v. CO2 binding. Een positief resultaat zou bijdragen bij aan de MVO- en klimaatdoelstellingen van Prorail.

In de volgende hoofdstukken worden de onderzoeksopzet, de meetmethode, de analyses en de interpretatie van de verkregen meetresultaten beschreven.

## 1.1 Doel van het onderzoek

In het onderzoek staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. Kan worden aangetoond dat olivijn en/of obsidiaan toegepast als schouwpadmateriaal CO2 meer bindt dan het standaardmateriaal (porfier)?
2. Kan de werking van olivijn en/of obsidiaan als CO2 bindend materiaal onder praktische ‘schouwpadomstandigheden’ gekwantificeerd worden?
3. Testen van obsidiaan als onkruidwerend materiaal. De gedachte hierachter is dat obsidiaan door zijn hoge warmtecapaciteit warmte vasthoudt en daardoor de ontkieming van onkruid kan tegengaan. Daardoor zouden minder onkruidbestrijdingsmiddelen nodig zijn (duurzaamheidsgedachte).
4. Welke factoren, zoals neerslag en temperatuur, zijn van invloed op de werkzaamheid van olivijn en/of obsidiaan?
5. Wat zijn de eventuele neveneffecten van de toepassing van olivijn en obsidiaan op de omgeving?

## 1.2 Olivijn

Van diverse kanten (o.a..Prof. Schuiling in 2008) is het idee geopperd om de steenslag die ProRail standaard toepast in haar schouwpaden en ballastbedden te vervangen door olivijn. Dit mineraal is in veel opzichten vergelijkbaar met steenslag maar heeft als belangrijkste extra eigenschap dat het CO2 chemisch kan binden. Bij deze reactie komt warmte vrij en valt het mineraal uit elkaar. Daarnaast kan olivijn opgeloste metalen en organometalen chemisch adsorberen aan zijn kristalrooster.

## 1.3 Obsidiaan

Een ander materiaal dat interessant zou kunnen zijn als alternatief, duurzaam schouwpadmateriaal is obsidiaan.

Obsidiaan is een zwartgekleurd vulkanisch glas dat ontstaat wanneer lava in aanraking komt met water. Door de snelle afkoeling kan geen kristallisatie optreden resulterend in een glasachtige structuur. In Panheel werd obsidiaan kunstmatig

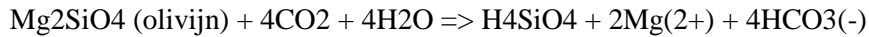
gemaakt in een verglazingsinstallatie. De assen die overblijven na pyrolyse van een mix van allerlei afvalstoffen worden in deze oven gesmolten bij een temperatuur van 1500 °C. Dit verglazingsproces heet de ‘nuloptie’.

Obsidiaan absorbeert infrarode straling, en bezit een hoge warmtecapaciteit. Daardoor warmt het relatief langzaam op maar koelt het ook slechts langzaam af. Obsidiaan bevat -naast  $\text{FeMg}(\text{SiO}_3)_x$ - diverse andere metaalsilicaten, hoofdzakelijk in glasvorm, d.w.z. niet gekristalliseerd. Obsidiaan is voor zwakke zure oxiden zoals  $\text{CO}_2$  chemisch beter toegankelijk dan olivijn. Zeer fijn obsidiaan zal daarom in theorie beter met  $\text{CO}_2$  reageren dan olivijn.

## 2 Chemische processen

### 2.1 CO<sub>2</sub>-opname door olivijn

Het idee om olivijn te gebruiken om CO<sub>2</sub> te adsorberen en neutraliseren is niet nieuw (Schuiling, 2001). Dit mineraal zit van nature in basisch stollingsgesteente en reageert met CO<sub>2</sub> (koolzuurgas) naar kiezelzuur (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), vrije magnesium-ionen (Mg<sup>(2+)</sup>) en bicarbonaat (HCO<sub>3</sub><sup>(-)</sup>):



Het is bekend dat bij het oplossen van olivijn ook zware metalen zoals cobalt, chroom, koper en vooral nikkel kunnen vrijkomen. Deze metalen zitten als natuurlijke verontreinigingen opgesloten in het gesteente (De Hoog, 2010), en kunnen wanneer ze vrijkomen in principe een risico vormen bij de toepassing van olivijn als CO<sub>2</sub> neutraliserend materiaal in of op een (water)bodem.

De reactie verloopt sneller naarmate de temperatuur hoger, en het milieu natter en zuurder is. De reactie tussen een gesteente en opgelost CO<sub>2</sub> verloopt over het algemeen traag bij temperaturen onder de 100 °C. In diverse studies is echter aangetoond dat de reactie tussen olivijn en CO<sub>2</sub> toch meetbaar zal optreden bij reactieomstandigheden beneden de 25 °C en over een periode van 1 jaar of langer (Hangx en Spiers, 2009).

### 2.2 CO<sub>2</sub> opname door obsidiaan

Zoals beschreven in paragraaf 1.3 is obsidiaan een glasachtig vulkanisch stollingsgesteente dat ontstaat door snelle afkoeling van hete lava. Het heeft daardoor geen of nauwelijks kristalstructuur, waardoor het relatief onstabiel is en makkelijk verweert onder invloed van CO<sub>2</sub> en water (Stephens, 2002). Voor de reactie met obsidiaan kan geen eenduidige vergelijking worden gegeven. Dat komt doordat de chemische samenstelling van obsidiaan erg kan verschillen. De mate waarin dit materiaal CO<sub>2</sub> kan binden is vooral afhankelijk van het calciumgehalte omdat dat deel het makkelijkste oplost (Wolff-Boenisch, 2006). Daarom wordt de reactie van CO<sub>2</sub> met obsidiaan versimpeld voorgesteld als een calciumsilicaat dat reageert met CO<sub>2</sub> naar kiezelzuur, vrije calciumionen en bicarbonaat (Stumm, 1992):



Over de reactiesnelheid van obsidiaan zijn verschillende publicaties verschenen. Hieruit wordt duidelijk dat ook dit weliswaar een relatief langzaam proces is bij temperaturen van 25°C of lager, maar dat het wel waarneembaar verloopt (Stephens, 2002; Smith, 2000).

## 2.3 Reactiesnelheidsbepalende factoren

De mate waarin bovengenoemde oplosreacties verlopen en de snelheid waarmee dat gebeurt, hangen af van:

- de hoeveelheid in water opgelost CO<sub>2</sub> die in aanraking komt met het mineraal
- de hoeveelheid water die in contact komt met het mineraal
- de zuurgraad (pH) van het water dat in aanraking komt met het mineraal
- de temperatuur van het water
- korrelgrootte van het mineraal
- de vorming van magnesiet of calciet

### 2.3.1. CO<sub>2</sub> concentratie in water

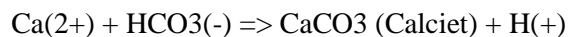
De reactie tussen olivijn of obsidiaan en CO<sub>2</sub> is een oplosreactie die alleen in water of in een waterbodem kan plaatsvinden. De hoeveelheid opgelost CO<sub>2</sub> in het water dat in contact komt met het mineraaloppervlak – ook wel de CO<sub>2</sub>-verzadiging genoemd – is dus van primair belang. De oplosbaarheid van CO<sub>2</sub> in water hangt af van de pH van het water en van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer die in contact staat met het water. Regenwater met een pH van 6,0 in evenwicht met de atmosfeer met daarin 600 ppm CO<sub>2</sub> bevat ongeveer 1,0 mg/l opgelost CO<sub>2</sub>. In waterbodems kan dit oplopen tot boven de 250 mg/l, omdat CO<sub>2</sub> in biologische bodemprocessen vrijkomt en vervolgens ophoopt in de bodem mits er geen vrije gasuitwisseling met de atmosfeer mogelijk is.

### 2.3.2. Hoeveelheid water, pH, temperatuur en korrelgrootte

De wateraanvoer wordt doorgaans bepaald door de hoeveelheid neerslag en de doorlaatbaarheid van de bodem. Een hoge temperatuur en een lage zuurgraad hebben een gunstig effect op de reactiesnelheid van CO<sub>2</sub> met het mineraal. Hetzelfde geldt voor het reactief oppervlak: hoe groter het reactief oppervlak, hoe meer CO<sub>2</sub> kan reageren. Het reactief oppervlak neemt dus toe met een afnemende korrelgrootte van het materiaal.

### 2.3.3. Neerslag van magnesiet en calciet

Tenslotte kan de vorming van magnesiet of calciet de CO<sub>2</sub> opname door olivijn en obsidiaan versnellen of juist vertragen. Door het oplossen van olivijn of obsidiaan nemen de concentraties HCO<sub>3</sub><sup>(-)</sup> (de alkaliniteit) en Mg of Ca toe, waardoor de drijvende kracht achter de oplosreactie afneemt en uiteindelijk stopt. Als de concentraties oplopen, kan magnesiet (MgCO<sub>3</sub>) of calciet (CaCO<sub>3</sub>) neerslaan, zoals hieronder weergegeven:



Door deze neerslagreacties zakken de alkaliniteit en de concentraties Mg of Ca weer. Zodra de concentraties afnemen, ontstaat er opnieuw een drijvende kracht voor de oplosreacties van olivijn of obsidiaan waardoor de reactie blijft doorgaan. De vorming van magnesiet of calciet kan echter ook vertragend werken als de neerslag



direct op het moedermateriaal neerslaat. Dan ontstaat er een barrière tussen het CO<sub>2</sub>-houdend water en het reactieoppervlak van het moedermateriaal. De reactie stopt zodra het hele oppervlak bedekt is met magnesiet of calciëet.

### 3 Opbouw van het proeftrace

#### 3.1 Proefvakken en materialen

De spoorlijn Zwolle – Wierden geocode 206 tussen km 4.000 tot en met 4.300 is medio 2010 vernieuwd. Daarbij zijn nieuwe schouwpaden aangelegd. Als onderdeel van dit werk zijn voor 5 paden (testvakken) met een lengte van 50 m per pad alternatieve, duurzame materialen gebruikt. Het 1<sup>e</sup> vak bestaat uit porfier en dient als referentievak. De schouwpadmateriële zijn toegepast in een dikte van 0,1 m (los gestort).

Voor elk vak werd een ander materiaal (of mengsel) gebruikt. Voor de exacte samenstelling van elk testvak: zie onderstaande tabel 1.

**Tabel 1: Samenstelling proefvakken**

TESTVAK	PORFIER		OBSIDIAAN		OLIVIJN		korreldiameter (mediaan)	Rhizonmeters
	%	M3	%	M3	%	M3		
1	100	7,50	0	0	0	0	1,5 – 4,0 mm	A, B
2	0	0	30	2,25	70	5,25	1,0 – 3,0 mm	C, D
3	0	0	50	3,75	50	3,75	1,0 – 3,0 mm	E, F
4	0	0	70	5,25	30	2,25	1,0 – 3,0 mm	G, H
5	0	0	100	7,50	0	0	3,0 mm	I, J
6	0	0	0	0	100	7,50	1,0 mm	K, L

In figuur 1 is een foto van het mengproces opgenomen.



*Figuur 1: Mengen van verschillende schouwpadmateriële*

In figuur 2 staat een foto van het eindresultaat weergegeven.

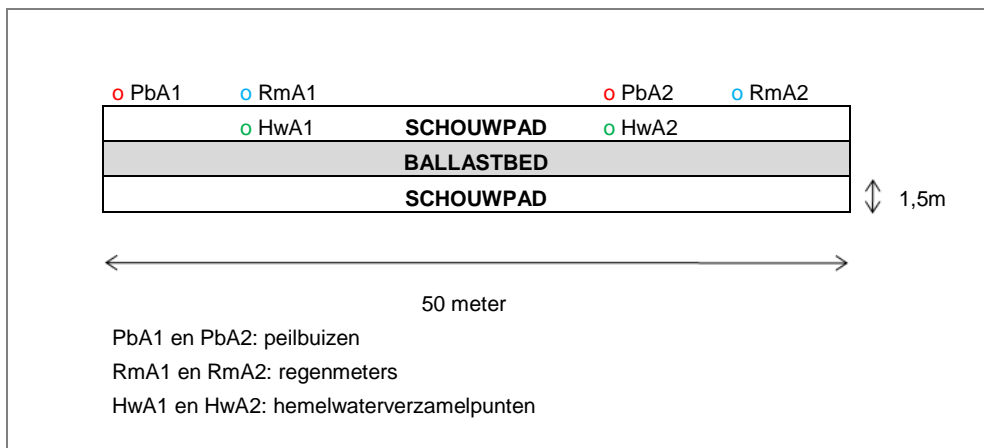


Figuur 2: Aanleg van de proefpaden

## 3.2 Meetopstelling

### 3.2.1. Principe van de meetopzet per proefvak

Tegelijk met de aanleg van de paden zijn verschillende instrumenten voor monsternamen en het doen van meteorologische metingen in en langs de testvakken geplaatst. Zie onderstaande figuur 3.



Figuur 3: Opzet van de proefpaden met meetapparatuur

### 3.2.2. Rhizonmeter, warmtesensoren en weerstation

De proefvakken zijn in mei 2010 aangelegd. Daarbij zijn ook Rhizon-meters t.b.v. de bemonstering van bodemvocht geplaatst.



*Figuur 4: Ingraven van de Rhizon-meters onder de proefpaden*

Tevens zijn een twaalftal warmtesensoren ingegraven. Zie onderstaande foto.



*Figuur 5: Ingraven van de temperatuurmeters onder de proefpaden*

In september 2010 zijn de overige meetinstrumenten geplaatst, zoals een weerstation. Daarmee worden gegevens verzameld over zonkracht, windsnelheden, etc. In figuur 6 en 7 staat het weerstation weergegeven.



*Figuur 6: Weerstation langs het proeftraject*



*Figuur 7: Close-up van het weerstation*

### 3.3 Monsternamen en analyses

Elke maand is het bodemvocht rond de 12 Rhizonmeters met spuiten bemonsterd. De werkwijze staat hieronder fotografisch weergegeven. De hoeveelheid bodemvocht die zo verkregen kan worden varieert tussen de 10 en 30 ml. Het duurt 4 a 8 uur om een monster te nemen (afhankelijk van de waterverzadiging van het zandbed).



*Figuur 8: Toegangspunt van een Rhizon-meter*



*Figuur 9: Close-up van een toegangspunt van een Rhizon-meter*



*Figuur 10: Spuitgedeelte van de Rhizon-meter*

## 4 Proefopzet, data-acquisitie en dataverwerking

### 4.1 Data-acquisitie: poriewaterbemonstering, bedtemperatuur en neerslag-monitoring

Om het chemische proces van CO<sub>2</sub>-vastlegging door olivijn en obsidiaan te kunnen volgen en te kwantificeren zijn uit het veld de volgende gegevens verzameld:

- maandelijks bemonstering van alle Rhizonmeters t.b.v poriewateranalyse
- continue temperatuurlogs van de temperatuursensoren
- neerslaggegevens

In tabel 2 staat een overzicht van de verzamelde gegevens en wat het doel daarvan is. De gegevens zijn verzameld in de periode september 2010 tot en met september 2011.

**Tabel 2: Overzicht en doel van verzamelde veldgegevens**

Bron	Parameter(s)	Doel	Meetfrequentie
12 rhizonmeters A t/m L (2 per vak)	alkaliniteit, pH, Mg, diverse zware metalen	volgen CO <sub>2</sub> binding	maandelijks 1 monster per rhizonmeter
12 temperatuursensors A t/m L (2 per vak)		invloed temperatuur op CO <sub>2</sub> binding	10 keer per uur via data logger
2 regenmeters	neerslaghoeveelheid	invloed neerslag op CO <sub>2</sub> binding	6 keer per uur via data logger
6 peilbuizen	nikkel	Volgen van uitloging van Ni	1x

De poriewatermonsters zijn maandelijks genomen en geanalyseerd door het Geolab (Faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht). Het Geolab heeft ook de kwaliteitscontrole op de analyses gedaan. De temperatuur- en neerslaggegevens vormen continue series die zijn uitgelezen uit de dataloggers.

### 4.2 Verzamelde gegevens

Tabel 3 geeft de inventarisatie van de verzamelde gegevens op het einde van de veldproef (september 2011).

**Tabel 3: Inventarisatie beschikbare veldgegevens.**

Bron	Parameters	Meetreeks/ bemonsteringsdatum
regenmeter 1	neerslaghoeveelheid	01.10.2010 – 08.07.2011
regenmeter 2	neerslaghoeveelheid	01.10.2010 – 19.07.2011
temperatuursensors A t/m L	temperatuur poriewater	06.10.2010 – 21.07.2011
rhizonmeters A t/m L	pH, alkaliniteit, opgelost inorganisch koolstof (DIC), Mg, Ni, (Cu, Mo, Sb)	eerste: 22.11.2010 tweede: 12.01.2011 derde: 17.02.2011 vierde: 13.04.2011



		vijfde: 19.05.2011 zesde: 15.06.2011 zevende: 15.07.2011 achtste: 15.08.2011 negende: 14.09.2011
Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (RIVM)	neerslagsamenstelling alkaliniteit, pH en Mg	meetreeks 2010, locatie Speuld- Garderenseweg
KNMI	neerslaghoeveelheid en etmaaltemperatuur	01.10.2010 – 14.09.2011, weerstation Heino

Enkele opmerkingen bij Tabel 3:

- Wegens tekort aan monstervolume kon niet altijd het hele analysepakket worden uitgevoerd
- Met de analyses op Cu, Mo en Sb is pas later begonnen, waardoor hier minder gegevens van zijn verzameld
- Voor neerslagkwaliteitsgegevens zijn gegevens van het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling gebruikt, zoals aangeleverd door het RIVM
- Ter vergelijking van de temperatuur en neerslaghoeveelheid zijn de KNMI meetreeksen opgevraagd.

### 4.3 Aanvullende gegevens

Er zijn nog enkele aanvullende gegevens beschikbaar:

- verdichtingsonderzoek bedmateriaal (natte en droge dichtheidsmetingen), verricht door KWS Ecotechniek
- veldboringen, verricht door Hoogveld Sonderingen
- uitloogproeven op olivijn en obsidiaan in verschillende gradaties, verricht door Analytico BV
- zeefkrommen
- grondwateranalyses op nikkel, verricht door Analytico BV
- vastlegging van de begroeiing op het schouwpadmateriaal in de tijd middels foto's

#### 4.3.1. Verdichtingsonderzoek

Aan het begin van de meetproef is een verdichtingsonderzoek gedaan om te bepalen of de materialen in de proefvakken een stabiel bed vormen. Daarvoor is de natte dichtheid, de droge dichtheid en het vochtgehalte bepaald.

#### 4.3.2. Bodemopbouw

Ten behoeve van het plaatsen van de peilbuizen zijn veldboringen gedaan waarbij de opbouw van de ondergrond is bepaald tot op 4 m minus maaiveld.

#### 4.3.3. Uitloogproeven

In het kader van vooronderzoek -voordat met de daadwerkelijke pilot is gestart- zijn er uitloogproeven op het olivijn en obsidiaan gedaan (duurproef met demiwater bij pH = 7, volgens NEN 7383). Dit om te bepalen of de materialen voldoen aan de normen uit het Besluit bodemkwaliteit voor niet-vormgegeven bouwstoffen. Dit is met name relevant voor wat betreft de uitloog van zware metalen. Voor de

conclusies van dit onderzoek wordt verwezen naar het onderzoeksverslag door Movares met kenmerk BO-JC-080033499 - Versie 0.1, d.d. 16 oktober 2009 (zie bijlage 1). In voorliggend rapport zullen alleen de relevante gegevens en conclusies uit dit vooronderzoek worden aangehaald.

#### 4.3.4. *Zeefkrommen*

Van het olivijn en obsidiaan zijn zeefkrommen bepaald zodat een beeld ontstaat van de korrelgrootteverdeling. De resultaten hiervan zijn in tabel 1 opgenomen.

#### 4.3.5. *Grondwaterkwaliteit*

In maart 2011 zijn alle peilbuizen bemonsterd (zie paragraaf 3.2.1). Het bemonsterde water is geanalyseerd op nikkel om eventuele uitloging van zware metalen uit het olivijn/obsidiaan naar het grondwater vast te stellen.

#### 4.3.6. *Fotografie*

Tijdens elke bemonstering van de Rhizon-meters zijn foto's gemaakt van de schouwpaden teneinde de mate van begroeiing op het schouwpadmateriaal in de tijd vast te leggen. De foto's zijn opgenomen in paragraaf 5.3.4).

## 4.4 **Dataverwerking**

#### 4.4.1. *Inkorten datalogreeksen van temperatuur en neerslag*

De dataloggers hebben grote hoeveelheden temperatuur -en neerslaggegevens verzameld. Om de hoeveelheid gegevens tot een werkbaar aantal datapunten terug te brengen zijn de volgende stappen ondernomen:

1. het aantal datapunten voor temperatuur is teruggebracht van 150 tot ca. 10 per etmaal, door elk 15<sup>e</sup> datapunt te selecteren en de overige punten niet mee te nemen;
2. het aantal datapunten voor neerslag is drastisch teruggebracht door alle waarden gelijk aan nul te verwijderen uit de datareeksen.

Bovenstaande bewerkingen hebben ertoe geleid dat het aantal datapunten met een factor 10 a 15 kon worden verkleind zonder dat wezenlijke informatie verloren ging.

#### 4.4.2. *Verwerking analyseresultaten poriewatermonsters*

De analyseresultaten zijn in principe niet verder bewerkt. Aangenomen is dat de kwaliteitscontrole door het Geolab van de Universiteit Utrecht afdoende is geweest. Wel zijn de volgende stappen ondernomen om de gegevens inzichtelijk te krijgen:

1. zowel per meetpunt (A t/m L) als per vak is het rekenkundig gemiddelde en de standaarddeviatie bepaald voor de parameters alkaliniteit, pH, Mg en Ni. Dit is gedaan om de gegevens waar nodig vereenvoudigd te kunnen weergeven in grafieken
2. de alkaliniteit en DIC (Dissolved Inorganic Carbon) analyses zijn met elkaar vergeleken en worden in principe als inwisselbaar beschouwd omdat het verschil kleiner is dan 5%, en in de meeste gevallen kleiner dan 2%. Dus: alkaliniteit = HCO<sub>3</sub>(-) = DIC. Omdat niet voor alle monsters altijd beide

- parameters gemeten zijn, worden ze samengevoegd zodat toch een vrijwel complete datareeks voor de alkaliniteit wordt gegenereerd.
3. de alkaliniteit- en pH-gegevens zijn gebruikt om de partiële CO<sub>2</sub>-druk (pCO<sub>2</sub>) in het poriewater te berekenen
  4. de alkaliniteit-, pH-, en Mg-gegevens zijn gebruikt om de verzadiging voor magnesiet (MgCO<sub>3</sub>) in het poriewater te berekenen
  5. met de analyseresultaten voor de sporenmatalen Mo, Sb en Cu is omzichtig omgesprongen. De reeksen zijn namelijk niet compleet, en de resultaten laten een extreem grote spreiding zien.

Alle meetgegevens en berekende parameters zijn weergegeven in bijlage 2

#### 4.4.3. *Verwerking aanvullende gegevens*

De aanvullende gegevens uit het verdichtingsonderzoek, de veldboringen, uitlogingsproeven en korrelgrootteverdelingen alsmede de veldfoto's (zie paragraaf 5.3.4) hebben verder geen bewerking ondergaan en zijn naar behoefte betrokken bij de interpretatie van de resultaten van de veldproeven.

## 5 Resultaten van de pilotproef

### 5.1 Poriewatersamenstelling

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de poriewaterbemonsteringen weergegeven voor Mg, alkaliniteit, pH, Ni, Cu, Sb en Mo. De grafieken geven inzicht in de gemiddelde waarden en de spreiding (standaarddeviatie) tussen de waarden, zowel per monsterlocatie (A t/m L) als per proefvak (1 t/m 6). Hierbij zijn de gegevens van de twee monsterlocaties per proefvak telkens als één datareeks beschouwd; voor elk vak is de gemiddelde waarde genomen.

De resultaten worden in hoofdstuk 6 geïnterpreteerd en gebruikt in een discussie.

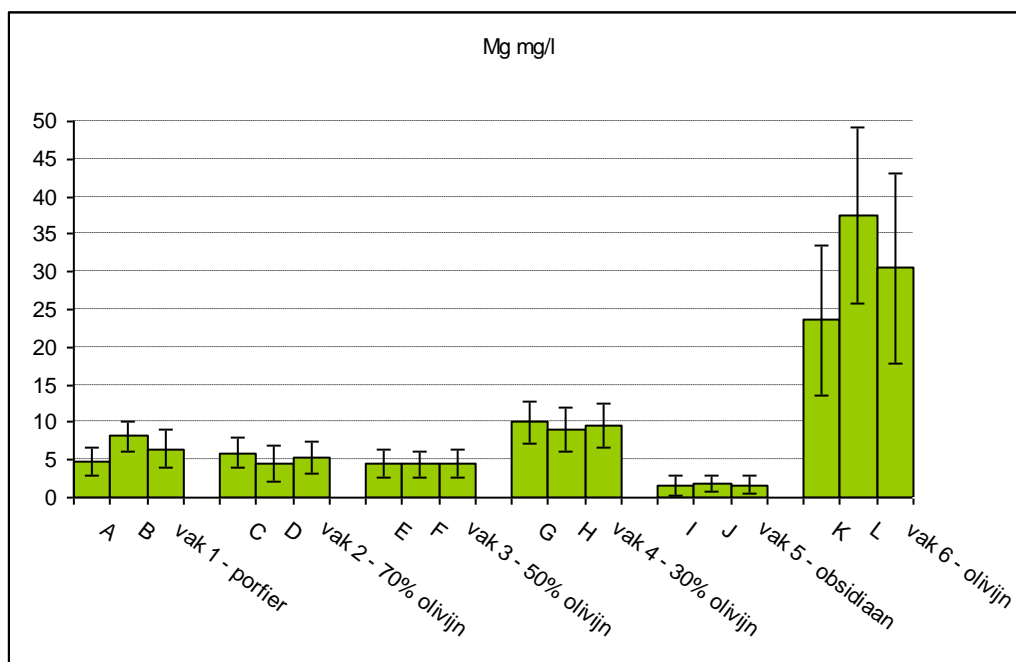
#### 5.1.1. Magnesium

Figuur 11 geeft de gemeten magnesiumconcentratie in het poriewater in de 6 proefvakken weer. Hieruit blijkt het volgende:

- de Mg concentratie in vak 6 (olivijn) is met 30 mg/L duidelijk hoger dan in alle andere vakken
- de Mg concentratie in vak 5 (obsidiaan) is met 1,7 mg/L duidelijk lager dan in alle andere vakken
- in de meeste vakken geven beide meetlocaties vergelijkbare resultaten, m.u.v. vak 6 (olivijn) waar een relatief groot verschil zit tussen meetlocaties K en L. De reden hiervoor is onbekend.
- voor de meeste vakken is de spreiding vergelijkbaar en gematigd, namelijk met een standaarddeviatie van +/- 30% van het gemiddelde. De spreiding is het grootst in vak 6 (100% olivijn), ook procentueel gezien.
- de Mg concentratie is in elk vak, dus óók in het referentievak met porfier, beduidend hoger dan in regenwater (0,1 mg/L).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (RIVM)

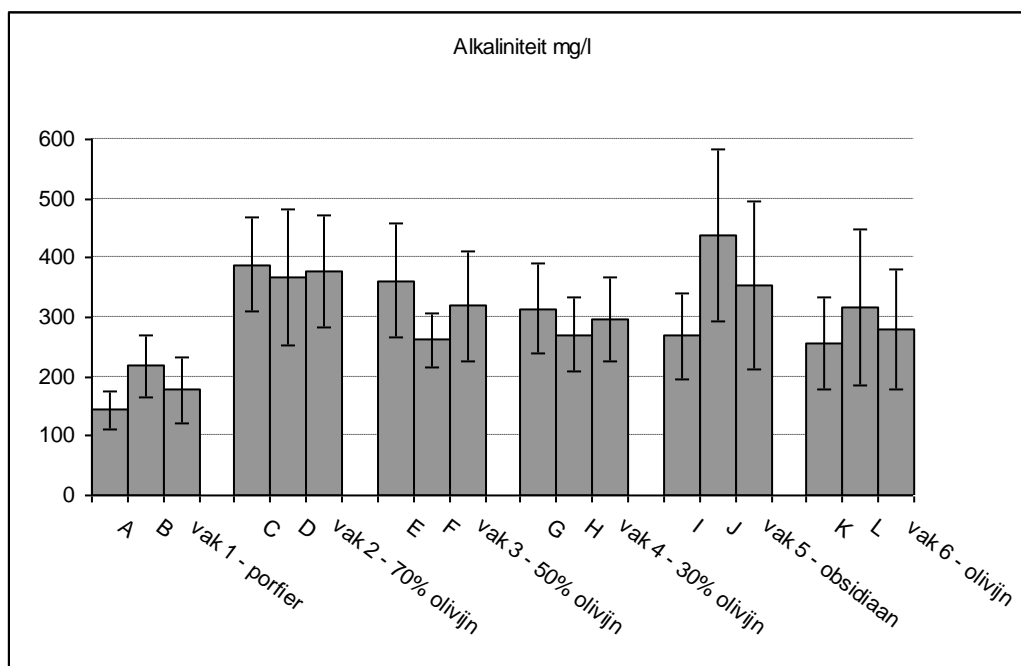


Figuur 11. Mg-concentratie gemiddeld per monsterlocatie (A t/m L) en per proefvak (1 t/m 6). De lengte van de verticale streepjes geeft de spreiding als 2 maal de standaard-deviatie.

### 5.1.2. Alkaliniteit

Figuur 12 geeft de gemeten bicarbonaatconcentratie (alkaliniteit) in het poriewater in de 6 proefvakken weer. Hieruit blijkt het volgende:

- de alkaliniteit in vak 1 (porfier) is met 180 mg/L duidelijk lager dan in alle andere vakken
- de alkaliniteiten in vak 2 t/m 6 zijn vergelijkbaar en liggen tussen 279 en 378 mg/L
- in de meeste vakken geven beide meetlocaties vergelijkbare resultaten, m.u.v. vak 1 (porfier) en 5 (obsidiaan) waar een relatief groot verschil zit tussen de meetlocaties A en B, respectievelijk I en J
- voor de meeste vakken is de spreiding vergelijkbaar en gematigd met een standaarddeviatie van +/- 30% van het gemiddelde
- de alkaliniteit is in elk vak, dus óók in het referentievak met porfier, ordegrottes hoger dan in regenwater (0,2 mg/L)

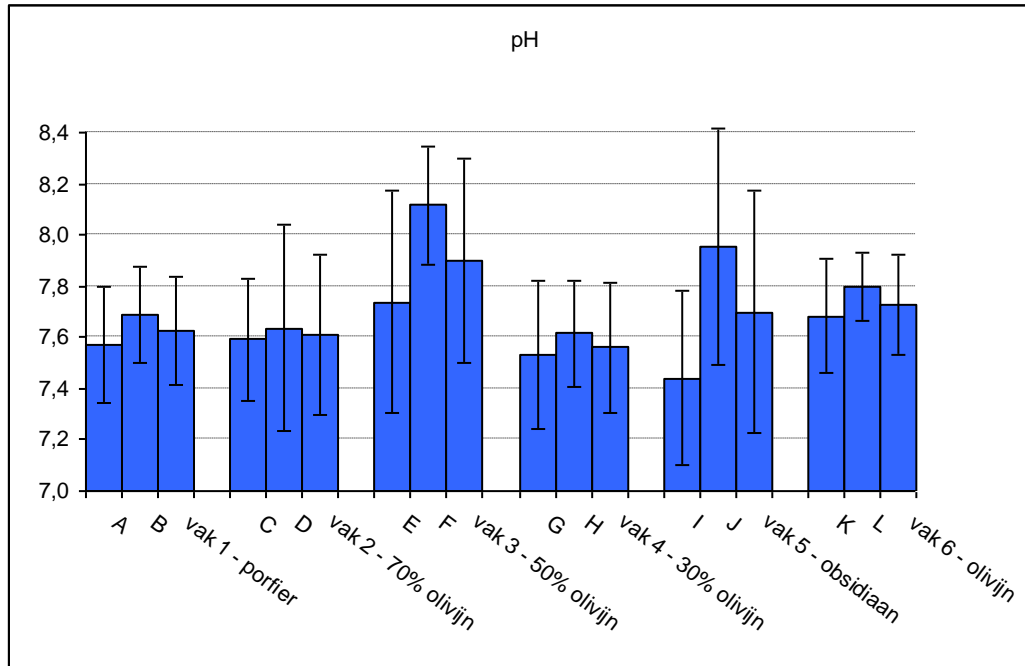


Figuur 12. Alkaliniteit gemiddeld per monsterlocatie (A t/m L) en per proefvak (1 t/m 6). De lengte van de verticale streepjes geeft de spreiding als 2 maal de standaarddeviatie.

### 5.1.3. pH

Figuur 13 geeft de gemeten zuurgraad (pH) in het poriewater in de 6 proefvakken weer. Hieruit blijkt het volgende:

- de pH varieert over alle vakken binnen een nauwe bandbreedte van 7,5 tot 7,9
- in de meeste vakken geven beide meetlocaties vergelijkbare resultaten, m.u.v. vakken 3 (50% olivijn) en vak 5 (obsidiaan), waar nog enig verschil zit tussen de meetlocaties E en F, respectievelijk I en J
- voor de meeste vakken is de spreiding vergelijkbaar en gering met een standaarddeviatie = +/- 10% van het gemiddelde; vak 6 (olivijn) heeft de laagste standaarddeviatie (0,20)
- de pH is in elk vak, dus óók in het referentievak met porfier, hoger dan in (onbufferd) regenwater (gemiddelde pH op meetlocatie Speuld = 5,69)

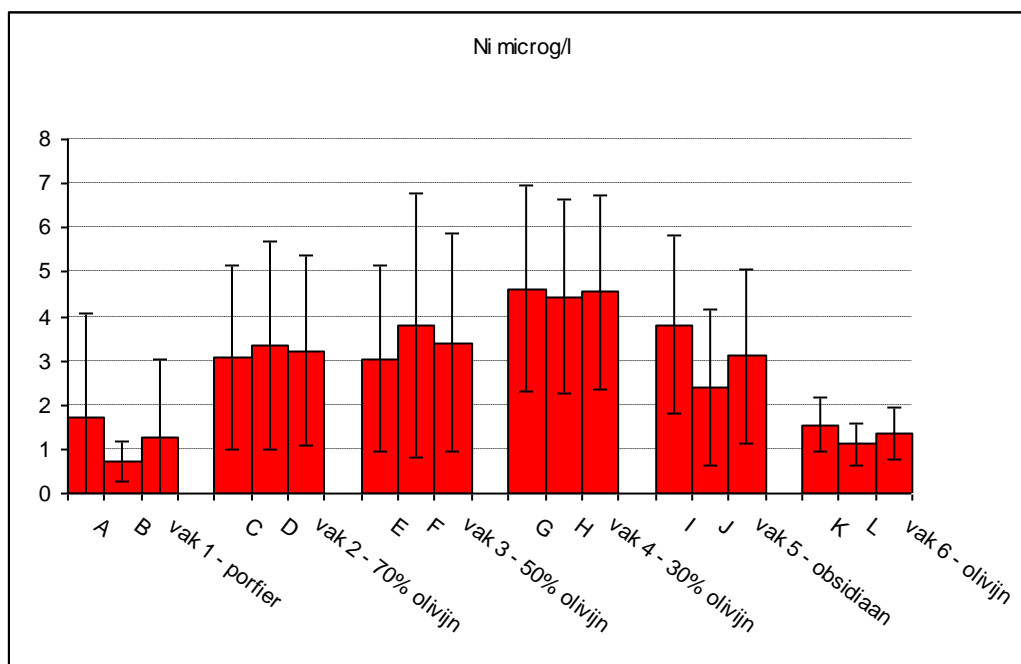


Figuur 13. De pH gemiddeld per monsterlocatie (A t/m L) en per proefvak (1 t/m 6). De lengte van de verticale streepjes geeft de spreiding als 2 maal de standaarddeviatie.

#### 5.1.4. Nikkel

Figuur 14 geeft het gemeten nikkelgehalte in het poriewater in de 6 proefvakken weer. Hieruit blijkt het volgende:

- de Ni concentraties in vak 1 (porfier) en vak 6 (olivijn) zijn met 1,3 en 1,4  $\mu\text{g/L}$  duidelijk lager dan in de andere vakken
- de Ni concentratie in vak 4 (30% olivijn) is met 4,5  $\mu\text{g/L}$  hoger dan in de andere vakken
- de Ni concentraties in vak 2, 3 en 5 zijn vergelijkbaar met waarden tussen 3,1 en 3,4  $\mu\text{g/L}$
- in de meeste vakken geven beide meetlocaties vergelijkbare resultaten, m.u.v. vak 1 (porfier) en vak 5 (olivijn) waar een relatief groot verschil zit tussen de meetlocaties A en B, respectievelijk I en J
- voor de meeste vakken is de spreiding vergelijkbaar hoog met een standaarddeviatie groter dan 50% van het gemiddelde; vak 6 (olivijn) heeft een kleine spreiding en daardoor een relatief kleine standaarddeviatie (0,59).



Figuur 14. Nikkelconcentratie gemiddeld per monsterlocatie (A t/m L) en per proefvak (1 t/m 6). De lengte van de verticale streepjes geeft de spreiding als 2 maal de standaarddeviatie.

Het is niet bekend hoe de Ni-concentraties in het poriewater zich verhouden tot die in regenwater; het gehalte in regenwater is niet gemeten. De verwachting is overigens dat de Ni-gehalten in regenwater beneden de detectielimiet liggen.

De Ni-concentraties zijn in alle vakken lager of vergelijkbaar met de Ni-gehalten in de meeste peilbuizen (< 5,0 µg/L).

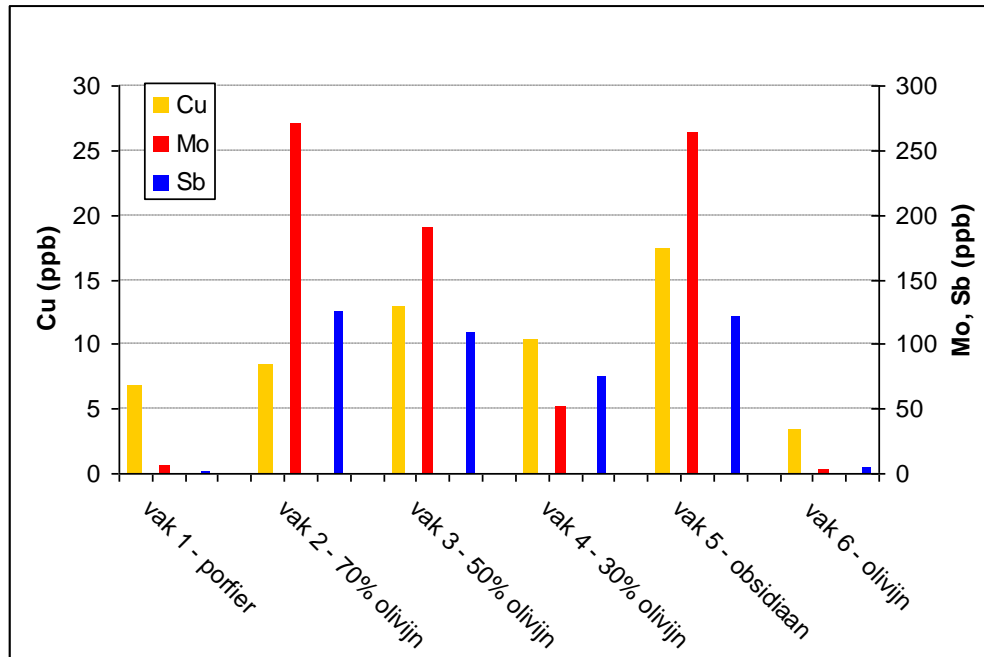
#### 5.1.5. Zware metalen Mo, Sb en Cu

Figuur 15 geeft het gemeten gehalte in het poriewater in de 6 proefvakken weer. Hieruit blijkt het volgende:

De onderstaande figuur laat zien:

- de concentraties zware metalen in vak 1 (porfier) en vak 6 (olivijn) zijn het laagst, waarbij in deze vakken de Cu concentratie hoger is dan de Mo en Sb concentraties
- de Mo en Sb concentraties in de overige vakken zijn bijna een orde grootte hoger, en voor Cu twee tot drie maal zo hoog als in vak 1 en vak 6
- de onderlinge verhouding in concentratie zware metalen tussen de verschillende vakken volgt in grote lijnen die van nikkel (zie paragraaf 5.1.4)





Figuur 15. Concentratie gemiddeld per proefvak (1 t/m 6) voor de zware metalen Mo, Sb en Cu.

Het is niet precies bekend hoe de zware metalen-concentraties in het poriewater zich verhouden tot die in regenwater. Verder dient opgemerkt te worden dat de dataset voor zware metalen beperkt is (zie paragraaf 4.4.2).

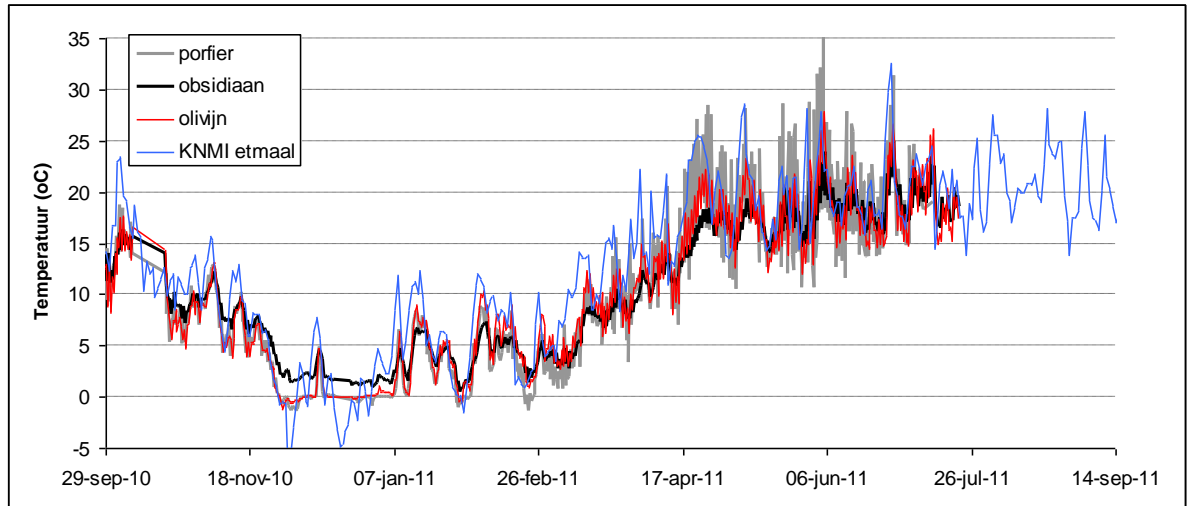
## 5.2 Temperatuur en neerslag

### 5.2.1. *Temperatuur*

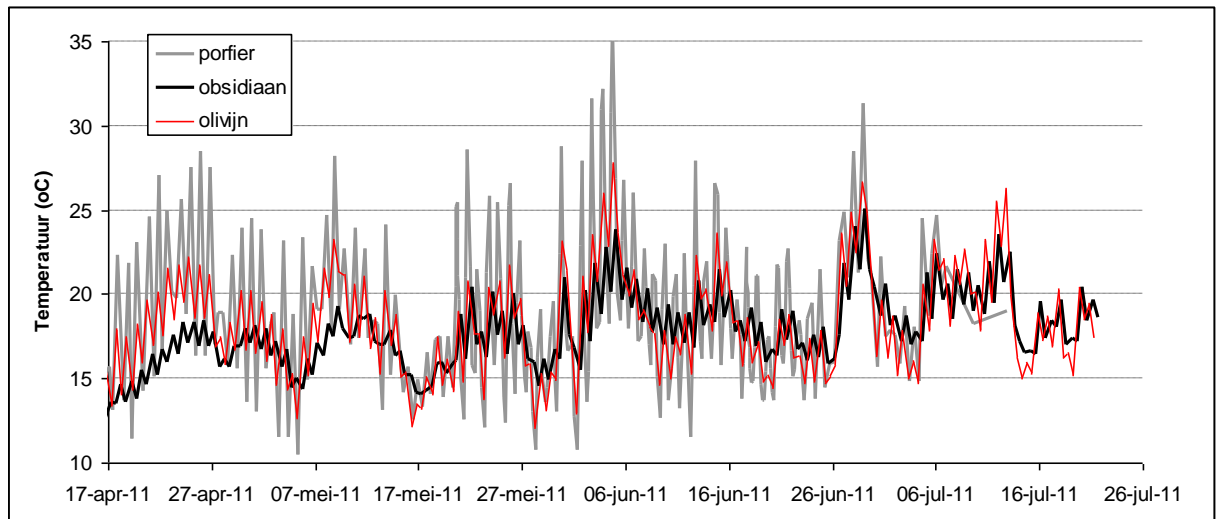
Het verloop van de temperatuur tijdens de proefperiode is weergegeven in onderstaande figuur 16. Om de leesbaarheid te vergroten zijn slechts de data van drie proefvakken weergegeven, en niet van alle 6. De proefvakken met gemengde samenstelling zijn achterwege gelaten omdat hun temperatuurgegevens tussen de afgebeelde data invallen en dus weinig toevoegen, en de leesbaarheid van Figuur 16 verminderen.

De onderstaande figuur 16 laat zien:

- de temperatuur in alle vakken volgt goed de gemiddelde etmaaltemperatuur zoals gemeten door het KNMI op weerstation Heino
- de meetreeks van het KNMI loopt langer door tot het einde van het experiment
- de temperatuur in vak 1 (porfier) vertoont de grootste variatie binnen het etmaal, die in vak 5 (obsidiaan) het minst. Vak 6 (olivijn) zit er tussenin. Dit laatste is beter te zien in een close-up van de periode april – juli in onderstaande figuur 17. Deze figuur laat duidelijk het tempererende effect door de hoge warmtecapaciteit van obsidiaan zien.



Figuur 16. De temperatuur in de proefvakken 1 (porfier), 5 (obsidiaan) en 6 (olivijn). Tevens de etmaaltemperatuur gemeten door het KNMI op weerstation Heino (bron:KNMI).



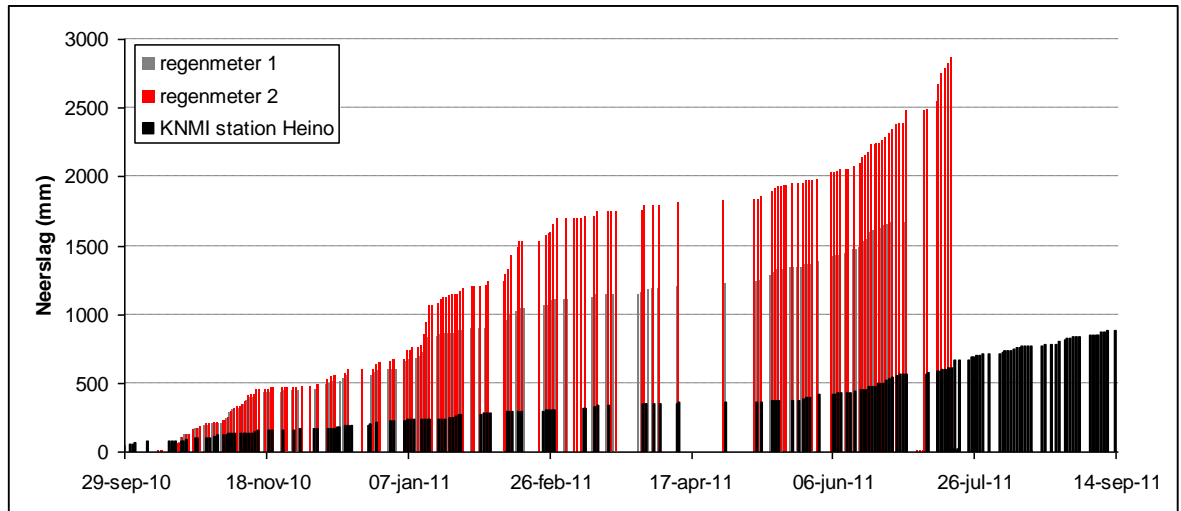
Figuur 17. Close-up van de temperatuur in de proefvakken 1 (porfier), 5 (obsidiaan) en 6 (olivijn) in de periode april – juli 2011.

### 5.2.2. Neerslag

De onderstaande figuur 18 laat zien:

- er is veel neerslag gevallen gedurende de volgende perioden:
  - begin november 2010
  - half januari 2011
  - vanaf eind juni 2011 tot einde proefperiode
- de hoeveelheid neerslag in regenmeter 1 en 2 verschilt erg veel
- de hoeveelheid neerslag gemeten in het proefvak is onrealistisch hoog (1667 a 2862 mm) vergeleken met de hoeveelheid gemeten neerslag door het KNMI op weerstation Heino (912 mm)

- het patroon in de neerslaghoeveelheden in de beide regenmeters is wel vergelijkbaar en komt daarnaast goed overeen het patroon gemeten door het KNMI op weerstation Heino (nabij Zwolle).
- alleen de meetreeks van het KNMI dekt de hele duur van het experiment.



Figuur 18. De cumulatieve neerslag gedurende de proefperiode. Tevens de etmaalneerslag gemeten door het KNMI op weerstation Heino (bron:KNMI).

Wat betreft de neerslagmetingen moet worden vastgesteld dat de neerslaggegevens uit regenmeter 1 en 2 geen goede kwantitatieve weergave zijn van de realiteit. De oorzaak is waarschijnlijk dat door de wijze van data-acquisitie de gemeten neerslaghoeveelheid per tijdseenheid soms dubbel wordt geteld, en daardoor cumulatief te hoog uitvalt. Omdat het patroon van de metingen wel goed overeenkomt met de KNMI gegevens van weerstation Heino wordt aangenomen dat de neerslaggegevens van KNMI station Heino als representatief kunnen worden beschouwd voor de proeflocatie.

### 5.3 Bevindingen uit aanvullende gegevens

#### 5.3.1 Boringen

Een belangrijke bevinding uit de boorgegevens is dat de bodem onder de proefvakken tot minimaal 1,5 m diepte uit zand bestaat. Dit betekent dat regenwater gemakkelijk kan infiltreren in de bodem, waardoor een situatie ontstaat dat er steeds vers water kan reageren met de aangebrachte materialen.

#### 5.3.2 Verdichtingsonderzoek

De resultaten van het verdichtingsonderzoek staan opgenomen in bijlage3. Het verdichtingsonderzoek is voor dit rapport met name interessant omdat er vochtgehalten zijn gemeten. Het vochtgehalte bepaalt mede in hoeverre de chemische reacties zullen plaatsvinden. Bij geen of te weinig vocht in het bed zullen de materialen niet of nauwelijks reageren met CO<sub>2</sub>.

De vochtgehalten en dichtheden zijn bepaald via verschillende manieren:

1. de nucleaire methode

2. de zandvervangingsmethode
3. de eenpunts-proctordichtheden.

De methoden geven alledrie andere uitkomsten wat betreft vochtgehalte. Doorgaans is dit ca. 30 vol%, waarbij de poriën gevuld kunnen zijn met lucht en/of water. Twee van de drie methoden geven aan dat het vochtgehalte toeneemt met het aandeel olivijn (ongeveer 10% bij 100% olivijn), en dat in vak 5 (100% obsidiaan) het vochtgehalte bijzonder laag is. Het lage vochtgehalte in vak 5 zou betekenen dat daar weinig interactie tussen bodemwater en het bedmateriaal zou kunnen plaatsvinden. Mogelijk is dit te verklaren door de verschillende zeefkrommen van obsidiaan en olivijn, en de poriegroottes die daar uit voortvloeien. Belangrijk is dat de vochtgehalten alleen aan het begin van de meetproef zijn bepaald. Toen waren de proefvakken in ieder geval nog niet verzadigd met water.

#### 5.3.3. *Uitloogproeven en samenstellingsproeven*

In augustus 2009 zijn er olivijn- en obsidiaanmonsters geanalyseerd. Elk materiaal is zowel in granulaatvorm als in fijn gemalen vorm aangeleverd. De monsters zijn opgestuurd naar het laboratorium van Analytico BV in Barneveld. Op elk monster is na AP04 voorbehandeling zowel een samenstellingsproef (organische parameters) als een uitloogproef uitgevoerd.

De analyseresultaten zijn getoetst aan de samenstellings- en emissie-eisen uit het Besluit bodemkwaliteit (categorie niet-vormgegeven bouwstoffen). In bijlage 1 staan de toetsingstabellen weergegeven. De **rode** gehalten in de tabellen betreffen overschrijdingen van de samenstellings- of maximale emissiewaarden.

Uit deze toetsing blijkt het volgende:

#### **Samenstelling**

Olivijn 1: voldoet aan samenstellingswaarde voor niet-vormgegeven bouwstof  
Olivijn 2: voldoet aan samenstellingswaarde voor niet-vormgegeven bouwstof  
Obsidiaan fijn: voldoet aan samenstellingswaarde voor niet-vormgegeven bouwstof  
Obsidiaan grof: voldoet aan samenstellingswaarde voor niet-vormgegeven bouwstof

#### **Emissie**

Olivijn 1: voldoet aan emissie-eisen voor niet-vormgegeven bouwstof  
Olivijn 2: voldoet aan emissie-eisen voor niet-vormgegeven bouwstof  
Obsidiaan fijn: voldoet niet aan emissie-eisen voor niet-vormgegeven bouwstof  
Obsidiaan grof: voldoet aan emissie-eisen voor niet-vormgegeven bouwstof

#### **Conclusie**

Olivijn kan als bouwstof ongeïsoleerd worden toegepast in de gradatie (of grover) zoals aangeleverd door de leverancier.  
Obsidiaan kan in granulaatvorm (ca. 3 mm) als bouwstof ongeïsoleerd worden toegepast. In fijngemalen vorm loogt het materiaal te veel uit om ongeïsoleerd te kunnen worden toegepast.

Opgemerkt dient te worden dat de uitloogproeven met demiwater bij pH = 7 zijn uitgevoerd. In demiwater zit geen CO<sub>2</sub> opgelost, en dit is juist de component die een belangrijke drijvende kracht vormt voor oplossing/ uitloging van het gesteente.

#### 5.3.4. Veldfoto's

Op 21 juni 2012 is een serie foto's genomen van de proefvakken teneinde een indruk te krijgen van het effect van de verschillen in warmtecapaciteit van de toegepaste materialen op de mate van begroeiing.



*Figuur 19a. Foto van proefvak 1 op 21 juni 2012*



*Figuur 19b. Foto van proefvak 2 op 21 juni 2012*



*Figuur 19c. Foto van proefvak 3 op 21 juni 2012*



*Figuur 19d. Foto van proefvak 4 op 21 juni 2012*



*Figuur 19e. Foto van proefvak 5 op 21 juni 2012*



*Figuur 19f. Foto van proefvak 6 op 21 juni 2012*

## 6 Interpretatie van de resultaten

In deze paragraaf worden de hiervoor gepresenteerde resultaten samengebracht om de onderzoeksvragen zo goed mogelijk te beantwoorden. De volgende zaken worden belicht:

1. aantoonbare reactie van CO<sub>2</sub> met duurzame materialen
2. beschikbaarheid van CO<sub>2</sub> in de bodem
3. effect neerslag en temperatuur op CO<sub>2</sub> beschikbaarheid
4. overige factoren met effect op CO<sub>2</sub> binding
5. uitloggen van zware metalen bij toepassing van duurzame materialen

### 6.1 Aantoonbare reactie van CO<sub>2</sub> met duurzame materialen

#### 6.1.1 Olivijn

Bij een reactie van CO<sub>2</sub> met olivijn zullen de magnesiumconcentratie en de alkaliniteit in het poriewater toenemen ten opzichte van het referentiemateriaal. De gemeten magnesiumconcentraties in vak 6 (100% olivijn) zijn een factor 6 hoger dan in het poriewater in het referentievak met porfier (figuur 11), en twee ordegroottes hoger dan in regenwater (0,1 mg/L). De alkaliniteit is tot tweemaal hoger dan in het referentievak (figuur 12). Zowel de hoge magnesiumconcentratie als de verhoogde alkaliniteit duiden erop dat olivijn in vak 6 onder 'schouwpad-omstandigheden' inderdaad reageert met CO<sub>2</sub>.

#### 6.1.2 Obsidiaan

Bij een reactie van CO<sub>2</sub> met obsidiaan zullen de calciumconcentratie en de alkaliniteit in het poriewater toenemen ten opzichte van het referentievak met porfier. De calciumconcentraties in het poriewater zijn niet gemeten, maar de alkaliniteit in vak 5 (100% obsidiaan) is tot tweemaal hoger dan in het referentievak. Dit wijst erop dat ook obsidiaan reageert met CO<sub>2</sub><sup>2</sup>.

#### 6.1.3 Mengvakken

In de overige proefvakken met gemengde materiaalsamenstelling wordt wel een verhoogde alkaliniteit gemeten, maar nauwelijks een verhoogde magnesiumconcentratie. Dit zou erop kunnen wijzen dat in de gemengde vakken vooral obsidiaan reageert met CO<sub>2</sub>, en olivijn in mindere mate. Dit is echter niet met zekerheid vast te stellen aangezien de calciumconcentratie niet is gemeten. Het is ook niet duidelijk in hoeverre een verhoogde calciumconcentratie te verwachten valt omdat niet bekend is hoe hoog het calciumgehalte in het gebruikte obsidiaan is, en dus ook niet hoe groot het reactieve deel van het gebruikte obsidiaan is.

In algemene zin geldt dat de mengvakken weinig eenduidige resultaten te zien geeft. In de mengvakken spelen vermoedelijk allerlei factoren (poriegrootte, percolatie, temperatuur, calcië-/magnesiumvorming, etc.) naast elkaar die de reactie enerzijds versterken en anderzijds tegenwerken.

---

<sup>2</sup> Recente onderzoeksresultaten (juli 2012) uit het laboratorium van Edelchemie, Panheel laten zien dat het zuurbindend karakter van obsidiaan (0 – 2 mm) groter is dan dat van olivijnzand (bron: Leo Nevels, juli 2012).



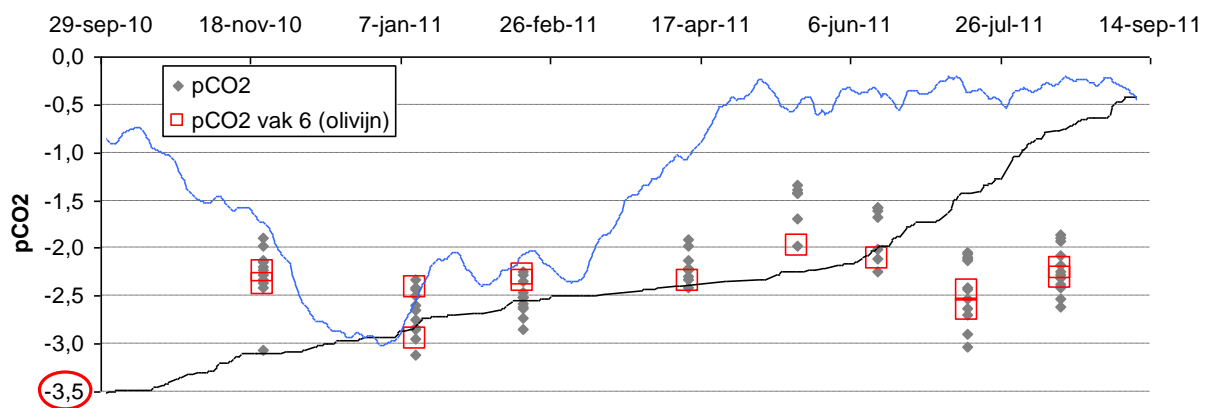
## 6.2 Beschikbaarheid van CO2 in de bodem

### 6.2.1 Algemeen

Zoals eerder genoemd is de CO2 verzadiging in het poriewater van cruciaal belang voor het verloop van de oplosreacties met olivijn of obsidiaan. Figuur 19 toont het verloop van de CO2 verzadiging in het poriewater zoals berekend uit de alkaliniteit - en pH-gegevens volgens deze formule:

$$pCO_2 \text{ (CO}_2 \text{ verzadiging)} = 7.8 + {}^{10}\log[HCO_3(-)] - pH$$

Deze formule laat zien hoe de CO2 verzadiging afhangt van de alkaliniteit en de pH. Omdat beide zijn gemeten in het veld is het mogelijk om de CO2 verzadiging uit te rekenen, en daarmee dus ook de beschikbaarheid van CO2 voor eventuele reactie met olivijn of obsidiaan.



Figuur 19. Het verloop van de berekende CO2 verzadiging in het poriewater (met rode vierkantjes om de waarden voor vak 6 (olivijn)), de etmaaltemperatuur (blauwe lijn) en cumulatieve etmaalneerslag (zwarte lijn) in de proefperiode. De CO2 verzadiging van water in evenwicht met de atmosfeer bedraagt  $-3,5$  (rood omcirkeld). De gebruikte eenheid =  $10\log$  van de CO2 verzadiging (= pCO2).

Figuur 19 laat zien dat de CO2 verzadiging in het poriewater 10 tot 100 maal hoger ligt dan de atmosferische waarde<sup>3</sup>, en dus ook 10 tot 100 maal hoger dan in regenwater. Dit betekent dat het poriewater tot 100 maal meer CO2 bevat dan regenwater. Een dergelijke overmaat aan CO2 kan dus niet uit regenwater afkomstig zijn, maar kan alleen bereikt worden als het poriewater in contact staat met een CO2 bron in de bodem. Het betekent ook dat er maar beperkte uitwisseling van CO2 mogelijk is met de buitenlucht, anders zou de overmaat CO2 immers direct ontsnappen.

### 6.2.2 Organisch materiaal als CO2-bron

De meest aannemelijke CO2-bron is organische stof (humus) in het bodemmateriaal dat door microbiële bodemactiviteit wordt omgezet (gemineraliseerd) naar CO2:

$$\text{organisch materiaal} \Rightarrow \text{CO}_2$$

<sup>3</sup> Let op de eenheid:  ${}^{10}\log$ , dus 0,001 wordt  $-3,0$ , etc.

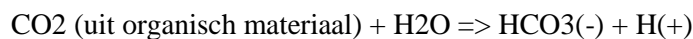
Het uiteenvallen van organisch materiaal produceert een hoge CO<sub>2</sub>-verzadiging in het poriewater waardoor een drijvende kracht ontstaat voor het oplossen van olivijn of obsidiaan. Het feit dat de opgebrachte materialen zelf nauwelijks organisch materiaal bevatten (zie de resultaten van de samenstellingsproef in paragraaf 5.3.3), duidt er op dat de bodemprocessen ónderin of bóvenop de schouwpaden waarschijnlijk de belangrijkste leverancier van organische koolstofverbindingen en dus CO<sub>2</sub> zijn. Extra informatie over de beschikbaarheid van organisch materiaal in de onderliggende bodem en op de schouwpaden (blad, mos, begroeiing, uitwerpselen van dieren, bodemleven, etc) lijkt dus essentieel om te kunnen bepalen hoeveel CO<sub>2</sub> beschikbaar komt voor de interactie van CO<sub>2</sub> met olivijn en obsidiaan. Dit zou kunnen door het meten van het organisch stofgehalte in en op de schouwpaden, in de bodem ónder de schouwpaden en de concentratie van organisch opgelost koolstof (DOC = Dissolved Organic Carbon) in het poriewater.

Inspectie van het schouwpad toont aan dat na verloop van tijd begroeiing op en in het schouwpad plaatsvindt, hetgeen een bron van organisch stof vormt (zie foto in figuur 20).



*Figuur 20. Begroeiing van schouwpadmateriaal met mos.*

Overigens leidt de productie van CO<sub>2</sub> door mineralisatie van organisch materiaal ook tot een verhoogde alkaliniteit via het CO<sub>2</sub>/ HCO<sub>3</sub><sup>(-)</sup> evenwicht:



Het resultaat van deze reactie is dat het poriewater in álle proefvakken, dus óók in het referentievak met porfier, een duidelijk verhoogde alkaliniteit wordt gemeten (100 – 400 mg/L) ten opzichte van regenwater (slechts 0,2 mg/L), zie figuur 12. Het zuurbufferend vermogen van de bodem in combinatie met de CO<sub>2</sub> verzadiging bepaalt uiteindelijk de pH van het poriewater. Figuur 13 laat zien dat de pH in alle vakken tussen de 7,4 en 8,0 ligt (pH van het regenwater = 5,8).

### 6.2.3. *Uitwisseling van CO<sub>2</sub> met de buitenlucht*

De hoge CO<sub>2</sub> verzadiging in het poriewater duidt er op dat de uitwisseling van CO<sub>2</sub> gas naar de buitenlucht beperkt wordt. Kennelijk is er ondiep al sprake van een 'gesloten systeem' waarin zich een hoge CO<sub>2</sub> verzadiging kan opbouwen. De CO<sub>2</sub> uitwisseling met de openlucht wordt mogelijk beperkt door een hoge vochtverzadiging van het schouwpad, en/of door een slechte permeabiliteit van het schouwpadmateriaal.

Uit de gemeten vochtgehalten blijkt niet dat het schouwpadmateriaal 100% vochtverzadigd was, maar bedacht moet worden dat het vochtgehalte alleen aan het begin van de proef is gemeten op een moment dat er nog geen sprake was van waterverzadiging in de proefvakken (zie bijlage 3).

De doorlaatbaarheid (permeabiliteit) wordt geschat op 10–100 m/d op basis van een mediane korrelgrootte van 1,0 – 3,0 mm. Ook hiermee valt dus niet direct te verklaren waardoor de CO<sub>2</sub> verzadiging zo hoog oploopt.

Samenvattend kan gesteld worden dat een belangrijk gevolg van de 10 tot 100 maal hogere CO<sub>2</sub> verzadiging in het poriewater is dat de drijvende kracht voor CO<sub>2</sub> binding in poriewater ook een zelfde orde groter is dan aan de atmosfeer en/of regenwater. Dit is een belangrijke constatering, omdat dit betekent dat vooral de microbiële activiteit en hoeveelheid beschikbaar organisch koolstof in de bodem bepaalt hoeveel CO<sub>2</sub> gebonden kan worden door de materialen, en niet de CO<sub>2</sub> concentratie in de lucht of in het regenwater.

## 6.3 **Effect van neerslag en temperatuur op CO<sub>2</sub> beschikbaarheid**

Figuur 19 laat zien dat de CO<sub>2</sub> verzadiging schommelt gedurende de proefperiode. De CO<sub>2</sub> verzadiging heeft de neiging toe te nemen met de temperatuur, en af te nemen met de neerslagintensiteit. De toename is waarschijnlijk te verklaren door een hogere microbiële activiteit bij een hogere bodemtemperatuur, waardoor meer CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd bij de afbraak van organisch materiaal. De afname wordt mogelijk veroorzaakt door verdunning van het poriewater met regenwater tijdens hevige regenval. Door die verdunning komt de CO<sub>2</sub> verzadiging in het poriewater dichterbij die van regenwater te liggen (–3,5).

Figuur 19 laat tenslotte nog zien dat de seizoensschommeling in vak 6 (100% olivijn) minder groot is dan in de overige proefvakken. Alleen in de periode juli 2011 daalt de CO<sub>2</sub> verzadiging, waarschijnlijk door het verdunningseffect van overvloedige neerslag. Gedurende de rest van de tijd blijft de CO<sub>2</sub> verzadiging nagenoeg constant tussen de –2,5 en –2,0. De reactie van olivijn met CO<sub>2</sub> buffert het poriewater zodat de CO<sub>2</sub> verzadiging niet verder toeneemt. Dit is opnieuw een belangrijke aanwijzing dat het olivijn in vak 6 inderdaad reageert met CO<sub>2</sub>.

## 6.4 Overige factoren met effect op CO<sub>2</sub> binding

Uit de literatuur zijn nog een aantal andere factoren bekend die de reactie tussen CO<sub>2</sub> en duurzame materialen beïnvloeden. De belangrijkste daarvan zijn:

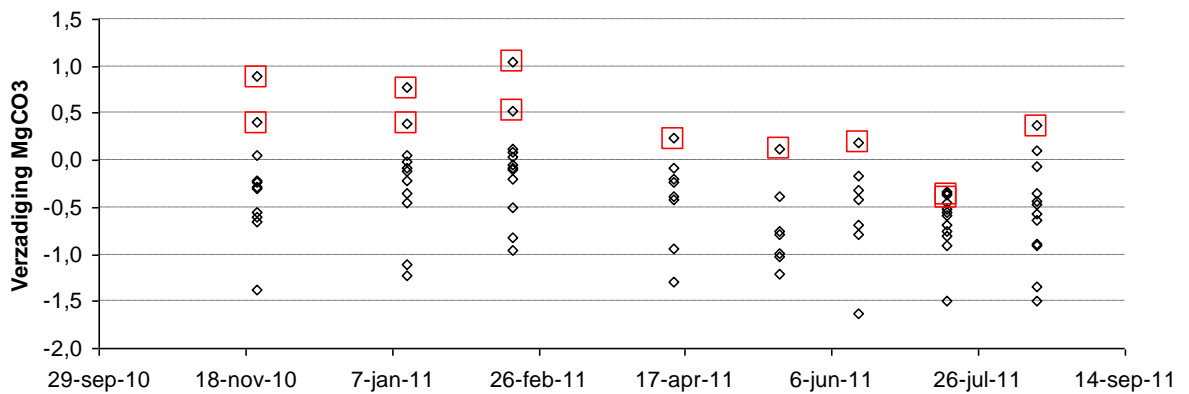
- het effect van temperatuur op de reactiekinetiek
- het effect van korrelgrootte op de reactiekinetiek
- effect van samenstelling van het uitgangsmateriaal
- het effect van magnesiet-/ calcietneerslag op de Mg(2+) en Ca(2+) concentraties
- de aanwezigheid van kalk in de bodem

### 6.4.1. Temperatuur en korrelgrootte

De effecten van temperatuur en korrelgrootte op de reactiekinetiek worden in deze proef niet verder beschouwd. Om hier iets kwantitatiefs over te kunnen zeggen dienen zeer veel specifieke data te worden verzameld, waarmee de poriewatersamenstelling goed aan de temperatuursmetingen gerelateerd kan worden. Theoretisch verwacht men uiteraard toename van de reactiesnelheid bij toenemende temperatuur en bij een afnemende korrelgrootte.

### 6.4.2. Samenstelling van het uitgangsmateriaal

Het effect van de samenstelling van het uitgangsmateriaal is nu onduidelijk omdat de anorganische samenstelling van het materiaal niet bepaald is. Chemische analyse van het olivijn en obsidiaan is hiervoor noodzakelijk. Met name het magnesiumgehalte van het olivijn en het calciumgehalte van het obsidiaan is daarbij belangrijk.



Figuur 21. Verzadiging van magnesiet in de poriewatermonsters, met rode vierkantjes om de waarden in vak 6 (olivijn). Waarden > 0,0 duiden op oververzadiging met magnesiet.

### 6.4.3. Magnesiet- of calcietneerslag

Het effect van magnesiet- of calcietneerslag kan niet kwantitatief worden vastgesteld omdat daarvoor het materiaal zou moeten worden geïnspecteerd op de aanwezigheid van magnesiet- of calcietafzettingen. De gemeten magnesiumgehalten in het poriewater maken wel duidelijk of magnesietvorming wel of niet aannemelijk is. Figuur 21 toont dat, in tegenstelling tot de andere proefvakken, de

poriewatermonsters uit vak 6 (olivijn) vrijwel allemaal oververzadigd zijn met magnesiet. Dit betekent dat vorming van magnesietneerslag aannemelijk is.

In juni 2012 heeft een veldinspectie plaatsgevonden, waarbij de verschillende proefvakken zijn gefotografeerd. Vak 6 staat afgebeeld in figuur 22.



*Figuur 22. Foto van proefvak 6 (100% olivijn) d.d. jun 2012*



*Figuur 23. Close up van proefvak 6 (100% olivijn) d.d. jun 2012. Het lichtgrijze materiaal is magnesiet.*

Duidelijk is te zien dat dit vak over de hele lengte licht-grijsbruin is uitgeslagen. In figuur 23 is een close-up van vak 6 afgebeeld. Er zijn korreltjes met een witte coating er omheen zichtbaar. Vlak na de aanleg van het pad was hier geen sprake van. De magnesietkoek die is ontstaan op/in het olivijnschouwpad resulteert in een

harde, dichte toplaag, die handmatig niet of nauwelijks doorboord kan worden. Een en ander is een duidelijke aanwijzing voor de neerslag van magnesiet.

Bovenstaande maakt aannemelijk dat in vak 6 magnesiet neerslaat. Dit betekent dat de drijvende kracht voor de oplosreactie van olivijn steeds hernieuwd wordt, en dat het olivijn in vak 6 beter oplost dan in de vakken waar géén magnesiet neerslaat. Echter, wanneer er zoveel magnesiet is afgezet dat de poriën verstopt raken wordt de percolatie te veel afgeremd, neemt het reactie-oppervlak af en stopt uiteindelijk de reactie (zie paragraaf 2.3.3).

In figuur 24 is een foto afgebeeld van proefvak 5 (100% obsidiaan) d.d. maart 2013. Over de zwarte korrels was een lichtgrijze ‘waas’ zichtbaar. Het betreft mogelijk calciëtvorming. De neerslagvorming is echter duidelijk minder uitgesproken dan voor olivijn.



Figuur 24. Foto van proefvak 5 (100% obsidiaan) d.d. maart 2013.

#### 6.4.4. Kalk in de bodem

Tenslotte hangt de werkzaamheid van duurzame materialen ook af van het kalkgehalte in de bodem. Kalk is goed oplosbaar en zal veel sneller reageren met CO<sub>2</sub> in het poriewater dan obsidiaan of olivijn. Hoe lager het kalkgehalte, hoe meer CO<sub>2</sub> beschikbaar blijft voor een reactie met olivijn of obsidiaan. Het kalkgehalte van de bodem direct onder de proefvakken is niet precies bekend, maar wordt zeer laag verondersteld aangezien de Rhizon-monsternemers in een schoon zandbed direct onder het schouwpad zijn ingegraven. Dit zand bevat geen kalk, waardoor een versturende rol van kalk onwaarschijnlijk is.

## 6.5 Zware metalen en de toepassing van duurzame materialen

De zware metalenconcentraties in de poriewatermonsters zijn het hoogst in de proefvakken met obsidiaan (zie figuur 15). Een en ander conform de verwachting op basis van de uitloogproeven. Het feit dat er hoge gehalten zware metalen in het

poriewater van vak 5 (100% obsidiaan) worden gemeten, is, naast de opgelopen alkaliteit, een directe aanwijzing dat obsidiaan oplost en dus reageert met het poriewater.

De concentraties Mo en Sb zijn in absolute zin zijn erg hoog (honderden ppb) in de vakken met obsidiaan. Op basis van de uitloogproeven zijn deze concentraties goed te verklaren wanneer het volgende wordt aangenomen:

- (1) soortelijk gewicht voor obsidiaan = 2,6 kg/dm<sup>3</sup>
- (2) aanname porievolume van 30%
- (3) uitloogproeven tonen aan dat er ca. 0,05 mg metaal (Sb, Mo) vrijkomt per kg obsidiaan

Hieruit volgt:

- (1) en (2) levert: 1,82 kg obsidiaan per dm<sup>3</sup> materiaal, en 0,30 liter poriewater per dm<sup>3</sup> als deze poriën volledig met water gevuld zijn
- Wanneer bovenstaande wordt gecombineerd met (3):
  - er komt 0,05mg/kg \* 1,82 kg = 0,091 mg metaal (Sb, Mo) vrij
  - dit is 0,091 mg/0,30 L = 0,30 mg/L = 300 ppb

De berekende 300 ppb ligt in dezelfde orde van grootte als gemeten concentratie Sb en Mo in de poriewatermonsters. Afhankelijk van de aanvoer van vers poriewater (bijvoorbeeld door infiltratie van neerslag) zal de concentratie metalen lager zijn.

Wat verder opvalt is dat de concentraties koper 1 á 2 ordegroottes lager zijn dan voor Mo en Sb, maar dat tijdens de uitloogproeven vergelijkbare concentraties Cu, Mo en Sb vrijkwamen uit het obsidiaan. Voor koper geldt echter dat het goed bindt aan de bodemmatrix bij een pH van 7 á 8. Het wordt dan niet gemeten als vrij koper in het poriewater. Voor Mo en Sb geldt dat ze niet goed binden aan de bodemmatrix omdat ze een anion vormen met de watermoleculen. Anionen binden niet goed aan organische moleculen bij een pH van 7 á 8.

De gemeten nikkelconcentraties liggen in dezelfde orde van grootte als koper (tot 10 µg/l) en zijn normale waarden voor poriewater/bodemwater. Hoewel er met de uitloogproeven geen nikkel is gemeten, zal het gedrag van nikkel in de bodemmatrix zodra het uitloopt goed te vergelijken zijn met dat van koper, en zal nikkel zich dus vooral binden aan de bodemmatrix.

Opgemerkt wordt dat door de immobilisatie van nikkel en koper niet goed valt te bepalen hoeveel van deze metalen uiteindelijk kunnen vrijkomen bij het oplossen van olivijn of obsidiaan zonder dat de anorganische samenstelling van het uitgangsmateriaal duidelijk is. Het is bekend dat olivijn zo'n 3000 ppm nikkel kan bevatten, maar in poriewater zal dit nauwelijks teruggevonden worden omdat nikkel meteen gebonden wordt. Dit zal ook gelden voor koper. Voor de Mo en Sb zal de concentratie in het poriewater wel toenemen bij reactie maar zal het uiteindelijk gemeten gehalte vooral afhangen van de mate van verdunning met vers poriewater.

Gesteld kan worden dat de toepassing van obsidiaan in ieder geval leidt tot verhoogde concentraties Sb en Mo in het poriewater. Voor de toepassing van olivijn geldt dit niet. Metalen als nikkel en koper zullen wel vrijkomen maar voornamelijk

worden gebonden aan de bodemmatrix en dus niet worden teruggevonden in het poriewater zolang de pH rond de 7 á 8 ligt.

## **6.6 Onkruidbestrijding**

Uit de foto's uit paragraaf 5.4.3 blijkt dat alle schouwpaden op 21 juni 2012 in min of meer gelijke mate begroeid zijn met onkruid, met uitzondering van schouwpad 5, het vak met 100% obsidiaan. Uit de grafiek met temperatuurgegevens (zie figuur 16 en 17) blijkt dat obsidiaan inderdaad langzamer opwarmt dan de overige materialen. De oorzaak van het feit dat het obsidiaanpad minder begroeid is dan de overige paden kan echter ook gelegen zijn in het feit dat de korrelgrootte van obsidiaan groter is dan die van olivijn. Het porfiermengsel bevat meer kleine fractie dan obsidiaan. Dit resulteert erin dat de holtes tussen de obsidiaankorrels groter zijn dan die in porfier en olivijn. Voor wat betreft de paden met een mengsel van porfier en olivijn geldt dat het olivijn de holtes tussen de obsidiaankorrels opvult. Grotere poriën betekent dat er minder water wordt vastgehouden en het pad dus 'droger' blijft, hetgeen invloed zal hebben op de plantengroei.



## 7 CO<sub>2</sub>-opname in de praktijk

Uit de pilotproef is gebleken dat olivijn daadwerkelijk reageert met CO<sub>2</sub>. Het is waarschijnlijk dat ook obsidiaan reageert met CO<sub>2</sub>.

Hieronder wordt de theoretische reactiesnelheid van olivijn onder invloed van CO<sub>2</sub> berekend en vergeleken met de gemeten snelheid van de reactie zoals die blijkbaar plaatsvindt onder de condities van de pilotproef. Een en ander op basis van een aantal onderbouwde aannames. Voor de berekeningen zijn gegevens gebruikt uit het Deltares rapport (2011) en Hangx en Spiers (2009).

Om ook een uitspraak te kunnen doen over de reactiesnelheid van CO<sub>2</sub> met obsidiaan zijn calciumconcentraties noodzakelijk. Het calciumgehalte in het poriewater is tijdens de pilotproef echter niet gemeten.

Tevens zijn de kosten voor het toepassen van olivijn om CO<sub>2</sub> te binden middels schouwpaden globaal berekend en vergeleken met de 'afkoopsom' van CO<sub>2</sub> uitstoot.

### 7.1 Snelheid CO<sub>2</sub> opname: theorie en praktijk

Hieronder volgt een berekening van de theoretische oplossnelheid van olivijn onder de omstandigheden van de pilotproef. De volgende gegevens/aannames zijn daarvoor gebruikt:

- de oplossnelheid bij pH 7 – 8 (poriewater in schouwpad) en 15 °C (gemiddelde poriewatertemperatuur in de zomer) is  $0,33 \cdot 10E-10$  mol/m<sup>2</sup>.sec (literatuur: Hangx en Spiers, 2009)
- de korrelgrootte van olivijn is 1,0 mm (zeefkromme)
- het soortelijk gewicht van puur Mg-olivijn is 4390 kg/ton
- het gebruikte materiaal bestaat voor 75% uit Mg-olivijn (aanname)
- de porositeit van het schouwpad is 30% (aanname)
- ongelimiteerde CO<sub>2</sub> aanvoer met het poriewater (aanname)

#### 7.1.1. Theoretische reactiesnelheid

Uit het bovenstaande valt uit te rekenen dat het specifieke oppervlak van olivijn met een korrelgrootte van 1 mm ca. 6,0 m<sup>2</sup> per kg olivijn is. Met de gegeven snelheid reageert bij aanvang 0,063% per jaar weg. Dit wordt minder met de tijd omdat de korrelgrootte kleiner wordt en daarmee het reactief oppervlak. Als we desalniettemin een lineair tempo aannemen, zou het 1600 jaar duren voordat alle olivijn weg is. Omgerekend reageert 770 g CO<sub>2</sub>/jaar per m<sup>3</sup> schouwpad, oftewel 38,5g CO<sub>2</sub>/ jaar per meter schouwpad met een dikte van 10 cm en een breedte van 50 cm. Een 10-voudige verkleining van de korrelgrootte leidt tot een 10 maal snellere reactie. Bij een korreldiameter van 100 micron duurt het dus 160 jaar voordat alle olivijn heeft gereageerd, bij 10 micron slechts 16 jaar.

#### 7.1.2. Vergelijk tussen theorie en werkelijk gemeten reactiesnelheid

Bij deze berekende reactiesnelheid zou ongeveer 200 mg/l magnesium worden gemeten in het poriewater, rekening houdend met verdunning door regenwaterinfiltratie. In vak 6 (100% olivijn) zijn tijdens de proef magnesium-

concentraties gemeten van slechts 30 mg/l. Dit zou betekenen dat de werkelijke reactiesnelheid in het veld een factor 7 lager ligt dan de theoretische snelheid.

Mogelijke verklaringen voor dit verschil zijn:

- de gemiddelde jaartemperatuur in het proefvak bedraagt slechts 10 °C i.p.v. 15 °C (zie figuur 16)
- doordat magnesiet neerslaat blijft de magnesiumconcentratie in het poriewater relatief laag waardoor de reactie trager lijkt te gaan dan feitelijk het geval is
- door weersomstandigheden (temperatuur en neerslag) kan de CO<sub>2</sub>-verzadiging in het poriewater variëren, waardoor de CO<sub>2</sub>-aanvoer niet altijd optimaal is

De conclusie is dat olivijn wel CO<sub>2</sub> bindt, maar het proces langzamer verloopt dan de theoretische reactiesnelheid. Het feit dat de reactie relatief traag verloopt, kan voor ProRail als een voordeel worden uitgelegd: het schouwpad blijft langer intact terwijl de CO<sub>2</sub>-opname doorgaat.

## 7.2 Kosten per ton CO<sub>2</sub>

Hieronder volgt een schatting van de kosten per ton CO<sub>2</sub>-verwijdering middels olivijn. De volgende aannames zijn gedaan:

- toepassing van olivijn in schouwpaden op kalk onderverzadigde bodems
- winnen olivijn < 1% CO<sub>2</sub> verlies
- malen olivijn op 1,0 mm < 1% CO<sub>2</sub> verlies
- transport olivijn overzee 10% CO<sub>2</sub> verlies
- olivijn-puurheid is 75% na correctie voor FeSiO<sub>3</sub> en andere onzuiverheden
- theoretisch maximum = 1,25 ton CO<sub>2</sub>/ton zuiver Mg-olivijn (MgSiO<sub>3</sub>)
- prijs olivijn is 50 euro per ton voor 75% zuiver olivijn, inclusief malen op 1,0 mm, inclusief transport en inclusief storten in een schouwpad.

Uit het bovenstaande kan berekend worden dat het rendement 63% van het theoretische maximum van 1,25 ton CO<sub>2</sub>-opname per ton olivijn bedraagt, dus 0,79 ton CO<sub>2</sub>/ton olivijn. Dit komt overeen met een prijs van 63 euro per ton CO<sub>2</sub> verwijderd.

De conclusie is dat 63 euro per ton CO<sub>2</sub> beduidend boven de handelswaarde van CO<sub>2</sub> ligt (15 a 25 euro/ton), maar wel in de buurt van de schaduwprijs die de regering in de Uitvoeringsnota Klimaatverandering als maximum heeft gesteld t.b.v. CO<sub>2</sub>-preventie (68 euro/ton CO<sub>2</sub>-equivalent)<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>De regering heeft in de Uitvoeringsnota Klimaatverandering een basispakket maatregelen voorgesteld waarmee de Kyoto-doelstelling kan worden behaald. Ook is een aanvullend pakket maatregelen voorgesteld, dat wordt ingezet indien de doelstelling dreigt niet te worden gehaald. Deze pakketten zijn samengesteld op basis van het Optiedocument van het Energie Centrum Nederland en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (ECN/RIVM, 1998). Bij het kiezen van maatregelen heeft de overheid een grens gelegd bij 68 euro per ton CO<sub>2</sub>-equivalent.

Daar komt bij dat voor een eerlijk vergelijk in feite de kosten voor toepassing van porfier hiervan afgetrokken moeten worden (het schouwpad moet immers sowieso aangelegd worden), waarmee de kosten per ton vastgelegd CO2 beduidend lager zullen uitvallen.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies zijn:

- Wanneer toegepast als schouwpadmateriaal reageert olivijn aantoonbaar met CO<sub>2</sub> gedurende de proefperiode van 1 jaar. Voor de overige proefvakken met obsidiaan of mengels van olivijn/obsidiaan is dit minder duidelijk, maar wel aannemelijk.
- De mengvakken geven weinig eenduidige resultaten. In de mengvakken spelen vermoedelijk allerlei factoren die elkaar per materiaal soms versterken, soms tegenwerken.
- Microbiële bodemactiviteit en de beschikbaarheid van organisch koolstof in de waterbodem bepaalt de CO<sub>2</sub>-beschikbaarheid voor binding aan olivijn of obsidiaan, niet de CO<sub>2</sub>-aanvoer via regenwater of contact met de atmosfeer
- Hogere temperatuur verhoogt de microbiële activiteit in de bodem en verhoogt daardoor de CO<sub>2</sub>-verzadiging in het poriewater waardoor CO<sub>2</sub>-opname door schouwpadmateriaal wordt gestimuleerd
- Overvloedige neerslag (regen) verlaagt de CO<sub>2</sub>-verzadiging in poriewater en remt daardoor de CO<sub>2</sub>-opname door schouwpadmateriaal
- De vorming van magnesiet verbetert de CO<sub>2</sub>-opnamecapaciteit van olivijn (proefvak 6) zolang de magnesietneerslag niet het gehele reactie-oppervlak bedekt. Uit schouwpadopname blijkt dat de magnesiet inderdaad ontstaat. Deze kan op enig moment de permeabiliteit van het materiaal verminderen en daarmee de reactie vertragen. Temeer daar ook het reactie-oppervlak van de deeltjes hiermee vermindert.
- Uit opnames van het obsidiaanpad lijkt er een neerslag met calciet te zijn opgetreden (witte 'waas' over het obsidiaanoppervlak). Dit is een aanwijzing dat obsidiaan inderdaad reageert met CO<sub>2</sub>. Voor wat betreft de invloed van de calcietvorming op het reactieverloop geldt in principe hetzelfde als voor olivijn (*vide supra*).
- Zware metalen komen vrij bij toepassing van obsidiaan; met name Sb en Mo logen uit en worden gemeten in het poriewater. Het grondwater is niet geanalyseerd op Sb en Mo. Vermoedelijk zullen de zware metalen door verdunning met regenwater hooguit licht verhoogd in het grondwater worden aangetroffen. Als nikkel en koper uitlogen, zullen deze metalen snel binden aan de bodemmatrix.
- De kosten van CO<sub>2</sub>-neutralisatie met olivijn bedragen bij benadering 63 euro per ton CO<sub>2</sub>
- De theoretische reactiesnelheid waarmee olivijn oplost en dus CO<sub>2</sub> afvangt is laag, in de orde grootte van 770 g CO<sub>2</sub>/jaar/m<sup>3</sup> materiaal. De gemeten reactiesnelheid op basis van de magnesiumconcentraties is in de praktijk nog een factor 7 á 10 lager. De reactie blijft naar verwachting wel lang doorlopen. Het schouwpad blijft dus lang intact en zal langdurig CO<sub>2</sub> binden, zolang er geen afsluitende werking van magnesiet optreedt.
- De reactiesnelheid van CO<sub>2</sub> met obsidiaan tijdens de pilotproef is onbekend. Het calciumgehalte in het poriewater is tijdens de pilotproef niet gemeten.

Het schouwpad opgetrokken uit 100% obsidiaan raakt duidelijk minder begroeid dan de overige paden. Mogelijk is dit eerder te wijten aan de grotere porieholtes waardoor minder vocht wordt vastgehouden dan de hogere warmtecapaciteit van obsidiaan. Er kan dus nog geen definitieve uitspraak worden gedaan over de geschiktheid van obsidiaan als onkruidremmend schouwpadmateriaal.

## 8.2 Aanbevelingen

De volgende aanvullende metingen en analyses kunnen relatief eenvoudig worden uitgevoerd op de bestaande schouwpaden:

- Een aanvullende chemische analyse van het uitgangsmateriaal, met name het magnesiumgehalte van olivijn en calciumgehalte van obsidiaan, maakt het mogelijk om de capaciteit en effectiviteit van het materiaal als CO<sub>2</sub>-binder te bepalen;
- Een aanvullende chemische analyse van het uitgangsmateriaal maakt het mogelijk om een inschatting te maken van de hoeveelheid zware metalen (Sb, Mo) die kunnen vrijkomen bij toepassing van dit materiaal (met name obsidiaan) in schouwpaden;
- Aanvullende bodemanalyses op organisch stof geven inzicht in de voorraad organisch koolstof beschikbaar voor CO<sub>2</sub> productie;
- Aanvullende bodemanalyses op kalk geven inzicht in de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die door kalk gebufferd wordt en dus niet meer beschikbaar is om te reageren met olivijn of obsidiaan;
- Aanvullend microscopisch onderzoek en chemische analyse (SEM) van het oppervlak van het uitgangsmateriaal (onderin het schouwpad) en het gereageerde proefmateriaal geeft aanvullend inzicht in de oplos- en neerslagreacties die hebben plaatsgevonden op het mineraaloppervlak.

Voor de hieronder genoemde aanbevelingen is idealiter de aanleg van tenminste 2 nieuwe schouwpaden (100% olivijn en 100% obsidiaan) voorzien van Rhizon-meters noodzakelijk:

- Aanvullende bodemvochtbepalingen van de proefvakken geeft inzicht in de mate van waterverzadiging onder veldomstandigheden. Waterverzadiging is een voorwaarde voor het optreden van CO<sub>2</sub> binding;
- Aanvullende poriewateranalyses op calcium zijn minimaal nodig om de werking van obsidiaan in beeld te krijgen;
- Aanvullende poriewateranalyses op kiezelzuur kunnen extra inzicht geven in de intensiteit van de oplosreacties van zowel obsidiaan als olivijn;
- Aanvullende poriewateranalyses op DOC geeft inzicht in beschikbare interne biologische koolstofbronnen in de bodem t.b.v. CO<sub>2</sub>-productie;
- De realisatie van een obsidiaanschouwpad van dezelfde korrelgrootteverdeling als porfier is nodig om het effect van de hogere warmtecapaciteit op de onkruidgroei definitief vast te stellen. Vanwege het uitlooggedrag van fijn verdeeld obsidiaan zou zo'n pad onder IBC (isolerende) condities aangelegd dienen te worden.

## 9 Referenties

De Hoog, J.C.M. et al, (2010). Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry. *Chemical Geology*, 270(1-4): 196-215.

Deltares (2010). Toepassing van olivijn in RWS-werken. Inventarisatie van mogelijkheden voor een pilot. In opdracht van RWS 203661-000.

Hangx, S.J.T. and Spiers, C.J., 2009. Coastal spreading of olivine to control atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: A critical analysis of viability. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(6): 757-767.

Movares (2008). 'Onderzoek naar olivijn en als schouwpadmateriaal' - Plan van aanpak. BO-JC-080033499 - Versie 1.0

Movares (2011). 'Het Groene Schouwpad - Pilotproject voor de toepassing van duurzame materialen in schouwpaden' - 1e tussenrapportage. BO-JC-110004920 - Versie 1.0.

Schuiling, R.D., 2001. Olivine, the miracle mineral. *Mineralogical Journal Ukraine* 5/6:81-83.

Smith, D.K. et al (2000). Hydrologic Resource Management Program and Underground Test Area FY 1999 Progress Report. Lawrence Livermore National Laboratory.

Stephens, J.C. , 2002. Respons of soil mineral weathering to elevated carbon dioxide. California Institute of Technology. Ph.D. thesis.

Stumm, W. (1992). *Chemistry of the Solid-Water Interface*. John Wiley & Sons, New York.

Wolff-Boenisch, D. et al. (2006). The effect of crystallinity on dissolution rates and CO<sub>2</sub> consumption capacity of silicates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (2006) 858–870.

## Colofon

Opdrachtgever ProRail  
G.T.P. van Meer

Uitgave Movares Nederland B.V.




Daalseplein 101  
Postbus 2855  
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 - 265 3672

Ondertekenaar dr. P.J. van Helvoort  
Geochemicus

Projectnummer RL187800

Opgesteld door cornej

	<b>Naam</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Datum</b>
Opgesteld door	P.J. van Helvoort		29 april 2013
Controle door	J.P. Cornelissen		29 april 2013
Vrijgave door	R. Buld		29 april 2013

## **Bijlage I Resultaten van de uitloogproeven op olivijn en obsidiaan**



**Analysecertificaat**

Certificaatnummer

2009112767

Rapportagedatum

27-07-2009

Uw ordernummer

H223020.080018683 Projectnummer

RL182740

Materiaal

Grond

Analyse	Eenheid	4816203	4816204	4816205	4816206	Toetsingswaarde
		Monsteromschr. 1	Olivijn 1 2	Olivijn 2 3	Obsidiaan fijn Obsidiaan grof 4	
<b>Voorbehandeling</b>						
Hoeveelheid aangeleverd monster	kg	10,6	9,3	15,9	9,3	
Massa percentage artefacten	% (m/m)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
<b>Bodemkundige analyses</b>						
Droge stof	%	99,4	99,7	99,9	100	
<b>Minerale olie</b>						
Minerale olie C10-C16	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10	
Minerale olie C16-C22	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10	
Minerale olie C22-C30	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10	
Minerale olie C30-C40	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10	
Minerale olie (som C10 - C40)	mg/kg ds	<20	<20	<20	<20	1000
<b>Polychloorbifenylen, PCB</b>						
PCB 28	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 52	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 101	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 118	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 138	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 153	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB 180	mg/kg ds	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	
PCB (som 7) (corr. *0.7)	mg/kg ds	0,0098	0,0098	0,0098	0,0098	0,5
PCB (som 6) (corr.*0.7)	mg/kg ds	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	-
<b>Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen, PAK</b>						
Naftaleen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	5
Fenanthreen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	20
Anthraceen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	10
Fluorantheen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	35
Benzo(a)anthraceen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	40
Chryseen	mg/kg ds	0,011	<0,010	<0,010	<0,010	10
Benzo(k)fluorantheen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	40
Benzo(a)pyreen	mg/kg ds	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	10
Benzo(ghi)peryleen	mg/kg ds	0,014	<0,010	<0,010	<0,010	40
Indeno(123-cd)pyreen	mg/kg ds	0,012	<0,010	<0,010	<0,010	40
PAK Totaal VROM (10) factor 0,7	mg/kg ds	0,085	0,07	0,073	0,07	50

Nr.	Monsterschrijving	Ordernummer
1	Olivijn 1	4816203
2	Olivijn 2	4816204
3	Obsidiaan fijn	4816205
4	Obsidiaan grof	4816206

**Analysecertificaat**

Certificaatnummer	2009112765	Rapportagedatum	31-08-2009
Uw ordernummer	H223020.080018683	Projectnummer	RL182740
Materiaal	Grond		

	Ordernummer	4816196	4816197	4816198	4816199	
	Monsteromschr.	Olivijn 1	Olivijn 2	Obsidiaan fijn	Obsidiaan grof	Toetsingswaarde
Analyse	Eenheid	1	2	3	4	
<b>Voorbehandeling</b>						
Hoeveelheid aangeleverd monster	kg	10,6	9,3	15,9	9,3	
Massa percentage artefacten	% (m/m)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
<b>Bodemkundige analyses</b>						
Droge stof	%	99,4	99,7	99,9	100	
<b>Uitloogonderzoek</b>						
Kolomproef L/S factor fractie 1	L/g ds	0,00099	0,00098	0,00096	0,00098	
Kolomproef L/S factor fractie 2	L/g ds	0,00899	0,009	0,00899	0,00899	
Antimoon (Sb) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,0040	<0,0040	0,43	0,037	0,16
Arseen (As) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,9
Barium (Ba) uitloogbaar	mg/kg ds	1,3	1,1	<0,60	<0,60	22
Cadmium (Cd) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,00100	<0,00100	<0,00100	<0,00100	0,04
Chroom (Cr) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,63
Kobalt (Co) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	0,54
Koper (Cu) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,050	<0,050	43	0,053	0,9
Kwik (Hg) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,00040	<0,00040	0,0045	0,00051	0,02
Nikkel (Ni) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,050	<0,050	0,089	<0,050	0,44
Molybdeen (Mo) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,0100	0,015	1,4	0,065	1
Lood (Pb) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	2,3
Seleen (Se) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,0070	<0,0070	0,084	<0,0070	0,15
Tin (Sn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	0,4
Vanadium (V) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	1,8
Zink (Zn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	4,5
Bromide uitloogbaar	mg/kg ds	<0,80	<0,80	18	1,7	20
Chloride uitloogbaar	mg/kg ds	<50	<50	<50	<50	616
Fluoride uitloogbaar ISE (NEN 6483)	mg/kg ds	1,4	1,3	2,3	1,1	55
Sulfaat uitloogbaar	mg/kg ds	<20	24	2800	91	1730
<b>Zuurgraad (pH)</b>						
Zuurgraad (pH) fractie 1		9,2	9,3	9,4	8,3	
Meettemperatuur (pH) fractie 1	°C	19,6	19,7	19,5	19,9	
Zuurgraad (pH) fractie 2		9,8	11	10,9	9,4	
Meettemperatuur (pH) fractie 2	°C	19,8	19,9	19,9	19,4	
<b>Geleidbaarheid</b>						
Geleidingsverm. 25°C Fractie 1	µS/cm	220	230	7000	220	
Meettemperatuur fractie 1	°C	19,8	19,9	19,9	19,5	
Geleidingsverm. 25°C Fractie 2	µS/cm	56	57	270	41	
Meettemperatuur fractie 2	°C	19,5	19,6	19,6	19,9	

Nr.	Monsteromschrijving	Ordernummer
1	Olivijn 1	4816196
2	Olivijn 2	4816197
3	Obsidiaan fijn	4816198
4	Obsidiaan grof	4816199

Movares Nederland B.V Infra  
T.a.v. Joost Cornelissen  
Postbus 2855  
3500 GW UTRECHT

## Analysecertificaat

Datum: 31-08-2009

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2009112765
Uw projectnummer	RL182740
Uw projectnaam	Het Groene Pad
Uw ordernummer	H223020.080018683
Monster(s) ontvangen	17-07-2009

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.  
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.  
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen  
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

## Analysecertificaat

Uw projectnummer	RL182740	Certificaatnummer	2009112765
Uw projectnaam	Het Groene Pad	Startdatum	17-07-2009
Uw ordernummer	H223020.080018683	Rapportagedatum	31-08-2009/10:00
Datum monstername	22-06-2009	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Administrator	Pagina	1/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4
<b>Voorbehandeling</b>					
A Hoeveelheid aangeleverd monster	kg	10.6	9.3	15.9	9.3
A Massa percentage artefacten	% (m/m)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
<b>Bodemkundige analyses</b>					
A Droge stof	%	99.4	99.7	99.9	100.0
<b>Uitloogonderzoek</b>					
A Kolomproef L/S factor fractie 1	L/g ds	0.00099	0.00098	0.00096	0.00098
A Kolomproef L/S factor fractie 2	L/g ds	0.00899	0.00900	0.00899	0.00899
A Antimoon (Sb) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.0040	<0.0040	0.43	0.037
A Arseen (As) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
A Barium (Ba) uitloogbaar	mg/kg ds	1.3	1.1	<0.60	<0.60
A Cadmium (Cd) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100
A Chroom (Cr) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
A Kobalt (Co) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
A Koper (Cu) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.050	<0.050	43	0.053
A Kwik (Hg) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.00040	<0.00040	0.0045 <sup>1)</sup>	0.00051 <sup>2)</sup>
A Nikkel (Ni) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.050	<0.050	0.089	<0.050
A Molybdeen (Mo) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.0100	0.015	1.4	0.065
A Lood (Pb) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100
A Seleen (Se) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.0070	<0.0070	0.084	<0.0070
A Tin (Sn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
A Vanadium (V) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
A Zink (Zn) uitloogbaar	mg/kg ds	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
A Bromide uitloogbaar	mg/kg ds	<0.80	<0.80	18	1.7
A Chloride uitloogbaar	mg/kg ds	<50	<50	<50	<50
A Fluoride uitloogbaar ISE (NEN 6483)	mg/kg ds	1.4	1.3	2.3	1.1
A Sulfaat uitloogbaar	mg/kg ds	<20	24	2800	91
<b>Zuurgraad (pH)</b>					
A Zuurgraad (pH) fractie 1		9.2	9.3	9.4	8.3
Meettemperatuur (pH) fractie 1	°C	19.6	19.7	19.5	19.9
A Zuurgraad (pH) fractie 2		9.8	11.0	10.9	9.4

### Nr. Monsteromschrijving

- 1 Olivijn 1
- 2 Olivijn 2
- 3 Obsidiaan fijn
- 4 Obsidiaan grof

### Analytico-nr.

- 4816196
- 4816197
- 4816198
- 4816199

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting

A: AP04 erkende verrichting

S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail info@analytico.com  
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

## Analysecertificaat

Uw projectnummer	RL182740	Certificaatnummer	2009112765
Uw projectnaam	Het Groene Pad	Startdatum	17-07-2009
Uw ordernummer	H223020.080018683	Rapportagedatum	31-08-2009/10:00
Datum monstername	22-06-2009	Bijlage	A, B, C
Monsternemer	Administrator	Pagina	2/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4
Meettemperatuur (pH) fractie 2	°C	19.8	19.9	19.9	19.4
<b>Geleidbaarheid</b>					
A Geleidingsverm. 25°C Fractie 1	µS/cm	220	230	7000	220
Meettemperatuur fractie 1	°C	19.8	19.9	19.9	19.5
A Geleidingsverm. 25°C Fractie 2	µS/cm	56	57	270	41
Meettemperatuur fractie 2	°C	19.5	19.6	19.6	19.9

### Nr. Monsteromschrijving

- 1 Olivijn 1
- 2 Olivijn 2
- 3 Obsidiaan fijn
- 4 Obsidiaan grof

### Analytico-nr.

4816196  
4816197  
4816198  
4816199

### Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail info@analytico.com  
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Q: door RvA geaccrediteerde verrichting  
A: AP04 erkende verrichting  
S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

**Akkoord  
Pr.coörd.**

*GW*

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



**Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2009112765**

Pagina 1/1

Analytico-n Boornr	Deelmonster Omschrijving	Van	Tot	Barcode	Monsteromschrijving
4816196				0590184724	Oliviin 1
4816196				0901033415	
4816196				0901038251	
4816197				0590184723	Oliviin 2
4816197				0901033416	
4816197				0901038250	
4816198				0590184722	Obsidiaan fijn
4816198				0901038247	
4816199				0590184721	Obsidiaan grof
4816199				0901038710	



**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KVK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (B) met opmerkingen behorende bij analysecertificaat 2009112765**

Pagina 1/1

**Opmerking 1)**

Indicatieve waarde(n) vanwege matrixstoring.

**Opmerking 2)**

Indicatieve waarde(n) vanwege matrixstoring.

**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2009112765**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
Aangeleverde monsterhoeveelheid	W7101	Voorbehandeling	Cf. AP04 V
Artefacten	W7101	Voorbehandeling	Cf. AP04 V
Droge stof	W7104	Gravimetrie	Cf. AP04-SG-II/SB-I & cf. NEN-ISO 11465
Kolomproef AP04	W7152	Kolomproef	Cf. AP04-U-I en cf. NEN 7373/NEN 7383
ICP-MS Sb uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2
ICP-MS As uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Ba uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Cd uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Cr uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Co uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Cu uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Hg uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. AP04-E-VIII en gw. NEN 7324
ICP-MS Ni uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Mo uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Pb uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Se uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2
ICP-MS Sn uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS V uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
ICP-MS Zn uitloogbaar	W0420	ICP-MS	Cf. NEN-EN-ISO 17294-2 en cf. CMA/2/I/B
Bromide (uitloogbaar)	W7304	Ionchromatografie	Cf. AP04-SG-XXI
Chloride (uitloogbaar)	W7304	Ionchromatografie	Cf. AP04-SG-XXI
Fluoride (uitloogbaar)	W7546	Ionchromatografie	Cf. AP04-E-XVIII en Cf. NEN 6483
Sulfaat (uitloogbaar)	W7304	Ionchromatografie	Cf. AP04-SG-XXI
Zuurgraad (pH) fracties	W7525	Potentiometrie	Cf. AP04-U-IV en cf. NEN 6411
Geleidingsvermogen fracties	W7506	Conductometrie	Cf. AP04-U-V en cf. NEN-ISO 7888

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie september 2008.

**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



Movares Nederland B.V Infra  
T.a.v. Joost Cornelissen  
Postbus 2855  
3500 GW UTRECHT

## Analysecertificaat

Datum: 27-07-2009

Hierbij ontvangt u de resultaten van het navolgende laboratoriumonderzoek.

Certificaatnummer	2009112767
Uw projectnummer	RL182740
Uw projectnaam	Het Groene Pad
Uw ordernummer	H223020.080018683
Monster(s) ontvangen	17-07-2009

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.  
Aanvullende informatie behorend bij dit analysecertificaat kunt U vinden in het overzicht "Specificaties Analysemethoden". Extra exemplaren zijn verkrijgbaar bij de afdeling Verkoop en Advies.

De grondmonsters worden tot 6 weken na datum ontvangst gekoeld bewaard en watermonsters tot 2 weken na datum ontvangst. Zonder tegenbericht worden de monsters nadien afgevoerd.  
Indien de monsters langer bewaard dienen te blijven verzoeken wij U dit exemplaar uiterlijk 1 week voor afloop van de standaardbewaarperiode ondertekend aan ons te retourneren. Voor de kosten van het langer bewaren van monsters verwijzen wij naar de prijslijst.

Bewaren tot:

Datum:

Naam:

Handtekening:

Wij vertrouwen erop uw opdracht hiermee naar verwachting te hebben uitgevoerd, mocht U naar aanleiding van dit analysecertificaat nog vragen hebben verzoeken wij U contact op te nemen met de afdeling Verkoop en Advies.

Met vriendelijke groet,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen  
Laboratoriummanager

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

## Analysecertificaat

Uw projectnummer	RL182740	Certificaatnummer	2009112767
Uw projectnaam	Het Groene Pad	Startdatum	17-07-2009
Uw ordernummer	H223020.080018683	Rapportagedatum	27-07-2009/12:41
Datum monsternamen	22-06-2009	Bijlage	A, C, D
Monsternemer	Administrator	Pagina	1/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4
<b>Voorbehandeling</b>					
A Hoeveelheid aangeleverd monster	kg	10.6	9.3	15.9	9.3
A Massa percentage artefacten	% (m/m)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
<b>Bodemkundige analyses</b>					
A Droge stof	%	99.4	99.7	99.9	100.0
<b>Minerale olie</b>					
Minerale olie C10-C16	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10
Minerale olie C16-C22	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10
Minerale olie C22-C30	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10
Minerale olie C30-C40	mg/kg ds	<10	<10	<10	<10
A Minerale olie (som C10 - C40)	mg/kg ds	<20	<20	<20	<20
<b>Polychloorbifenylen, PCB</b>					
A PCB 28	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 52	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 101	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 118	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 138	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 153	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB 180	mg/kg ds	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
A PCB (som 7) (corr. *0.7)	mg/kg ds	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098
A PCB (som 6) (corr.*0.7)	mg/kg ds	0.0084	0.0084	0.0084	0.0084
<b>Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen, PAK</b>					
A Naftaleen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	0.010	<0.010
A Fenanthreen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Anthraceen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Fluorantheen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Benzo(a)anthraceen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Chryseen	mg/kg ds	0.011	<0.010	<0.010	<0.010
A Benzo(k)fluorantheen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Benzo(a)pyreen	mg/kg ds	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
A Benzo(ghi)peryleen	mg/kg ds	0.014	<0.010	<0.010	<0.010

### Nr. Monsteromschrijving

1 Olivijn 1	Analytico-nr. 4816203
2 Olivijn 2	4816204
3 Obsidiaan fijn	4816205
4 Obsidiaan grof	4816206

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting

A: AP04 erkende verrichting

S: AS 3000 erkende verrichting

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail info@analytico.com  
Site www.analytico.com

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

## Analysecertificaat

Uw projectnummer	RL182740	Certificaatnummer	2009112767
Uw projectnaam	Het Groene Pad	Startdatum	17-07-2009
Uw ordernummer	H223020.080018683	Rapportagedatum	27-07-2009/12:41
Datum monstername	22-06-2009	Bijlage	A, C, D
Monsternemer	Administrator	Pagina	2/2

Analyse	Eenheid	1	2	3	4
A Indeno(123-cd)pyreen	mg/kg ds	0.012	<0.010	<0.010	<0.010
A PAK Totaal VROM (10) factor 0,7	mg/kg ds	0.085	0.070	0.073	0.070

### Nr. Monsteromschrijving

- 1 Olivijn 1
- 2 Olivijn 2
- 3 Obsidiaan fijn
- 4 Obsidiaan grof

### Analytico-nr.

4816203  
4816204  
4816205  
4816206

Q: door RVA geaccrediteerde verrichting  
A: AP04 erkende verrichting  
S: AS 3000 erkende verrichting

**Akkoord  
Pr.coörd.**

*GW*

Dit certificaat mag uitsluitend in zijn geheel worden gereproduceerd.

### Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).



**Bijlage (A) met deelmonsterinformatie behorende bij analysecertificaat 2009112767**

Pagina 1/1

<b>Analytico-n Boornr</b>	<b>Deelmonster Omschrijving</b>	<b>Van</b>	<b>Tot</b>	<b>Barcode</b>	<b>Monsteromschrijving</b>
4816203				0590184724	oliviin 1
4816204				0590184723	oliviin 2
4816205				0590184722	obsidiaan fiin
4816206				0590184721	obsidiaan grof



**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KVK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).


**Bijlage (C) met methodeverwijzingen behorende bij analysecertificaat 2009112767**

Pagina 1/1

Analyse	Methode	Techniek	Referentiemethode
Aangeleverde monsterhoeveelheid	W7101	Voorbehandeling	Cf. AP04 V
Artefacten	W7101	Voorbehandeling	Cf. AP04 V
Droge stof	W7104	Gravimetrie	Cf. AP04-SG-II/SB-I & cf. NEN-ISO 11465
Minerale olie (GC)	W7202	GC-FID	Cf. AP04-SG-XI/SB-V en cf. NEN 6978
Polychloorbifenylen (PCB) AP04	W7255	GC-ECD	Cf. AP04-SG-X en cf. NEN 6980
PAK (VR0M)	W7301	HPLC	Cf. AP04-SG-IX&SB-III en cf. NEN 6977

Nadere informatie over de toegepaste onderzoeksmethoden alsmede een classificatie van de meetonzekerheid staan vermeld in ons overzicht "Specificaties analysemethoden", versie september 2008.


**Eurofins Analytico B.V.**

 Gildegeweg 44-46  
 3771 NB Barneveld  
 P.O. Box 459  
 3770 AL Barneveld NL

 Tel. +31 (0)34 242 63 00  
 Fax +31 (0)34 242 63 99  
 E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
 Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

 ABN AMRO 54 85 74 456  
 VAT/BTW No.  
 NL 8043.14.883.B01  
 KvK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

**Bijlage (D) opmerkingen aangaande de monstername en conserveringstermijn 2009112767**

Pagina 1/1

Er zijn verschillen met de richtlijnen geconstateerd die de betrouwbaarheid van de resultaten van onderstaande monsters of analyses mogelijk hebben beïnvloed.

De conserveringstermijn is voor de betreffende analyses overschreden.

**Analyse**

Voorbehandeling Matig Vluchtig

**Analytico-nr.**

4816203

4816204

4816205

4816206

**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 44-46  
3771 NB Barneveld  
P.O. Box 459  
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00  
Fax +31 (0)34 242 63 99  
E-mail [info@analytico.com](mailto:info@analytico.com)  
Site [www.analytico.com](http://www.analytico.com)

ABN AMRO 54 85 74 456  
VAT/BTW No.  
NL 8043.14.883.B01  
KVK No. 09088623

Eurofins Analytico B.V. is ISO 9001: 2000 gecertificeerd door Lloyd's RQA en erkend door het Vlaamse Gewest (OVAM en Dep. LNE), het Brusselse Gewest (BIM), het Waalse Gewest (DGRNE-OWD) en door de overheden van Frankrijk en Luxemburg (MEV).

## **Bijlage II Ruwe meetgegevens**

	testvak	monsterlocatie	Alkaliniteit mg/l	Alkaliniteit mmol/l	pH	.	Mg mg/l	Mg mmol/l	Ni microg/l	Cu micrng/l
			GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV	GEMIDLD STDEV
	1	A	144 32	2,15 0,48	7,57 0,23	4,77 1,91	0,20 0,08	1,71 2,33	10,74 16,82	
vak 1 - porfier	1	B	219 52	3,26 0,78	7,69 0,19	8,18 1,96	0,34 0,08	0,71 0,45	2,82 2,20	
	1	A+B	178 56	2,66 0,83	7,62 0,21	6,48 2,57	0,27 0,11	1,26 1,75	6,78 11,88	
	2	C	389 80	5,80 1,19	7,59 0,24	5,92 1,95	0,25 0,08	3,08 2,09	8,06 5,04	
vak 2 - 70% olivijn	2	D	367 114	5,47 1,71	7,64 0,40	4,52 2,36	0,19 0,10	3,36 2,35	8,67 5,26	
	2	C+D	378 94	5,65 1,41	7,61 0,31	5,26 2,20	0,22 0,09	3,22 2,14	8,36 4,87	
	3	E	361 97	5,39 1,44	7,74 0,43	4,54 1,97	0,19 0,08	3,04 2,10	9,80 2,86	
vak 3 - 50% olivijn	3	F	262 46	3,91 0,68	8,12 0,23	4,44 1,70	0,19 0,07	3,80 2,98	16,02 12,84	
	3	E+F	319 92	4,76 1,37	7,90 0,40	4,49 1,79	0,19 0,07	3,39 2,46	12,91 9,36	
	4	G	314 76	4,69 1,13	7,53 0,29	10,09 2,80	0,42 0,12	4,62 2,33	9,99 3,41	
vak 4 - 30% olivijn	4	H	271 62	4,04 0,93	7,62 0,21	8,99 2,97	0,37 0,12	4,45 2,20	10,60 4,49	
	4	G+H	296 71	4,42 1,06	7,56 0,25	9,58 2,85	0,40 0,12	4,54 2,18	10,30 3,78	
	5	I	268 73	4,00 1,09	7,44 0,34	1,51 1,29	0,06 0,05	3,81 2,02	24,43 22,37	
vak 5 - obsidiaan	5	J	438 146	6,54 2,17	7,95 0,46	1,81 1,05	0,08 0,04	2,41 1,76	10,40 8,22	
	5	I+J	353 142	5,27 2,12	7,70 0,47	1,66 1,15	0,07 0,05	3,11 1,96	17,41 17,53	
	6	K	256 78	3,81 1,16	7,68 0,22	23,56 9,88	0,98 0,41	1,56 0,63	3,99 3,45	
vak 6 - olivijn	6	L	316 132	4,72 1,97	7,80 0,13	37,49 11,60	1,56 0,48	1,11 0,48	2,80 1,98	
	6	K+L	279 101	4,16 1,51	7,73 0,20	30,53 12,68	1,27 0,53	1,35 0,59	3,40 2,73	



datum	testvak	materiaal	monsterlocatie	gemeten		pH	gemeten		gemeten		gemeten		gemeten		berekend		berekend
				Alk combi mg/l	Alk combi mM		Mg mg/l	Mg mmol/l	Ni microg/l	Cu microg/l	Mo microg/l	Sb microg/l	pCO2	CO2 atm	SI	MgCO3 logK=-8,24	
22-11-2010	1	porfier	A	185	2,77	7,64	6,71	0,28	0,41						-2,41	0,0039	-0,55
12-1-2011	1	porfier	A	97	1,45	7,8	2,45	0,10							-2,85	0,0014	-1,11
17-2-2011	1	porfier	A	121	1,81	7,68	3,62	0,15							-2,63	0,0024	-0,95
13-4-2011	1	porfier	A	139	2,07	7,53	4,54	0,19	0,76						-2,42	0,0038	-0,95
19-5-2011	1	porfier	A				8,40	0,35	1,61	1,73	4,42	0,46					
15-6-2011	1	porfier	A														
15-7-2011	1	porfier	A	168	2,50	7,63	4,49	0,18	6,39	35,95	11,59	1,28	-2,42	0,0038			-0,76
15-8-2011	1	porfier	A	154	2,30	7,14	3,46	0,14	0,53	2,07	4,69	0,90	-1,92	0,0120			-1,35
14-9-2011	1	porfier	A				4,52	0,19	0,59	3,20	2,75	0,54					
22-11-2010	1	porfier	B	272	4,06	7,54	12,40	0,51	0,49						-2,15	0,0072	-0,22
12-1-2011	1	porfier	B	187	2,80	7,98	8,01	0,33							-2,74	0,0018	-0,12
17-2-2011	1	porfier	B		2,26	7,77	6,74	0,28							-2,62	0,0024	-0,50
13-4-2011	1	porfier	B				6,24	0,26									
19-5-2011	1	porfier	B														
15-6-2011	1	porfier	B				8,57	0,35	1,48	3,96	4,85	0,67					
15-7-2011	1	porfier	B	268	4,00	7,54	8,98	0,37	0,33	0,45	3,78	0,74	-2,12	0,0076			-0,33
15-8-2011	1	porfier	B	214	3,20	7,62	7,80	0,32	0,71	5,29	5,57	0,94	-2,32	0,0048			-0,43
14-9-2011	1	porfier	B				6,71	0,28	0,52	1,60	4,38	0,71					
22-11-2010	2	70% olivijn	C	417	6,22	7,47	9,21	0,38	1,01						-1,89	0,0129	-0,23
12-1-2011	2	70% olivijn	C	317	4,73	7,95	5,66	0,23							-2,50	0,0032	-0,09
17-2-2011	2	70% olivijn	C	381	5,69	7,79	6,50	0,27							-2,24	0,0058	-0,09
13-4-2011	2	70% olivijn	C	365	5,45	7,76	7,47	0,31	3,02						-2,24	0,0058	-0,09
19-5-2011	2	70% olivijn	C	555	8,29	7,40	5,62	0,23	5,49	10,89	271,69	153,78	-1,69	0,0206			-0,38
15-6-2011	2	70% olivijn	C	425	6,34	7,20	4,65	0,19	6,43	15,58	563,70	129,80	-1,60	0,0250			-0,78
15-7-2011	2	70% olivijn	C	342	5,10	7,61	2,66	0,11	2,31	5,03	68,82	111,06	-2,09	0,0080			-0,70
15-8-2011	2	70% olivijn	C	308	4,60	7,56	4,29	0,18	1,74	5,13	60,89	135,20	-2,08	0,0084			-0,57
14-9-2011	2	70% olivijn	C				7,25	0,30	1,53	3,66	95,10	76,80					
22-11-2010	2	70% olivijn	D	295	4,40	7,54	4,36	0,18	0,7						-2,12	0,0075	-0,65
17-2-2011	2	70% olivijn	D	340	5,08	7,96	5,52	0,23							-2,46	0,0035	-0,04
13-4-2011	2	70% olivijn	D	402	6,00	7,57	7,14	0,29	4,13						-1,98	0,0104	-0,23
19-5-2011	2	70% olivijn	D	486	7,25	6,99	7,06	0,29	6,34	11,68	436,21	128,57	-1,33	0,0463			-0,75
15-6-2011	2	70% olivijn	D	540	8,06	7,38	5,49	0,23	6,20	16,31	938,10	119,40	-1,68	0,0210			-0,42
15-7-2011	2	70% olivijn	D	235	3,50	8,22	0,79	0,03	3,55	6,47	114,66	168,74	-2,90	0,0012			-0,81
15-8-2011	2	70% olivijn	D	268	4,00	7,79	1,42	0,06	1,31	5,60	79,95	151,00	-2,38	0,0041			-0,90
14-9-2011	2	70% olivijn	D				4,35	0,18	1,31	3,29	74,90	74,90					
22-11-2010	3	50% olivijn	E	266	3,98	7,56	5,14	0,21	0,49						-2,19	0,0064	-0,61
12-1-2011	3	50% olivijn	E	347	5,18	8,08	5,45	0,22							-2,59	0,0026	0,06
17-2-2011	3	50% olivijn	E	331	4,95	8,00	6,19	0,25							-2,51	0,0031	0,04
13-4-2011	3	50% olivijn	E	391	5,84	7,69	6,18	0,25	3,28						-2,13	0,0075	-0,20
19-5-2011	3	50% olivijn	E	481	7,18	7,08	3,14	0,13	5,41	9,68	175,96	167,64	-1,43	0,0373			-1,02
15-6-2011	3	50% olivijn	E	518	7,73	7,25	4,27	0,18	6,17	14,35	539,40	137,50	-1,57	0,0272			-0,68
15-7-2011	3	50% olivijn	E	251	3,74	8,37	0,90	0,04	2,87	10,17	76,10	141,35	-3,04	0,0009			-0,59
15-8-2011	3	50% olivijn	E	305	4,56	7,88	2,67	0,11	1,42	7,77	68,85	128,50	-2,42	0,0038			-0,47
14-9-2011	3	50% olivijn	E				6,89	0,28	1,67	7,02	74,20	68,00					
22-11-2010	3	50% olivijn	F	199	2,97	8,28	2,82	0,12	0,53						-3,06	0,0009	-0,29
12-1-2011	3	50% olivijn	F	213	3,18	8,37	2,55	0,10							-3,11	0,0008	-0,21
17-2-2011	3	50% olivijn	F	312	4,65	8,20	5,00	0,21							-2,74	0,0018	0,12
13-4-2011	3	50% olivijn	F	285	4,25	7,71	4,87	0,20	3,21						-2,29	0,0052	-0,42
19-5-2011	3	50% olivijn	F				4,89	0,20	4,20	7,91	167,07	80,86					
15-6-2011	3	50% olivijn	F				4,15	0,17	9,36	38,51	561,80	131,00					
15-7-2011	3	50% olivijn	F	270	4,03	8,08	2,15	0,09	2,81	7,89	81,22	95,15	-2,69	0,0020			-0,45
15-8-2011	3	50% olivijn	F	295	4,40	8,05	7,03	0,29		14,00	84,25	83,42	-2,61	0,0025			0,10
14-9-2011	3	50% olivijn	F				6,51	0,27	2,70	11,80	73,50	58,00					
22-11-2010	4	30% olivijn	G	314	4,68	7,71	14,20	0,58	0,76						-2,27	0,0053	0,05
12-1-2011	4	30% olivijn	G	281	4,19	7,74	11,84	0,49							-2,33	0,0047	-0,02
17-2-2011	4	30% olivijn	G	229	3,42	7,84	7,67	0,32							-2,51	0,0031	-0,19
13-4-2011	4	30% olivijn	G				8,50	0,35	7,65								
19-5-2011	4	30% olivijn	G	400	5,98	7,00	7,80	0,32	6,59	7,46	95,88	82,60	-1,43	0,0373			-0,78
15-6-2011	4	30% olivijn	G	425	6,34	7,61	7,53	0,31	4,90	11,57	82,83	86,15	-2,01	0,0097			-0,16
15-7-2011	4	30% olivijn	G	235	3,51	7,47	7,84	0,32	3,70	7,94	26,61	70,71	-2,11	0,0077			-0,52
15-8-2011	4	30% olivijn	G	313	4,68	7,35	11,35	0,47	3,02	7,69	29,44	57,05	-1,85	0,0140			-0,34
14-9-2011	4	30% olivijn	G				14,10	0,58	5,74	15,30	33,90	38,50					
22-11-2010	4	30% olivijn	H	290	4,32		5,90	0,24	0,5								
12-1-2011	4	30% olivijn	H	193	2,88	7,68	7,39	0,30							-2,43	0,0037	-0,45
17-2-2011	4	30% olivijn	H	251	3,75	7,88	8,33	0,34							-2,51	0,0031	-0,08
13-4-2011	4	30% olivijn	H														
19-5-2011	4	30% olivijn	H				9,73	0,40	7,17	6,18	86,79	114,78					
15-6-2011	4	30% olivijn	H				7,00	0,29	3,95	7,47	60,86	81,62					
15-7-2011	4	30% olivijn	H	256	3,83	7,45	7,13	0,29	4,92	9,58	34,83	86,40	-2,05	0,0089			-0,55
15-8-2011	4	30% olivijn	H	363	5,42	7,45	14,87	0,61	4,98	12,29	35,90	74,88	-1,90	0,0126			-0,07
14-9-2011	4	30% olivijn	H				11,60	0,48	5,19	17,50	30,90	47,20					

**ANALYSERESULTATEN PEILBUIZEN GROENE SCHOUWPAD**

Toetsing		S&I waarden 2009														
Certificaatnummer		2011052329												Rapportagedatum		
Uw ordernummer														06-04-2011		
Materiaal		Water												Projectnummer		
		RL187800														
Analyse	Ordernummer	6030354	6030355	6030356	6030357	6030358	6030359	6030360	6030361	6030362	6030363	6030364	6030365			
	Monsteromschr.	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B			
Metalen	Eenheid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	efw.JAW2000	Tussenw. Interview.	
Nikkel (Ni) na ontsluiting	µg/L	<5,00 -	<5,00 -	<5,00 -	28,18 *	7,6 -	<5,00 -	5,73 -	<5,00 -	<5,00 -	<5,00 -	<5,00 -	<5,00 -	15	45	75

**Legenda**

#	Niet getoetst
-	Aangenomen waarde
.	<= Streefwaarde
*	> Streefwaarde
**	> Tussenwaarde
***	> Interventiewaarde

## **Bijlage III Resultaten van het verdichtingsonderzoek**



Van der Worp  
Tav. Dhr. R. Datema  
Postbus 280  
7418 CK Deventer

Betreft: Dichtheidsbepaling van diverse materialen in de proefvakken "Het groene Pad" in de spoorlijn  
Zwolle – Wierden.

Geachte heer Datema,

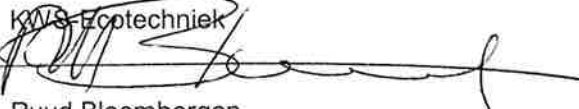
Bij deze stuur ik u de uitslagen van de dichtheidsproeven van bovengenoemd project.

In bijgaand schrijven - Bevindingen verdichtingswaarden in "Proefvakken Het groene pad" –  
kunt u de bevindingen lezen en in de bijlagen vindt u de gemeten waarden van de zandvervangings-  
en nucleair methode per materiaalsoort.

Ik hoop u hiermee voldoende te hebben ingelicht.

Met vriendelijke groeten,

KWS-Ecotechniek

  
Ruud Bloembergen



Bevindingen verdichtingswaarden in de "Proefvakken Het groene pad" spoorlijn  
Zwolle- Wierden te Zwolle

De verdichtinggraden zijn erg laag, voor zover ik het kan beoordelen zou dit beter kunnen. Onder het materiaal zit voor zover het zichtbaar was een grind / steenfundering. Dit zou een voldoende klankbord moeten zijn om 10 cm materiaal goed te kunnen verdichten. Ik heb echter van tevoren niet gezien hoe de ondergrond ter plaatse was, mocht deze van mindere kwaliteit geweest zijn dan zou dit een verklaring kunnen zijn voor de lage verdichtinggraden. Mede doordat ook het porfier mengsel geen optimale verdichting geeft zou je hier aan kunnen denken.

Op de dag dat de monsters zijn opgehaald in Dalfsen en Almelo, 11 mei 2010, heb ik Eenpuntsproctordichtheden geslagen, met de toen aanwezige vochtgehaltes, dit is een laboratoriumproef om tot een maximale dichtheid te komen bij een bepaald vochtgehalte. De verwerking van het materiaal zou de dag erna plaatsvinden vandaar dat er gekozen is voor de bestaande vocht gehalten, deze zijn echter lager dan de vochtgehaltes die op 17 september 2010 ter plaatse gevonden zijn. Ik weet niet of er tijdens de verwerking nog vocht is toegevoegd om het verdichten te vergemakkelijken. Dit zou een verbetering kunnen geven.

Tijdens de proefnemingen op 17 september 2010 was de baan niet verzadigd met water, behalve vak 6 (de olivijn 100%) die al behoorlijk op het maximum vochtgehalte zat, de rest was wel nat maar nog niet verzadigd, niet verwonderlijk gezien de weersomstandigheden van de laatste tijd. Het materiaal op het pad is niet opgesloten waardoor het materiaal wel zou kunnen gaan schuiven, daar het pakket maar 10cm dik is. Dit zou ook een oorzaak van de lage verdichtingsgraden kunnen zijn.

Daar het porfier mengsel waarschijnlijk al jaren op deze manier wordt aangebracht weet ik niet of de verdichtinggraad wel doorslag gevend zou moeten zijn voor deze toepassing. Wat wel een gevolg van deze verdichtinggraden is dat er meer holle ruimten in het materiaal zitten waardoor wortelgroei misschien versneld doorgang zou kunnen vinden.

Gevoelsmatig zou ik vak 2,3 en 4 als de beter te verdichten mengsels willen aanmerken, wat overigens niet overduidelijk uit de cijfers blijkt.

De 100% versie van zowel obsidiaan als de olivijn lijken mij geen kanshebbers voor dit project daar de obsidiaan niet is te verdichten en de olivijn te veel water vasthoudt waardoor dit materiaal erg onstabiel wordt.

Overigens is het verschil tussen de nucleaire metingen en de zandvervangingsmethode te verklaren door de geringe dikte van het materiaal op het pad, hoe ondieper je meet hoe meer verstrooiing er plaats vindt vandaar dat nucleaire waarden ook lager liggen dan bij de zandvervangingsmethode.

Bovenstaande in aanmerking genomen zou je kunnen zeggen dat, om duidelijk te krijgen of de verdichting is te optimaliseren je meer methoden zou moeten uitproberen om hier een definitieve uitspraak over te kunnen doen.

Maar misschien is de samenstelling van de materialen wel dus danig dat er toch geen onkruid doorheen groeit waardoor dan de verdichtinggraad van ondergeschikt belang is daar er toch geen transport cq. verkeer over deze paden rijdt.

L.IJmker

KWS infra afdeling: K&A

Bijlagen: - Verdichtingsonderzoek Proefvakken ( d.d. 17 september 2010)  
- Nucleair verdichtingsonderzoek Proefvakken (d.d. 17 september 2010)  
- Eenpuntsproctor Dichtheden Proefvakken (d.d. 11 mei 2010)

**AFD. KEURING EN ADVIES**

Staphorst, 20 september 2010

**Werk** : Het groene pad te Zwolle

**Onderwerp** : Nucleair verdichtingsonderzoek Proefvakken

d.d. 17 september 2010

Nummer	Lokatie Plaats	Resultaten:					
		Gemeten diepte (cm)	Dichtheid in situ (kg/m3 (nat))	Dichtheid in situ (kg/m3 (droog))	Vocht (%)	E.P.D. (kg/m3(droog))	Verd. graad (%)
<b>Vak 1</b>							
1	Porfiermengsel 100%	10	1873	1763	6,2	1981	89,0
2	Porfiermengsel 100%	10	1864	1755	6,2	1981	88,6
3	Porfiermengsel 100%	10	1868	1762	6,0	1981	88,9
<b>Vak 2</b>							
1	Olivijn 0/3 30% / Obsidiaan 70%	10	2167	2158	0,4	2245	96,1
2	Olivijn 0/3 30% / Obsidiaan 70%	10	2141	2133	0,4	2245	95,0
3	Olivijn 0/3 30% / Obsidiaan 70%	10	2247	2239	0,4	2245	99,7
<b>Vak 3</b>							
1	Olivijn 0/3 50% / Obsidiaan 50%	10	2209	2196	0,6	2368	92,7
2	Olivijn 0/3 50% / Obsidiaan 50%	10	2237	2222	0,7	2368	93,8
3	Olivijn 0/3 50% / Obsidiaan 50%	10	2256	2239	0,8	2368	94,6
<b>Vak 4</b>							
1	Olivijn 0/3 70% / Obsidiaan 30%	10	2343	2300	1,9	2343	98,2
2	Olivijn 0/3 70% / Obsidiaan 30%	10	2278	2230	2,2	2343	95,2
3	Olivijn 0/3 70% / Obsidiaan 30%	10	2209	2154	2,6	2343	91,9
<b>Vak 5</b>							
1	Obsidiaan 100%	10	1918	1918	0,0	1781	107,7
2	Obsidiaan 100%	10	1900	1900	0,0	1781	106,7
3	Obsidiaan 100%	10	1910	1910	0,0	1781	107,2
<b>Vak 6</b>							
1	Olivijn 100%	10	2183	1974	10,6	2260	87,3
2	Olivijn 100%	10	2226	2005	11,0	2260	88,7
3	Olivijn 100%	10	2225	2013	10,5	2260	89,1
		Gemiddeld:	2114	2048	3,4	2163	95

**OPMERKING :**

Paraaf :  
 C.C. :



L. IJmker

**AFD. KEURING EN ADVIES**

Staphorst, 20 september 2010

**Werk** : Het groene pad te Zwolle

**Onderwerp** : Verdichtingsonderzoek Proefvakken

d.d. 17 september 2010

Nummer	Lokatie	Plaats	Resultaten:					Verd. graad (%)
			Gemeten diepte (cm)	Dichtheid in situ (kg/m <sup>3</sup> (nat))	Dichtheid in situ (kg/m <sup>3</sup> (droog))	Vocht (%)	E.P.D. (kg/m <sup>3</sup> (droog))	
2 2ZVV	Vak 1		10	1864	1761	5,8	1981	88,9
	Porfiermengsel 100%			1943	1837	5,8	1981	92,7
2 2ZVV	Vak 2		10	2141	2059	4,0	2245	91,7
	Olivijn 0/3 30% / Obsidiaan 70%			2257	2170	4,0	2245	96,7
2 2ZVV	Vak 3		10	2237	2085	7,3	2368	88,0
	Olivijn 0/3 50% / Obsidiaan 50%			2365	2205	7,3	2368	93,1
2 2ZVV	Vak 4		10	2278	2095	8,7	2343	89,4
	Olivijn 0/3 70% / Obsidiaan 30%			2345	2158	8,7	2343	92,1
2 2ZVV	Vak 5		10	1900	1900	0,0	1781	106,7
	Obsidiaan 100%			niet mogelijk				
2 2ZVV	Vak 6		10	2226	2040	9,1	2260	90,3
	Olivijn 100%			2427	2225	9,1	2260	98,5
			Gemiddeld:	2180	2049	6,3	2198	93

**OPMERKING** : ZVV is Zand vervangingsmethode

**Conclusie** : Zie begeleidend schrijven.

Paraaf :  
C.C. :



L. IJmker



Regionaal laboratorium Staphorst

Leender 3  
7951 KM Staphorst  
Tel.: 0522-245587  
Fax.: 0522-256942

## AFD. KEURING EN ADVIES

Staphorst, 11 mei 2010

### Eenpunts proctor Dichtheden Proefvakken

Proefvak	Perc.samenstelling	Natte Dichtheid	Droge Dichtheid	vocht
T1	Porfiermengsel 100%	2039	1981	2,9
T2	Olivijn 0/3 30% / Obsidiaan 70%	2324	2245	3,5
T3	Olivijn 0/3 50% / Obsidiaan 50%	2463	2368	4
T4	Olivijn 0/3 70% / Obsidiaan 30%	2452	2343	4,7
T5	Obsidiaan 100%	1830	1781	2,7
T6	Olivijn 100%	2310	2260	2,2

Paraaf:

L. IJmker